Zuidwestelijke Staatsuniversiteit

Als handschrift

Rodionov Vladimir Viktorovitsj

Mechanismen van interactie van microgolfstraling met nanogestructureerde straling koolstofhoudende materialen

Specialiteit 01.04.07 - Fysica van gecondenseerde materie

STELLING

voor een diploma

Kandidaat Fysische en Wiskundige Wetenschappen

Wetenschappelijk adviseur:

Doctor in de fysische en wiskundige wetenschappen, professor

Kuzmenko AP

Koersk - 2015

Inhoudsopgave		
Lijst met afkortingen en aanduidingen	4	
INLEIDING		
HOOFDSTUK 1. FYSISCHE PROCESSEN VAN MAGNETRON	INTERACTIE	10
STRALINGEN MET MATERIALEN		12
1.1 Fysiek beeld van de herverdeling van elektromagnetische er	nergie	
straling in materialen	12	
1.2 Transmissie, reflectie en verstrooiing van elektromagnetisch	e straling 14	
1.3 Kenmerken van de interactie van elektromagnetische golven	n en microgolfstraling met	
nanomaterialen en nanogestructureerde materialen		18
1.3.1 Polymeerverbindingen op basis van amorf koolstof en graf	ïet	
		18
1.3.2 Polymeerverbindingen op basis van MWCNT's	20	
1.3.3 Natuurlijke composieten van shungietgesteenten		. 26
1.4 Blootstelling aan elektromagnetische straling		28
1.4.1 Thermisch effect van microgolfstraling		
1.4.2 Niet-thermisch effect van microgolfstraling		
HOOFDSTUK 2. METHODEN VAN SYNTHESE, BEREIDING E	N ONDERZOEK	
NANOSTRUCTUREERD	KOOLSTOF	
MATERIALEN		
2.1 Scheiding van nanokoolstofstructuren van natuurlijk gelegee	rde structuren	
verbindingen – shungiet		35
2.2 Pyrokatalytische synthese van koolstofnanobuisjes met een	ferromagnetische werking	
katalysator	41	
2.3 Metaal-polymeer nanocomposieten		
2.4 Analysemethoden voor het bestuderen van de morfologie va	n oppervlakken,	
chemische structuur en elementaire samenstelling		
<u> </u>		

2.4.1 Röntgenpoederdiffractiemethode 52
2.4.2 Wijze van scanning (scanning) elektronenmicroscopie en
energie dispersieve elementaire analyse
2.4.3 Methode van FT-IR-spectroscopie 61
2.4.4 Confocale microscopie en Raman-verstrooiing 62
2.4.5 Methode van atoomkrachtmicroscopie 65
2.4.6 Microgolfvectoranalysator
2.4.7 Methode met 4 sondes voor het meten van de elektrische geleidbaarheid van poeders
HOOFDSTUK 3. NANOSTRUCTUREERDE KOOLSTOFBEVATTEN MATERIALEN
3.1 Structurele eigenschappen van natuurlijk gelegeerde materialen
3.2 Karakterisering van koolstofhoudende materialen uit natuurlijk shungiet
3.3 Kenmerken van de structurele en magnetische eigenschappen van metaal-koolstof
nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels
3.4 Structurele kenmerken van koolstof nanobuisjes gegroeid door
pyrolyse van ethanol op een magnetische katalysator als onderdeel van composieten
HOOFDSTUK 4 113
4.1 Mechanismen van microgolfabsorptie in shungietformaties 113
4.2 Complexe elektrische en magnetische microgolfabsorptie aan
metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels 124
4.3 Resonante microgolfeigenschappen van gekweekte koolstofnanobuisies

Bibliografie 145	
Conclusie 143	
ethanolpyrolysemethode op een magnetische katalysator	133
4.3 Resonante microgolfelgenschappen van gekweekte koolstofnanobulsjes	

Lijst met afkortingen en symbolen

Lijst van afkortingen

Microgolfstraling - microgolfstraling;

MA is microgolfabsorptie;

CNT - koolstof nanobuisjes;

MWCNT's - meerwandige koolstofnanobuisjes (MWCNT's - Multiwall

Koolstof nanobuisjes)

Shungite-I is een shungite-mineraal met een massafractie koolstof van 75% tot 98%;

Shungite-II - shungite-mineraal met een massafractie koolstof van 35% tot 75%;

Shungite-III is een shungite-mineraal met een massafractie koolstof

20% tot 35%;

Shungite-IV is een shungite-mineraal met een massafractie koolstof

10% tot 20%;

Shungite-V - shungite-mineraal met een massafractie koolstof van minder dan 10%;

PGS - stoom-gasmengsel;

EMP - elektromagnetische straling

XRF - röntgenfase-analyse (XRD - röntgendiffractie);

EPMA/EDA - Röntgenspectrale microanalyse/energieverspreiding

golfverspreidingsanalyse (WDX /EDX –Wave/Energy Dispersive X-ray

microanalyse);

SEM / SEM - scanning / scanning elektronenmicroscopie (SEM -

scannende elektronenmicroscopie);

SEM BSE - scanning elektronenmicroscopie van back-scatter

elektronen;

SEM FSE - scanning-elektronenmicroscopie van secundair

elektronen;

SEI - Second Electron Irradiation (secundaire elektronendetector);

BES - Back Electron Scattering (detector van terugverstrooide elektronen);

AFM - atoomkrachtmicroscopie (AFM - atoomkrachtmicroscopie);

IR - infrarood Fourier-spectroscopie;

Raman - Raman-verstrooiing van licht;

SAXS, röntgenverstrooiing met kleine hoeken;

CM, confocale microscopie;

ICDDPDF-2 - database met verbindingen voor röntgenfase-analyse

(Internationaal centrum voor diffractiegegevens);

FWHM - volledige piekbreedte op halve hoogte (halve breedte) (volledige breedte op half maximum);

ATR - gefrustreerde totale interne reflectie;

RCN - Regionaal Centrum voor Nanotechnologie.

FM - ferromagneten

RBM - radiale ademhalingsmodus, typisch voor CNT's "ademen"

radiale trillingen in het spectrum van Raman-verstrooiing van licht

CVD – Chemical Vapour Deposition plasma chemisch proces

KVP - coaxiale golfovergang

Lijst met symbolen

l is de denkbeeldige eenheid;

a, b, c - kristallografische assen;

x, y, z - coördinaatassen (coördinaten);

E is de elektrische veldsterktevector en zijn modulus;

B is de magnetische veldinductievector en zijn modulus;

D is de elektrische veldinductievector en zijn modulus;

H is de magnetische veldsterktevector en zijn modulus;

ÿ is de complexe (relativistische) permittiviteit;

ÿ is de complexe (relativistische) magnetische permeabiliteit;

ÿ' is het reële deel van het complexe (relativistische) diëlektricum

doorlaatbaarheid;

ÿ' is het reële deel van het complexe (relativistische) magnetische

doorlaatbaarheid;

ÿ" is het denkbeeldige deel van het complexe (relativistische) diëlektricum

doorlaatbaarheid;

ÿ" is het imaginaire deel van de complexe (relativistische) magnetische permeabiliteit;

l is de stralingsintensiteit;

Wext - elektromagnetische energie in het medium;

V is het volume van de ruimte;

q is de periodegemiddelde waarde van de geabsorbeerde energiedichtheid;

Q is de hoeveelheid warmte;

j is de stroomdichtheid;

ÿ - hoekfrequentie;

ÿ is de diëlektrische verlieshoek van het materiaal;

Zi – golfimpedantielaag;

d is de dikte;

ÿi is de complexe interne impedantie van de i-de laag;

ji is de golfvoortplantingsconstante voor de i-de laag;

RL - verliezen als gevolg van elektromagnetische golfverstrooiing in de absorber

(terugkeer verlies);

ÿ is de reflectiecoëfficiënt;

ÿ is de verzwakkingscoëfficiënt;

c is de lichtsnelheid in vacuüm;

Hÿ is het gebied van anisotropie;

K1 is de anisotropieconstante;

Ms is de verzadigingsmagnetisatie;

ÿÿ is de percolatiedrempel;

- elektrische geleiding;

l is de lengte;

r is de straal;

R is weerstand;

ÿ - volumefractie;

het is tijd;

ÿ is de golflengte;

ÿS - verzadigingsmagnetostrictie;

ÿ100 en ÿ111 – magnetostrictie langs de corresponderende kristallografie

assen

T is temperatuur;

is de coëfficiënt van warme diffusie;

ÿ is de dichtheid;

ÿ-warmtecapaciteit;

k is thermische geleidbaarheid;

ÿ–druk;

p is het momentum;

L zijn de gebieden van coherente röntgenverstrooiing;

ÿ is de Bragg-hoek,

ÿ is de stijfheidsconstante,

m is de massa.

INVOERING

Reactie van omgevingen op de impact van elektromagnetische straling afhankelijk van samenstelling en externe factoren komt tot uiting in de reflectie, transmissie of overname, die meestal complex zijn, met de dominante rol van een van hen. Hoge niveaus van reflectie en/of absorptievermogen van sommige materialen vormen de basis ontwikkeling van verschillende elementen en apparaten bedekt met afscherming en/of absorberende materialen, met substantiële breedband vermindering van elektromagnetische velden bij radio- en microgolffrequenties (UHF) binnen afgeschermde objecten, samen met lage intensiteit gereflecteerd signaal [1, 2]. Het vermogen van materialen om microgolven te absorberen straling wordt gekenmerkt door het denkbeeldige deel van het diëlektricum en doorlaatbaarheid, terwijl de reflectie hun echte is onderdelen met aangepaste impedanties van de externe omgeving en het oppervlak actieve laag. In gasvormige media, met name in de atmosfeer, dit voorwaarden worden voldoende vervuld door microporeus samengestelde materialen.

Op het gebied van actief onderzoek waren breedbandabsorbers:

breedte werken)ÿ bepaald door de waarden van de golflengten van het maximum - en (minimaal respectievelijk acquisities. Het vergroten van de werking bereik wordt bereikt door meerlaags, honingraat en cellulair te creëren constructies met metalen vulstoffen van verschillende vormen [3 - 7], in in het bijzonder composietmaterialen, die in het algemeen de wetenschappelijke en praktische betekenis van dergelijk onderzoek op vele gebieden van de wetenschap en technologie, bijvoorbeeld voor micro-elektronica, akoestisch-optica, optisch holografie, röntgendiffractie en vele andere. Daarnaast een andere richting waarin deze studies worden bijgewerkt, is de steeds groter wordende toepasbaarheid van microgolven (van 0,3 tot 300 GHz, wat overeenkomt met lengtes van 1 m tot 1 mm) wat betreft verwerking

bereik

materialen en huishoudelijke apparaten. Met name in de telecommunicatie, uitgaande van de standaardfrequentie - 2,45 GHz en tot - 28 en 83 GHz. Oplossing hiervan taken is gebaseerd op het gebruik van breedband absorberen materialen, verdeeld in interferentie, verstrooiing, absorberend en gecombineerd. Fysiek in de eerste afname de intensiteit van de invallende en gereflecteerde golven wordt bereikt door superpositie golven met een faseverschil dichtbij ÿ, in verstrooiing - als gevolg van meerdere reflecties van geleidende microstructuren - vlokken, in absorberend - microgolfstraling wordt omgezet in warmte energie als gevolg van diëlektrische en magnetische verliezen, de combinatie van deze kwaliteiten wordt gerealiseerd in gecombineerde absorbers.

Het doel van het proefschrift

Het doel van het werk was mechanismen voor breedband vast te stellen absorptie van microgolfstraling in nieuw gecreëerde materialen met micro- en nanokoolstof en/of magnetische insluitsels.

Om dit doel te bereiken, was het noodzakelijk om op te lossen

de volgende taken:

 Bepaal de invloed op de absorptie van microgolfstraling inhoud en vorm van koolstofhoudende componenten in natuurlijk

nanogestructureerd materiaal.

- Onderzoek de rol van magnetische insluitsels in polymeer en koolstof matrices onder microgolfabsorptie.
- Stel de complexiteit van de invloed van meerwandig koolstof vast nanobuisjes en Ni-nanodeeltjes op de absorptie van microgolfstraling.
- Bepaal kenmerken en patronen van microgolfabsorptieprocessen straling in materialen met elektrisch geleidende en/of magnetische eigenschappen.
- Voer complexe nanoschaalstudies uit van micro- en nanostructurele materialen met een verhoogd microgolfniveau absorptie om de kwalitatieve mechanismen ervan vast te stellen voorkomen.

Wetenschappelijke nieuwigheid van het werk

Er is vastgesteld dat een abnormaal hoog niveau van microgolfabsorptie in een brede frequentiebereik (tot 40 GHz) vanwege het complexe effect van magnetisch metalen micro- en nano-insluitsels ingebed in zwak geleidend koolstofhoudende matrices, of / en koolstofmicro met een complex profiel en nanostructuren die de dissipatie van microgolfenergie in warmte veroorzaken Foucaultstromen en elastische oscillaties van dipool-gepolariseerde deeltjes, opgewekt door de magnetische en/of elektrische velden van het incident elektromagnetische golf.

Voorzieningen voor verdediging

 Kenmerken en regelmatigheden van de invloed van complexe componenten en koolstofhoudende structuren op meerdere niveaus in de samenstelling van natuurlijke shungiet op microgolfabsorptie in de holteresonator als gevolg van beide diëlektrische verliezen bij ÿgen ÿ ÿcr, en bij ÿgen ÿ ÿcr resonerende vervormingstrillingen: halve golf door modulatie door staande golven of kwartgolf dipool gepolariseerd.

2. Rol in de absorptie van microgolfstraling van de samenstelling, structuur en grootte van insluitsels op nanoschaal van ferromagnetische metalen in koolstofhoudende en metaal-koolstof nanocomposieten, en het voorkomen in de polymeermatrix FeCo/C resonant-magnetostrictief mechanisme van microgolfabsorptie.

3. Mechanismen van microgolfabsorptie in materialen met magnetische nanodeeltjes nikkel in een matrix van meerwandige koolstofnanobuisjes: resonerend - voor door vervorming trillingen en afscherming - door diëlektricum verliezen.

ор

De praktische betekenis van het werk

resultaten studies van microgolfabsorptie gebaseerd gecombineerde resonantiewerking van zowel magnetische als diëlektrische permeabiliteiten in de bestudeerde materialen kunnen worden gebruikt in ontwikkeling en creatie van breedbandmicrogolfabsorbers in de vorm radio-absorberende coatings op elementen en apparaten, evenals wanneer productie van constructies met een hoog niveau van bescherming tegen microgolven straling.

De betrouwbaarheid van de resultaten gepresenteerd in het proefschrift, gegarandeerd door de validiteit van de gebruikte methoden en reproduceerbaarheid, uitgevoerd op een representatieve hoeveelheid experimentele gegevens, verkregen met behulp van moderne onderzoeksmethoden (holografisch digitaal, confocaal, atoomkracht, scannen elektronenmicroscopie, energiedispersieve en röntgenfaseanalyses, FT-IR-spectroscopie en Raman-microspectrometrie), gebaseerd op kwalitatief fysisch model, adequate schattingen van de belangrijkste microgolf verwerkingsparameters.

Goedkeuring van de resultaten van het werk: De belangrijkste resultaten van het werk werden gepresenteerd op de volgende conferenties: III All-Russian Youth conferentie met elementen van de wetenschappelijke school "Functionele nanomaterialen en zeer zuivere stoffen", Moskou, 2012; IX Wetenschappelijke en praktische conferentie "Nanotechnologieën voor productie", Fryazino, 2013; Internationale wetenschappelijke jongerenconferentie "The Future of Science", Koersk, 2013; III Internationale wetenschappelijke en technische conferentie "Information het meten van diagnose- en regelsystemen. Diagnostiek", Koersk, 2013; Internationale conferentie "Physics and technology of nanomaterials and structuren", Koersk, 2013; XI Internationale Conferentie "Perspectief technologieën, apparatuur en analytische systemen voor materiaalkunde en nanomaterialen", Koersk, 2014; XII Internationaal wetenschappelijk en praktisch conferentie "Moderne instrumentele systemen, informatie technologieën en innovaties", Koersk, 2015.

elf

HOOFDSTUK 1. FYSISCHE PROCESSEN VAN MAGNETRONINTERACTIE STRALINGEN MET MATERIALEN

1.1 Fysiek beeld van de herverdeling van elektromagnetische energie

straling in materialen

De verschijnselen van microgolfabsorptie (MA) zijn bekend en intensief
de afgelopen decennia bestudeerd,
Wat
maakte het mogelijk om de belangrijkste oorzaken experimenteel vast te stellen en theoretisch te beschrijven
optreden van microgolfabsorptie, ga naar de oplossing
praktische problemen bij het ontwerpen van absorbers.
opgestaan
de intensiteit en relevantie van deze studies wordt vooral opgemerkt in
recentelijk, die naast wetenschappelijke interesse wordt gedicteerd door de groei
de noodzaak om een veilige omgeving te behouden, verminderen
het niveau van negatieve effecten op de menselijke gezondheid als familielid
zwakke radiofrequentievelden van de natuurlijke achtergrond en communicatiebronnen
[8 – 10].

Microgolfstraling, wanneer deze op een verspreid materiaal valt,

leidt tot verwarming, die wordt geassocieerd met de interactie van elektromagnetische straling velden met de moleculaire en elektronische structuur van dergelijk materiaal.

Homogene en heterogene media onder microgolfblootstelling worden geaccepteerd

gekenmerkt door twee materiële parameters: complex

diëlektrisch ÿÿ = ÿÿ + iÿÿ en magnetisch

ÿÿ = ÿÿ + iÿÿ permeabiliteit, evenals de verliestangens van het materiaal

bepaald door de verhoudingen: tanÿ(ÿ) = ÿÿ/ÿÿ tanÿ(ÿ) = ÿÿ/ÿÿ waarbij ÿ(ÿ) de hoek is

diëlektrische en ÿ(ÿ) magnetische verliezen van het materiaal [11, 12].

De absorptie van energie door materialen wordt bepaald door denkbeeldig componenten van diëlektrische *ÿÿ* en magnetische µÿ permeabiliteit. IN het frequentiebereik waar de reële delen ÿÿ en ÿÿ veel groter zijn dan de denkbeeldige ÿÿ en ÿÿ, absorptie over de periode zal verwaarloosbaar zijn en het materiaal kan worden overwogen transparant. De parameters ÿ' en µ' zijn dus gerelateerd aan de energieoverdracht elektromagnetische straling, en ÿ" en µ" - met zijn verlies of energie verstrooiing in materialen als gevolg van geleiding, resonantie en ontspanningsmechanismen.

De energie van het wisselende elektromagnetische veld wordt omgezet in mechanische (kinetische en potentiële) energie van verspreide deeltjes omgeving. Elektromagnetische straling die op een materiaal valt, is natuurlijk veroorzaakt ook het omgekeerde proces van de overgang van mechanische bewegingsenergie deeltjes in elektromagnetische energie. Dus binnen de materialen de elektromagnetische energie van het medium is samengesteld uit zowel de energie van de initiaal veld bepaald door de volume-integraal *V* van de kwadraten van de elektrische sterkte **E** en magnetische inductie B:

— ÿ(),

en de energie opgewekt door de mechanische bewegingen van deeltjes.

Deeltjes van het medium en een extern elektromagnetisch veld kunnen zich niet vormen energetisch gesloten systeem. Bij inelastische botsingen er vindt slechts een gedeeltelijke overdracht van de energie van het elektromagnetische veld plaats beweging van deeltjes, wat een verlaging van het niveau van het nieuw door hen gegenereerde veroorzaakt velden. In dit geval een deel van de veldenergie van de invallende elektromagnetische golf onomkeerbaar verandert in mechanische energie van chaotische beweging kosten. Dit verklaart de dissipatie van de energie van het elektromagnetische veld in warm. Merk op dat de bijdrage van geleidende en diëlektrische verliezen moeilijk te bepalen is laten we delen.

Onder voorwaarden van behoud van de amplitudewaarde van de externe elektromagnetisch veld als gevolg van de toevoer van de extra bron energie die de absorptie ervan in het medium binnenin de eigenschappen compenseert velden mogen niet worden gewijzigd. Voor deze modus zijn de waarden van de gemiddelden voor de periode van geabsorbeerde energiedichtheden en werk van elektromagnetische krachten meer dan kosten:

ÿÿ ÿÿ ÿ.

Bij het berekenen van de dichtheid van geabsorbeerde energie die op het materiaal valt monochromatische golf, het is noodzakelijk om rekening te houden met de complexiteit van de grootheden *j* Machine Translated by Google

en E:

Waar

-(| | | |).

1.2 Transmissie, reflectie en verstrooiing van elektromagnetische straling Met betrekking tot composietmaterialen met beide in de regel meerdere heterostructurele insluitsels voor analyse interacties moet rekening worden gehouden met verschillende randvoorwaarden. Opkomend lokaal variaties Voor ruimtelijk elektromagnetische velden kunnen een sterk effect hebben op de absorptie energie binnen dergelijke grenzen, wat wordt verklaard door zijn kwadratische afhankelijkheid op de intensiteit van het elektrische veld [13, 14]. Het is bevestigd analyse van de interactie van elektromagnetische straling met de composiet, bestaande uit n lagen van verschillende materialen, aan één zijde gecoat geleidende metalen plaat (fig. 1.1). geleidbaarheid in elk er is geen absorber in een afzonderlijke laag, dat wil zeggen, deze is gelijk aan nul. Bij het analyseren normale inval van een elektromagnetische golf op zo'n meerlaags composiet voor elke i-de laag wordt rekening gehouden met de dikte - di, complex interne impedantie - ÿi en golfvoortplantingsconstante - ÿi. Dan golfimpedantie (Zi) van de i-de laag van zo'n structuur, volgens [13, 14]: (1.1)

(1.1) (1.1) (1.1) (1.1) (1.1) (1.1) (1.1) (1.1) (1.1)

ruimte; ÿi en µi zijn complex diëlektrisch en magnetisch doorlaatbaarheid van de i-de laag. Rekening houdend met het feit dat ÿ0 = 0, de impedanties metalen plaat en de eerste laag zijn hetzelfde:



Figuur 1.1 - Schema van een meerlaags composiet met vallen langs de normaal elektromagnetische golf

Lekkageverlies (RL) van het normale elektromagnetische incident

golven op het oppervlak van de absorber worden bepaald door:



waarbij ÿ de reflectiecoëfficiënt is. Vervanging van vergelijking (1.1) in (1.2)

stelt u in staat om de grootte van het magnetische en diëlektricum te bepalen

permeabiliteiten die voldoen aan de bijpassende voorwaarde

impedanties. Het is op deze basis dat magnetronabsorbers hoog zijn indicatoren.

Voor een enkellaagse absorber met een metalen plaat is het verlies per reflectie zal zijn:

 $\frac{-}{\overline{y}(\overline{y})\overline{y}(\overline{y})} - (1.4)$

In [1] is de verzwakkingscoëfficiënt ÿ (het reële deel voortplantingscoëfficiënt ÿ):

()
$$(\underline{\ddot{y}})$$
 $\overline{\ddot{y}}$ \ddot{y} \ddot{y} (1.5)

waarin c de lichtsnelheid in vacuüm is. De dempingscoëfficiënt is van beide afhankelijk complexe magnetische en diëlektrische permittiviteit en frequentie.

Merk op dat voor diamagnetische materialen, waaronder koolstofhoudende structuren, wordt absorptie alleen maar genoemd diëlektrisch verlies.

Een andere situatie doet zich voor bij ferrieten met sterk hysteresisverliezen, die sterk toenemen in de regio ferromagnetische resonantie. Minimalisering van reflectieverlies, volgens vergelijking (1.4), wordt bereikt wanneer:

Meestal, (\ddot{y}) Aan deze voorwaarde wordt voldaan vanwege de diepte penetratie van elektromagnetische straling in het materiaal - *d* is erg klein in termen van vergeleken met de golflengte, en ook \ddot{y} is in de regel ook klein. Daarom kunt u gebruiken om het minimum te bepalen

benadering:

— ()

Fn

waarin

Dan is de ruimtelijke frequentie die overeenkomt met deze voorwaarde:

(1.6)

De frequentie ÿm is in de regel resonant. Volgens [16, 17], rekening houdend met magnetische anisotropievelden () van het materiaal, zijn natuurlijke frequentie gelijk aan: — . Hierin is $\ddot{y}/2\ddot{y} = 2,8$ MHz/Oe de gyromagnetische verhouding. Anisotropie veld zoals gewoonlijk wordt gedefinieerd rekening houdend met constanten anisotropie - K1 en verzadigingsmagnetisatie - Mevr overeenkomend gebruikt materiaal [18]:

Een toename van de verzadigingsmagnetisatie vermindert het anisotropieveld, dat veroorzaakt "roodverschuiving" van de resonantiefrequentie. Combinatie van wijzigingen Ms en K1 de beste relatie tussen de absorptiebandbreedte wordt bereikt elektromagnetische straling en resonantiefrequentie bepaald door overeenkomstige ruimtelijke frequentie [2].

In het geval van een diëlektrische absorber, wanneer $\mu = 1 - j0$, vergelijking (1.4) kan worden omgezet:



Gezien het feit dat de echte en denkbeeldige delen van het diëlektricum de permeabiliteit voor een dergelijke absorber moet worden bepaald als:

we krijgen een vergelijking vergelijkbaar met de voorwaarde voor ferrieten. Dus, maximaal reflectieverlies in de diëlektrische absorber zijn als volgt gedefinieerd:

(1.8)

Het maximale dissipatieverlies wordt bepaald door ÿ" en de verliestangens tanÿ. Gewoonlijk veroorzaakt een grote ÿ" een toename van de verliestangens. Bij optimalisatie keuze ÿ" ' en de bijbehorende verliestangens moet in aanmerking worden genomen merk op dat te kleine of te grote ÿ" niet zal leiden tot absorptie groei. Dit wordt bevestigd door de analyse van de vergelijking voor verzwakkingscoëfficiënt:

Na introductie van tanÿ krijgen we ofwel:

of:

ÿÿ(ÿ ÿÿ(ÿ).).

1.3 Kenmerken van de interactie van elektromagnetische golven en microgolfstraling met nanomaterialen en nanogestructureerde materialen

1.3.1 Polymeerverbindingen op basis van amorf koolstof en grafiet

vulling Door Recent experimenten polymeren gestructureerde geleidende nanocomponenten toonden aan dat deze materialen vormen een klasse van efficiënte breedbandmicrogolven schokbrekers [3]. Vergeleken met absorbers die gestructureerd zijn op grote ruimtelijke schaal, in nanokoolstofcomposieten omvatten complexe absorptiemechanismen als gevolg van verschillende factoren [4]. Ten eerste zijn er quasi-deeltjes excitaties, zoals bijvoorbeeld plasmon of polariton. IN In tegenstelling tot vrije elektronen gaan deze excitaties gepaard met lading overdracht. Ten tweede, bij het analyseren van het macroscopische gedrag composiet moet rekening houden met de rol en kenmerken van de nanoschaal elektromagnetisme, die aanzienlijk verschillen van de klassieke elektromagnetisme. Ten derde kan het optreden van het tunneleffect meerkanaals zijn. Helaas de moeilijkheden verspreiding van nanovullers in polymeermatrices is niet altijd maken het mogelijk om de verwachte MA-waarden te behalen. Al deze kenmerken nanokoolstofdeeltjes onderscheiden van micro- en macrokoolstofdeeltjes vulstoffen. Van de verspreide vulstoffen is de meest toegankelijke amorf koolstof (carbon black, roet), waarvan het gebruik het toelaat

gebruik effectief mechanisch, elektrisch en optisch

eigenschappen van de polymeermatrix [5]. Het gebruik van zo'n vulmiddel verhoogt de absorptie van microgolven. Vergeleken met magnetisch ferrieten, roetdeelties hebben een hogere werkfrequentie bereik tot 1 THz, wat wordt verklaard door de kleine omvang (~ 10 nm) en ³). Hun absorptieband is echter voldoende hoge dichtheid (~ 2 g/cm smal. Zo is het ingekapselde polyaniline/koolstofzwart nanocomposiet op ratio 3:1 [6] hebben een maximale absorptie van 40 dB met een breedte 3 GHz binnen de X-zone. 6% amorfe koolstof toevoegen aan glas epoxy matrix geeft een maximale absorptie van 32 dB in de X-band en absorptiebandbreedte van 2,7 GHz [7]. Verhoging van de geleidbaarheid bij het toevoegen van roet in lage concentraties wordt dit geassocieerd met het fenomeen tunnelen. Grote concentratie van koolstof en groei van het oppervlak reflecties voorkomen de verspreiding van elektromagnetische golven in absorber. Verbetering van MA van met koolstof gevulde verbindingen [8] wordt gerealiseerd bij de katalyse van roetdeeltjes met SiC en BaTiO3 [9], Fe-Co [26, 27], nanodeeltjes Fe [10] en ferrietdeeltjes [11]. Er wordt ook op gewezen dat de absorptiekenmerken van deze verbindingen vrij nauwkeurig kunnen zijn gecontroleerd onder mechanische druk [12].

De meerlaagse microgolfabsorber wordt gekenmerkt door verschillende MA-materialen om het algehele absorptievermogen te vergroten. Voor voor het maken van dergelijke absorbers moet rekening worden gehouden met de voorwaarde van minimalisatie totale reflectiecoëfficiënt in gespecificeerde frequentie- en hoekbereiken val. Het probleem wordt opgelost met behulp van een sterk reflecterende ondergrond die de oppervlaktelaag vormt en het beste biedt impedantie aanpassing. Voor een tweelaagse carbon black/glas structuur op gebaseerd op een epoxycomposiet [7] met verschillende verhoudingen actief stoffen, werd geen verbetering van de absorptie-eigenschappen gevonden in vergelijking met enkele laag van dezelfde dikte. Een meerlaagse structuur bestaande uit door warmte krimpbare stof geïmpregneerd met vezelhars en met rubber bekleed stoffen met carbonzwart zijn onderzocht als effectief

microgolfabsorber [13]. Het belangrijkste voordeel van dergelijke structuren, in het bijzonder voor een dubbellaags materiaal van carbonylijzer en roet, is de mogelijkheid om een bepaald niveau van microgolfabsorptie te bereiken straling door de parameters van elke laag te wijzigen: de verhouding van diktes en vulmiddelsamenstelling [14].

De absorptie-eigenschappen van vlokgrafiet zijn ook bestudeerd. De absorber op basis van fenol-formaldehyde-cement werd bereid met gebruik van een kogelmolen voor het malen van grafiet [15]. Waarde maximale absorptie was 25,5 dB bij een frequentie van 14,5 GHz met een band 2,9 GHz. De invloed van het niveau van grafietverspreiding daarna langdurige behandeling in een kogelmolen voor een verhoging van de waarde van MA. De verliestangens van een mengsel van thermisch geëxpandeerd grafiet en fenol-formaldehydehars [16]. Het is aangetoond dat deze composiet het materiaal wordt gekenmerkt door een diëlektrische constante ÿÿ1 s absorptie van ongeveer 10 dB in de gehele X-band.

1.3.2 Polymeerverbindingen op basis van CNT's

Een belangrijke factor bij de ontwikkeling van microgolfabsorbers is absorptie-efficiëntie in verhouding tot het gewicht. Het betekent dat het optimale composiet moet bestaan uit een corrosiebestendig lichtgewicht polymeer met nanodeeltjes. Koolstofnanobuisjes (CNT's) volledig voldoen aan dit criterium. Vergeleken met met roet gevuld polymeren, ze hebben betere mechanische eigenschappen met typisch waarden van de elasticiteitsmodulus in de orde van 1 TPa en treksterkte in bereik 50÷500 GPa [17]. Het belangrijkste is dat CNT's goed zijn halfgeleidereigenschappen met hogere mobiliteit van ladingsdragers 105 cm²/Vÿs en toegestane stroombelasting meer dan 109 A/cm [36, 37]. Verrassend genoeg, wanneer CNT's in de polymeermatrix worden geïntroduceerd met een fractie van 0,35% van van de gehele massa wordt een geleidbaarheidsniveau bereikt zoals voor een technisch koolstof met een aandeel van 20%.

Omdat CNT's niet-magnetische materialen zijn, is hun MA te wijten aan drie factoren: polarisatie, Joule-warmte of meervoudige verstrooiing vanwege het grote specifieke oppervlak. Vergeleken met enkele wand meerwandige CNT's hebben meer defecten vanwege hun complex structuren en hogere diëlektrische constante. Hun absorptie is voornamelijk te wijten aan diëlektrische relaxatie [18].

De afhankelijkheid van absorptie van de concentratie van koolstofmateriaal kan worden bestudeerd binnen de percolatietheorie [19]. Communicatie effectief geleidbaarheid en volumefractionering (-) ten opzichte van de isotrope percolatiedrempel – ÿÿ , minimaal concentratie van nanogeleidende deeltjes, van waaruit een toename is geleidbaarheid, wordt als volgt beschreven [40, 41]:

(), bij		() ,	
(), bij	3		(1.9)

waarbij *s* en *t* kritische exponenten zijn met zogenaamd universeel waarden, dat wil zeggen $s \sim 0.7$, en $t \sim 2$ in een driedimensionale ruimte, $\ddot{y}1$ – elektrische geleidbaarheid van de isolatormatrix, en $\ddot{y}2$ is de elektrische geleidbaarheid geleidende vulstoffen. Aangezien in de modelbeschrijving (1.9) de percolaties Er wordt geen rekening gehouden met fysische en chemische eigenschappen van vulstofdeeltjes en matrixmateriaal, het is duidelijk heel toepasselijk op de meesten polymeren gevuld met poedervormige materialen. Deze aanpak stelt u in staat om volumetrische afhankelijkheden tussen de distributie vast te stellen fracties van amorfe koolstof door effectieve geleidbaarheid bij onbekende echte vullingswaarden.

Voor het geleiden van sferische deeltjes willekeurig verdeeld in binnen een driedimensionale diëlektrische matrix, de percolatiedrempel is bijna 17% van het volume. Roetdeeltjes met onregelmatig en heterogene vormen kunnen een complexe hiërarchie vormen

percolatieclusters, uitgaande van de "laagste structuren" van amorf koolstof in de vorm van kleine en regelmatige aggregaten, en tot "hoger structuren", die in de regel tot enkele honderden deeltjes bevatten. Vanwege verschillende langwerpige vormen, de kans op contact is groter dan bij compact - bolvormig. Hierdoor wordt de percolatiedrempel lager 17% [20].

Een verhoging van de percolatiedrempel als gevolg van de opname van CNT's in composiet monsters veranderen de diëlektrische eigenschappen van het materiaal aanzienlijk en natuurlijk MA. Echter, de afhankelijkheid van permeabiliteit en geleidbaarheid op concentratie van CNT's komt in het algemeen niet overeen met de waarden van t in de vergelijking (1.9). De rol van aggregaten [21] en thermische activering van elektronen [22] was onderbouwd als mogelijke mechanismen die dit verklaren mismatch. MA kan worden geoptimaliseerd bij een bepaalde concentratie, dicht bij de percolatiedrempel, aangezien de absorptiepiek verschuift van inhoud van CNT's [44, 45]. Tegelijkertijd neemt tanÿ iets toe, wanneer het CNT-gehalte onder de drempel ligt. Met een toename van de inhoud van CNT's in monster nemen diëlektrische verliezen snel toe, voornamelijk als gevolg van golfverstrooiing, en niet door absorptie. Sommige experimenteel de gegevens spreken van een correlatie tussen de elektrische (geometrische) drempel en mechanische (reologische) percolatie [46, 47]. Bijzonder interessant is waarmee de diëlektrische relaxatie van verbindingen met CNT's nauw verwant is mechanische dempingseigenschappen. Merk op dat de afhankelijkheid tanÿ CNT herhaalt tanÿ van de elasticiteitsmodulus [23]. Typische compressieverhouding nanobuisjes zijn typisch tussen 100 en 1000, de percolatiedrempel is binnen 0,1-1%; deze waarden komen overeen met de maximale sterkte aan gap en Young's modulus voor CNT-epoxycomposieten [49 - 51].

De waargenomen roodverschuiving van de absorptiepiek neemt toe inhoud van CNT's kan worden verklaard door een toename van diëlektrische verliezen in volgens formule (1.1). Kwantitatieve frequentie-afhankelijkheden resonantieabsorptie op de inhoud van CNT's [52 – 54] geven dat aan

hoe groter het diëlektrische verlies, hoe lager de absorptiefrequentie. Behalve Bovendien kan de concentratie van CNT's de absorptiebandbreedte beïnvloeden. In [24] wordt bijvoorbeeld getoond dat het expandeert van 6,4 ÷ 8,2 GHz (1,8 GHz) en 7,5 ÷ 10,1 GHz (2,6 GHz) tot 12,0 ÷ 15,1 GHz (3,1 GHz) voor meerwandig nanobuisjes in een polyurethaancomposiet. Meerlagig dus structuur met een geoptimaliseerde concentratie van buizen in elke laag kan worden geïmplementeerd in een breedbandmicrogolfabsorber.

De lengte-diameterverhouding van CNT's is een doorslaggevende parameter bij het bepalen van de ladingen en golfmechanismen van stralingsoverdracht samengestelde materialen. Typisch grote beeldverhouding impliceert een groot uitgesloten volume. Dat wil zeggen, het volume rond het object, waarin het midden van een ander soortgelijk object niet past en uitgesloten overlapping van twee objecten. Merk op dat de percolatiedrempel ÿÿ afneemt door de beeldverhouding te vergroten. Ondanks het feit dat CNT's voldoende zijn bestudeerd materiaal, interpretatie van percolatiekarakteristieken in CNT's gevulde polymeren varieert aanzienlijk, afhankelijk van gebruikt theoretisch model. In het bijzonder voor langwerpig fillers met een hoge beeldverhouding – D = l/r ÿ 103 , dat is wanneer de beeldverhouding voldoet aan de voorwaarde *l>>r (r is* de straal, *l* is de lengte CNT's), impliceert de theorie van elektromagnetisme [25] het omgekeerde kwadratisch afhankelijkheid van *D*

(ÿ). (1.10)

Tegelijkertijd geven berekeningen een hyperbolische afhankelijkheid van *D* [26] [27] [28]:

(ÿ).	(1	.1	1)
	•				/

Vergelijking (1.11) werd getest op polymeervulstoffen verbindingen van CNT's met verschillende *D*- en vlokkoolstof [52, 59]. De evenredigheidsconstante in vergelijking (1.11) is gelijk aan 1 volgens de gegevens van [29] [30] of 1,4 voor [56, 60]. De theoretische oplossing is echter niet van toepassing veel echte nanocomposietsystemen en blijkt ofwel hoger te zijn [61 – 63] of lager [64, 65]. Omdat dit model in het raamwerk is gemaakt statistische percolatie, dan houdt het geen rekening met interacties of kinetische effecten tussen individuele deeltjes of matrix en deeltjes (Browniaanse beweging). De kinetische theorie werd geïntroduceerd percolatie om deze effecten te verklaren [31]. Door de groei dus mobiliteit van kortere buizen, kinetische percolatiedrempel neemt af met afnemende beeldverhouding [32]. Helaas de gegevens werden verkregen over een beperkt bereik van beeldverhoudingen, die interfereert met de precieze totstandkoming van een relatie tussen de partijen van de CNT en de drempel percolatie van het composietmateriaal. Een verklaring is daarin nog niet voorhanden voor zover de theorie nieuwe materialen suggereert met minimumdrempels percolatie, waarbij het maximum

absorptie.

Beeldverhouding speelt ook een belangrijke rol bij CNT-vulling. magnetische deeltjes, wanneer voor grotere *D* de de grootte van het magnetische anisotropieveld is · In dit geval in overeenstemming met vergelijkingen (1.6) en (1.7), wordt de toename in absorptie veroorzaakt door het natuurlijke ferromagnetische resonantie. Het dunner worden van CNT's gaat ook gepaard met een toename resonantie frequentie. Echter, de inhoud van magnetische nanodeeltjes in van hen neemt natuurlijk af, wat de verzadigingsmagnetisatie vermindert en verlaagt de frequentie. Aldus worden absorptieveranderingen bepaald gelijktijdige actie van zowel de resonerende eigenschappen van de CNT's zelf als de aanwezigheid van magnetische nano-insluitsels erin.

In [33], de rol en invloed van CNT-maten op contactweerstand in CNT-gevulde samenstellingen:

waar \ddot{y} de geleidbaarheid is, *I* is de lengte van het CNT-deeltje, *r* en *R* duiden aan respectievelijk de straal en weerstand van een enkel deeltje, Rc contactweerstand, *x* is een empirische dimensieloze constante, en \ddot{y} is

(1.12)

bulkfractie van de vulstof. Het is aangetoond dat MA te wijten is aan een grote tunnel geleiding. Op basis hiervan wordt aangenomen dat contactweerstand kan worden geminimaliseerd. Dus, door de CNT-diameter te vergroten, wordt de contactweerstand (1,12) verlaagd, d.w.z.

verminderen Joule warmteverlies.

De invloed van CNT's is zowel gevuld [51, 68 – 76] als gecoat [77 – 79] magnetische nanodeeltjes of nanovezels, evenals ruwe CNT's gesynthetiseerd met een Fe-katalysator [80, 81]. Dat is genoteerd dat MA enorm wordt versterkt door extra magnetische verliezen en impedantieverschillen [68, 69, 79, 81]. Bijvoorbeeld in met Fe gevulde CNT's absorptie is hoger dan in pure [34]. Over de groei van verzadigingsmagnetisatie [35], evenals diëlektrische en magnetische verliezen met toenemende concentraties van vullende of bedekkende magnetische deeltjes, de dominante invloed is de willekeur van hun locatie en het complex interactie tussen diëlektrische en magnetische eigenschappen [36]. Een ander gebied waar een dergelijke interactie een diepgaand effect heeft, is significante toename van de dwangkracht voor polymeren die bevatten CNT's met magnetische deeltjes vergeleken met alleen polymeren, met alleen magnetische deeltjes [35], wat gepaard gaat met grote hysteresisverliezen [37].

Andere mechanismen voor het verhogen van MA door het gebruik van gevulde CNT's houden rekening met de invloed van defecten als bronnen meervoudige verstrooiing die oppervlaktepolarisatie veroorzaakt

[71, 84, 85]. Ruimtelijke lokalisatie van de eigenschappen van nanodeeltjes leidt tot dimensionale kwantumeffecten. Zoals getoond in [38], discretisatie energieniveaus van nanodeeltjes in CNT's zouden moeten veroorzaken absorptie van microgolfenergie als gevolg van overgangen van elektronen naar meer hoge niveaus. Opgemerkt moet worden dat deze effecten niet beperkt zijn tot magnetische nanodeeltjes. Op CNT's gevuld met Ag [39], Sn [40], Sm2O3
[37] en Er2O3 [41] werd een uitbreiding van het absorptiebereik gevonden. Echter

de MA-waarde kan vrij klein zijn, wat wordt veroorzaakt vernietiging van de integriteit van CNT's tijdens het vullen of coaten.

1.3.3 Natuurlijke composieten van shungietgesteenten

Al geruime tijd in het gebied van nabij belang onderzoekers en ontwikkelaars is een natuurlijke materiaalsoort shungiet, wat de ongebruikelijke aard van zijn structuur en diversiteit verklaart zeer effectieve en nuttige fysisch-chemische eigenschappen [42], in in het bijzonder als een goed materiaal dat hoogfrequente straling absorbeert. Dit wordt grotendeels bepaald door hoge tarieven dichtheid en mechanische weerstand, verhoogde chemicaliën stabiliteit in de aanwezigheid van zelfs agressieve onzuiverheden. Meest belangrijk kenmerk van deze natuurlijke verbinding is dat het de basis is vormt koolstof, dat, zoals bekend [89, 90], het hoogste heeft het niveau van allotropisatie: van de amorfe toestand en single-crvstal grafiet tot fullerieten en grafenen, evenals ontdekte fullerenen voor het eerst in shungite, die blijken te zijn gedoteerd met oxiden metalen en silicium. Shungite-rotsen hebben een aantal belangrijke voor technische toepassing van voordelen, bijvoorbeeld hoge initiaal geleidbaarheid [43], de ontwikkeling van de nanostructuur en zijn porositeit [44]. De combinatie van natuurlijke diversiteit aan koolstofstructuren, opgenomen in een geleidende matrix met verschillend diëlektricum legeringsadditieven van natuurlijke oorsprong bevordert hoge absorptie-efficiëntie van elektromagnetische straling, die maakte het praktisch mogelijk om deze verbinding te gebruiken in de vorm van een matrix, of als vulmiddel.

Zo zijn in [45] composieten op basis van polystyreen met met shungietrotsen van Maksovsky en Zazhoginsky afzettingen met een concentratie van ongeveer 65%. Coëfficiënt onderzoek Microgolfabsorptie van de monsters werd uitgevoerd in het frequentiebereik van 100 kHz tot

1GHz. Opgemerkt wordt dat tot 100 MHz de absorptie niet groter was dan 0,2 dB, terwijl er bij hogere frequenties een sterke toename was efficiëntie tot 3,2 dB bij 1 GHz. Dit type verandering wordt uitgelegd lage elektrische geleidbaarheid van de eerste monsters, wat te wijten is aan de complete isolatie van shungietgesteentedeeltjes. Hogere absorptie materialen op basis van shungietpoeder met 30% NiZn insluitsels ferriet in het bereik van 8–12 GHz was 15–25 dB [46].

Door de methode van chemische reductie van zouten op het oppervlak van de deeltjes shungiet was het mogelijk om een coating van koper, nikkel en kobalt te verkrijgen, wat leidde tot tot een verhoging van de absorptie van 10 dB naar 18 dB [47]. Impregnatie shungite in poedervorm met water en een waterige oplossing van NaCl, wanneer er is een vulling van de capillaire poriën van shungiet, en daarna afdichting met polyethyleen, behoud van de film op het oppervlak van de deeltjes, een toename van elektrische geleidbaarheid en diëlektrische verliezen wordt bereikt [48]. Bij het toevoegen van water tot 15 ÷ 25 gewichtsprocent droog poeder, is de waarde de transmissiecoëfficiënt van microgolfstraling wordt verlaagd van -10 dB naar -20 dB, en bij gebruik van NaCl-oplossing - tot - 24 dB. Vergeleken met droog poedervormige Shungite reflectie geïmpregneerd materiële veranderingen van -5 dB tot -3,5 dB.

Kwartgolfafscherming van elektromagnetische straling speelt een rol een ideale absorber bij normale inval van een elektromagnetische golf, onder omstandigheden waarin de golfimpedantie van de weerstandslaag samenvalt met vrije ruimte weerstand (377 Ohm/m2), en de dikte diëlektrische laag is gelijk aan een oneven aantal kwart golflengten [49]:

waar *d* de dikte van de diëlektrische laag is, is ÿ de golflengte van de elektromagnetische straling straling. Voor het frequentiebereik van 8 – 12 GHz zijn in [50] monsters genomen op basis van zo'n scherm. De eerste laag 1 mm dik weergegeven gepoederde shungite gefixeerd in een acryl bindmiddel. Seconde

(1.13)

de laag was een cellulosedoek van 2 mm, de derde was een metaal reflector (aluminiumfolie 9 μm dik). Zo'n constructie ^{volgens} (1.13) maakte het mogelijk om de transmissiecoëfficiënt te verlagen elektromagnetische straling tot minimale reflectie - 35 dB bij 20% shungite inhoud.

Gevestigde technologie voor de vervaardiging van afwerkingsmaterialen op op basis van composiet poedermaterialen uit een mengsel van cement en shungiet wordt beschreven in [99, 100]. Monsters van materialen voor microgolfafscherming bestraling werd bereid in de vorm van een droog mengsel van 40% shungiet en 25% cement merk PC 500 D 20, die vervolgens werd verdund met 35% water. Afwerking het materiaal had een transmissiecoëfficiënt van -10 dB tot -30 dB in de frequentie bereik 0,5 ÷ 18 GHz.

1.4 Blootstelling aan elektromagnetische straling

magnetron	microgolf straling	Hoe	composiet	Deel
elektromagnetisch spectru	um, zoals vastgesteld sinds hun onto	lekking,		
heeft een actief effect, ool	k op verschillende levensvormen			
processen in het menselijl	k lichaam. Meestal de gebruikte ene	rgie		
microgolfstraling is niet vo	ldoende om ioniserend te zijn			
invloed. Het wordt op mol	eculair niveau geabsorbeerd en vero	orzaakt		
verandering in de energie	van trillingen van moleculen, wat lei	dt tot de re	lease	
warmte. Vaststelling van f	ysieke en biologische effecten van b	lootstelling		
microgolven op het lichaa	m is natuurlijk complex. In voorwaar	den		
onvoldoende onderzoek e	n onvolledige informatie over de me	chanismen		
interacties tussen microgo	olven en biologische systemen,			
er bestaat een misvatting	over de onmogelijkheid van			
geïnduceerde reactie van	biologische systemen. Laatste keer,			
veel niet-thermische effec	ten van manifestatie van interacties			
microgolven op levend we	efsel.			
1.4.1 Thermisch effect va	n microgolfstraling			

Aanvankelijk werden microgolven gebruikt voor communicatie en alleen in In 1950 werd het effect van het verhitten van materialen ontdekt [101, 102]. De potentiële voordelen van microgolfverwarming hebben geleid onderzoekers om microgolfverwarmers en nieuwe processen te ontwikkelen industrieel gebruik. Onderscheidend functie microgolfverwarming is dat de impact ervan een volumetrisch effect heeft karakter en vereist geen thermische diffusie, zoals bij traditionele verwarming van het oppervlak naar de binnenkant van het materiaal, wat de hoge snelheden verklaart [51].

Warmteoverdracht door geleiding, convectie en straling warmteoverdracht wordt alleen uitgevoerd vanaf het oppervlak van het materiaal. In vermijd oververhitting van het oppervlak, meestal de temperatuur van de warmtebron mag de gespecificeerde eindtemperatuur Tf niet overschrijden . Een andere de factor die de verwarmingssnelheid beperkt, is het diffusieproces (1.14). De snelheid van de reactie van het materiaaloppervlak op de impact een externe warmtebron kan vrij snel zijn, maar de reactie van het gehele materiaal wordt beperkt door de thermische diffusiecoëfficiënt:

(1.14)

waarbij ÿd, Cp en *k* respectievelijk de dichtheid, warmtecapaciteit en thermische geleidbaarheid van het materiaal zijn. Typische waarden ÿdiff = 117 10–6 m 2 /s - voor koper, ÿdiff = 11,9 10–6 m 2 /s voor aluminium en ÿdiff = 0,18 10–6 m 2 /s - voor hout op kamertemperatuur. Voor een object met karakteristieke lengte I, diffusietijd kan worden geschat op ongeveer / 2 /a [52]. Voor grote / of kleine ÿ, de verwarmingssnelheid zal laag zijn. Zelfs een toename van thermisch stroming vanaf de grens lost het probleem niet op, aangezien de temperatuurverdeling in het materiaal wordt altijd gekenmerkt door grotere inhomogeniteit.

Met magnetronverwarming wordt het vanwege het volume even hoog bereikt verwarmingssnelheid, en het wordt mogelijk om de temperatuur te regelen verwarmen door het vermogen van de microgolfbron te regelen. Een andere

Het onderscheidende kenmerk van microgolfverwarming is ruimtelijke verdeling van temperatuur, maximale waarde die wordt bereikt, strikt genomen, in het materiaal, en niet op het oppervlak, wat een bepaald nadeel wordt in omstandigheden wanneer dit vereist is gelijkmatige verwarming tijdens verwerking. Maar zo'n profiel temperatuurverdeling is de basis van chemische infiltratie uit dampfase bij de vervaardiging van keramische composietmaterialen [53]. .

De hoofdvergelijking beschrijft thermische verwarming als resultaat interactie tussen een elektromagnetisch veld en een vast materiaal, volgens [54] omvat naast de gebruikelijke warmteoverdrachtsvergelijking (wet van Fourier) verwarming veroorzaakt door de werking van het elektrische veld van microgolfstraling:

waarbij qabs de door het materiaal geabsorbeerde vermogensdichtheid is, veroorzaakt door elektrisch veld: $| \ddot{y}$ is de stralingsfrequentie, |E| - medium de grootte van de elektrische veldsterkte in het materiaal, ÿÿeff - denkbeeldig onderdeel van de complexe permittiviteit van het materiaal

(effectieve verliesfactor ÿ). In vergelijking (1.15)

er wordt vanuit gegaan dat traditionele warmtebronnen worden meegerekend

randvoorwaarden. In het tweedimensionale of eendimensionale geval de warmtebronnen verschijnen in de vergelijking als gevolg van convectie en straling.

De basisvergelijking die de processen van microgolfverwarming beschrijft, kan zijn ook geschreven als een energiebalansvergelijking

(1.16)

waarbij Qverlies het warmteverlies *is*, inclusief convectie- en stralingsverliezen, en Qabs *is* het totale gedissipeerde vermogen van microgolven in het materiaal.

Alle fysische en chemische eigenschappen van het materiaal hebben invloed op de warmteverdeling erin. De belangrijkste spreiding afhankelijkheid ÿ." Het bereik van zijn verandering kan erg breed zijn, wat

verhoogt ook de dichtheid van het microgolfvermogen dat door het materiaal wordt geabsorbeerd straling - qab. Variabelen als ÿd, ÿÿ en *k* kunnen ook een rol spelen aangezien ze de thermische diffusiecoëfficiënt ÿ (1,14) bepalen. De manifestatie van de complexiteit van de bijdragen van deze effecten wordt gerealiseerd in keramisch sinterproces. Tijdens verdichting ÿd en ÿÿ toename. In dit geval kan ÿÿ met meerdere ordes van grootte groeien [55]. CP toeneemt, terwijl *k* afneemt [52]. Dit veroorzaakt een lokale stijging temperatuur. In het technologische proces, als de temperatuur van het materiaal oneindig toeneemt, is het beschadigd, wat een wijd voorkomt microgolven gebruiken om materialen te verwerken.

Bijvoorbeeld de studie van microgolfverwarming van ethyleen-propyleenrubber in afhankelijkheid van de kracht van de invallende straling [56] toonde dat aan waarde van 25 W, werd een evenwichtstemperatuur ingesteld, en bij - 35 W de temperatuur steeg snel totdat het vlam vatte. Op temperatuur Het timingdiagram maakt duidelijk onderscheid tussen 2 verwarmingssnelheden. Zo ook binnen [57] toonde het effect van het vermogensniveau op het verwarmen van 8% van de katalysator Pt/Al2O3. Ondersteunde katalysatoren werden constant verwarmd door microgolven kracht niveau. Bij een vermogen tot of minder dan 90 W zal de temperatuur van Pt/Al2O3 was van blijvend belang. Met verdere toename van het ingangsvermogen tot een kritische waarde tussen 90 W en 100 W, temperatuur bereikte een vrijwel constante waarde, waarna deze weer toenam. Dus De temperatuurrespons op een verandering in ingangsvermogen is dat dus niet continu - dat wil zeggen, er is een kritische waarde vermogen, van waaruit een temperatuursprong optreedt.

1.4.2 Niet-thermisch effect van microgolfstraling

Er zijn een aantal werken [110, 111], waarin is vastgesteld dat blootstelling aan microgolven veroorzaakt verschillende biologische effecten in veldsterkte, frequentie, golfvorm, modulatie en duur van de blootstelling, hun optreden was voornamelijk geassocieerd met verwarming. Naast deze [58] zijn er ook niet-thermische magnetrons

effecten die moleculaire transformaties veroorzaken, blijkbaar hebben resonerende aard.

Een van de moderne benaderingen van sterilisatie in voedsel industrie is het gebruik van microgolfstraling. Microbiologische studies met microgolfstraling komen tot de volgende twee elkaar uitsluitende conclusies. MET Enerzijds treedt celdood uitsluitend op als gevolg van warmte gegenereerd door microgolfstraling. Met iemand anders hand, de dood vond plaats als gevolg van niet alleen thermische oververhitting, maar ook door de werking van een elektrisch microgolfveld op de subcellulaire niveau. Een van de belangrijkste redenen voor de bovenstaande tegenstrijdige bevindingen is de moeilijkheid om een constante temperatuur te handhaven tijdens microgolf bestraling. Er zijn er momenteel meerdere verschillende methoden om een constante temperatuur te handhaven magnetron verwerking. De dood van Escherichia coli wordt niet waargenomen wanneer 35°C, terwijl bij 45, 47 en 50°C het sterftecijfer van cellen die vatbaar zijn voor microgolfbestraling was hoger dan na conventionele thermische straling sterilisatie bij dezelfde temperatuur. Aangenomen wordt dat magnetrons kan versnelling van ionen en botsing met andere moleculen veroorzaken, of de rotatie van de dipolen en hun herschikking met de oscillatie van de elektrische veld, wat leidde tot veranderingen in de secundaire en tertiaire structuur van eiwitten micro-organismen.

Het proces van het combineren van snelle energietoevoer naar voedsel met met behulp van microgolven en snelle warmteafvoer met warmtewisselaar is typerend voor het bestuderen van het concept van niet-thermisch pasteurisatie van vloeistoffen. Er zijn verschillende combinaties van gist getest water, bier, vloeibaar ei, enz. De procestemperatuur werd gehandhaafd op 35°C of lager gedurende 3 ÷ 8 min. Er werd opgemerkt dat magnetron energie bij afwezigheid van andere belastingen zoals warmte, pH of de aanwezigheid antimicrobiële middelen vernietigen micro-organismen niet op een laag niveau

temperatuur [59].

Bewijs van niet-thermische effecten in de magnetron verwerking verkregen door het handhaven van de temperatuur van de organische stof die onder hitte dood is. coli en salmonella overleeft niet in soepen bereid met microgolfstraling op 915 MHz. Microbiële vernietiging vindt plaats bij lagere temperaturen en met kortere perioden vergeleken met traditionele verwarmingsmethoden, wat de aanwezigheid aangeeft factoren die kunnen worden geactiveerd onder invloed van de magnetron straling op micro-organismen [60].

Niet-thermische fysiologische effecten van continue microgolven en gemoduleerd werden bepaald op cyanobacteriën van de familie Nostok [61]. De studie toonde aan dat verschillende microgolffrequenties in continue golven en gemoduleerde modi produceren verschillende fysiologische effecten op algen.

Invloed van een gemoduleerd microgolfsignaal met een rechthoekige vorm op verschillende frequenties bestudeerd op het fysiologische gedrag van het geslacht draadvormig cyanobacteriën - Anabena. De bacteriën werden er een uur onder gezet directe blootstelling aan elektromagnetische golven met een frequentie van 9,575 GHz met rechthoekige modulatie bij een stralingsdichtheid van 0,658 mW/cm2 . De studie toonde aan dat microgolven verschillende soorten genereerden niet-thermische biologische effecten: structurele veranderingen tijdens scheiding van ionen, de snelheid en/of richting van biochemische reacties. De frequentieafhankelijkheid van het effect toonde aan dat de frequentie van heterocysten en de lengte strengen zijn direct met elkaar verbonden, terwijl de troebelheid van de celsuspensie, eiwitten, koolhydraten, chlorofyl, carotenoïden en fycocyanine zijn omgekeerd gecorreleerd met hogere modulatiefrequenties [62].

Tijdelijke verandering in een of meer stofwisselingsprocessen, die de virulentie beïnvloeden - niet-thermisch microgolfeffect. Omkeerbaar bestudeerd verlies van virulentie van virulente cellen van de Agrobacterium tumefaciens-stam

B6, die optreedt bij blootstelling aan microgolven met een frequentie van 10 GHz en een intensiteit van 0,58 mW/cm2 gedurende 30-120 minuten. Verminderd vermogen bacteriën produceren tumoren op aardappel- of uienschijfjes
30 ÷ 60%. Het verlies van virulentie was binnen 12 uur omkeerbaar.
Ontdekt door blootstelling aan subletale microgolfstraling remming van de activiteit van verschillende metabole enzymen in cellen
Staphylococcus aureus [63].

Onmerkbare effecten veroorzaakt door blootstelling zwak microgolfstraling, niet direct gerelateerd aan thermische,

Verwarming wordt sinds het midden van de vorige eeuw bestudeerd. Ze leidden tot hoofdpijn pijn, vermoeidheid, buikpijn, slapeloosheid, prikkelbaarheid en andere negatieve gevolgen van zeer subjectieve symptomen bij werknemers in de nabijheid van apparatuur die microgolven genereert. Sommige fysiologische [64] en biochemische veranderingen [65] waren zijn gemeld bij ratten na lage microgolfbestraling niveau. Er is een modulatie van de immuniteit van zoogdieren door laag microgolfniveaus [120, 121]. Microgolfstraling met lage intensiteit, in wezen beschouwd als een milde niet-specifieke "stress" [66] met effecten op het hele lichaam [67], op het voortplantingsproces [68], op endogeen opioïden, die de cholinerge activiteit in de hippocampus en in het frontaal verminderen cortex van het centrale zenuwstelsel [69].

HOOFDSTUK 2. METHODEN VAN SYNTHESE, BEREIDING EN ONDERZOEK NANOSTRUCTUREERD KOOLSTOFBEVAT MATERIALEN

2.1 Scheiding van nanokoolstofstructuren van natuurlijk gelegeerde structuren verbindingen - shungiet

Natuurlijke heterofasiteit en heterogeniteit van bijna allemaal minerale verbindingen, enerzijds, en de complicatie van de samenstelling en structuur van nieuw gecreëerde composietmaterialen, anderzijds wijzen op het bestaan van significante analogieën tussen hen. In een rij minerale associaties die nauwlettend in de gaten worden gehouden, zoals onderzoekers en ontwikkelaars al meer dan tweehonderd jaar een bijzondere plek worden bezet door shungites, die, door de totaliteit van hun kenmerken, zijn typische natuurlijke composiet. Structureel zijn ze dat geschubde amorfe koolstof met insluitsels van oxiden verschillende metalen en silicium met afmetingen binnen 1 micron. afhankelijk op shungietgesteenten met koolstofgehalte volgens de classificatie VADER. Borisov is onderverdeeld in 5 variëteiten: Shungite-I ($75\% \div 98\%$), Shungite-II (35% ÷ 75%), Shungite-III (20% ÷ 35%), Shungite-IV (10% ÷ 20%) en Shungite-V (minder dan 10%). Het speelt een bijzondere rol in de samenstelling van het fossiel koolstof met een hoge mate van allotropisatie, wat kan verklaar de amorfe wanorde van monokristallijn grafiet, en ontdekte, voor het eerst, dat het er fullerenen, fullerieten en zelfs in zit grafenen [126 - 130].

Zo'n grote verscheidenheid aan kristalstructuren en reacties eigenschappen die kenmerkend zijn voor shungiet, vooral in termen van zijn koolstofcomponenten, bepaalt vooraf de multi-vector aard van zijn toepassingen als verantwoordelijk additief in de metallurgie (activator redoxprocessen), bij de productie van filters fijne reiniging, inclusief membraan, bouwmaterialen (sorptie en elektrisch geleidende structuur), tijdens fabricage, inclusief

inclusief nanogestructureerde composieten (radio-afschermingseigenschappen), in balneologie. Een nieuwe toepassingsrichting van shungiet kan zijn creatie van structurele materialen en technologieën op basis van natuurlijk koolstofnanoclusters, waarvoor de ontwikkeling van nieuwe verrijkingsmethoden vereist is shungite, waardoor het koolstofgehalte op 95 ÷ 98% komt, wat uiteraard zal gebeuren bijdragen aan de vermindering van de technologische keten van fullereensynthese vergelijkbare verbindingen door complexe traditionele methoden [70].

Koolstof in shungite-ertsen is praktisch niet verrijkt mechanische, inclusief flotatie, methoden, wat wordt verklaard door het complex morfologie van de opname ervan in hun belangrijkste silicaatmineraal fase (de koolstofconcentratie in geschubde formaties bereikt 97,5%).

Voor de eerste keer, het probleem van het verhogen van het percentage koolstof shungietverrijking begon in 1931. Instituut "MEKHANOBR"

gebruikte operaties [71]:

ÿ handmatige demontage (verhoging van het koolstofgehalte van 50% naar 65%),

- scheiding in zware vloeistoffen ZnCl en CHBr3 (van 50% naar 70%),

ÿ flotatie met reiniging en gloeien (tot 75%).

In 1984, in experimenten met de verrijking van de rots van de Zazhoginsky-afzetting vervolgens werd een warmtebehandeling toegepast tot 1400 °C gedurende 30 minuten autoclaaf gedurende 10 uur, koken in mineraal

zuren - 3 uur en herhaaldelijk autoclaveren - 5 uur [72].

In 2002 is de mogelijkheid gekomen om gebruik te maken van MHS scheiding en inductie radioresonantie methode om concentraten te verkrijgen met hoge elektrische geleidbaarheid. Elektrische geleidbaarheid van producten verrijking aanzienlijk toeneemt, het asgehalte in het eerste geval neemt af met de helft, en in de tweede blijft het origineel [73]. Hoog ook andere elektrofysische verwerkingsmethoden hebben een kostendrempel shungite - laserablatie, plasmastralen en elektrische boog [132, 135].
Chemische methoden blijven het meest effectief. Op de universiteit

Geologie van het Karelische Wetenschappelijk Centrum van de Russische Academie van Wetenschappen deed onderzoek naar shungiet Shunga- en Zazhogino-afzettingen door calcineren en verwerken gasvormig chloor [74]. Thermochemische behandeling werd uitgevoerd bij 1000 °C bevatten de reactieproducten 64,73% en 99,2% koolstof, en in begintoestand respectievelijk slechts 36,92% en 91,6% voor elk Geboorteplaats. Met dit soort verwerking kunt u het main onzuiverheden - metaalverbindingen, behalve insluitsels van siliciumdioxide.

Andere chemische effecten van hogere kwaliteit waren schungites van de Zazhogino-afzetting werden onderworpen aan de oorspronkelijke inhoud koolstof 33,62%. De impact op de rots werd beperkt tot uitloging autoclaaf op 200°C. De optimale opwarmtijd was minder dan 10 uur. Voorverhittingsbehandeling werd gebruikt vernietiging van de minerale component van het gesteente bij 1350 °C voor 30 minuten, wat het mogelijk maakte om de hoeveelheid amorfe substantie te verhogen tot 73%. Verdere verwerking van het na verrijking verkregen concentraat in gedurende 5 uur met een 10% oplossing van minerale zuren bijgedragen aan een toename van het koolstofgehalte tot 76%. Verder concentraatverrijking door koken in salpeterzuur gedurende 1 uur leidde tot een stijging van deze indicator tot 86%. Koolstofgehalte erin concentraat verhoogd tot 97,5% tijdens secundair autoclaveren in binnen 5 uur. Thermografiegegevens van het uiteindelijke verrijkingsproduct shungite-gesteente valt samen met de gegevens van de eerste shungite-derivatografie variëteiten (Shungite-I) [75].

Voor onze studies [138, 139], de initiële elementaire samenstelling van het onderzochte shungietgesteente volgens energiedispersieve analyse was typerend voor degene die opereerde op basis van het Zazhoginsky-veld productie (Tabel 2.1).

Tabel 2.1

Element	Atoom. %	Element	Atoom. %	
С	72.25	V	0.00	
0	21.55 uur	Fe	0,14	
Na	0.06 Ni		0.00	
mg	0,15	Cu	0.01	
al	0,63	Zn	0.01	
Si	4.83	W	0.03	
S	0.04	Os	0.02	
К	0,22	lr	0.02	
Ti	0,05			

Elementaire samenstelling van shungietgesteente

Volgens röntgenfase-analyse de mineralogische samenstelling

de originele shungietsteen wordt weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2

······································						
Element	%	Element	%			
С	33.62	MNO	0,015			
SiO2	60.20	MgO	0,40			
TiO2	0,24	CaO	0.19			
AI2O	3.84	Na2O	0.08			
Fe2O3	0,66	K2O	1.07			

Mineralogische samenstelling van shungietgesteente

Om de massafractie van koolstofverbindingen in shungiet te verhogen, met

rekening houdend met de beschikbare verrijkingsgegevens [135, 140]. Er werden er drie gekozen

mogelijke methoden voor complexe verwerking van het mineraal met behulp van

malende media: behandeling op hoge temperatuur en chemisch product

uitlogen met kaliumhydroxide en etsen met fluorwaterstofzuur.

Er wordt rekening mee gehouden dat bij het verwerken van shungiet tot temperaturen van 2700 °C

er is weerstand van koolstof-shungietstructuren tegen grafitisering

[76]. Het oorspronkelijke shungietmateriaal werd in de eerste fase vernietigd

mechanisch met handmatige demontage op kleur

teken. Na malen in een vijzel en zeven door een zeef

de granulometrische samenstelling van het gesteente werd teruggebracht tot minder dan 63 micron.

Tabel 2.3

Elementaire samenstelling van shungietgesteente na hoge temperatuur

Element	Atoom. %	Element	Atoom. %	
С	49.47	Ti	0.06	
0	38.07	V	0.01	
mg	0,32	Fe	0,20	
al	1.32	Ni	0.02	
Si	10.10	Cu	0.02	
К	0,40	Zn	0.02	

verwerken

De verwerking bij hoge temperatuur werd uitgevoerd in een Anton Paar-warmtekamer Röntgendiffractometer GBC Emma in lucht bij

800°C gedurende 30 minuten. Aan het einde van de verwerking werd een geel poeder verkregen. oranje met zwarte vlekken.

Chemische verrijking [77] van koolstofverbindingen in shungiet

werd uitgevoerd door te koken bij een temperatuur van 90°ÿ ÷ 100°ÿ in een oplossing

kaliumhydroxide met een concentratie van 300 g/l gedurende 1,5 en 5 uur.

De verhouding van het vaste deel shungiet tot de vloeistof was 1:4. Ook shungiet

1 uur behandeld met 38% fluorwaterstofzuur. IN

in beide gevallen was het belangrijkste doel om het kwarts te verwijderen

raamwerk van SiO2 als resultaat van de volgende meest significante reacties:

Na voltooiing van de behandeling werd het neerslag afgescheiden door decanteren en werd gewassen met een filter totdat het waswater neutraal was.

Elementaire analyse van de resulterende monsters op basis van de resultaten van uitloging en etsen is gegeven in respectievelijk tabellen 2.4, 2.5 en 2.6.

Tabel 2.4

Elementaire samenstelling van shungietgesteente na verwerking

30% kaliumhydroxide-oplossing gedurende 1,5 uur

Element	Atoom. %	Element	Atoom. %	
С	73,79	Са	0,24	
0	20.33	Ti	0.06	
Na	0.13	Fe	0.16	
mg	0.19	Ni	0.00	
al	0,65	Cu	0.00	
Si	4.13	Zn	0.01	
S	0.04	In	0.01	
KI	0.01	Os	0.01	
К	0,21	lr	0.02	

Tabel 2.5

Elementaire samenstelling van shungietgesteente na verwerking

30% kaliumhydroxide-oplossing gedurende 5 uur

Element	Atoom. %	Element	Atoom. %	
С	74.00	KI	0.01	
0	O 19.58 K		0,23	
Na	0.17	Са	0,29	
mg	0,23	Ti	0.06	
al	0,72	Fe	0,92	
Si	3.74	Zn	0.01	
S	0.03	lr	0.01	

Tabel 2.6

Elementaire samenstelling van shungietgesteente na verwerking

38% fluorwaterstofzuur gedurende 1 uur

Element	Atoom. %	Element	Atoom. %	
С	93.13	S	0,12	
0	6.59	KI	0.02	
al	0,14	К	-	

Energieverspreidende röntgenanalyse van koolstofgehalte binnen monsters van shungietgesteente die op verschillende manieren zijn verwerkt, toonden dat aan warmtebehandeling vermindert de hoeveelheid koolstof van 72,25% naar 49,47%, bij uitloging gedurende 1,5 en 5 uur - een toename tot 73,79% en 74,00%, respectievelijk, wanneer geëtst in fluorwaterstofzuur, is de toename tot 93,13% [138, 139].

Dat bleek dus uit de uitgevoerde complexe analyse zuurbehandeling van shungietgesteente in verwarmd fluorwaterstofzuur maakt het mogelijk om het aandeel kwartsmineralen te verminderen, wat natuurlijk leidt tot een verhoging van het aandeel van de koolstoffase. Dit getuigt van vooruitzichten voor het gebruik van zuurbehandeling van schungietmineraal om er nanogestructureerde amorfe koolstof uit te verkrijgen.

2.2 Pyrokatalytische synthese van koolstofnanobuisjes met een ferromagnetische werking katalysator

Microgolfabsorptie in composietmaterialen met insluitsels koolstof nanobuisjes door ons verkregen door de pyrokatalytische methode synthese [142 – 144]. Merk op dat het momenteel voor koolstof is kristallijne vormen worden gekenmerkt door het meest ontwikkelde allotropisme als natuurlijke en kunstmatige oorsprong.

Een van de allotrope vormen van koolstof is diamant driedimensionaal kristal met atomen in de *sp* staat ³-hybridisatie met eenheidscel van een ruimtelijk koolstofrooster in de vorm vlakgecentreerde kubus met een bindingslengte van 0,142 nm (fig. 2.1, a). Naar een ander allotrope modificatie behoren tot grafiet, grafeen en fullereen -2D-vormen met *sp* ²-atomen. Chemische bindingen van atomen in grafiet binnen binnen hetzelfde vlak bevinden zich op een afstand van 0,140 nm, maar de vlakken 0,335 nm van elkaar gescheiden zijn (fig. 2.1, b). Carbin - de derde lineair *sp*- gebaseerde keten (eendimensionale) vorm van koolstof ¹-hybridisatie van atomen (Afb. 2.1, c). Structureel bestaat karabijn uit parallel georiënteerd

koolstoffragmenten met triple - C \ddot{y} C - C \ddot{y} C -, of dubbel gecumuleerd = C = C = C = C = obligatie. Kan gesloten vormen structuren [78]. Shungite sluit de aanwezigheid van *sp*⁰-hybridisatie van atomen, wat overeenkomt met kwantumstippen, dat wil zeggen, insluitsels van single nanoclusters in kwartsmatrices.



Figuur 2.1 - Schematische weergave van bindingen in allotrope vormen koolstof bijvoorbeeld: a - diamant, *b* - grafiet, *c* - karabijn

Een nieuw type tweedimensionale koolstofstructuren - koolstofnanobuisjes (CNT), werd voor het eerst ontdekt door Sovjetwetenschappers Radushkevich en Lukyanovich in 1954, verkregen door thermische ontleding koolmonoxide op een ijzerkatalysator. Helaas verder studies naar de structuur van deze vezels zijn niet door hen uitgevoerd. En pas in 1991, de Japanse wetenschapper S. Ijima, in studies gerelateerd aan met de productie van fullerenen in het plasma van een boogontlading tussen grafiet elektroden, ontdekte koolstofnanobuisjes en bestudeerde ze in detail structuur [79].

CNT's zijn buisvormige structuren die zijn opgebouwd uit koolstofatomen. vorm van regelmatige zeshoeken. CNT's kunnen enkelwandig zijn en meerlagig, dat wil zeggen, bestaat uit coaxiaal cilinders. De uiteinden van nanobuisjes kunnen open zijn (fig. 2.2, a), of

gesloten van koolstofatomen (Fig. 2.2, b), die deel uitmaken van fullereenmoleculen bestaande uit vijfhoeken en zeshoeken [80].





A)

B)

Figuur 2.2 - Structuren van koolstofnanomaterialen: *een* - nanobuis; *b* – nanobuis met gesloten uiteinden

De elektrische eigenschappen van enkele CNT's zijn in wezen hangen af van hun geometrische structuur, in het bijzonder van de diameter en chiraliteit. De vorming van een open enkele CNT kan voorwaardelijk zijn vertegenwoordigen als het vouwen van een enkel atomair grafiet vliegtuig in een cilinder (fig. 2.3). De vectoren **a1** en **a2** zijn elementair grafiet vlakke vectoren. Als een sectie uit het vlak wordt gesneden en rol langs de as van de nanobuis, dan zal zijn chiraliteit en diameter zijn respectievelijk worden bepaald door de richting en lengte van de vectorvorming nanobuis. Kwantitatief kan deze vector worden beschreven door de uitdrukking: **Ck** = *ma1* + na2. Op basis hiervan is de toewijzing van twee vectoren (**a1, a2**) en twee scalaire factoren (*m*, n) is voldoende om te bepalen structuren van CNT's. Bij *m* = 0 of *n* = 0 worden nanobuisjes van een speciale vorm gevormd type "zig-zag", en in het geval van *m* = n - "fauteuil".



Figuur 2.3 - Afbeelding van het coördinatensysteem en chiraliteitsparameters

bij het beschrijven van de structuur van CNT's

Op dit moment zijn er veel bekende methoden voor het verkrijgen UNT. De methode van kathodeverstuiving van een koolstofkathode in een inerte kathode glimontladingsatmosfeer bij een spanning van 1–10 kV [81]. methode laserverdamping van een grafietdoel [82]. Chemische methode neerslag tijdens pyrolyse van een gasmengselstroom (waterstof, koolwaterstof en dampen van een organometaalverbinding) in een vacuümkamer [83].

In ons werk gebruikten we CNT's en/of meerwandig koolstof nanobuisjes (MWCNT's) gesynthetiseerd door katalytische pyrolyse met de vorming van een koolstofkern op het oppervlak van een katalysatordruppel, met de daaropvolgende groei en vorming van een nanostructuur [148 – 149]. De koolstofbron was ethanol geoxideerd tot koolmonoxide, die ontleed op een katalysatordeeltje om koolstof te vormen:

C2H5OH + 2O2 ÿ CO2 + C + 3H2O.

De resulterende koolstof speelde ook de rol van een katalysatorreductiemiddel werd geadsorbeerd en opgelost in het systeem "oplossing van koolstof in de katalysator quasi-vloeibaar koolstofadsorbaat. Het katalysatordeeltje is opgelost koolstof, dreef in een druppel van zijn eigen koolstofadsorbaat (Figuur 2.4). Bij

(2.1)

afkoeling werd de in het deeltje opgeloste koolstof ofwel geadsorbeerd katalysator nanodeeltje, of gedesorbeerd in druppeltjes, die, wanneer beweging werden gevormd in de vorm van MSUNT. Volgens de scan elektronenmicroscopie (zoals hieronder zal worden getoond) in de overgrote meerderheid de meeste nanobuisjes, de diameter van het einddeeltje en de diameter van de nanobuisjes waren ongeveer hetzelfde.

Dus bij oplossen en adsorptie van koolstof in een deeltje vrije energie van het systeem "oplossing van koolstof in de katalysator -quasi-vloeistof koolstofadsorbaat" is dan minder dan de vrije energie van amorfe koolstof zoals in het geval van desorptie van koolstof uit een deeltje, de vrije energie van de "oplossing koolstof in de katalysator – quasi-vloeibaar koolstofadsorbaat" meer vrije energie van een koolstofnanobuisje, dat was de basis bepaling van het werkpunt voor de synthese van MWCNT's van open of gesloten type, zoals weergegeven in respectievelijk figuur 2.4, *b* en c.



Figuur 2.4 - Groei van MWCNT's: a - pyrokatalyse van ethanol aan nikkel nanodeeltjes, b – beginfase van vorming

MWCNT, c is de laatste fase van MWCNT-groei

De productie van MWCNT's [142 – 144] is uitgevoerd in een onderzoek installatie "CVDomna", ontworpen om verschillende typen te verkrijgen koolstofstructuren (nanobuizen, nanovezels, grafietroet, enz.) door de methode van katalytische pyrolyse van een koolstofhoudend damp-gasmengsel (PGS) op substraten en complexe structuren. Installatie ontwerp bevat een reactiekamer voor de vorming van PGS en de synthese van MWCNT's, toevoersysteem voor koolstofhoudend mengsel en foreline-pomp (fig. 2.5). Het vullen van CGM (pure ethanoldamp) vindt plaats na het verpompen met behulp van een voorvacuümpomp van lucht uit de tank van de reactiekamer. Om de koolstofhoudende vloeistof te verwarmen, wordt de vereiste druk ingesteld of temperatuur. De verwarmingssnelheid van ethylalcohol is ingesteld op om te voorkomen dat kiemen koken bij de druk in de werkkamer. De unit is voorzien van een interface-unit met programmabesturing veranderingen in alle technologische parameters (Fig. 2.6.), wat het mogelijk maakt een breed scala aan koolstofnanomaterialen synthetiseren, in het bijzonder enkel- en meerwandige MWCNT's.



Figuur 2.5 - Blokschema van de CVDomna-installatie

De reactiekamer is het belangrijkste werkvolume voor productie van koolstofnanobuisjes. Hij is uitgerust met twee automaten lekken waarmee u complexe drukprofielen in de kamer kunt instellen, evenals een gespecialiseerde gasmenger, die voorziet homogeniteit van het mengsel dat de kamer binnenkomt. In het midden van de kamer staat een werktafel - 1, waarop het monster wordt geplaatst. De temperatuur wordt geregeld met behulp van thermokoppels - 2, naast de tafel. Verwarming wordt uitgevoerd demp nichrome verwarmer - 3. PGM-inlaat - 4 in de kamer vindt plaats via de mixer in de bovenste flens van de reactorkamer. De binnenwand - 5 kamers is een kwartskoepel voor bescherming van de reactiezone. Gebruikt om warmteverlies te verminderen keramische voering met lage thermische geleidbaarheid. Luchtafzuiging van De kamers worden geproduceerd door een foreline-pomp. PGS-toevoersysteem stelt u in staat om een constante druk van koolstofhoudend stoomgas te creëren mengsel bij het reactiekamerlek.

время	температура	1	давление		ПГС/Газ		действие	
00:02:00 0	Скачком	→ 0	Скачком	- 80	Скачком	-		-
00:02:00 150	Линейно	- 0		- 0		•		-
00:02:00 0		→ 0		- 0		•		-
00:03:00 630	Линейно	- 10		- 0				•
00:02:00		→ 30	Линейно	→ 0		•		-
00:03:00		→ 0		- 0		•		•
00:00:00	Скачком	→ 0	Скачком	→ 0		•		-
00:00:01 400	Меньше	→ 0		- 0		•		-
00:01:00 0	Скачком	- 0		- 0		👻 Выкл	ючить насос	•
00:00:01 0		- 0		- 0		- Откра	ыть колпак	-

Figuur 2.6 - Algemeen overzicht van het bedieningspaneel en technologische waarden

syntheseparameters van nanobuisjes

Synthese van MWCNT's omvat:

1. Lucht uit de reactiekamer pompen. Op het eerste moment

tijd is de temperatuur in de kamer gelijk aan kamer T3 en is de druk gelijk aan de stroom

atmosferische P1. De kamer wordt vervolgens leeggepompt tot de grensdruk P3.2. InitiaalwarmteEnstabilisatiesystemen.

De eerste verwarming wordt uitgevoerd met een snelheid van 30 ° C per minuut totdat

T1=600 °ÿ. Vervolgens wordt een thermische stabilisatie van twee minuten uitgevoerd. systeem waarin de temperatuur constant wordt gehouden.

3. PGM-inlaat. Een gas-dampmengsel van ethylalcohol komt de kamer binnen. alcohol met zuurstof, voorverwarmd tot 46°C. Over 2 minuten de druk in de kamer wordt verhoogd tot P2 = 15 kPa en vervolgens gehandhaafd permanent. De groei van nanobuisjes vindt plaats binnen 16 minuten. Koeling kamer wordt uitgevoerd onder vacuüm tot temperatuur T2 = 150 °C. Dan in de kamer wordt in de atmosfeer gelaten, de kamerdop wordt opgetild en verwijderd materiaal met gedeponeerde MWCNT's.

De structurele parameters van de verkregen koolstofnanobuisjes zijn afhankelijk op de procestemperatuur en PGM-druk in de kamer. De temperatuur is van invloed allereerst over de diameter van koolstofnanobuisjes en het aantal defecten. De temperatuurafhankelijkheid van de MWCNT-diameter heeft een minimum bij 600 °C, daarna neemt de diameter evenredig met de temperatuur toe.

De druk in de kamer bepaalt de gasstroomsnelheid, die van invloed is over de mogelijkheid van MWCNT-groei bij een bepaalde temperatuur. Op hoog druk, is het katalysatordeeltje volledig ingekapseld door koolstof en MWCNT-groei vindt niet plaats. Bij lage druk en laag de duur van de procestechnologie van koolstofdeeltjes is niet voldoende vorming van MWCNT's en een aanzienlijk deel van de metaaldeeltjes blijft over niet gereageerd.

Om koolstofnanobuisjes te vormen, is het noodzakelijk om te gebruiken katalysator nanodeeltjes, bijvoorbeeld nikkel nanodeeltjes. Specificiteit reactie van vorming van MWCNT's is zodanig dat het alleen kan voorkomen met een deeltjesgrootte van niet meer dan 100 nm. Dit volgt uit de Gibbs-vergelijking (2.2), waarin in alle thermodynamische kenmerken: – entropie oppervlak, – mechanisch werk en zelfs - chemisch deeltjespotentiaal, wordt de dominante rol toegewezen aan het oppervlak fenomenen:

()-

In overeenstemming met (2.2) is de synthese van MWCNT's alleen mogelijk onder de voorwaarde dat ÿ ÿ 0. In feite betekent dit dat de Gibbs-energie in de begintoestand is systeem moet de energie in zijn uiteindelijke toestand overschrijden.

Zoals toegepast op de beschouwde pyrokatalytische synthese van MWCNT's in de beschreven installatie is het bereiken van ÿ 0 alleen mogelijk dankzij overschot in absolute waarde andere termen in (2.2). Vanaf hier kan de bovenste dimensionale drempel van de katalysator worden bepaald, waaruit de synthese van MWCNT's mogelijk is. Voor deeltjes groter dan 100 ÷ 150 nm Gibbs-energie van amorfe koolstofafgifte is hoger dan andere structuren, waardoor de groei van MWCNT's niet optreedt.

Merk op dat deeltjes van metaalkatalysatoren dat niet kunnen hebben maten kleiner dan 100 nm, omdat door de groei van zijn eigen vrije specifieke oppervlakte, hun chemische activiteit toeneemt, is er

instabiliteit van atomen, en bij verhitting worden agglomeraten gevormd. Voor het verminderen van de deeltjesgrootte van katalysatoren vereist hun stabilisatie voor door het creëren van speciale omgevingen.

Het katalytische materiaal dat in dit werk wordt gebruikt [142 – 144] Het is een paarse vloeistof met een sterke ammoniakgeur.

De katalytische verbinding wordt verkregen door nikkeldichloride op te lossen in ethanol gevolgd door toevoeging van een verzadigde oplossing van ammoniak in water. Na het verkrijgen van de gel wordt het oplosmiddel ervan afgedestilleerd en nikkel deeltjes. Het productieproces van deeltjes wordt als volgt beschreven. vergelijkingen:

$$NiCl2 + 6NH4OH$$
ÿ $[Ni(NH3)6]Cl2 + 6H2O$ (2.3)

[Ni(NH3)6]Cl2 + H2O ÿ NH4Clÿ + NH3ÿ + NiOÿ (bij verwarming). (2.4)

Wanneer ammoniak wordt toegevoegd aan een oplossing van nikkeldichloride in ethanol er wordt een wit-lila suspensie gevormd, met een toename in concentratie ammoniaksuspensie verdwijnt en de vloeistof wordt lila sol, en wanneer verdere verdunning met een heldere - perfecte oplossing hexaammoniumnikkeldichloride in ethanol. katalysator deeltje, gevormd na destillatie, is ofwel een nikkelcluster,

bedekt met een laag nikkeloxide, of is alleen nikkeloxide.

Een sol-gel van [Ni(NH3)6]Cl2 in ethanol wordt afgezet op het substraat. Bij verhitting gel, chloor wordt samen met ammoniak uit de verbinding afgedestilleerd. Op een oppervlak er blijven clusters van nikkel en nikkeloxide over. Door oppervlakte diffusie herclustering van de katalysator treedt op. Uitgaande van een bepaalde temperatuur, resterende zuurstof in de kamer zal de katalysator oxideren, door het te passiveren kan de katalysator bovendien een chemische stof vormen verbinding met het substraat (bijvoorbeeld siliciden). Door oxidatie in verwarmingsproces, de optimale druk van het koolstofhoudende stoomgas mengsel neemt toe met toenemende reactietemperatuur. De analyse toonde dat de synthese van MWCNT's volgens deze methode plaatsvindt bij temperaturen van 500ÿ900 °C. De onderste temperatuurgrens is te wijten aan het begin van een actieve reactie pyrolyse op de katalysator en actieve oplossing van koolstof daarin. Bovenste de temperatuurlimiet is te wijten aan het begin van platina-activering als katalysator in de synthese van nanobuisjes, wat onaanvaardbaar is vanwege het feit dat de reactietemperatuur wordt gemeten met een platina thermokoppel. Installeren een uitgesproken afhankelijkheid van de diameter van de nanobuis van de temperatuur was niet mogelijk, wat kan worden verklaard door de multifactoriële en niet-stationariteit van het proces synthese.

Na het aanbrengen van de katalysator op het substraat en pyrokatalyse erop een karakteristieke roetachtige formatie met een dendritisch structuur zoals geanalyseerd door scanning microscopie. MWCNT-afmetingen variëren van 1 tot 50 nm in diameter (Fig. 3.19). Volgens energie dispersieve analyse nanobuisjes bevatten binnenkant een intercalant en een kiemdeeltje van een katalysator.

2.3 Metaal-polymeer nanocomposieten

Ontwikkeling van draadloze communicatiesystemen en microprocessortechnologie in frequentiebereik (tot tientallen GHz) identificeerde het beveiligingsprobleem

systemen interferentie van Fn informatie elektromagnetisch Onderzoek ongeoorloofd En ontwikkeling toegang. breedband absorbers van elektromagnetische golven in het microgolfbereik voornamelijk gericht op de verschijnselen reflectie en verzwakking, vanwege de complexiteit van het diëlektrische en magnetische permeabiliteit en het veranderen van de impedantie van de media, evenals het creëren absorberende coatings met een duidelijk gedefinieerde nanostructuur. NAAR Bijvoorbeeld de microgolfeigenschappen van dunne elektrolytisch gedeponeerde Fe-Co-films van metaalsulfaat [84]; bimetalen nanoclusters FexCo100's verkregen door thermische ontleding van metaalcarbonylen [85]; poeders nanodeeltjes van ferromagnetische metalen [86] in de vorm van: bolletjes - FeCoNi (diameter van 125 tot 400 nm); staven - Co0.5Ni0.5 (8 nm in diameter en 240 nm lang), schijven - Co0.5Ni0.5 (40 nm in diameter en 10 nm breed); oppervlakte actief gestabiliseerd cetyltrimethylammonium nanodeeltjes CoxMn1-xFe2O4 [87]; paraffinematrix met 80% inhoud koolstof-ijzer microdeeltjes verkregen door pyrolyse van pentacarbonyl ijzer [88]; nanodeeltjes met een hoge magnetisatieverzadigingsdrempel en magnetische permeabiliteit [89]; Fe1-xCox microdeeltjes verkregen semi-katalytische reductie van FeCl2 x 4H2O, CoCl2 x 6H2O en citraat natrium in waterige oplossing [90]. Echter, metalen magnetische nanodeeltjes en absorberen

nanogestructureerde coatings bieden geen brede gigahertz bereik van een redelijk stabiele absorptiecoëfficiënt, omdat het blijkt resonant afhankelijk te zijn van de laagdikte en/of afmetingen, nanostructuren vormen. Vind output verwacht door constructie nano-ingekapselde materialen bestaande uit diëlektrische omhulsels en magnetische kernen, die worden gekenmerkt door effectief elektromagnetische absorptie [156, 157].

We hebben monsters bestudeerd die bij NRU MISiS zijn gemaakt in de vorm FeNi/C, Fe/C, Ni/C en FeCo/C metaal-koolstof nanocomposieten op basis van

polyacrylonitril (PAN) matrix. Volgens [158, 159], voorlopers voor Fe-Ni/C werden monsters van Fe/C en Ni/C gezamenlijk bereid oplossen van PAN en chloridehydraat van het overeenkomstige metaal in dimethylformamide (DMF) gevolgd door verwijdering van het oplosmiddel. De PAN-concentratie in de DMF-oplossing was 5 gew.%. %, metaal 20 gew. % op basis van het gewicht van het polymeer. IJzer werd in de vorm in het FeCo/C-monster gebracht acetylacetonaat (Fe(CH3COCH=C(CH3)O)3), kobaltacetaat (Co(COOH)2). Pyrolyse werd uitgevoerd op een MILA-5000 opstelling met een IR-verwarmingskamer. IR verwarming werd uitgevoerd in een tweetrapsmodus: voorgloeien aan lucht bij 150 en 200 °C gedurende 15 min bij elke temperatuurtrap. IN tijdens verhitting werden de residuen van het aan het polymeer gebonden complex verwijderd oplosmiddel en de initiële cyclisatie en structurering vond plaats PAN. De hoofdfase van IR-verwarming werd uitgevoerd in vacuüm (~ 10-3 mm Hg) bij temperaturen van 500 ÷ 800 °C gedurende het hoofdpodium was 15 minuten (zie tab. 2.7).

Tabel 2.7

Nanocomposiet Initi	ële samenstelling	Metaalconcentratie, gew.%	Verhouding metalen	Synthesetemperatuur	r, °C
FeNi/C	FeCl3(hydr.)- NiCl2(hydr.)/PAN	20	1÷1	500	
Fe/C	FeCl3(hydr.)/PAN	20	-	600	
Ni/C	NiCl2(hydr.)/PAN	20	-	500	
FeCo/C	Fe(ac.ac.)- Co(ac)/PAN	20	1÷1	800	

Initiële parameters van voorlopers voor de synthese van nanocomposieten [158 – 161]

2.4 Analysemethoden voor het bestuderen van de morfologie van oppervlakken, chemische structuur en elementaire samenstelling

2.4.1 Röntgenpoederdiffractiemethode

Voor analyse van complexe monsters in alle stadia

De studie maakte gebruik van de methode van röntgenfase-analyse (XRF).

Röntgenpatronen werden verkregen op een poederröntgendiffractometer GBC EMMA (Enhanced Multi-Materials Analyzer) - Australië. werknemer modus: versnellende spanning - niet meer dan 60 kV, elektrische stroom -80 mA. Een keramische buis met een Cu-anode zendt Kÿ- straling uit met een vermogen 3 kW bij een golflengte van 1,54 Aÿ met gebogen grafiet monochromator. De geometrie van de plek van invallende stralen verandert collimators binnen 0,4 ÿ12 mm. Ingebouwde goniometer met radius 250 mm biedt onderzoeksspectra in het bereik van 30 tot 150 ÿv hogesnelheidsmodus tot 60ÿ/min of precisie - 0,14ÿ/min. Voor gedetailleerde studie van reflecties scannauwkeurigheid - 0,002ÿ s reproduceerbaarheid minder dan 0,0001ÿ.

Functies zoals meerdere detectoren, verwisselbare optiek en onderwerptabellen zijn niet uitwisselbaar. Dus de aanwezigheid van een embedded hoge temperatuur kamer PAARHTK-16 maakt het mogelijk om uit te voeren continue studies tot 1600 ÿÿ. Om verspreid te registreren Röntgenstraling is een parallelle bundeldetector.

De software werd gebruikt om röntgenfoto's te interpreteren. software, waaronder de database ICDDPDF-2 (International Center for Diffraction Data, die meer dan 250.000 materiaalitems omvat). Het regelen van de werkingsmodi van de installatie en het verwerken van de ontvangen Röntgendiffractie wordt uitgevoerd met behulp van een personal computer.

De Wulf-Bragg-voorwaarde bepaalt de richting van de maxima diffractie van röntgenstraling elastisch verstrooid op een kristal: $2d \sin \ddot{y} = n\ddot{y}$, waarbij d de interplanaire afstand is, \ddot{y} de sliphoek (Bragg-hoek), *n is* de orde van het diffractiemaximum, \ddot{y} *is* de lengte golven. Als de belangrijkste parameters voor het karakteriseren van de gedetecteerde reflecties was de maximale intensiteit minus de achtergrond, integrale intensiteit lint is het gebied onder de reflectie (minus achtergrond), is de integrale breedte van de reflectie *b* de verhouding van de integraal intensiteit tot absoluut, en volle breedte op halve hoogte (halve breedte) FWHM (volledige breedte op halve maximum). Vierkant rechthoek die overeenkomt met de reflex wordt bepaald door het product de hoogte lint per breedte op 0,5 (halve breedte) FWHM.

Typische röntgenfoto's voor onbewerkt en chemisch behandeld shungietmonsters, elektrotechnische koolstof en metaalkoolstof nanocomposieten worden getoond in Fig. 2.7 en 2.8 [138 – 139]. Kwalitatief fase-analyse toonde aan dat de monsters (Fig. 2.7, *a*, b) worden gepresenteerd in het belangrijkste mineraal is kwartsiet (SiO2), volgende (Fig. 2.7, *c*, *d*; Rijst. 2.8, *b*, c) - amorfe koolstof en grafiet (Fig. 2.8, *a*, d). Na fluorwaterstofzuurbehandeling van het shungietmonster gevonden significante veranderingen (fig. 2.7, *a*, c). Alle diffractogrammen de aanwezigheid van ferromagnetische metalen wordt opgemerkt, waarvan de analyse zal zijn volgende uitgevoerd.



Figuur 2.7 - Diffractogrammen van de oorspronkelijke shungietsteen (a), hierna verwerking van KOH (b), HF *(c)* en elektrotechnisch koolstof *(d)*



Figuur 2.8 - Diffractogrammen van metaal-koolstof nanocomposieten met insluitsels: a) Fe – Ni; b) Fe; c) Ni; d) Fe - Co

2.4.2 Wijze van scanning (scanning) elektronenmicroscopie en energie dispersieve elementaire analyse

Oppervlaktemorfologie en structurele kenmerken, evenals distributie en kwantitatieve samenstelling van chemische elementen in bestudeerde monsters van microgolfabsorbers werden bestudeerd met behulp van scanning (scanning) elektronenmicroscoop (SEM/SEM): JSM 6610LV van het Japanse bedrijf JEOL. De microscoop heeft een optionele energiedispersieve analysator (EDA) Oxford Instruments X-Max Silicium Driftdetector 20 mm².

In een scanning elektronenmicroscoop, in tegenstelling tot een transmissie microscoop, wordt het beeld van het oppervlak van een enorm monster gevormd wanneer scannen met een gefocusseerde elektronenbundel. elektronenstraal, meestal gescand door progressive raster scanning de positie van de bundel en het signaal vormen het beeld.

Het werk van de microscoop is gebaseerd op het gebruik van hoog ruimtelijke resolutie, wat te wijten is aan de kleine lengte elektronische golven. Als het deeltje energie *W* en momentum heeft, het absolute waarvan de waarde gelijk is aan p, dan hoort daar een golf bij waarvan de frequentie

en golflengte

ÿ —

waarin *h* de constante van Planck is. Deze golven worden de Broglie-golven genoemd. Merk op dat afhankelijk van de spanning van het versnellende elektrische veld kinetische energie van elektronen

maakt het mogelijk hun interactie met atomen in de oppervlaktelaag te bestuderen steekproef. Direct in de oppervlaktelaag (10 Aÿ), Auger elektronen. Hieronder worden regio's onderscheiden: enkele honderden atoomlagen - tot 500 Aÿ - secundaire elektronen, en verder - het gebied tot 3000 Aÿ - terug verstrooide elektronen. Verderop zijn de regio's achtereenvolgens gelokaliseerd: met dezelfde grootte als de karakteristieke röntgenfoto straling, en dan het gebied van continue *röntgenstraling* - 500ÿ, secundair fluorescentie - 50 Aÿ en tot slot het gebied van catoluminescentie, uitlopend tot 3000 Aÿ. Onder onze voorwaarden, optioneel de configuratie van het SEM-beeld maakte het mogelijk om de beelden zo te formuleren in secundaire elektronen (SEM SSE - scanning electron microscopie van secundaire elektronen, SEI - Second Electron Irradiation) uitgezonden door atomen wanneer ze worden geëxciteerd door een elektronenstraal, en in terugverstrooide elektronen (SEM BSE - scanning electron terugverstrooide elektronenmicroscopie, BES - Back Electron verstrooiing).

FSE SEM-beeldvorming voor een plat oppervlak wanneer voortplanting van secundaire elektronen vindt voornamelijk plaats in het monster, zal aanzienlijk verschillen van het monster met hellende oppervlakken, dus omdat het gedeeltelijk open blijkt te zijn, wat gepaard gaat met een grote Uitgang. SEM WEM registreert hoogenergetische elektronen, die gereflecteerd (terugverstrooid) van het volume van het monster onder elastiek interactie met atomen. In dit geval worden zware elementen (met grote atoomnummer) meer elektronen terugverstrooien dan lichte leidt tot een extra verhoging van het contrast, afhankelijk van de massa atoom.

SEM JSM-6610LV kan werken in laagvacuümmodus (van 10–2 mmHg), waarin het mogelijk is om diëlektrische en vocht monsters. Beste ruimtelijke resolutie van deze microscoop is 3 nm en wordt bereikt in de hoogvacuümmodus (10–4 mmHg) bij een versnellingsspanning van 30 kV. bundel wordt gevormd in een thermionisch elektronenkanon met een wolfraam kathode. Uitgerust met een eucentrisch gemotoriseerde monstertafel met een computerinterface kunt u oppervlakken in detail onderzoeken. De tafel kan zijn positie in 5 coördinaten veranderen, zonder te veranderen gezichtsvelden: in X tot 125 mm, Y - 100 mm en in Z van 5 tot 80 mm, met een helling van -20ÿ tot +70ÿ en 360ÿ rotatie.





De aanwezigheid van de derde coördinaat - de hoogte van het monster stelt u in staat om te bouwen driedimensionale afbeeldingen, door een reeks afbeeldingen van één te verkrijgen positionering, maar onder verschillende hoeken. Stereo beeldkwaliteit hangt rechtstreeks af van hoe nauwkeurig de oorspronkelijke positie wordt gehandhaafd monster tijdens zijn rotatie en kanteling (fig. 2.10).



Figuur 2.10 - Rasterafbeelding van het shungiet-afgebladderde oppervlak rotsen behandeld met HF (a) en 3D-modellering van de oppervlaktetopografie (b)

Het voordeel van de SEM die in onze studies wordt gebruikt, is de aanwezigheid detector voor registratie geëxciteerd door een elektronenbundel karakteristiek kwantums (RSMA/EDAröntgenfoto Röntgenspectrale microanalyse / energiedispersieve analyse met golfverspreiding, EDX/WDX - Energie/Wave Dispersive X-ray Microanalyse), waarmee microspectrale distributie kan worden verkregen chemische elementen op het oppervlak. Het was deze kwaliteit die werd gebruikt in het werk om de elementaire samenstelling op alle monsters te bepalen. Actief ². Oxford Instruments X-Max-detector kristaloppervlak is 20 mm voorzien van een gekoeld Peltier-element met temperatuurstabilisatie na 15 minuten kunt u elementen van Be tot Pu registreren. In het bereik van telsnelheden van 103 tot 106 pulsen/s, de stabiliteit van de detectorresolutie en de stabiliteit van de positie van de pieken in het spectrum is niet minder dan ±1 eV. Detectorresolutie

in de driftloze modus niet slechter dan 127 eV op de Mn Kÿ1- lijn en 48 eV op de C-lijn Kÿ1.

mogelijkheden, toegepast SAMEN, geïllustreerd afbeeldingen van het oppervlak van de splitsing van de originele shungite-rots en zijn kenmerkende typische ruimtelijke verdeling van chemicaliën elementen (Fig. 2.9) met een voorbeeld van energiedispersieve analyse (Fig. 2.10).

2.4.3 FT-IR-methode

Voor niet-destructief onderzoek en analyse van heterogeen en heterofasisch systemen met meerdere componenten, waaronder de bestudeerde materialen zowel in de begintoestand als na verwerking, zoals de ervaring leert, IR-Fourier-spectrometriemethoden worden effectief toegepast, inclusief IR microscopie. Toepassing van de IR-Fourier spectrometer Nicolet iS 50 co spectrale resolutie tot 0,125 cm-1 maakte het mogelijk trillingen te bestuderen excitaties in het verre, midden- en nabij-infrarode bereik, dat wil zeggen van 100 tot 15.000 cm-1. Het is belangrijk om te benadrukken dat fluctuaties kenmerkend zijn voor chemicaliën structuur van monsters in vaste fase, zijn precies in de verte en alleen mogelijk gedeeltelijk in het middelste (fundamentele) gebied van het IR-spectrum. Spectrometer uitgerust met een ingebouwd voorvoegsel van de gestoorde volledige interne reflecties (ATR) met een diamantvenster dat de productie van express mogelijk maakt analyse van vloeibare en vaste monsters voor reflectie, software software voor snelle identificatie van stoffen in databanken chemische verbindingen in de kwalitatieve analyse van de onderzochte monsters. Kwantitatieve analyse van zowel individuele stoffen als mengsels kan uitgevoerd met een nauwkeurigheid van 0,1%. Volgens IR-spectroscopiegegevens, metaal-koolstofmonsters, absorptie werd waargenomen bij nauwe frequenties in de intervallen: 500 ÿ 800, 840 ÿ 1600, 1700 ÿ 2400 en 2900 ÿ 3600 cm-1 die overeenkomen met de trillingen van CNT's en verschillende complexen daarmee aangesloten (Fig. 2.11).





2.4.4 Confocale microscopie en Raman-verstrooiing

Om de structurele kenmerken van de bestudeerde materialen te bestuderen de scansonde confocale Raman spectrometer OmegaScope AIST-NT (Rusland), die combineert mogelijkheden van scanning sonde, optische confocale en fluorescentiemicroscopie en Raman-microspectrometrie. Waarin zowel een hoge ruimtelijke resolutie (400 nm) als een spectrale resolutie (tot 0,8 cm–1) worden vrijwel zonder monstervoorbereiding bereikt. Van bijzonder belang is de afwezigheid van schade in het meetproces, en ook de snelheid van het verkrijgen van Raman (Raman) spectra lichtverstrooiing (RLS). In feite is dit onderzoekscomplex maakt kwantitatieve analyse van zowel individuele stoffen als mengsels, om de kinetiek van geïnitieerde thermochemische reacties te bestuderen laserstraling met hoge intensiteit met daaropvolgende bepaling herschikking van de chemische structuur door Raman-methoden. Voorbereidend gebruik van een confocale microscoop Aist-NT (met de hoogste vergroting tot 7670×) werd granulometrische analyse uitgevoerd poeder monsters. Een gebied selecteren voor het ontvangen van vee werd uitgevoerd op confocale beelden van de studieobjecten (Figuur 2.12). De spectra werden bepaald in gebieden met visueel verschillende kenmerken die typerend zijn voor verschillende mineralogische componenten.

Als een indringende bron in het complex,

3 lasers met golflengten van 473, 532 en 785 nm met vermogens tot 25, 50 en 80 mW, respectievelijk. De beste ruimtelijke resolutie wordt bereikt met met behulp van een bron met de kortste golflengte - 473 nm, wanneer het waarde bereikt 0,4 µm

Om de Raman-spectra in het complex te registreren, een afgekoeld tot -50 ÿÿ Andor DV420A-BV spectroscopische CCD-camera uitgerust met een matrix van 1024 × 256 pixels (de grootte van één pixel is 26 ÿm), wat biedt registratie van verstrooide straling in het bereik van 200 ÷ 1000 nm.

In deze configuratie is alleen de anti-Stokes-component gefixeerd Raman-spectrum, dat wordt verzekerd door het gebruik in optisch edge-filter spectrometersysteem (Semrock) voor elke golflengte opwindende straling. Spectrale resolutie is afhankelijk van diffractierooster gebruikt. De hoogste resolutie is 0,8 cm–1 geeft een rooster met 1800 lijnen / mm, wat natuurlijk het gemeten gebied verkleint spectrum. Daarnaast heeft het complex 2 Glan-Taylor prisma's, werkend in het spectrale bereik 390 ÿ 1000 nm, wat voorwaarden schept om de polarisatie van de initiërende bron stapsgewijs te wijzigen van 0ÿ naar 100ÿ om 6'. Deze omstandigheid is uiterst belangrijk voor het bestuderen van de bestudeerde dus complexe verspreide systemen in verschillende stadia van verwerking. Bij het studeren Raman-spectra werden achtereenvolgens gebruikt bij diffractieroosters het aantal lijnen per 1 mm: 150, 600 en 1800. In de eerste fase een overzicht

spectrum tot meer dan 10000 cm–1, waarlangs de belangrijkste lijnen verder gaan in detail bestudeerd met een hogere spectrale resolutie.



Figuur 2.12 - Afbeelding van deeltjes machinaal bewerkt



Figuur 2.13 - Shungite runderen tot (__._.) en na HF- behandeling
(____) Een van de 900 veescans met C60 -lijnen (_____)
Een typisch spectrum van Raman (Raman) verstrooiing van licht en

veranderingen tijdens chemische behandeling in het monster worden getoond in Fig. 2.13.

De aard van de waargenomen veranderingen met de bijbehorende conclusies zal zijn verder worden besproken.

2.4.5 Atoomkrachtmicroscopiemethode

Onderzoek naar de structuur op nanoschaal van gegenereerde microgolven absorbers werden ook uitgevoerd op een scanning probe microscoop SmartSPM AIST-NT (atoomkrachtmicroscoop - AFM). Deze ACM stelt u in staat om de kenmerken van het reliëf van zowel geleidend als geleidend te visualiseren niet-geleidende oppervlakken met een resolutie van tientallen angström en tot naar atomair. AFM-metingen zijn gebaseerd op krachtinteractie (forces intermoleculaire van der Waals interactie) tussen het oppervlak van het testmonster en de vrijdragende sonde. In feite een product van het type zijn MEMS, de gehele cantilever is gemaakt van monokristallijn silicium in één technologisch proces van etsen. Rechthoekig lichaam cantilever heeft afmetingen van $1,5 \times 3,5 \times 0,5$ mm met een of twee cantilever bundels (95ÿ350×30×1ÿ2 µm) werken als een micromechanische element. De gevoeligheid van de cantilever wordt precies bepaald door het elastiek straalparameters opgenomen in de elasticiteitsvergelijkingen. vrijdragende balk cantilever heeft een record hoge elasticiteit: de hoogste de resonantiefrequentie is meer dan 400 kHz en de vermogensconstante varieert van 0,1 tot 100 N/m. Hierdoor is het mogelijk de krachten die erop inwerken te registreren sonde vanaf de zijkant van het onderzochte oppervlak langs de bocht. Aan het einde van de balk er is een tip - een vrijdragende sonde. Een belangrijk kenmerk van de sonde is de kromtestraal, die momenteel wordt teruggebracht tot fracties van 1 nm. We hadden cantilevers met typische sondes - 5ÿ25 nm.



Figuur 2.14 - Atoomkrachtbeelden van de originele shungiet producten voor - *(a,* b) en na behandeling in fluorwaterstofzuur *(c)* De ruimtelijke resolutie van de AFM in de hoogte is slechts beperkt de ruis van het opnamesysteem is 0,03 nm. Laterale resolutie

wordt natuurlijk bepaald door de parameters van de vrijdragende sonde en van geometrische overwegingen kunnen worden berekend uit de uitdrukking:

$$d = (8(R + r)\ddot{y}Z)^{1/2},$$
 (2.5)

waarbij R en r de straal van de sonde en het object zijn, is $\ddot{y}Z$ de hoogteresolutie.

Metingen van dit niveau kunnen uiteraard alleen worden uitgevoerd door geautomatiseerde positionering van de sonde en fotodiode met met behulp van zeer gevoelige piëzo-actuatoren. Monsters voor metingen mogen afmetingen hebben van 40 × 40 × 15 mm met een maximaal gewicht van niet meer dan 100 g. Metingen worden gedaan door langs de XY-assen op het gebied te scannen 100 × 100 µm, en langs de Z-as 15 µm. Niet-lineaire vervorming langs de XY-assen bereik niet meer dan 0,03% en langs de Z-as niet meer dan 0,04%.

Onderzoekt met nanometerresolutie van oppervlakken, gevormd in het proces van mechanisch-chemische verwerking van shungiet minerale verbindingen, maakte het mogelijk om patronen in hun te ontdekken structurele veranderingen (Figuur 2.14). Gedetailleerde analyse van AFM-resultaten verder onderzoek zal worden gedaan. 2.4.6 Microgolfvectoranalysator

Circuitparameters (S-parameters) worden beschreven door een verstrooiingsmatrix ("S" - Engels. "verstrooiing"), die sinds de jaren 60 zijn gedefinieerd met behulp van microgolfnetwerkanalysator, voor het eerst geïntroduceerd door het bedrijf Hewlett-Packard [162, 163].

De verstrooiingsmatrix, voor het eerst geïntroduceerd door John Wheeler in 1937, is een wiskundige constructie. Bij het analyseren van microgolfapparaten aan elke ingang en uitgang van de multipool wordt incidenteel geïntroduceerd en gereflecteerd golven gedefinieerd door respectievelijk a1, b1 en a2 en b2 . S-matrix maakt het mogelijk kwantitatief nauwkeurig de eigenschappen beschrijven van zowel eenvoudig als complex "zwarte dozen" om radiofrequentie-energie te detecteren die er doorheen gaat multipool- en microgolfapparaten. Over het algemeen voor radiofrequentie signaal dat via één poort wordt geleverd, wordt een deel ervan gereflecteerd terug, wat verdwijnt en verlaat via andere poorten (versterkt, verzwakt of omgezet in warmte). S-matrix voor N-poorten bevat N^2 coëfficiënten (S-parameters), die elk vertegenwoordigen mogelijke I/O-paden.

S-parameters zijn complex (magnitude en hoek), amplitude en de fase van het ingangssignaal kan variëren in het circuit, zodat u dit kunt bepalen versterkings- (of verzwakkings-) factoren. S-parameters zijn gedefinieerd voor systeemfrequentie en impedantiegegevens en variëren afhankelijk van frequenties voor elk niet-ideaal circuit. S-parameters zijn meestal zijn geschreven matrix - Sij. Het aantal rijen en kolommen moet zijn gelijk is aan het aantal poorten. Voor de S-parameter is *j* de poort waarin de signaal (invoer), en *i* is de poort waardoor het verzonden signaal wordt geanalyseerd (vrije dag). De coëfficiënt S11 wordt bijvoorbeeld bepaald door de verhouding signalen die worden gereflecteerd vanaf poort nummer 1, en die erop valt. De parameters langs de diagonaal van de S-matrix worden de coëfficiënt genoemd reflecties, omdat ze alleen verwijzen naar wat er op hetzelfde gebeurt

poort, terwijl off-diagonale S-parameters worden aangeroepen

voordelen omdat ze naar verschillende poorten verwijzen.

Voor een circuit met één poort zal de verstrooiingsmatrix uit één bestaan onderdeel S11.

Voor circuit met twee poorten:

(

).

).

Voor circuit met drie poorten:

Elk van de S-parameters is een vector, dus als werkelijke gegevens werden gepresenteerd in matrixformaat, amplitude en voor elke Sij wordt de fasehoek gepresenteerd.

(

S-parameters beschrijven de reactie van een N-pool op een signaal bij elk haven. Het eerste cijfer in de index verwijst naar de output, het tweede cijfer verwijst naar naar de ingang. Dus de coëfficiënt S21 komt overeen met het antwoord op poort nr. 2 als gevolg van door een signaal naar poort nr. 1 te sturen. De meest voorkomende is circuit met twee poorten, een vierpolig genoemd (fig. 2.15), S waarvan de parameters eenvoudig softwarematig te modelleren zijn

hoge precisie bieden.





Spanning wordt toegepast op de ingangen gemarkeerd met "a" en verwijderd van uitgangen "b", dan worden alle vier de S-parameters als volgt geschreven:

—, —, —, (2.6)

(2, 7)

en de overdrachtsvergelijking in matrixweergave:

() ())().
$$(2.7)$$

De elementen van de S-matrix geschreven in de algemene vorm Smn = bm/an, in volgens (2.6 en 2.7) voor m = n, respectievelijk – S11 en S22 zijn reflectiecoëfficiënten, en voor m ÿ n, respectievelijk - S12 en S21 transmissie coëfficiënten. Vanuit deze posities, voor de taken waarin we oplossen parameters S12 en S21 zijn het meest informatief belangrijk , aangezien het de veranderingen in parameters tussen het incident en het meest volledig weergeeft gereflecteerd door elektromagnetische golven in de bestudeerde microgolfabsorbers.

De waarden van S-parameters worden lineair of in geregistreerd logaritmische schaal (dB). Omdat de S-parameters de verhouding zijn spanningen, grootheden die verschillende ordes van grootte hebben, is handiger uitdrukken in dB:

Merk op dat de krachtverhouding wordt uitgedrukt in 10lg. Kansen spanning 20lg, omdat het vermogen evenredig is met de spanning in vierkant. Input- en outputreflectiecoëfficiënten van netwerken (bijvoorbeeld S11 en S22) kunnen worden uitgezet op een Smith-kaart. Overdrachtscoëfficiënten (S21 en S12) worden over het algemeen niet op de kaart uitgezet.

Vectoranalyzers werden gebruikt om S-parameters te meten schakelingen: Anritsu Wiltron 37369A en Agilent PNA-L N5230A. gemeten complexe reflectie- en transmissiecoëfficiënten van microgolfstraling in frequentiedomein van 40 MHz tot 40 GHz met microgolfstralingsspanning U = 3,2 mV en vermogen P = 0,2 ÿW. De amplitude-fase kenmerken in het bestudeerde bereik.









1 - vectornetwerkanalysator Wiltron 37369A (PNAL N5230A);

2 - coaxiale golfgeleiderovergang (resonator); 3 - coaxiaal

golfgeleiders; een kopie van het scherm van de microgolfstralingsspectrumanalysator met de parameters

S11 en S21 voor CNT's in de resonator - b

De Wiltron 37369A-serie netwerkanalyzers (Figuur 2.16) gebruiken gesynthetiseerde frequentiebronnen, die het onderhoud verzekert het vereiste vermogensniveau over het gehele frequentiebereik, geeft relatieve metingen in aanwezigheid van meerdere ontvangers. De logaritmische amplitude, fase, impedantie, polarisatie in lineaire en logaritmische schaal, groepsvertraging, reële en denkbeeldige delen van permeabiliteit, SWR, vermogen. Snelheid meten niet overschrijdt 9 µs per punt, rekening houdend met de aanwezigheid van 32 onafhankelijke metingen kanalen met elektronische kalibratie (ECal) gedurende het hele bestudeerde bereik.

2.4.7. Methode met 4 sondes voor het meten van de elektrische geleidbaarheid van poeders

De transmissie, reflectie en verstrooiing van microgolfstraling is sterk uitgesproken geleidbaarheid van het gebruikte materiaal (zie 1.2), daarom heeft de meting van deze elektrofysische eigenschap een grote betekenis. De kern van alle bestaande meetmethodes elektrische geleidbaarheid ligt in de wet van Ohm (U), waarin kenmerken structuur en fasesamenstelling van het materiaal zijn hierin integraal meegenomen weerstand. De situatie verandert aanzienlijk met de overgang naar ultrafijne systemen, die in het werk worden bestudeerd. Met een verhoging het niveau van spreiding van elementen samen met een regelmatige toename van het specifieke weerstand ($\ddot{y} = RS/L$) en diëlektrische constante. begin grootte-effecten verschijnen als gevolg van een toename van de fractie atomen in oppervlaktelaag en daardoor is het zelfs in nanoclusters mogelijk discretisatie van energieniveaus van atomen. In de integrale vorm van de wet Ohm, deze afhankelijkheid ziet er zo uit: $E(r) = \ddot{y}(r)J(r)$. De specifieke weerstand $\ddot{y}(r)$ aan de korrelgrens is \ddot{y} g.z. \ddot{y} 3 \ddot{y} 10-12 Ohm \ddot{y} cm en vrijwel constant bij bulkmaterialen. Totale soortelijke weerstand van verspreide systemen $\ddot{y}\ddot{y} = \ddot{y}0 + \ddot{y}g.z.(S/V)$ zal toenemen door de toename van de invloed van het gebied

korrelgrenzen *S* voor een gegeven volume V. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het kiezen van methoden voor het bestuderen van de elektrische eigenschappen van dergelijke materialen.

De traditionele methode met 2 sondes vereist monsters van voldoende lengtes met een voorkeur rechthoekige doorsnede

Monsterweerstand ÿ kan worden gemeten door te meten

spanningsval over het monster als gevolg van het passeren van een bekende (constante) stroom er doorheen (Fig. 2.17): $\ddot{v} = US/(L)$.



Figuur 2.17 - Schema van de methode met twee sondes voor het meten van elektrische geleidbaarheid

Het grootste nadeel van deze methode is de weerstand testsnoeren. De beschreven methode kan niet worden gebruikt voor materialen met willekeurige vormen. Voor sommige soorten materialen het solderen van meetsnoeren is moeilijk. In het geval van halfgeleiders, verwarming van de monsters door solderen leidt tot de injectie van onzuiverheden in de materialen, waardoor de interne elektrische weerstand wordt beïnvloed. Daarnaast, sommige metalen contacten vormen een Schottky-barrière op halfgeleiders.

Om deze problemen op te lossen, hebben we een 4-probe gebruikt methode [91] met behulp van een LCR-meter - 1 (Fig. 2.18), die verstrekt meting van de soortelijke weerstand van monsters met een grote verscheidenheid aan vormen, maar met een constante dwarsdoorsnede.

Een ohmmeter was een precisie GWInstek LCR meter 819 met automatische, programmeerbare gebruikersinterface. Bij metingen zorgden voor voldoende nauwkeurigheid van de inductantie L, capaciteit C, actieve *R* en impedantie *Z*, dissipatiefactor *D*, kwaliteitsfactor *Q* en diëlektrische verliestangens bij frequentiebereik
van 12 Hz tot 100 kHz met een basisfout van 0,05%.

De meetresultaten werden weergegeven op de ingebouwde LCD-monitor of RS-232 gebruiken op een personal computer. De LCR-meter is uitgerust 4-aderige meetkabel met dragende "Force" en verwijderbaar "Sense" pinnen - 2. Testcondities kunnen worden opgeslagen en uitgelezen uit het interne geheugen, wat de voorbereidingstijd verkort afmetingen. Voor het experiment werd het instrument gekalibreerd op open contacten "OpenTest" en kortsluiting "ShotTest". IN verschil met het tweepolige model in deze studie, is het solderen vervangen klemcontacten, waardoor een strikt constante druk wordt uitgeoefend steekproef.

Het schakelschema van deze methode bevat vier elektroden (Fig. 2.18) gecoat met een zeer geleidend edelmetaal. Voor voedingsspanning 1 V, twee vermogenssondes "Force +" worden gebruikt en "Force -" hoogohmige bron van gelijk- of wisselstroom. Meting van weerstand en andere elektrofysische parameters treedt op met twee andere sondes "Sense +" en "Sense -". ongewenst spanningsval op de contactpunten, vergezeld van verwarming, geminimaliseerd vanwege de hoge ingangsimpedantie van de voltmeter in het circuit.

Poedermonsters de gewenste vorm geven met een constante sectie gebruikte laboratorium hydraulische pers PGR-10 (Fig. 2.18) tafeltype - 3. Het werkingsprincipe is gebaseerd op injectie druk in de hydraulische pers door middel van een handhendel. indrukken de kit heeft een manometer - 4 met een limiet van 250 atm. Voor persmonsters - 5 gebruikte mallen (matrijs en stans) - 6 met een diameter van 20mm. De maximale hoogte van de geperste monsters was 25mm.



Figuur 2.18 - Schema van de experimentele methode met 4 sondes geleidbaarheidsmetingen: 3 - laboratorium hydraulische pers PGR-10; 6 - mallen; 5 – poedermonster; 1 - LCR-meter

GWInstek7819; 4 - manometer; 2 - volgorde van stroom en verwijderbaar

LCR-meterpaneelsondes

De temperatuurafhankelijkheid van elektrische geleidbaarheid bestuderen onderzocht koolstof nanogestructureerde materialen was verwarmingselement is gemaakt. De basis is keramiek dempen - 1 met een verwarmer gemaakt van nichrome draad van 0,4 mm dik - 2. De verwarmer was bevestigd in een diëlektrische behuizing van een cilindrische behuizing mallen met een diameter van 29 mm en een lengte van 67 mm. Vrije ruimte tussen het lichaam en de moffel waren gevuld met warmte-isolerende chamotteklei. De uiteinden van de moffel zijn open. Het poeder werd erin geplaatst en vastgeklemd messing mallen - 3 met een diameter van 8 mm bij een druk van ongeveer 0,1 Pa. De voeding van de oven en temperatuurregeling werd uitgevoerd met met autotransformator LATR-1M. De temperaturen werden binnen gecontroleerd in het bereik 20 ÷ 800°C met een koper-constantaan thermokoppel - 4, ingebracht door niet-doorgaand gat in de mal.



Figuur 2.19 - Schema van het experimentele verwarmingselement: 1 -

keramische moffel; 2 - nichroomdraad; 3 - messing pers

formulieren; 4 - koper-constantaan thermokoppel

De verandering in weerstand werd gemaakt door LCR-meter Instek LCR7821 met

opname in automatische modus in het computergeheugen met behulp van

optionele RS-232-interface. De berekening van elektrische geleidbaarheid werd uitgevoerd met

rekening houdend met de diameter en afstand tussen de compressie-elementen van de pers

formulieren.

HOOFDSTUK 3. NANOSTRUCTUREERDE KOOLSTOFBEVATTEN MATERIALEN

3.1 Structurele eigenschappen van natuurlijk gelegeerde shungietmaterialen

Hoge reactiviteit bij blootstelling aan microgolven straling van materialen met insluitsels van koolstofstructuren en koolstof verbindingen vereisen uiteraard de vaststelling van kenmerken van hun structuur structuur, hun invloed en relaties met reflecterend en absorberend eigenschappen. De analyse laat zien dat dergelijke materialen licht van gewicht zijn en lagere kosten in vergelijking met coatings gemaakt van metalen of hun oxiden [92] zijn nog grotere voordelen op het gebied van microgolfeigenschappen nieuwe composietmaterialen gemaakt met behulp van koolstof structuren en koolstofverbindingen in de vorm van additieven [93]. Hierin een bijzondere plek verbinding, neemt natuurlijke shungiet, een natuurlijk natuurlijk persoon gelegeerd met koolstofhoudend composiet, wordt het gekenmerkt door goede initiële geleidbaarheid en porositeit van nanogrootte [126 –

129], wat de interesse in hem vooraf bepaalt.

Rekening houdend met de heterofasische en heterogene samenstelling van natuurlijk shungites, hun studie impliceert het complexe gebruik van de meesten moderne analytische methoden, waarvan de beschrijving werd gepresenteerd hierboven in hoofdstuk 2. Om zulke complexe objecten te analyseren, is er geen alternatief de methode van end-to-end en consistente controle van structurele en faseveranderingen in elke verwerkingsfase, beginnend bij het begin staten. Morfologie van het oppervlak van de bestudeerde natuurlijke monsters shungites in de begintoestand en na verwerking werden bestudeerd door SEM JEOL JSM6610LV (W-kathode), en elementaire compositie door Oxford EDA Instrumenten met de hierboven beschreven parameters (paragraaf 2.4.2).

In SEM-afbeeldingen van verschillende gebieden van natuurlijke shungite-splitsing met insluitsels van metaaloxiden en siliciumdioxide, zoals blijkt uit de vergelijking rijst. 2.9 en 3.1 zijn er vrij sterke structurele verschillen.

Insluitingen van metaaloxiden (tabellen 2.1 en 2.2) hebben de neiging zich te vormen typische gesteentevormende mineralen: kwarts, mica, chlorieten, albiet, calciet en dolomiet, evenals pyriet, violariet, chalcopyriet, sfaleriet, milleriet en anderen [129]. Op afb. 3.1 ze komen overeen met de centrale diagonale ader met karakteristieke optische schittering, welke Volgens EDA onderscheidt het zich door een hoog gehalte aan oxiden van dergelijke metalen als K, Mg, Al, wat aangeeft dat het bestudeerde natuurlijk is shungiet (Zazhoginsky-afzetting) tot type III volgens de classificatie [94]. Opmerkelijk is de afwezigheid van C precies in de aangegeven centrale regio van minerale kristallen. Zoals te zien is op afb. 2.9 met SEM afbeeldingen van een natuurlijke splitsing van hetzelfde gesteente, maar in het gebied van de oxide De contouren van de siliciumstructuur zijn vrij ovaal. Volgens EDA, deze contouren zijn eigenlijk gevormd uit Si, C en O, wat overeenkomt met conclusies [129, 130] over de aanwezigheid van een siliciumraamwerk, dat gevuld is koolstof, zoals eerder opgemerkt in onze werken [129, 138, 139].

Langdurig mechanisch slijpen van shungietsteen, inclusief parelmolen (Sec. 2.1) gaf geen homogene structuur. Na screening van slijpproducten afmetingen van individuele structurele elementen variëren van honderden nm tot enkele microns (Fig. 3.2.). Duidelijk dit vanwege de complexiteit van de mineralogische en chemische samenstellingen, en ook significant verschillende hardheden van individuele componenten (gemiddeld waarde 100 ÿ 150 MPa). Laten we in dit verband eens kijken naar de volgende twee belangrijke omstandigheden. Ten eerste de negatieve impact nanokoolstofstructuren in natuurlijk shungiet [126 - 130]. NAAR de aanwezigheid van shungiet in de samenstelling kan bijvoorbeeld de sterkte beïnvloeden, fulleriet, dat 2 keer harder is dan diamant. Ten tweede tijdens mechanische activering -1/2 [95]. de bekende Hall-Petch-wet begint te werken: $H\ddot{y} = H0 + kD$ Microhardheid - H

ÿ blijkt sterk afhankelijk te zijn van de grootte deeltjes - D, en rekening houdend met het feit dat de doorlaatbaarheid



rotsen met insluitsels van metaaloxiden en zijn energieverspreiding analyse in C, Si, O, Al en K X-ray microspectrale contrasten

grenzen - *k* ertussen neemt toe met een afname in grootte, er zal zijn verharding van het materiaal. Dat merken we ook als het op maat wordt geplet deeltjes 10 ÿ 20 nm, wanneer volgens [95] de maximale hardheid is bereikt, verder slijpen met de overgang naar amorfe structuren vermindert hardheid van materialen.



Figuur 3.2 - SEM-afbeelding van shungietpoeder met

karakteristieke deeltjesgroottes

Element-voor-element verdeling van EDA in splitsingen van geselecteerde monsters op

mapping met een resolutie van 1 µm met voldoende representativiteit

voor deze natuurlijke shungiet, getoond in Fig. 2.10 en afb. 3.3,

komt overeen met gegevens van andere gepresenteerde methoden, bijvoorbeeld [96].

Van de elementaire verdeling in Fig. 3.3 volgt dat in de begintoestand

natuurlijk shungiet met een relatief hoog gehalte

koolstof - 74,4%, er is een hoog aandeel zuurstof - dat wil zeggen 19,0% oxiden, uiteraard, metalen en silicium - 5,5%.



Figuur 3.3 - Histogrammen van de elementaire samenstelling van de originele shungiet poeder (donker) behandeld met HF (grijs) en opnieuw behandeld met HF

(wit)

Wanneer röntgenfase-analyse van natuurlijke shungiet (fig. 3.5) volgt houd er rekening mee dat de integraliteit van de vorming van de waargenomen diffractie reflecties maakt het moeilijk om de kenmerken van hun microfase vast te stellen verdeling. De complexiteit van spectrumidentificatie wordt verder bemoeilijkt door het feit dat dat röntgenverstrooiing op micro- en nanokoolstofcomponenten van shungiet, leidt natuurlijk tot de vorming van een amorfe halo voor röntgenstralen, bijvoorbeeld in interval $2\ddot{y} = 20\ddot{y}\ddot{y}40\ddot{y}$. In dit bereik overlapt het de lijnen karakteristiek voor \ddot{y} - kwarts ($2\ddot{y} = 26,55\ddot{y}$) en muscoviet KAI2(AISi3O10)(OH)2 ($2\ddot{y} = 34,81\ddot{y}$), die worden weergegeven door micro-insluitsels (volgens SEM-gegevens, rijst. 3.1) in de samenstelling van de bestudeerde shungiet. Het is kenmerkend dat in hetzelfde bereik is de reflex voor koolstofstructuren zoals buizen (002). Deze gegevens komen goed overeen met de resultaten van [96], waarin shungiet uit een andere afzetting (Shulga-nederzetting), waar de vorming van een amorfe röntgencomponent, maar in 2 bereiken: $2\ddot{y} = 20\ddot{y}\ddot{y}40\ddot{y}$ en 50 \ddot{y} 70 \ddot{y} [138, 167]. Vergelijkende analyse van veranderingen, voortkomend uit het proces van monstervoorbereiding volgens de gegevens gepresenteerd in rijst. 3.5 wordt hieronder gehouden.

Spectra van Raman-verstrooiing (RS) op monsters voor - en na verwerking verkregen met een ruimtelijke resolutie van ten minste 500 nm en met een spectrale resolutie van maximaal 0,8 cm–1 (paragraaf 2.4.4) worden gepresenteerd in afb. 2.13. De eerste aangeslagen verstrooiingslijn D – A1g (1354 cm) komt overeen ⁻¹) met trillingsbewegingen van de gehele koolstofstructuur, de tweede G – E2g (1593 cm–1) komt overeen met antisymmetrische trillingen van koolstofatomen in verschillende structuren die door hen worden gevormd: bolletjes, kettingen , ringen. In het geval van het oorspronkelijke shungietmateriaal manifesteren deze trillingen zich ook in de spectra van de tweede orde: 2D - 2688 en 2G - 2916 cm–1 . Alle deze trillingen komen overeen met koolstofstructuren met sp ² – hybridisatie: orthorhombisch, rhombohedraal en andere kenmerkend voor verschillend soorten koolstof nanobuisjes. Deze conclusie wordt ook bevestigd door de data transmissie-elektronenmicroscopie, volgens welke koolstof

structuren in shungite worden weergegeven door geaggregeerde buizen met afmetingen

30 × 0,5 nm en daaruit gevormde bolletjes, in de vorm van verwarde clusters

CNT's met een diameter van ongeveer 100 nm [168, 169].

3.2. Karakterisering van koolstofhoudende materialen uit natuurlijk shungiet

Zoals al opgemerkt in paragraaf. 2.1 om de massafractie koolstof te verhogen complexe monstervoorbereiding en verwerking van het mineraal werd gebruikt shungiet. De methode van end-to-end analyse van veranderingen in de structuur en samenstelling op elk fase van monstervoorbereiding maakte het mogelijk om het meest effectief uit te werken opeenvolging van technologische operaties, die illustreert rijst. 3.4. Na mechanische desintegratie bij hoge temperatuur verwerking met temperaturen tot 800ÿ C, een toename van het aandeel koolstof formaties slechts de helft van hun oorspronkelijke inhoud in het natuurlijke shungietsteen met gedeeltelijk sinteren van poeders. In de studie natuurlijke shungiet van de Zazhoginsky-afzetting, het koolstofgehalte

materialen kunnen worden verhoogd tot 74% door KOH uit te logen bij opwarmen tot 90-100 ÿÿ, wat volgens deze indicator overeenkomt met eerder behaalde resultaten op shungietgesteenten van andere afzettingen [126 – 137, 140, 141].

De hoogste opbrengst aan koolstofinsluitsels uit shungiet bereikt is door ons verkregen tijdens het 2-traps etsen van poeders in HF. IN als resultaat van een dergelijke behandeling was het koolstofgehalte in de eerste trap verhoogd tot 79%. De producten van de eerste zuurbehandeling waren verder gemalen in een parelmolen gedurende 1 uur. Na hiervan werd binnen 1 uur een tweede ets uitgevoerd, eveneens in fluor zuur. Het aldus verkregen gehalte aan koolstofmaterialen bedroeg ruim 93%. De afmetingen van producten van een dergelijke verwerking volgens SEM-gegevens waren ongeveer 200 nm. Het is deze verwerkingsvolgorde shungietsteen was de basis bij het voorbereiden van monsters voor verder onderzoek [138, 139].

Vergelijkende veranderingen in de elementaire samenstelling van shungite per atomaire massa volgens EDA in de begintoestand en in elke fase behandeling met fluorwaterstofzuur wordt getoond in Fig. 3.3. Let daar op elementaire samenstelling van natuurlijke shungite rock Zazhoginsky veld is consistent met de gecertificeerde gegevens van de huidige op basis van dit productieveld [96]. Shungite-monsters het tot poeder vermalen mineraal had afmetingen in de orde van grootte van 1 ÷ 2 en meer micron (Fig. 3.2) met een vrij grote spreiding. Al in de eerste fase van verwerking met fluorwaterstofzuur kreeg het poeder een grotere homogeniteit. Na 2 gefaseerde verwerking, het niveau van homogeniteit van koolstofformaties volgens granulometrische analysegegevens bereikten 90%, en hun meeste de karakteristieke grootte was niet meer dan 166 nm lang en minder dan 100 nm in over, zoals duidelijk wordt aangetoond door het SEM-beeld verkregen in de secundaire elektronenmodus met een vergroting van 35 × 103 keer bij versnellingsspanning van 30 kV (fig. 3.5).



Figuur 3.4 - De volgorde van technologische winningshandelingen

koolstofmaterialen van natuurlijk shungiet

Uiteraard zijn de waargenomen koolstofformaties met de aangegeven maten zijn agglomeraten van nanoclusters. Voor directe registratie van individuele deeltjes vereist een doorschijnend elektronenmicroscopie. Uit een vergelijking van SEM-afbeeldingen van shungiet monsters (Fig. 3.2 en 3.5) voor en na chemische behandeling moeten worden genoteerd significante veranderingen in de configuratie van koolstofstructuren: hun vorm ovaler worden.



Figuur 3.5 - SEM-afbeelding van het oppervlak van het bewerkte shungiet

poeder



Figuur 3.6 - Röntgenpatronen van de originele shungite-rots (onder) en na behandeling in fluorwaterstofzuur (boven)

EDA-gegevens (fig. 3.3) naast een kwart toename in

koolstofstructuren laten een toename van het gehalte aan alle metalen zien (door

rijst. 3.3, alleen de meest significante metalen zijn gemarkeerd - Mg, Al, Ca), terwijl het siliciumgehalte neemt met een orde van grootte af [138, 139].

Röntgendiffractie fase-analyse van monsters waaraan is onderworpen zuurbehandeling, getoond in Fig. 3.5 ter vergelijking met het origineel fasesamenstelling: respectievelijk bovenste en onderste diffractogrammen. Op diffractiepatroon toont de belangrijkste reflecties die verantwoordelijk zijn voor silicide- en koolstoffasen. Het is belangrijk om de amorfe vormen te benadrukken koolstofreflecties, wat hun nanoschaal bevestigt. Integraal de bijdrage van koolstoffasen in amorfe vorm gedurende het hele onderzoek bereik was 99%. Opgemerkt moet worden dat röntgendiffractie-analyse is bevestigd een significante afname van silicidefasen, vooral na toevoeging dubbele behandeling in een parelmolen en daaropvolgende waterstoffluoride verwerking, wat leidde tot het volledig verdwijnen van de hoofdpiek voor kwartsiet. Hoofdlijnen met $2\ddot{y} = 15,32\ddot{y}, 29,14\ddot{y}, 30,88\ddot{y}$ en $51,41\ddot{y}$ komen overeen met onoplosbare fluorkoolstofmetaalzouten.

Op basis van de gepresenteerde röntgenfoto's (Fig. 3.6), de fase samenstelling van de originele natuurlijke shungiet, zijn behorend tot shungites van type I (de aanwezigheid van een reflex in de buurt 2ÿ ÿ 80ÿ [97]). Volgens röntgenpatronen van shungietmonsters na verwerking, de afmetingen van koolstofnanostructuren worden berekend op basis van de vergelijking Scherer als gebieden van coherente verstrooiing:

 $L = k\ddot{y}/(B\cos\ddot{y}), \tag{3.1}$

waar voor het gebied van coherente verstrooiing - *L* van röntgenstraling was geaccepteerde breedte - B, bepaald door het niveau van 0,5 voor de overeenkomstige reflecties van koolstoffasen bij de Bragg-verstrooiingshoeken - ÿ straling met $\ddot{y} = 0,154178$ nm voor Cu op de Kÿ-lijn. De constante *k* wordt gelijk aan 0,9 genomen reflecties in het (002) vlak en 1,84 – (110), volgens [97]. Voor vliegtuig (100) we namen *k* = 1,4. Geschatte afmetingen *L* staan in de tabel. 3,1 inch vergelijking met de gegevens van [97]. Hier zijn de afmetingen koolstofstructuren bepaald door de SAXS-methode op de SAXSees-opstelling

mc² (par. 2.4.1). Van afb. 3.7 laat zien dat de minimale deeltjesgrootte
is ongeveer 6nm. Daarnaast, in de volumeverdeling van deeltjes in
Shungite-poedermonsters na behandeling met fluorwaterstofzuur
Er werden koolstofdeeltjes gevonden met een grootte van 18, 38 en 46 nm
geeft zowel de aard van deze formaties op nanoschaal aan als geeft aan
hun heterogeniteit in grootte. Tegelijkertijd, afb. 3.7 laat dat het meest zien
18 nm deeltjes komen veel voor bij het verwerken van producten.

Tabel 3.1

monsters B,	ÿ	2ÿ,ÿ	L100, nm
Bron 4.5		26	3.5
Na HF 8.0		26	5.5
[97]	3.9	-	5.4
SAXSess	-	-	6.0

Berekende (3.1) afmetingen van koolstof nanostructuren



Figuur 3.7 - Volumeverdeling van deeltjes in poedermonsters

HF behandelde shungiet

Zoals getoond in sectie. 2.4.3 als niet-destructieve methoden controle en analyse van heterogene en heterofase multicomponent systemen, waaronder de bestudeerde materialen, worden veel gebruikt methoden van IR-Fourier-spectroscopie en Raman.

Op afb. 3.8 toont als voorbeeld de IR-Fourier-spectra absorptie in natuurlijke shungite voor en na fluorwaterstofbehandeling zuur, die getuigen van het significante herschikking van de chemische structuur. In het originele shungite-mineraal brede intense absorptiebanden worden gevonden 400ÿ500, 600ÿ800, 800ÿ1100, 1300ÿ1550 cm-1 , evenals bands veel kleiner breedte 1150ÿ1250, 1650ÿ1700 cm-1 , die consistent zijn met de gegevens van velen werken, in het bijzonder [89, 127], waarin de aanwezigheid van C60- fullerenen in het bereik van deze banden wordt opgemerkt : absorptielijnen: 527.577, 1183, 1428 cm-1 en C70 -458, 535, 642, 674, 795 en 1430 cm-1. De werkelijke nabijheid van de absorptielijnen, uiteraard, en veroorzaakt zo'n significante verbreding van de absorptiebanden bij IR-analyse zonder KBr. Uit een vergelijking van de IR-Fourier-spectra van de monsters, (bovenste curve) en na behandeling met HF kan de daadwerkelijke combinatie van de bereiken 600ÿ800 en 800ÿ1100 cm-1 worden getraceerd, wat erop kan duiden een toename van de amorfheid van de structuur.



Figuur 3.8 - IR-Fourier-absorptiespectra van natuurlijk shungiet tot (bovenste curve) en na behandeling in fluorwaterstofzuur

In de Raman-spectra (fig. 2.13) op monsters van shungietgesteente na behandeling met KOH en HF (stippellijn) was er een significant afname van de intensiteit van de pieken waargenomen in de oorspronkelijke shungiet het sterkst na behandeling met fluorwaterstofzuur. Het tweede orde spectrum 2D - 2688en 2G - 2916 cm-1 vormde een diffuse lijn bij 2853 cm-1. Veranderingen in de IDintensiteiten voor de A1g- lijn en IG voor de E2g- lijn maken het mogelijk om het amorfisatieniveau in te stellen - Kgr:

$$Kgr = (ID + IG)/(ID - IG).$$
 (3.2)

Verkregen uit veranderingen in de ID- en IG- intensiteit in de bestudeerde spectra KRS waardeert Kgr voor de originele shungite - ÿ5, voor de verwerkte KOH - ÿ7, en voor HF - ÿ8. Het niveau van amorfisatie kan ook worden bepaald langs de breedte van de reflex op een niveau van 0,5 van zijn intensiteit. Op deze manier berekend De waarden van Kgr vielen dus in orde van grootte samen met de gepresenteerde waarden waarden.



Figuur 3.9 - Hyperspectrale verdeling van RRS op fullerenen aan oppervlak van natuurlijke splitsing van natuurlijke shungiet Volgens talrijke werken, bijvoorbeeld [98], natuurlijke shungiet bevat een bepaalde hoeveelheid natuurlijke fullerenen. vertegenwoordigd

interesse in het direct visualiseren van insluitsels van fullereen in shungiet. In de verkregen geïntegreerde Raman-spectra was het niet mogelijk om te onthullen verstrooiing op lijnen die kenmerkend zijn voor fullerenen. Ontdekken fullerenen in shungite shungite-chips werden bestudeerd. Daartoe met met behulp van een confocale microscoop werden eerder geselecteerd gebied van het splijtoppervlak met afmetingen van 60 × 60 ÿm. Toepassing van de methodiek mapping maakte het mogelijk om punten te detecteren met een diameter van 400 nm, waarin fullereenlijnen verschenen op 450 en 190 cm–1 . Scannen is gebouwd hyperspectrale distributie van RRS in dit gebied, bestaande uit 900 Raman-spectra (Fig. 3.9) Het totale gehalte aan zo'n fullereen-bevattend punten bereikten 2%. Verstrooiing op fullereenformaties werd gekenmerkt door heldere gebieden in de scan [169, 170]. Blijkbaar precies de aanwezigheid in shungiet van natuurlijke aromatische koolstofmoleculen, van welke fullerenen worden gevormd, verklaart al het medisch bevestigde biologische eigenschappen van dit natuurlijke mineraal, in het bijzonder [92, 93].

Dus, volgens de resultaten van de structurele en elementaire analyse in monsters van natuurlijk shungiet behandeld met HF de opening van siliconen frameschalen wordt opgemerkt, wat verklaart toename van hun röntgenamorfisme (fig. 3.6 en 3.8). Meest vertegenwoordigd door koolstofstructuren in natuurlijk shungiet als pre-, en na behandeling met zuur zijn fullerenen van het type C60. Experimenteel bepaald door de SAXS-methode en berekend uit Scherer-vergelijking (3.1) straal van koolstofformaties (Fig. 3.6. en 3.7) R = 2,5 nm en de vergelijking met de karakteristieke straal van C60 fullereen – r = 0,357 nm, volgens [80], maakt het mogelijk om het aantal componenten te berekenen moleculen:

$$N=R^{-3}/R^{3} \in 340, \tag{3.3}$$

wat het mogelijk maakt om deze structuren te classificeren als nanoclusters. Van hyperspectrale distributie van Raman-verstrooiing op fullerenen, zelfs op het oppervlak natuurlijke splitsing van natuurlijke shungiet (fig. 3.9) volgt de conclusie over isotrope opstelling van fullereen nanoclusters, die daarna verwerking HF wordt alleen maar meer uitgesproken, wat consistent is met een toename van het niveau van röntgenamorfisme.

3.3 Kenmerken van de structurele en magnetische eigenschappen van metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels

Zoals weergegeven in paragraaf 2.3 hierboven bij het ontwikkelen van breedband absorbers van elektromagnetische golven in het microgolfbereik in de buurt van dichtbij nanogestructureerde materialen bleken interessant te zijn [150 – 158]. In onze werken in het kader van wetenschappelijke en technische samenwerking, 4 monster van FeNi/C, Fe/C, Ni/C en FeCo/C metaal-koolstof nanocomposieten op gebaseerd op een polyacrylonitril (PAN) matrix, gebaseerd op de formatie dat zijn de principes van zelforganisatie [158, 159]. Ook als met pyrolytische synthese van CNT's, bepaald door de minimale energie Gibbs (2.2), onder de omstandigheden van de gebruikte IR-straal, de synthese van nanocomposieten van deze verbindingen wordt enerzijds bereikt door de groei oppervlakte-energie met een afname van de grootte van de componenten structuren van nanodeeltjes, en anderzijds door de groei van de chemische stof potentieel in het proces van hun terugwinning uit chloridezouten van Fe, Ni en Co met waterstof die vrijkomt bij verhitting van PAN [99]. Eerder in dit werk team van auteurs merkte op dat met een verhoging van de synthesetemperatuur van 600 tot 1000 ÿÿ en het koolstofgehalte verhoogt de geleidbaarheid, wat wordt uitgelegd percolatie in de polymeermatrix van metaalinsluitsels.

Karakterisering van structurele kenmerken en veranderingen in elementair samenstelling werd uitgevoerd op geselecteerde nanocomposieten met een concentratie van 20% metaalinsluitsels in de vorm van ferromagnetische (FM) metalen: Fe, Ni en Co (Tabel 2.7). De IR-verwarmingstemperatuur voor hun synthese was hoger ingesteld eutectisch punt, wanneer de grootste vorming van nanodeeltjes uit overeenkomstige metalen. Bijvoorbeeld tijdens de vorming van het FeNi/C nanocomposiet uit FeCl3(hydr.)-NiCl2(hydr.)/PAN en NiCl2(hydr.)/PAN -precursor

was 500 ÿÿ; voor Fe/C van FeCl3(hydr.)/PAN - 600 ÿÿ, voor FeCo/C Fe(ac.ac.)-Co(ac.)/PAN - 800 ÿÿ. Eigenlijk beschouwd nanocomposieten met magnetische insluiting van één FM-metaal Fe of Ni, en ook van twee - FeNi of FeCo. De concentratie van magnetische insluitsels was 20% bij nanocomposiet vanwege koolstofcomponenten heeft een hoge geleidbaarheid. Het is met het oog op effectief het gebruik van de magnetische component van microgolfstraling in de compositie metaal-koolstof nanocomposieten, inclusief de ontwikkelaars ferromagnetische metalen.

Bij het overwegen van metaal-koolstof nanocomposieten met insluitsels FM-metalen op het gebied van microgolfstraling dienen rekening te houden met mogelijke veranderingen magnetische ordening, die het meest volledig wordt beschreven door de vergelijking Bruin [100]:

$$E = \text{Eexchange} + \text{EH} + \text{Econtrol} + \text{Ea} + \text{ED}, \qquad (3.4)$$

waarbij rekening wordt gehouden met de energieën Eexchange - exchange, EH - Zeeman, Econtrol - magneto elastisch, Ea - anisotropie, ED - magnetostatisch. Laten we analyseren mogelijke invloed van elk van deze componenten op de absorptie eigenschappen van de onderzochte metaal-koolstof nanocomposieten. Laten we meteen opmerken aangezien de amplitude van het magnetische veld van microgolfstraling erg klein is, is de bijdrage EH = eH/2mc kan worden verwaarloosd.

Het is bekend [101] dat collineaire magnetische ordening in FM metalen door de elektronische structuur van atomen: Fe - 3d $^{6}4s^{2}$, Co- $3d^{7}4s^{2}$, Ni- 3d $^{8}4s^{2}$, waarbij de bovenste schaal een subschaal heeft -

3D met ongecompenseerde elektronenspins. Dit bepaalt ook

Curietemperatuur - TS, dat is voor Fe met kristallijn

bcc-structuur - 1043 K; voor Co met fcc - 1388, en voor hcp - 1360 K; voor Ni met

FCC - 627 K. De waarde van remanente magnetisatie MR in deze FM Fe -

1735 G, Co - 1445 G, Ni - 508 G, respectievelijk. Dit alles hoogtepunten

dat de hoofdrol speelt in de magnetische ordening in deze FM-metalen

behoort tot de energie van de uitwisselingsinteractie, die erin zit,

bereikt inderdaad recordwaarden en wordt bepaald door de uitwisseling integraal (Jÿ0 voor FM): Euitwisseling = –2ÿJijSiSjcosÿ, waarbij ÿ = 0 de hoek is tussen naburige magnetische collineaire spins voor FM-metalen. Voor Euitwisseling kan worden geschat met behulp van de benadering *ÿHE* ÿ kTÿ, waarbij *k is* de Boltzmann-constante, die een lagere waarde van Eexchange voor Ni aangeeft. Dit is belangrijk om rekening mee te houden vanwege het feit dat in TS , FM verdwijnt. magnetische ordening. ÿ-Fe (met Jÿ0) heeft bijvoorbeeld thermische energie hiervoor is, berekend per atoom, 0,1 eV voldoende.

Een belangrijke magnetische component in deze FM's is ook het veld anisotropie van HA [101]. Dus als we daar rekening mee houden in energie anisotropie bij T = 300K, domineren alleen de eerste twee constanten anisotropie K1 en K2, dan wordt EA uitgedrukt als

 $EA = K1sin2 \ddot{y} + K2sin4 \ddot{y} + \dots$ (3.5)

Voor een hoek ÿ ten opzichte van de gemakkelijke magnetisatie-as gelijk aan ÿ/2, berekening van EA. volgens (3.5) rekening houdend met de waarden voor Fe -K1 = 4,2ÿ105, Mede -3.9ÿ106, Ni -0.34ÿ105 erg/cm3 en voor K2 = 2,05ÿ105 ; 1.98ÿ106 ; 0,53ÿ105 erg/cm3 volgens [102]. We krijgen dat voor Fe EA = 6,25ÿ105 , Mede -5,88ÿ106, Ni -0,19ÿ105 erg/cm3 . Dit verklaart de significante invloed van het Hd- veld in de FM, d.w.z. de invloed van de vorm van FM-formaties.

In de bestudeerde insluitsels in de vorm van FM-metalen, de magneto-elastische energie speelt een belangrijke rol [101], wat te danken is aan de aanwezigheid van spontane magnetisatie. Dientengevolge, de magnetostrictieve verzadiging wordt bereikt in zeer kleine magnetische velden, en de resulterende verzadiging magnetostrictie - ÿS, blijkt sterk afhankelijk te zijn van magnetisatie *J.* Al onze microgolfabsorptiemetingen zijn uitgevoerd bij kamertemperatuur, dat wil zeggen bij een constante J. Bekend de waarden van ÿS [102] voor alle onderzochte FM metallische insluitsels zijn voor Fe 8ÿ10–6 , Ni – -35ÿ10–6 , Co – -50ÿ10–6 , respectievelijk.

Houd er ook rekening mee dat de waarde van magnetostrictie (ÿ) wordt beïnvloed door

kristallografische anisotropie, waarbij de grootte en het gelijkmatige teken veranderen. NAAR Bijvoorbeeld, voor Ni met een fcc-structuur, de waarden van ÿ langs de hoofd – 52ÿ10–6 kristallografische assen (100) en (111) ÿ100 = – 95ÿ10–4 , ÿ111 = – 27ÿ10–6 , A voor Co ÿ100 = -45ÿ10–6 , ÿ010 = , ÿ001 = + 110ÿ10–6 , ÿ111 = – 100ÿ10–4 [102]. Het zijn deze waarden van ÿ die ÿS bepalen, in het bijzonder voor polykristallijn Ni ÿS = (2ÿ001 + 3ÿ111)/5, wat kan zijn de verandering in de volumes van deeltjes van de overeenkomstige grootte wordt bepaald zoals met

SEM-afbeeldingen van de morfologie van de structuur van het bestudeerde nanocomposieten (Fig. 3.10, *a* - d) wordt gekenmerkt door de afwezigheid van duidelijk uitgesproken anisotropie. Rekening houdend met de gemaakte opmerkingen over magnetostrictie op het gebied van microgolfstraling, zou men manifestaties moeten verwachten magnetostrictieve effecten, wanneer, met name voor Ni, de mogelijkheid deeltjesgrootteveranderingen in het microgolfveld kunnen aanzienlijke waarden bereiken, vooral bij de overgang van hun afmetingen naar het gebied op nanoschaal.

structuren met meerdere domeinen en enkele domeinen.

Daarbij komt de rol van magnetostatische energie, die in FM speelt een zeer belangrijke rol [101]. De waarde ervan wordt beïnvloed demagnetiserende factor - Np, die afhangt van de vorm van de magneet insluitsels, wat vooral belangrijk wordt in het nanoschaalgebied van de FM insluitsels. Ongelijke groottes (voorwaardelijk aangeduid met *c* en a) van deeltjes FM Fe, Ni en Co (Fig. 3.10, 3.11 en 3.12) bepalen in feite Nr. Voor ratio n = c/a, variërend van 1 tot 5, multidomein magnetische ordening, en bij nÿ10 - single-domain, dat wil zeggen, er is overgang van FM naar superparamagneet. Dienovereenkomstig, in de regio verzadigingsmagnetisatie (Ms) de invloed van ED (3.6) neemt toe :

$$ED = NpMs^{2}/2.$$
 (3.6)

Van bijzonder belang is de vermindering van de grootte van magnetische insluitsels tot nanoschaal, die de kritische grootte (Dcr) aantoont

$$Dcr = 1,9/MS(10cl/ÿ0ZNd)^{-1/2},$$
(3.7)

waarbij Nd = -Hd/MR de demagnetiseringsfactor is, $I = ev/(2\ddot{y}r)$ de orbitale stroom,

veroorzaakt door de beweging van een elektron, is Hd het magnetostatische veld (ED = ÿHd,

 $\ddot{y} = e/2mc$), c is de lichtsnelheid, $\ddot{y}0$ = magnetische constante, Z is de lading van het atoom.





G

Figuur 3.10 - Morfologie van metaal-koolstof nanocomposieten,

V

gesynthetiseerd met verschillende IR-verwarmingstemperaturen volgens SEM-gegevens: a -

FeNi/C (500°ÿ); b - Fe/C (600°ÿ); (c) Ni/C (500°ÿ); d - FeCo/C (800°C)De schatting van Dcr, volgens (3.7), voor Fe, Co, Ni is 14, 70 en 50 nm,respectievelijk. Benadrukt moet worden dat bij de afmetingen van FM-deeltjes D \ddot{y} Dcr inze hebben een multidomeinstructuur, terwijl voor D \ddot{y} Dcr -deeltjesworden single-domein, dat wil zeggen, er is een superparamagnetischestaat. Voor D = Dcr, een toename van wat magnetischkenmerken, met name dwang en, als gevolg daarvan, de groeihysteresis verliezen.





Figuur 3.11 - Typische granulometrische verdeling van deeltjes: a -

metaal, b - koolstof

В

Daarnaast, in de nanocomposieten die worden bestudeerd,





G

Figuur 3.12 - SEM-afbeeldingen van insluitsels in een koolstofmatrix eencomponent metaaldeeltjes: a en b - Fe; c en d - Nikoolstofformaties, waarvan de grootte afneemt tot nanobereik (Fig. 3.14, a). Op het SEM-beeld van het oppervlak, speciaal van het gescheiden koolstofdeeltje langs zijn contour dun vezelachtige formaties, waarvan de afmetingen typisch zijn voor meerwandig CNT [103]. Hier (fig. 3.14, b) een amorfe koolstof formatie in het volume waarvan men duidelijk de formatie met ovaal kan zien





Figuur 3.13 - SEM-afbeeldingen van insluitsels in de koolstofmatrix van 2

component metaaldeeltjes: a en b - FeNi; c en d - FeCo

contouren, genomen in BES-modus, in termen van helderheid die direct aangeven dat het is geleidende aard, die wordt geassocieerd met de clusterstructuur van FeNi.

EDA-resultaten van de elementaire samenstelling (in atomaire massa's) van de bestudeerde monsters van nanocomposieten worden in de tabel gepresenteerd. 3.2. Vergeleken met initiële samenstellingen (20% zie tabel 2.7) na warmtebehandeling atoomgehalte in alle poedermonsters FeNi/C, Ni/C, Fe/C en FeCo/C daalde tot respectievelijk 16,4, 3,6, 5,5 en 3,1%. Typisch verdeling van significante elementen op het voorbeeld van een 2-component metalen systeem FeCo/C, kenmerkend voor alle gebruikte metalen insluitsels wordt geïllustreerd in Fig. 3.15, waar de EDA wordt uitgevoerd speciaal geselecteerd koolstofdeeltje.



Α

В

Figuur 3.14 - SEM-afbeeldingen van typische structuren in metaal-koolstof nanocomposiet op het voorbeeld van FeNi/C: a – vorming van amorf koolstof uit CNT; b – clustervorming van FeNi/C in een amorfe koolstof structuren

Opgemerkt moet worden dat het voor alle chemische elementen voldoende is homogeen en volgt de contouren van de koolstofmatrix. Het kan worden aangenomen dat tijdens het IR-verwarmingsproces samensmelting van metaaldeeltjes optreedt met de vorming van nano- en microclusters zoals op koolstofoppervlakken, en in hen, wanneer ze op grote diepte worden gedetecteerd door de EDA-methode onmogelijk wordt, wat het mogelijk maakt om het duidelijke tekort te verklaren metalen.

Als argument hiervoor hebben we een numeriek uitgevoerd analyse van 200 elektronische sporen van interactie met atomen van de bestudeerde nanocomposieten met een versnellingsspanning van 20 kV, waarvan het resultaat weergegeven in afb. 3.16. Software "CASINO" - "Monte Carlo-simulatie van ElectroN-traject in vaste stoffen" Monte Carlo-methode modelleert de baan van elektronen in een vaste stof in een scan elektronenmicroscoop (Universiteit van Sherbrooke, Quebec, Canada).



V

Α



Figuur 3.15 - SEM-opname van een fragment van een koolstofmatrix met

FeCo-insluitsels van metaaldeeltjes: a, b, *c* - distributie

van het corresponderende element volgens röntgenmicrodata

In overeenstemming met de empirische Bethe-vergelijking in de Kanaya-benadering

Okayama kan worden bepaald door de penetratiediepte van elektronen in

koolstofmatrix

$$H = 0,276AE0 \ 1,67/(Z \ 0,88\ddot{y}). \tag{3.8}$$

Waar gegevens voor koolstof zijn genomen voor berekeningen: A en Z zijn atoomgewicht en nummer

scheikundig element, E0 is de energie van primaire elektronen E0 = eU, ÿ is

dikte. Uit deze berekening volgt dat de grootste diepte

penetratie in de koolstofmatrix, wanneer kan worden bereikt

de onderste detectiedrempel is iets meer dan 1 µm. Dit vergelijken

diepte met de meest voorkomende afmetingen van koolstofformaties,

waarvan de waarden liggen tussen 2 en 6 µm (fig. 3.11), kunnen we concluderen dat,

Het is duidelijk dat metalen insluitsels in zo'n enorme cluster zitten

koolstofstructuren kunnen niet worden gedetecteerd [104].



Figuur 3.16 - Berekende gebieden van elektronenpenetratie

metaal-koolstof nanocomposieten met magnetische insluitsels op

versnellingsspanning 20 kV

Tabel 3.2

Verbinding	Verdeling van elementen, in atomaire massa's						
nanocomposiet	С	Ν	0	Fe	со	Ni	
FeNi/C	50.1	19.9	13.6	8.6	0	7.8	
Fe/C	63,9	20.4	12.1	3.6	0	0	
Ni/C	65.2	22.3	7.0	0	0	5.5	
FeCo/C	96,9	0	0	1.5	1.6	0	

Gegevens over energiedispersieve analyse

XRF-resultaten worden gepresenteerd in de vorm van diffractogrammen (fig. 2.8, *a* - d). Voor FeNi/C- en FeCo/C-monsters, de vorming van diffractie maxima onder hoeken 2ÿ = 26,6ÿ en 26,2ÿ, kenmerkend voor de hexagonale structuur van

grafiet met een tussenlaagafstand d gelijk aan 3,40 Å en 3,35 Å vanaf

vlakken (002) en (004), respectievelijk, terwijl voor het Ni/C-monster in in het bereik van 15–30ÿ kan men spreken van de vorming van een amorfe halo. Reflecties $2\ddot{v} = 43.32^{\circ}$ en $2\ddot{v}=44.76^{\circ}$ in Fe- en Ni-monsters komen overeen met kubische roosters van jizer (d=2.01 Å) en nikkel (d=1.95 Å), en de reflecties 2v = 33,0°, 35,7°, 37,1° en 44,9°, 45,0° naar ijzerverbindingen Fe2O3 en FeC, en 2ÿ = 37,0°, 43,1° en 44,9°, 45,1° voor nikkel – respectievelijk NiO en Ni3C. Maximums 2ÿ=25,9°, 43,0° (Fig. 2.8, c) komt overeen met de vlakken (002) en (100) zeshoekige structuur met parameters 3,53 Å en 2,26 Å, wat typerend is voor materialen die koolstofnanobuisjes bevatten en is waarschijnlijk te wijten aan de aanwezigheid van een aanzienlijke hoeveelheid vrije Ni-atomen in de reactie kamer onder IR-verwarming, in staat om de groei van koolstofnanobuisjes te veroorzaken gasvormige koolstofhoudende componenten. Hoogtepunten Röntgendiffractiepatroon voor het FeCo/C-monster, waarin naast de koolstofhalo matrix met maximaal $2\ddot{y} = 26,6^\circ$, bevat lijnen $2\ddot{y} = 44,8^\circ$ en kleiner intensiteit $2\ddot{v} = 65.5^{\circ}$ (fig. 2.8, d), overeenkomend met het bcc-rooster van de ijzerkobaltverbinding met interplanaire afstanden van 2,01 Å en 1,42 Å van vlakken (110) en (200). Het uiterlijk op de diffractiepatronen van Fe/C-monsters, Ni/C, FeNi/C Röntgenfasehalo geeft een hoge mate aan matrix amorfisme. Tegelijkertijd, voor het FeCo/C-monster, meer een duidelijk maximum, evenals een halo gekenmerkt door een mindere mate van vervaging, wat duidt op een meer geordende structuur van de koolstofmatrix nanocomposiet. Met een verhoging van de temperatuur van nanocomposietsynthese (800°C), een heldere kristalstructuur blijft behouden voor de FeCo/C-legering, terwijl intensiteit van de lijn die overeenkomt met de koolstof neemt toe grafietmatrix.

Op basis van de resultaten van XRF en SEM+EDA kan worden gesteld dat metaal-koolstof nanocomposieten zijn nanodeeltjes metalen (legeringen) of oxiden verdeeld in een koolstofmatrix met variërende graden van amorfisme, die wordt gedefinieerd als de procesomstandigheden

synthese en de chemische samenstelling van de metaalcomponent

nanocomposiet.

Kenmerken van de chemische structuur van de koolstofmatrix, vormt het grootste deel van de massa van de nanocomposiet, bestudeerd door de methode Raman (Raman) lichtverstrooiing (RSS) worden gepresenteerd figuur 3.17. In alle monsters excitatie van tangentieel trillingen van koolstofatomen in het vlak van de grafietlaag G-band in oppervlakten 1500 ÿ 1600 cm-1, die in een aantal publicaties verwijzen naar de aanwezigheid koolstof nanobuisjes (CNT's) of vergelijkbare koolstofformaties, gekenmerkt door een sterke kromming van de grafeenvlakken. De mate van ordening van de grafietstructuur wordt bepaald door de helderheid de vorm en intensiteit van de G-band, die alleen typisch is voor het monster FeCo/C. De intensiteit van excitaties in de D-band in het bereik 1300 ÿ 1400 cm-1 in FeNi/C, Fe/C, Ni/C monsters domineerde, wat duidt op een hoge gebrekkigheid van vlakke formaties, d.w.z. de mate van amorfisering van de grafietlaag, als gevolg van de onregelmatige verplaatsing of kromming van de koolstofvlakken, bestaande uit sp2 gehybridiseerde koolstofatomen. Dit komt overeen met de SEM-gegevens (Afb. 3.10, 3.12 - 14). Om de mate van orde te karakteriseren koolstofstructuren, wordt de intensiteitsverhouding van de ID/IG-banden gebruikt. Vergelijking van de op deze manier verkregen waarden wordt weergegeven door de gegevens tabellen 3.3. Het FeCo/C-monster wordt gekenmerkt door de hoogste ordening. Voor FeNi/C-, Fe/C-, Ni/C- en FeCo/C-monsters is G banden als gevolg van excitatie van oscillaties die qua frequentie dicht bij elkaar liggen (fig. 3.17). Bijvoorbeeld voor het Ni/C-monster - 1487, 1509, 1530 en 1576 cmdbor het verschil tussen die kan worden gebruikt om CNT-diameters te schatten: 1/ÿÿ ÿ van 6,6 tot 22 nm. Zo een degeneratie in de vorm van een G-band duidt op de meerwandige vorm van CNT's en metalen elektrische geleidbaarheid. Voor alle bestudeerde monsters in in het laagfrequente gebied, radiale trillingen van CNT's (RBM

strip in de inzet van figuur 3.17), wat het bestaan aangeeft

enkelwandige CNT's, omdat de radiale trillingen van naburige koolstofatomen in meerwandige CNT's zijn onmogelijk.



Figuur 3.17 - Raman metaal-koolstof nanocomposieten, met insluitsels metallische ferromagnetische deeltjes: a) FeNi/C; b) Fe/C; c) Ni/C; d) FeCo/C

Tabel 3.3

	G		D	Rang		
Golf		Intensiteit,	Golfgetal, Intensiteit,			
West	getal, cm-1	rel. eenheden	cm-1	rel. eenheden	amorfisatie	
FeNi/C 15	71.4	280,9	1356.6	323.1	1.15	
Fe/C	1559.3	156,5	1359.6	203.7	13.30 uur	
Ni/C	1529.6	441,5	1344.4	538,8	1.22	
FeCo/C 15	61.1	154,5	1329,9	146,5	0,95	

Monsteramorfisatie berekend uit G- en D-banden.

De CNT-diameter is omgekeerd evenredig met de frequenties in de RBM-band. Voor iedereen monsters in de RBM-band worden een aantal lijnen (drie of meer) geëxciteerd in het bereik van 480 \ddot{y} 672 cm-1 . Rekening houdend met, bij uitbreiding gedefinieerd in G band voor het Ni/C-monster, de kleinste CNT-diameter is 6,6 nm (\ddot{y} RBM \ddot{y} A/d + B, waarbij *A* en *B* empirische constanten zijn, en *d* de CNT-diameter is) die men kan verwachten de vorming van CNT's met *d* groter dan 10 nm (invoegen in figuur 3.17).

3.4 Structurele kenmerken van koolstof nanobuisjes gegroeid door pyrolyse van ethanol op een magnetische katalysator als onderdeel van composieten

CNT's fungeren steeds meer als een materiaal dat voldoet vereisten voor breedband microgolf absorberende materialen, zoals hierboven weergegeven in sectie. 1.3, dat hierin een analyse bevat van talrijke werken gebieden [6 – 12]. Een speciale plaats wordt ingenomen door werken waarin CNT zijn opgenomen in composieten, wat het mogelijk maakt om het succesvolle effectief te gebruiken combinatie van sterk geleidende eigenschappen en recordaspect verhouding D = I/r¹⁰⁴. Hiermee wordt een hoog niveau bereikt absorptie bij lage concentraties van CNT's, waardoor ze concurrerend met traditionele koolstof materialen. Bijvoorbeeld een vergelijkbaar geleidbaarheidsniveau y 1 S/m in CNT-composieten op basis van carbon black (CS) met 20% concentratie bereikt bij gebruik van CNT's met een gewichtsconcentratie van 0,35% [105]. In de praktijk betekent dit dat zelfs zo'n onbeduidende concentratie van CNT's is voldoende om contacten tussen individuen tot stand te brengen nanobuizen. Het is dit niveau van geleidbaarheid in CNT-composieten leidt tot een tamelijk monotone absorptieafhankelijkheid elektromagnetische straling (EMR) in een breed frequentiebereik. Een van de Het basismechanisme van dit gedrag van microgolfabsorptie is het vrijkomen Joule-warmte, waarvan het specifieke vermogen wordt bepaald door Q = jE, waarbij j, E zijn wervelstroomdichtheid en veldsterkte in de geleider.

In ons werk werden CNT's gesynthetiseerd door de katalysator pyrolyse van koolwaterstofgas (CVD), dat eerder werd beschreven in Sec. 2.2. We benadrukken dat voor de synthese van CNT's magnetische nikkelnanodeeltjes waren katalysatoren. De sol-gel-oplossing van nikkelnanodeeltjes werd in de vorm gedeponeerd films op een monokristallijn siliciumsubstraat, SEM-beeld die wordt getoond in Fig. 3.18.



Figuur 3.18 - SEM-afbeelding van een nikkelkatalysator

Katalysator-nanodeeltjes werden gemaakt door de sol-gel-methode, hun grootte kwam niet boven de 150 nm uit (fig. 3.18). Deze katalysatorgrootte is eigenlijk fungeerde als een noodzakelijke voorwaarde voor de start van CNT-groei. Bij standaardmodi van CNT-synthese (synthesetemperatuur 600°C), als volgt uit vergelijking (2.2) – () – , gebeurde alleen wanneer voorwaarde ÿ ÿ 0, waaraan alleen door de groei daadwerkelijk kan worden voldaan

. Dit komt in feite overeen met het feit dat de groeiende CNT's zelf speelden de rol van energiedissipatiekanalen, dat wil zeggen, ze waren in feite dissipatieve structuren. Onder ideale omstandigheden groeien structuren op siliciumsubstraat zou een dendritische structuur moeten hebben gevormd. Morfologische kenmerken van de structuur van opkomende CNT's oppervlakken en hun samenstelling werden bestudeerd met behulp van SEM- en EDA-methoden. In het algemeen gesynthetiseerde CNT's zagen eruit als dichte gelaagde formaties oppervlakken van single-crystal silicium, die door zwakke hechting gemakkelijk afgepeld (fig. 3.19, a). Ze bestaan uit hun willekeurig gerangschikt CNT (Fig. 3.19, b). De dikte van zo'n film is 3 µm.



Figuur 3.19 - SEM-beelden van gesynthetiseerde CNT-films pyrolytische methode

Er werd vastgesteld dat de minimale diameter van CNT's werd gesynthetiseerd bij een temperatuur van 600°C was R = 20 nm. Hiermee is gemeten met behulp van SEM-afbeeldingen in een speciaal geprepareerd gebied aan de rand van de totaal gevormde accumulatie van CNT's Fig. 3.19, ca. Deze maat komt duidelijk overeen met een meerwandige CNT. Volgens bekende informatie over afmetingen van CNT's [103], in het bijzonder rekening houdend met de dikte van één koolstoflaag rC ÿ 0,1 nm en afstanden tussen lagen rC-C ÿ 0,3 nm kunnen worden berekend het aantal lagen in gesynthetiseerde meerwandige CNT's: n = R/(rC + rC-C) ÿ 25. De lengte van zo'n CNT, bepaald door de afstand tussen twee de dichtstbijzijnde heldere punten, die duidelijk overeenkomen met het begin ervan groei op een nikkel-nanokatalysator, zoals te zien is in Fig. 3.19, binnen, bereikt 200 - 500 nm. Bij afwijking van de optimale parameters syntheseomstandigheden, bijvoorbeeld als gevolg van een toename van de grootte van nikkel katalysatoren, wordt de voorwaarde ÿ ÿ 0 geschonden, wat volgt uit de Gibbs-vergelijking (2.2). Als resultaat werden amorfe koolstofstructuren gevormd druppelvormig met afmetingen die de diameter van de deeltjes herhalen katalysator, dat wil zeggen niet minder dan 200 nm (Fig. 3.20, a).

Gepelde filmdikte gemeten met een digitale holografische microscoop (Lyncee Tec 2100, Zwitserland) met ruimtelijke resolutie in hoogte van 0,1 nm was 15 µm, zoals het is gezien vanaf de microfoto (fig. 3.20, b). Stel dat met groei films op een CNT-substraat zijn strikt verticaal georiënteerd, zodat de bovenkant van een van de CNT's is verbonden met het einde van elke volgende buis, dan wordt zo'n film gevormd uit 50 - 70 lagen geordende CNT's. In reële omstandigheden kan een dergelijke ordening niet worden bereikt, wat duidelijk is. toont afb. 3.19, ca. Merk op dat de opkomende CNT buigt bepaal de gebrekkigheid van de structuur van de gevormde films.



Α

В

Figuur 3.20 - SEM-beeld van een amorfe koolstofstructuur op nikkelkatalysatoren bij \ddot{y} \ddot{y} 0 *(a)* en het meten van de laagdikte van

CNT digitale holografische microscoop (b)

Als gevolg van EDA langs ten minste twee opeenvolgende

verbonden CNT's, bleek dat de concentratieprofielen

koolstof en nikkel veranderen van fase. Dit betekent dat er wijzigingen zijn

magnetische en elektrische componenten daarin treden synchroon op (Figuur 3.21). Hieruit volgt dat wanneer dergelijke CNT's in materialen worden gebruikt voor microgolfabsorptie, de mechanismen van zowel elektro als



en magnetische verliezen.

Figuur 3.21 - Concentratieprofielen van koolstofverdeling (zwart

lijn) en nikkel (grijze lijn)

In het Raman-spectrum (Fig. 3.22) voor de gesynthetiseerde CNT's wordt het verschijnen van afzonderlijke lijnen A1g (1334 cm-1) en E2g (1588 cm-1) met intensiteit ID = 118 en IG = 89 au genoteerd, evenals eerder in shungiet (Cm. rijst. 2.13). De berekende waarde van amorfisatie van de onderzochte CNT-films, was volgens (3.2) meer dan 7, dat wil zeggen vergelijkbaar met verkregen in shungiet na behandeling met fluorwaterstofzuur. Echter van het vergelijken van de breedten van deze lijnen op het niveau van 0,5, wat neerkwam op 100 voor CNT en 80 voor shungiet, hieruit volgt dat de afmetingen van koolstofformaties bij pyrolytische synthese is minder. Ontvangen coëfficiënt amorfisatie duidt ook op de aanwezigheid in de CNT's die worden bestudeerd van een grote het aantal defecte structuren, dat overeenkomt met de conclusies [106]. Echter voor de problemen die in dit werk zijn opgelost, de aanwezigheid van defecten door ons beschouwd als een andere aanvullende factor van mogelijk verhoging van de microgolfabsorptie. Opgemerkt moet worden dat de defecte structuur CNT's worden geëlimineerd door veelgebruikte methoden van zuivering, oxidatie en anderen, zoals ook getoond in [106]. Merk op dat volgens [107], volgens Raman-gegevens is er een verband tussen de CNT-diameter en de waarde IG- lijnen . Dus, volgens de Raman-gegevens over CNT's met verschillende diameters, gesynthetiseerd
plasma-chemische methode, op de lijn van 1588 cm–1 was deze maat 60 ÿ 150 nm, naarmate de grootte kleiner wordt, verschuiven de lijnen naar het lange golflengtegebied van 1575 tot 1568 cm–1 voor CNT's met een diameter van bereik respectievelijk 50 ÿ 80 nm en tot 20 ÿ 30 nm. Deze data

bevestig de afmetingen van CNT's die door ons zijn bepaald op basis van de Raman-spectra.



Figuur 3.22 - Het spectrum van Raman-verstrooiing van licht op gesynthetiseerde CNT's

Er zijn twee soorten mengsels gemaakt op basis van CNT's: gebruik ijzerertsconcentraat van de Mikhailovsky GOK en cementkwaliteit 500. Wanneer gebruik als concentraatmatrix, inclusief ijzeroxiden zoals Fe3O4 - magnetiet, Fe2O3 - hematiet, oxiden van andere metalen was de toevoeging van CNT's 0,2%. Droog mix intensief gemixt in een mixer gedurende een uur tot een gladde massa distributie van koolstofinsluitsels. mengsel op basis van cement werd op dezelfde manier bereid, maar met drie CNT-concentraties 2, 1 en 0,5%. In alle monsters waren CNT's opgenomen in composities in de vorm lamellaire formaties scheiden van enkelvoudig kristal silicium na pyrokatalytische synthese.

De structuur en samenstelling van monsters van gemengde samenstellingen werden bestudeerd met behulp van met behulp van SEM en EDA werd de chemische structuur bestudeerd door Raman en IR Fourier-spectroscopie. In alle gevallen werden insluitsels gevonden CNT's in geselecteerde monsters. In afb. 3.23 SEM worden gegeven afbeelding en verdelingen van C, Fe en Ni in een samengesteld mengsel met ijzerertsconcentraat, en voor de samenstelling van cementmengsels deze distributies worden gepresenteerd voor Ca, C en Ni (Fig. 3.24). Bij het onderzoeken EDA voor alle mengsels werd Ni gevonden, wat, zoals hierboven vermeld, fungeerde als een katalysator bij de synthese van CNT's. Uitgelicht op



Α

В

ν

Figuur 3.23 - De verdeling van elementen in het gemengde ijzererts

composities: a, b, c - het overeenkomstige element volgens

X-ray microdata

in deze figuren bevestigt de elementaire verdeling de aanwezigheid in

samenstelling van de onderzochte samenstellingen van koolstofstructuren. Let daar op

koolstofstructuren en nikkel door röntgenmicrospectraal

elementaire distributie worden strikt ruimtelijk gedetecteerd

spreken, alleen gezamenlijk, wat natuurlijk te wijten is aan de aard van hun synthese.

Op de plaatsen van hun locatie (met afmetingen van enkele microns), praktisch

er is geen vormend element van de overeenkomstige matrix, d.w.z.

hetzij Fe of Ca (zie Fig. 3.23, a - c en Fig. 3.24, a - c).



Figuur 3.24 - De verdeling van elementen in de samenstelling van het cementmengsel: a, b, *c* - corresponderend element volgens röntgenmicrodata

In het middelste bereik van de IR-Fourier-spectra (Fig. 3.25), de gemengde cementsamenstellingen met insluitsels van lamellaire koolstofstructuren, bestaande uit CNT's, werd absorptie waargenomen in de volgende bereiken frequenties: 420 ÿ 560 - I, 630 ÿ 1240 - II, 1360 ÿ 1580 - III, 1600 - 1830 - IV, 2400 ÿ 2850 - V, 3200 - 3660 cm-1 - VI. U dient expliciet aan te geven lijnen 460, 520, 600, 920, 1100, 1450, 2450, 2650, 3400 en 3540 cm-1 , welke komen overeen met trillingen van verschillende complexen, zowel in de matrix als in CNT [108]. Om de aard van de absorptie in de aangegeven bereiken vast te stellen, detectie van lijnen die specifiek overeenkomen met CNT-trillingen, werd bestudeerd IR-Fourier-spectrumkarakteristiek alleen voor CNT's, gedeeltelijk weergegeven in afb. 3,25 (lagere afhankelijkheid), wat absorptie laat zien in het bereik 524 ÿ 660 – I, 1232 – 1840 – II, 2612 – 3050 – III, 3250 – 3500 cm-1 –

IV. Kenmerkend is dat duidelijk uitgesproken lijnen in deze spectra ontbreken.

Vergelijking van deze bereiken laat zien dat in de cementmatrix met

CNT-toevoegingen markeren het samenvallen van de 600-lijn met bereik I voor CNT's.

De toevoeging van CNT's veroorzaakte een combinatie van III- en IV-banden in het cement

matrix, evenals een verschuiving in het V-bereik. Gedetailleerde analyse van IR-spectra

werd uitgevoerd in tal van werken [103], dus we presenteren alleen

algemene veranderingen veroorzaakt door de opname van CNT's in de samenstelling van het cement matrices.

Volgens IR-Fourier-spectroscopie is de toevoeging van CNT's ondanks zijn kleinheid (niet meer dan 2%), veroorzaakt significante veranderingen in het cement matrix, wat duidt op een herschikking van de chemische structuur.

De afwezigheid van absorptiekenmerken van enkelwandige CNT's in de buurt van 860 cm-1 geeft aan dat de bestudeerde CNT's meerwandig zijn.

Het uiterlijk van het tweede bereik wordt geassocieerd met tangentiële trillingen van atomen koolstof in alle CNT's, inclusief meerwandige.



Figuur 3.25 - IR-spectra van gesynthetiseerde CNT's (vast) en CNT's met

cement (stippellijn)

HOOFDSTUK 4

4.1 Mechanismen van microgolfabsorptie in shungietformaties

Zoals weergegeven in [109], samengestelde media, afhankelijk van componenten van nanostructuren kunnen EMP reflecteren, doorgeven en absorberen. Het vermogen om te reflecteren is de basis voor het creëren van afscherming coatings met hoge elektrische geleidbaarheid.

Voor materialen gebaseerd op of gebruikmakend van een uniek natuurlijk materiaal, zoals shungite, onderzoek naar de afhankelijkheid van hun er zijn nogal wat werken gewijd aan elektrische geleidbaarheid [91, 138 – 141, 181 – 183].

Onder onze voorwaarden voor het meten van de elektrische geleidbaarheid is alles onderzocht Shungite-poedermonsters werden in de vorm van een tablet geperst.

De elektrische geleidbaarheid is bepaald met een Instek LCR-819 LCR meter, in welke meetsondes worden meegeleverd volgens de standaard 4-probe schakeling. De geleidbaarheid (ÿ) van de originele shungietpoeders bereikte ongeveer 1 Sm, terwijl na hun behandeling met een oplossing van fluorwaterstofzuur, de waarde ervan verhoogd tot 10 S/m, zelfs als het droog is. Gegeven ÿ waarden komen overeen met de geleidbaarheidskarakteristiek van halfgeleiders, die is vooral kenmerkend voor koolstof met nanostructuur [110].



Figuur 4.1 - Afhankelijkheid van geleidbaarheid van temperatuur van UM van shungiet

Het is bekend dat naarmate de temperatuur stijgt, de elektrische geleidbaarheid afneemt halfgeleiders, in tegenstelling tot metalen ($\ddot{y} = \ddot{y}0$ (T0/T) gehoorzaamt Boltzmann activeringsmechanisme:

$$\ddot{y} = \ddot{y} O \exp(-E\ddot{y} / kT), \tag{4.1}$$

waar ÿ0 de initiële geleidbaarheid is, Eÿ is de activeringsenergie, k is de constante Boltzmann. onderzoek afhankelijkheden Bij temperatuur elektrische geleidbaarheid van shungietpoeder (in het temperatuurbereik 300 \ddot{v} 800 K), was er een niet-lineaire toename van \ddot{v} tot T = 600 K, boven waarbij ÿ constant bleef. Fysiek, de toename van de geleidbaarheid bij verhitting uiteraard alleen geassocieerd met een toename van de concentratie van ladingsdragers als gevolg van thermische activering van intrinsieke dragers (elektronen en gaten). Het optreden van verzadiging in de temperatuurafhankelijkheid van v houdt blijkbaar verband met met compensatie van eigen ladingdragers, onzuiverheidsacceptor en donateurs. Dus voor deze temperatuur kunnen we op basis van (4.1). worden berekend Ea = $kTln\ddot{y} - ln\ddot{y}0\ddot{y} kTln\ddot{y}\ddot{v}0.1 eV$, wat kan zijn beschouwd als de bandafstand en het bestudeerde materiaal kan worden toegeschreven aan een halfgeleider met smalle opening. Binnen ontdekt verwerkte shungietpoeders overgangstemperatuurtype geleiding viel praktisch samen met de temperatuur van de halfmetaal-halfgeleiderovergang in smalle band nanokristallijne koolstof T = 560 K [110]. halfgeleidereigenschappen van shungiet-koolstofformaties enerzijds bevestigt aan de andere kant de conclusies over de omvang van hun structuren, en aan de andere kant blijkt erg belangrijk te zijn bij blootstelling aan EMR in het microgolfbereik.

Studies over de vectormicrogolfanalysator PNA-L Agilent N5230A (Sectie 2.4.6) werden uitgevoerd met behulp van een resonator van de volgende afmetingen 3.556ÿ7.112ÿ38,6 mm (fig. 4.4, a). Transversale en longitudinale oriëntatie vectoren *E* en *H* in de holte in een enkele golfmodus worden weergegeven rijst. 4.4b . Frequentieresponsmetingen van koolstofstructuren van natuurlijk shungiet werden uitgevoerd in de aangepaste belastingsmodus . Vanwege de onbeduidendheid intrinsieke geleidbaarheidswaarden van de bestudeerde monsters (niet meer dan 10 S/m)

hun introductie in de resonator was niet in strijd met de afstemmingsvoorwaarden. Wanneer het verandert frequentie De EMP-microgolfgenerator registreerde veranderingen in de coëfficiënt transmissie S21 (Fig. 4.2) in het bereik 12,6 ÷ 40 GHz met spanning U = 3,2 mV en vermogen P = 0,2 ÿW. De studies werden uitgevoerd in de modus de passage van microgolfstraling door poedermonsters, vanaf natuurlijk shungiet mineraal, en behandeld met HF. De gegevens werden digitaal uitgevoerd. formaat en in de vorm van amplitude-frequentiekarakteristieken (AFC). Ontvangen (Fig. 4.2) verandering in de frequentierespons van een van de elementen van de verstrooiingsmatrix (S matrices): overdrachtscoëfficiënt – S21 = b2/b1, volgens (2.6) en (2.7).



Figuur 4.2 - Frequentierespons van de overdrachtscoëfficiënt S21 van de originele shungiet poeder (a) en behandeld met HF (b)

Over het gehele bereik werd een hoge microgolfabsorptie waargenomen gebruikte frequenties. Een verandering in de aard van de frequentierespons werd opgemerkt [170, 181, 185] in monsters van zowel de originele shungiet in poedervorm als nazuur verwerking (fig. 4.2, b) [170, 181, 185]. Zoals blijkt uit de gepresenteerde frequentierespons in

monsters van de originele shungite, de overdrachtscoëfficiënt S21 bereikt in

gemiddeld - 21 dB in het bereik van 19 \ddot{y} 21,7 GHz. Grootste absorptie ontstond bij een frequentie van 29 GHz, toen S21 = - 38,8 dB. Merk op dat dergelijke type curve S21 waargenomen in monsters van shungiet in de begintoestand, over het algemeen is het typerend voor breedbandabsorbers [6 – 15].

Tabel 4.1

Frequentieresponsgegevens S21(f) voor en na

Voorbeeld	p / n.,	fi, GHz s			
naam	fi	S21ÿmin	S21, decibel		
	1	25	- 38.8		
	2	27.5	- 34.6		
origineel	3	28.9	- 39.4		
	4	30.3	- 35.6		
	5	35.9	- 31.6		
	6	38.6	- 36.4		
	1	27.1	- 35,5		
	2	28.5	- 31.8		
Na	3	30.2	- 34.8		
Verwerking HF	4	33.1	- 40.7		
	5	35.3	- 40.7		
	6	38	- 41.7		

natuurlijke shungite verwerking

Na verwerking van monsters van verpoederd shungiet met fluorwaterstofzuur (Fig. 4.2, b) de waarde van S21 was – 9,5 dB bij 13,6 GHz en verhoogd tot –

44,5 dB op 38,5 GHz, meer dan 4,5 keer meer.

De resulterende toename in absorptie kan alleen te wijten zijn aan een toename van in de samenstelling van verwerkte monsters van elektrisch geleidende koolstofhoudende een onderdeel met een gewijzigde vorm en structuur. Opgemerkt moet worden dat daar een aantal frequenties waarbij de S21(f) afhankelijkheid expliciet wordt resonant karakter wanneer S21 een minimale waarde aanneemt een bepaald frequentiebereik. Overeenkomstige frequentiewaarden en grootheden S21 gebaseerd op afb. 4.2 staan in de tabel. 4.1.

Uit de vergelijking gepresenteerd in de tabel. 4.1 en in afb. 4.2, a - b, frequentiebereik overdrachtscoëfficiënt S21 van het originele shungietpoeder (a) en verwerkte HF (b), er moet een duidelijke correlatie van frequenties in de magnetron worden opgemerkt bereik (boven 24 GHz), waarin de microgolfabsorptie toeneemt er is een afname van de transmissiecoëfficiënt. Echter vanaf deze frequentie microgolfstraling, is er een samenloop van frequenties voor beide soorten monsters (voor en na de behandeling), waarbij er sprake is van een toename van de absorptie. Een aantal hiervan frequenties fi en de overeenkomstige waarden van S21i worden gegeven in Tabel. 4.1. Er zijn verschillen in de aard van de frequentierespons tot 24 GHz. Daarnaast van vergelijking afb. 4.2, a - b, is te zien dat de waarde van S21 voor initiële monsters tot 20 GHz gaat zelfs omlaag en gaat dan pas omhoog. Terwijl voor monsters na behandeling met HF, is er een consistente afname winst S21. De aanwezigheid van een hoge mate van microgolfabsorptie natuurlijke shungite in zijn oorspronkelijke staat, blijkbaar te wijten aan voldoende lage elektrische geleidbaarheid (ÿ1 S/m), wat op zichzelf veroorzaakt toename van diëlektrische verliezen. Voor een perfect geleidend medium (bijv. in zuivere metalen) invallende elektromagnetische golven wordt volledig gereflecteerd door het oppervlak, aangezien de dikte van de huidlaag neemt af ÿ ÿ 1/(f) 1/2. Bronnen van de gereflecteerde elektromagnetische golf koolstofomgeving zijn de stromingen die over het oppervlak circuleren weerstand veel groter dan die van metalen: RC ÿÿ RMe , dat leidt tot toename van warmteverlies.

Het is ook mogelijk dat er meerdere reflecties en absorptie in gelaagde koolstofstructuren, naar analogie met [111], as voor de duidelijkheid is het weergegeven in Fig. 4.3, *a*, rekening houdend gebouwd daadwerkelijk de diversiteit van koolstofformaties geïdentificeerd, zowel in vorm, en in termen van afmetingen bepaald uit SEM-afbeeldingen (Fig. 3.2, 3.3). IN In dit geval een afname van de resulterende elektrische

component langs de doorgangsrichting: E0, E1pr, ..., Enpr, die door de aanwezigheid van lamellaire

koolstofstructuren, waarvan de randen worden begrensd door twee vlakken die in staat zijn verhoog het aantal reflecties [33, 165]. Zoals hierboven opgemerkt in paragraaf. 3.2 het gladstrijken van de vorm van koolstofstructuren elimineert echter niet herreflectie van microgolfstraling volgens het schema getoond in Fig. 4.3, een. In dat In het geval dat de microgolfenergie wordt gedissipeerd in warmte als gevolg van diëlektrische verliezen en als gevolg van verliezen als gevolg van meerdere reflecties in koolstofformaties [187 – 189]. Er moet rekening mee worden gehouden dat elk reflectie gaat gepaard met een faserotatie van ÿ, zoals geïllustreerd door rijst. 4.3b.

Bij EMR-frequenties in het bestudeerde microgolfbereik (12,6ÿ40 GHz) begint de huiddiepte $\ddot{y}=\ddot{y}(\ddot{y}0/\ddot{y}f\ddot{y}\ddot{y})$ 1/2 een belangrijke rol te spelen, waarbij f de EMR-frequentie is, ÿ=ÿ0ÿÿ – permeabiliteit van koolstofmateriaal, ÿ0 – magnetische constante, ÿ is de elektrische geleidbaarheid, c is de lichtsnelheid, ÿ0 is de elektrische constante. Zoals toegepast op onze monsters bij de gebruikte EMR-frequenties, de berekeningen huidlaagdikte ÿ geef een waarde in het bereik van 2.5 ÿ 4.5 mm, wat komt praktisch overeen met de werkelijke afmetingen van de gebruikte resonator. Zo'n grote waarde van y wordt veroorzaakt door een te lage geleidbaarheid van de monsters en blijkt vergelijkbaar te zijn met de fysieke afmetingen van de resonatorholte. Dat wil zeggen, het huideffect bij de gespecificeerde frequenties in de materialen die worden bestudeerd krijgt een aanzienlijk groter karakter. Maten van koolstof formaties zowel in de originele shungiet als na de verwerking variëren van eenheden tot honderden nm (paragraaf 3.2). Dit betekent dat hun distributie monsterdikte nch = \ddot{y}/L , kan er tal van veroorzaken EMR-reflecties op individuele koolstofdeeltjes, hun nanoclusters en andere geaggregeerde objecten. Kenmerkend, volgens Fig. 4.2 met groei EMR-frequentie treedt een relatieve toename van de microgolfabsorptie op. Zijn de toename kan worden veroorzaakt door de betrokkenheid van EMP bij het proces van verstrooiing

naarmate de frequentie van externe microgolfstraling toeneemt, hoe kleiner en kleiner



koolstof formaties.

Figuur 4.3 - Schema van EMP-verstrooiing op koolstofformaties, verkregen na verwerking van HF - a, \ddot{v} - faserotatie tijdens reflectie - b

Overweeg de belangrijkste parameters die van invloed zijn de passage van EMR door een resonator met koolstof monsters, in overeenstemming met bekende conclusies, die rekening houden met superpositie van invallende en gereflecteerde golven van de wanden van vlakke golven, in in het bijzonder binnen het kader van het concept van Brillouin. Stel je een stroomschema voor EMR in een vereenvoudigde vorm in overeenstemming met Fig. 4.3b . We zullen er rekening mee houden invallende vlakke golf (golfvector k1), die toeslaat ontvangende antenne na het passeren van het monster, inclusief reflecties (golfvector k2). Golfvectoren k1 en k2 , rekening houdend met de kleine geleidbaarheid wordt gelijk gesteld aan k1 = k2 = $k = \ddot{y}/s$. Dan het resultaat elektrisch veld wanneer de invallende en gereflecteerde EMP-golven worden gesuperponeerd ontvangstantenne: $E = E0\ddot{y}expi(\ddot{y}t - k1r) - exp i(\ddot{y}t - k2r) \ddot{y}$. Gezien de waarden projecties van golfvectoren (Fig. 4.3, b):

E = 2iE0sin(kzcosÿ)expiÿ(t - zsinÿ/cr), (4.2) waar ÿ de invalshoek (reflectie) van EMR is, *is i* de imaginaire eenheid. Factor before exp beschrijft de veranderingen in de amplitude van de lopende golf langs de as resonator z: Em = 2*iE0sin(kzcosÿ)*. Met de inmenging van het incident en

gereflecteerde golven in het monster kunnen staande golven ontstaan, waarvoor met coördinaten z = nÿ/kcosÿn, waarbij n = 0, 1, 2, ... de amplitude wordt punten gelijk aan nul: = 0. Registratie van het EMP-signaal door de antenne is mogelijk wanneer cosÿn = nÿ/kz. bij k = 2ÿ/ÿ0 kan dat onder de voorwaarde: cosÿn = nÿ0/2z ÿ1. Zoals toegepast op een resonator met een rechthoekige dwarsdoorsnede, is deze voorwaarde moet rekening houden met de dwarszijden van de resonator a, b, georiënteerd langs de overeenkomstige coördinaatassen: x, y. Dwars afmetingen bepaal zowel de lagere kritische frequentie (afsnijfrequentie) - fcr, en de bovenste kritische lengte van de corresponderende golf - ÿcr. Bijvoorbeeld voor z=Bfcr = ÿs/B en ÿcr = 2B (Fig. 4.4).

We gebruikten een A-INFOMW P/N 28WCAK resonator met afmetingen x=B=3,556, y=A=7,112 en z=L=38,6 mm. Dat wil zeggen, het presteerde de toestand van een enkelgolfregime, sinds A \u003d 2V. Lagere kritische frequentie is - fcr = $\ddot{y}s$ / V = 26,5 GHz in overeenstemming met de paspoortgegevens, en de bovenste kritische golflengte zal \ddot{y} cr = 2V = 7,112 mm zijn. De studies werden uitgevoerd met EMR, wat overeenkwam met drie modi: fgen ÿ fcr - subkritisch, toen staande golven in de resonator verschenen; fgen ÿ fcr - superkritisch met exponentiële demping van EMR; fgen = fcr kritieke enkele golf. Wederzijdse oriëntatie van E en H en de bijbehorende EMR-profielen en de opbouw van staande golven hierin resonator rekening houdend met ÿcr en fcr worden getoond in Fig. 4.4 toont EMP-golven langs de z-coördinaat - langs de lengte van de resonator, waarvan het aantal, met zijn gespecificeerd afmetingen is: n = 1/ycr = 1/ycr 5.4. Opgemerkt moet worden dat, afhankelijk van het type monstermateriaal in de resonator: elektrisch geleidend, magnetisch of beide beide - in EMR-componenten van elektromagnetisch golven E, H of zowel E als H, die door de antenne kunnen worden geregistreerd.



Figuur 4.4 - Schema en parameters van de golfgeleider voor microgolfonderzoek absorptie van EMP die de oriëntatie van *E* en *H* en de configuratie van de golven aangeeft

De ondergrens van de frequentie van vrije trillingen van koolstof

nanoformaties met afmetingen die volgens Sec. 3.2 leugen van

enkele nm tot honderden nm, kan worden geschat op basis van de voor de hand liggende relatie

fmin = v/2d, waarbij v de geluidssnelheid is en d de deeltjesdiameter. In orde van grootte liggen fmin

in het bereik van 1010 - 1012 Hz. Uiteraard voor zoiets

oscillaties van deeltjes in het EMP-veld moeten worden gesuperponeerd door interacties met

milieu, inclusief nanoclusters en andere agglomeraten in

als gevolg van hun polarisatie, vervorming en andere trillingen (fig. 2.13

en vijg. 3.8). Daarom moet men bij het schatten van de frequenties van deze oscillaties rekening houden aandacht voor de krachtconstante - b, integraal hiermee rekening houdend

interacties en massa van micro- en nanoformaties $m = 4\ddot{y}(d)$ ³/(3 \ddot{y}). Dan

volgens [112] kan de frequentie van gekoppelde oscillaties worden geschat

verhoudingen:

$$f = (1/2\ddot{y})(b/m)$$
 ^{1/2} (4.3)

De waarde van *b* kan worden verkregen uit de gegevens van de IR-Fourier-analyse (fig. 3.8). Voor een leiding met een maximale absorptie van 1000 cm-1, overeenkomstige frequentie zal f = 3ÿ1013 Hz zijn. Rekening houdend met de elastische aard van deze trillingen $^{2}m = (2\ddot{v}f)^{2}m\ddot{v}213$ N/m, welke de waarde van de elasticiteitscoëfficiënt is $k = \ddot{v}$ sluit zich aan bij de conclusies van [112]. Rekening houdend met de diversiteit van deeltjes per massa, samenstelling, structuur en vorm, kan de waarde van k als lager worden beschouwd krachtconstante limiet b. Op basis hiervan worden de berekende frequenties van de gekoppeld oscillaties blijken volgens (4.3) ook in de orde van grootte van 1010 - 1012 Hz te liggen. Dit geeft de mogelijkheid van opwinding aan oscillaties van deeltjes in het EMP-veld nabij de bovengrens van het gebruikte frequentiebereik (12,6 ÿ 40 GHz): fgen ÿ fcr = 26,5 GHz. hierboven opgemerkt verschillen in de aard van de afhankelijkheid (tabel 4.1 en figuur 4.2) transmissie (Tabel 4.1 en fig. 4.2) in poeder shungite voor en na verwerking, wanneer in dit frequentiebereik, naast de relatieve toename amplitudes S21 bij dezelfde frequenties, scherp (springachtig) veranderingen in de grootte van elektromagnetische oscillaties.

Op afb. 4.5 toont de frequentierespons van de staande golfverhouding (SWR) in bestudeerde monsters van shungiet in poedervorm, die in de notatie *S* matrix komt overeen met de elementen van S11. Uit de figuur volgt dat relatieve excitatie van staande golven treedt op in het onderzochte frequentiebereik in het interval: 12.0ÿ38.6 GHz, dat zijn er in feite 3 goed gedefinieerde staande golven. Hun overeenkomstige golflengte was ÿ 3,5 cm, wat overeenkomt met ÿcr/2, waarbij ÿcr = 2V. Trekt op zichzelf aandacht voor de sterke stijging van S11 in het frequentiebereik van: 30,3 ÿ fgen ÿ 35,9 GHz en het begin van een nieuwe sprong S11, uitgaande van de frequentie fgen ÿ 38 GHz. Samen met gegevens over de frequentierespons van S21 (Tabel 4.1), twee frequentie-intervallen met oplopend S11: 1e – 12,6 ÿ fgen ÿ 22,5 , 2e - 22,5 ÿ fgen ÿ 30,3 GHz. In deze intervallen is de afhankelijkheid S11(f) echter continu zodat d ²S11/d²ÿ0, dat wil zeggen, het heeft een duidelijk gedefinieerd maximum bij dS11/df = 0. Volgens rijst. 4,5 de waarde van S11 met een sprong bij een frequentie van 34 GHz met een factor 4 hoger dan in de gespecificeerde 1e en 2e frequentiebereiken, wat uiteraard komt overeen met de resonantie van de reflectiecoëfficiënt, bijvoorbeeld aan de ingang.

In afhankelijkheid S21(f) en S11(f) (Fig. 4.2 en Fig. 4.5) met bovenstaande karakteristieke kenmerken (Tabel 4.1) geven de periodiciteit van de frequentierespons aan ÿcr/2, wat overeenkomt met de schatting van de dikte van de huidlaag in het bestudeerde materiaal - $\ddot{y} = 2,5$ ÿ4,5 mm. Dit komt overeen met de modulatie S21(f) en S11(f) staande halve golven van microgolfstraling in de resonator. Zo'n resultaat staat in contrast met de conclusies [113], waar het effect van twee verschillende resonanties in nanometer metaalfilms in de resonator:

halve golf bij kleine en kwartgolf bij grote diktes.

Deze tegenstrijdigheid kan echter te wijten zijn aan het feit dat de geleidbaarheid van de door ons bestudeerde materialen niet hoger is dan 10 S, wat 103 keer minder is dan die van metalen.

Bij frequenties fgen ÿ30,3 GHz lijkt het abrupt

regio's in de afhankelijkheden S11 en S21, wat kan worden verklaard door het elastiek trillingen van individuele deeltjes op het gebied van microgolfstraling. In overeenstemming met uitdrukking (4.2) Em = Emax bereikt maximale waarden onder de voorwaarde kzcosÿ = nÿ/2 voor oneven *n*. Hieruit volgt dat aan deze voorwaarde is voldaan bestudeerde punten wanbææz nÿ / 4, dat wil zeggen op een kwart van een golf. In een veld met Emax zijn de shungietmonsters van nanokoolstof met een lage geleidbaarheid kunnen worden dipool gepolariseerd. Op het gebied van microgolfstraling zijn dergelijke dipolen uiteraard in staat om verschillende soorten trillingen uit te voeren, bijvoorbeeld vervorming, rotatie, wat wordt bevestigd door de IR-Fourier-spectra (fig. 3.25). IN in-fase omstandigheden, de afhankelijkheid van de reflectiecoëfficiënt S11, natuurlijk zal het resoneren (fig. 4.5).



Figuur 4.5 - SWR voor een monster shungiet in poedervorm voor en na verwerking

Dus, zoals getoond in [170, 181, 185], de waargenomen in nanogestructureerde amorfe koolstof verkregen uit schungiet mineraal, toenemende absorptie, reflectie en diëlektrische verliezen van microgolfstraling worden beide bereikt door diëlektrische verliezen, en in verband met verstrooiing en absorptie EMP energie. In dit geval de overheersende toename van diëlektrische verliezen veroorzaakt door lage geleidbaarheid van koolstofformaties bij frequenties f gen $mathbf{y}$ f cr. Groei van absorptie van EMR-energie bij frequenties fgene $mathbf{y}$ fcr op de aangegeven nanokoolstofformaties van deeltjes en/of nanoclusters daarvan opgeroepen als een halfgolfresonantie wanneer het te testen materiaal monster in de resonator wordt gemoduleerd door staande golven, en kwartgolfresonantie, wanneer deze maximaal elektrisch is veld van microgolfstraling, deze structuren zijn dipool-gepolariseerd en onderhevig aan vervorming trillingen.

4.2. Complexe elektrische en magnetische microgolfabsorptie metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels

De toename van de absorptie en reflectie van elektromagnetische straling in de koolstof nanoschaal materialen in de samenstelling en geïsoleerd uit 124

natuurlijke shungiet, gebaseerd op de frequentieafhankelijkheid van de elektrische en de dimensionale natuur wekten interesse in het bestuderen van de interactie magnetische component van microgolfstraling met kunstmatig nanosized magnetische insluitsels geïntroduceerd. Zoals getoond in sectie. 1.3 rol De magnetische component in EMR is in een aantal werken bestudeerd [151 – 157]. We bestudeerden materialen [158, 160, 161] die nano-insluitsels bevatten ferromagnetische overgangsmetalen Fe, Ni en Co in metaal-polymeer nanocomposieten [159] (zie paragraaf 2.3) gesynthetiseerd bij NRU MISiS.

De interactie van microgolfstraling met dergelijke composieten analyseren we zullen rekening houden met de resultaten van hun karakterisering gepresenteerd in Sec. 3.2, die we aanvullen met elektrische eigenschappen (weerstand, inductie, capaciteit, verliestangens en kwaliteitsfactor). Voor hun definities gebruiken wij de Instek LCR-819 LCR meter. Geleidbaarheid monsters van FeNi/C, Fe/C en Ni/C in de initiële poedertoestand (Tabel 2.7) bleken ongeveer 1 ÿ 10-6 S/m te zijn , dat wil zeggen, het kwam overeen met het diëlektricum. Van bijzonder belang is het FeCo/C-monster, dat, zoals bekend [114], heeft de grootste van de onderzochte steekproeven magnetostrictie, verzadigingsmagnetisatie ondanks het feit dat zijn specifieke geleidbaarheid bereikte 2 S/m, kwam in feite overeen met de metalen [115]. Het is duidelijk dat in dit geval de groei van EMP-verliezen te wijten zal zijn aan de invloed van wervelstromen, mechanisch en magnetisch (hysteresis) fenomenen.

Over het algemeen worden de microgolfeigenschappen van dergelijke materialen aanzienlijk beïnvloed de mate van ordening van de koolstofmatrix van het nanocomposiet, welke voorkomt op natuurlijke wijze de vorming van oxidevormen gebruikte ferromagnetische metalen. Merk op dat in dit geval het wordt noodzakelijk om rekening te houden met de complexiteit van het diëlektrische en magnetische gemiddelde permeabiliteit: $\ddot{y}\ddot{y} = \ddot{y}\ddot{y} - i\ddot{y}\ddot{y}$ en $\ddot{y}\ddot{y} = \ddot{y}\ddot{y} - i\ddot{y}\ddot{y}$. Voor microgolfefficiëntie absorptie wordt verantwoordelijk voor de denkbeeldige componenten $\ddot{y}\ddot{y}$ en $\ddot{y}\ddot{y}$, en voor de overdracht van EMP-energie zijn hun reële delen $\ddot{y}\ddot{y}$ en $\ddot{y}\ddot{y}$. In modus

aangepaste impedantie: vrije ruimte Z0 (vacuüm, lucht) en de buitenste laag van de absorber Zpog. er is een zwakke reflectie elektromagnetische golven van het oppervlak van het materiaal. Diëlektrisch en magnetische permeabiliteit valt samen met $\ddot{y}\ddot{y} = \ddot{y}\ddot{y}$ en benadering in grootte eenheid, wat typerend is voor de onderzochte composietmaterialen, porositeit hebben. Dit is waar afschermende microgolven op zijn gebouwd. straling materialen. Zoals hierboven vermeld (paragraaf 1.2) in de modus afgestemde impedantie in het microgolfbereik kan samenstelling en worden gecreëerd structuur met de vereiste reflectiecoëfficiënten (1.3) en/of absorptie (1,5), volgens [13 – 15, 179]

Rekening houdend met de gedetecteerde grens elektrische weerstand (geleider-diëlektrisch) in dergelijke materialen is analyse vereist relaxatieverliezen - Prlp. De waarde van Prlp wordt bepaald door de dipool diëlektrische polarisatie. In dit geval zal de polarisatiesnelheid *P* zijn achterblijven bij de snelheid van veranderingen in elektrische intensiteit *E* in het veld AMY. De resulterende vertraging wordt veroorzaakt door een verandering in de voortplantingssnelheid van de EMR in een medium met permeabiliteiten – ÿ en ÿ: kla = ka(ÿÿ) –1/2. V demonstratie hiervan wordt gekozen voor een bolvormig oppervlak met een straal - *a*, kl en *k* golfvectoren. Uiteraard voor de polarisatie van het eenheidsvolume diëlektrisch, bestaande uit deeltjes met stralen op nanoniveau - R, onderdeel EMR-energie wordt besteed aan het werk - Wrlp gedaan door de variabele elektrisch veld [116]:

$$\ddot{y} = \ddot{y}(r - R)\ddot{y}d^{-3}R. \tag{4.4}$$

Als we bijvoorbeeld rekening houden met de elektronendichtheid – \ddot{y} van één Ni-atoom, is de waarde *P* is vrij klein en bedraagt 1,11 \ddot{y} 10 ^{-dertig} Cl \ddot{y} m. Gezien hetzelfde is echt de gespecificeerde deeltjesgrootten van de gebruikte metalen (paragraaf 3.3, afb. 3.11), dat wil zeggen, wanneer we zelfs naar nanoschaal gaan, om nog maar te zwijgen van clusters formaties die voorkomen in de bestudeerde monsters (Fig. 3.12) met afmetingen tot enkele microns, neemt de waarde van *P* 103 tot 106 keer toe.

Daarom wordt de polarisatie in het EMP-veld erg significant.

De magnetische eigenschappen van het gebruikte deeltjes van metalen (Fe, Ni en Co), die worden gekenmerkt door de excitatie van vortex oppervlakte Foucault-stromen, vooral in het microgolfbereik als gevolg van de huid effect. Om de penetratiediepte van microgolfstraling te berekenen voor ferromagnetische metalen, in tegenstelling tot degene die hierboven in Sec. 4.1 empirische afhankelijkheid, moet rekening worden gehouden met een aanzienlijke toename relatieve magnetische permeabiliteit - ÿr kenmerk van Fe, Ni en Co: $\ddot{y}=s(\ddot{y}0/\ddot{y}f\ddot{y}r\ddot{y})^{1/2}$. Bij het berekenen van \ddot{y} houden we rekening met die verkregen in Sec. 3.3 conclusies dat in het proces van IR-verwarming, metaaldeeltjes versmelten tot nano- en microclusters zoals op koolstofoppervlakken, en erin (Afb. 3.15 en Tabel 3.2). Maten ingekapseld in koolstof omhulsel van ferromagnetische nanodeeltjes [117] volgens transmissie-elektronenmicroscopie bedroeg toen ÿ 10 ÷ 50 nm hoe de gebieden die ze bezetten, volgens de resultaten van SEM, meerdere bereiken honderden nm (Fig. 3.15). Rekening houdend met deze gegevens, is de schatting ÿ voor de magnetische carbon shell permeabiliteit ÿr ÿ 1 viel samen met zijn waarde, gedefinieerd in sectie. 4.1, dat wil zeggen, ÿ is 2 - 4 cm Voor ferromagnetisch deeltjes $\ddot{y}r = 103$, elektrische geleidbaarheid $\ddot{y} = 107$ S/cm. In het bestudeerde frequentiebereik $f = 2 \ddot{y} 4 \ddot{y} 1010 \text{ Hz}$ voor een kern van metaaldeeltjes ÿ ÿ 100 nm. Dit betekent dat de EMR van dit frequentiebereik in staat is penetreer koolstofschalen en bereik metaaldeeltjes kernen vormen. In feite is de dissipatie van microgolfenergie in metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels moet volumineus zijn.

Studies in deze monsters werden uitgevoerd op een vector netwerkanalysator Anritsu Wiltron 37369A in het frequentiebereik 20 - 40 GHz met microgolfstraling met spanning U = 3,2 mV en vermogen P = 0,2 ÿW. De op deze manier verkregen frequentieresponsen ten opzichte van S21 zullen sterk verschillen afhankelijk van hun geleidbaarheid. Dus in FeNi/C-, Fe/C- en Ni/C-monsters met

diëlektrische geleidbaarheidsafhankelijkheid S21 wordt gekenmerkt door laag piekwaarden van S21 – 8,68 voor FeNi/C, – 12,93 voor Fe/C en – 7,07 dB – Fe/C. Opgemerkt moet worden dat de verkregen waarden van S21 significant zijn praktische waarde, aangezien, ter vergelijking, met een absorptie van 20 dB de microgolfenergie neemt af met 99% [118]. Speciale plaats neemt een FeCo/C-monster in beslag , met goede geleiding. Het absorptievermogen van microgolfstraling daarin bereikt waarden meer dan 40 dB in het gehele bestudeerde frequentiebereik, wat typerend is voor metalen [7].

In een gedetailleerde analyse van de frequentierespons van de overdrachtscoëfficiënt FeNi/C, Fe/C, Ni/C met zijn afhankelijkheid voor FeCo/C, men kan het uiterlijk van opmerken regelmatige veranderingen met verschillende frequentiestappen. Voor het Ni/C-monster is het was ÿ 1,8 GHz, voor FeNi/C en Fe/C was het 1,25 GHz en voor FeCo/C was het 0,8 GHz. Bovendien vertoont de frequentierespons voor alle monsters het uiterlijk van oscillaties met een breedte van ÿ 8 MHz.

Waargenomen significante verschillen in karakter en kenmerken spectraal afhankelijkheden van microgolfabsorptie (Figuur 4.7) ^V metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels FeNi/C, Fe/C, Ni/C en FeCo/C geven het verschil in de mechanismen aan handelend in hun interactie met EMR. resonerend magnetostrictief mechanisme van microgolfabsorptie door het voorbeeld van FeCo/C metaal koolstof nanocomposiet



Figuur 4.7 - Frequentierespons van de overdrachtscoëfficiënt in metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels: ----- FeNi/C; ----- Fe/C; ---- FeCo/C



Figuur 4.8 - Frequentierespons van de reflectiecoëfficiënt in metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische insluitsels: ----- FeNi/C; ----- Fe/C; ---- FeCo/C

Voor FeNi/C-, Fe/C-, Ni/C-monsters wordt microgolfabsorptie veroorzaakt door bijdragen als diëlektrische verliezen in een sterk amorfe koolstof matrix (Fig. 2.8, a - d, Fig. 3.17, Tabel 3.3) met pyrolyseproducten PAN, dat een lage elektrische geleidbaarheid heeft, en verstrooiing van de elektrische en magnetische componenten van het incident elektromagnetische golf ferromagnetische insluitsels FeNi, Fe en Ni. Intrinsieke absorptie door vaste fase polaire complexen in koolstofmatrix van nanocomposieten die PAN-pyrolyseproducten bevatten, tijdens de passage van microgolfstraling, wanneer ionisatie (energie minder dan Eion.) en elektronische polarisatie (frequentie minder dan 1013 Hz) waren uitgesloten, alleen worden veroorzaakt door resonante verschijnselen in het bestudeerde bereik frequenties (20 ÿ 40 GHz), wat wordt bevestigd door de vorm van het microgolfabsorptiespectrum (Figuur 4.7). Zoals reeds opgemerkt (paragraaf 2.4.3, afb. 2.11), volgens de IR-gegevens spectroscopie in FeNi/C-, Fe/C-, Ni/C-monsters vindt absorptie plaats bij nauwe frequenties in de intervallen: 500 ÿ 800, 840 ÿ 1600, 1700 ÿ 2400 en 2900 ÿ 3600 cm-1 , die overeenkomen met de trillingen van CNT's en verschillende daarmee geassocieerde complexen [108].

Uiteraard de intensiteit van de opgewekte wervelstromen (dichtheid j) neemt toe met de geleidbaarheid, evenals de waarde ponderomotorische kracht in een wisselend magnetisch veld *(N)* van microgolfstraling:

$$F = \ddot{y}O\ddot{y}jH,\tag{4.5}$$

wat leidt tot elastische trillingen in het systeem "nanocarbon structuren - ferromagnetische nanodeeltjes", in het bijzonder op CNT's, de aanwezigheid die werden vastgesteld op basis van de resultaten van workover (fig. 3.17). Dus, absorptie in FeNi/C-, Fe/C-, Ni/C-monsters kan het gevolg zijn van resonerende absorptie van complexen [117] "koolstofstructuren – ferromagnetische deeltjes" wanneer de frequentie van hun eigen oscillaties ÿ0 met frequenties van microgolfstraling:

$$\ddot{y}0 = (\ddot{y}/m)^{-1/2},$$
 (4.6)

bij standaardwaarden ÿ - stijfheid en *m* - CNT-massa's, schatting ÿ0 komt in orde van grootte overeen met de waargenomen microgolffrequenties (Figuur 4.7).

Microgolfabsorptie voor het FeCo/C-monster, zoals reeds opgemerkt, aanzienlijk verschillend, het bleek hoger en de grootste waarde te zijn elektrische geleidbaarheidswaarden kenmerkend voor halfgeleiders (2 S/m). Het IR Fourier-spectrum van dit monster komt in veel opzichten overeen met het spectrum van C60 [185]; daarin verschijnt de meest intense absorptielijn: 530 cm-1. Ook de vorming van fullerenen of vergelijkbare structuren bij 800ÿÿ wordt ook bevestigd door de aanwezigheid van de overeenkomstige lijn in het Ramanspectrum (Fig. 3.17) - 1460 cm-1. Zo zijn de complexe "koolstofstructuren ferromagnetische deeltjes" in het FeCo/C-monster heeft een soortgelijke afschermingsvermogen voor microgolfstraling, zoals in FeNi/C-monsters, Fe/C, Ni/C. Gezien het feit dat de specifieke verzadigingsmagnetisatie van het systeem FeCo/C nanodeeltjes zijn 80% hoger dan die van FeNi/C: 210 en 120 G/g [119], dienovereenkomstig moeten wervelstroomverliezen worden aangevuld hysteresis magnetische verliezen als gevolg van magnetisatie-omkering in ferromagnetische insluitsels. Het is deze omstandigheid die kan als een van de belangrijke redenen voor de sterke toename van de microgolfabsorptie hierin metaal koolstof nanocomposiet.

Uitgaande van fgene ÿ fcr volgens Fig. 4.7, het waargenomen verschil in gedrag van de frequentierespons (significante toename van de absorptie in het monster FeCo/C in vergelijking met alle andere monsters) kan worden veroorzaakt invloed van de afmetingen van metaaldeeltjes. Zoals getoond in Afb. 3.11, *een* de gemiddelde statische afmetingen van Fe- en Co-nanodeeltjes zijn 20 - 40 nm en met bovendrempel van ongeveer 130 nm. Dit is veel meer dan voor deeltjes Fe, Ni of FeNi, waarbij de maximale groottedrempel slechts 80 nm bereikt. IN zo'n significant verschil in de deeltjesgrootte van metalen wordt ondersteund door ook de gegevens in Fig. 3.17 en tab. 3.3, volgens welke de afmetingen van FeCo talrijk zijn

groter en, in tegenstelling tot Fe-, Ni- of FeNi-deeltjes, worden ze amorf. Dit verschil in grootte kan worden verklaard door de toename het vermogen van Co om te bevochtigen met andere metalen, wat bijdraagt vergroting van de afmetingen van formaties op deze basis (vergelijk Fig. 3.12 en 3.13).

Een toename van de grootte van elementen in het systeem "koolstofstructuren ferromagnetische deeltjes" zullen een verschil veroorzaken in de traagheidsmomenten (J = mR2) JFeCo ÿ JFe, JNi, JFeNi. Er moet ook rekening mee worden gehouden dat Co de hoogste magnetostrictie ÿS: Fe 8ÿ10–6 heeft van de gebruikte metaaladditievenNi--35ÿ10–6, Co – -50ÿ10–6. Overeenkomstig (3.7), voor dergelijke afmetingen nanodeeltjes (groter dan 70 nm) voor FeCo-deeltjes zullen worden gekenmerkt door structuur met meerdere domeinen, wat zal leiden tot extra versterking magnetostrictieve veranderingen in hun volumes in het EMR-veld. De combinatie hiervan factoren, maakt het mogelijk om de waargenomen sterke toename van microgolven te verklaren absorptie in het FeCo/C-monster.

Vergelijking van de afhankelijkheden van de frequentierespons gepresenteerd in Fig. 4.7 en afb. 4.2. voor monsters en shungiet duidt op een analogie tot aan frequenties ongeveer 32 en 29 GHz, dat wil zeggen bij frequenties links en rechts van fgen = fcr. Dit feit bevestigt ook het dominante effect op microgolfabsorptie in onderzochte metaal-koolstof nanocomposieten van samenstelling: FeNi/C, Fe/C, Ni/C-koolstofformaties.

Zo is aangetoond dat metaal-koolstof nanocomposieten met insluitsels van FM-metalen zijn effectieve absorbers van EM straling. Het is vastgesteld dat de introductie van ferromagnetische nanodeeltjes in koolstof nanogestructureerde matrices verhogen de coëfficiënt microgolfabsorptie in alle bestudeerde monsters. experimenteel bleek dat microgolfabsorptie in een praktisch significante dynamiek bereik kan te wijten zijn aan zowel de samenstelling als de structuur van de koolstof matrix en de afmetingen van insluitsels van ferromagnetische nanodeeltjes. Een resonant-magnetostrictief mechanisme van microgolfabsorptie wordt voorgesteld op het voorbeeld van FeCo/C metaal-koolstof nanocomposiet.

4.3 Resonante microgolfeigenschappen van gekweekte koolstofnanobuisjes ethanol pyrolyse methode op een magnetische katalysator

De ontwikkeling van technologieën voor de synthese van CNT's en MWCNT's creëerde de voorwaarden voor alleen voor hun uitgebreide studie, maar ook voor praktische toepassing, in inclusief, om materialen op basis daarvan te maken met meer reflecterende en absorberende eigenschappen van EMR [35 - 83]. Volgens met degene gepresenteerd in sec. 2.2 Overzicht van gebruikte CNT-synthesemethoden onze methode om ze te verkrijgen stelt ons in staat om beide hoog te combineren elektrofysische kenmerken van de koolstofstructuren zelf, en vanwege de eigenaardigheid van de methode om de magnetische eigenschappen van nikkel te gebruiken katalysator [142 – 144]. Geïntegreerd gebruik van alle componenten EMR-component (elektrisch en magnetisch) moet voorzien met name de absorptie van microgolven verhogen. Wetenschappelijke en praktische interesse onderzoek en ontwikkeling in deze richting wordt aangegeven in een aantal werkt in het bijzonder [48, 195]. Er wordt steeds meer ontwikkeld in waarin CNT's en MWCNT's als microadditieven zijn opgenomen composietmaterialen voor een breed scala aan doeleinden, van constructie tot het oplossen van problemen van bescherming tegen ongeoorloofde toegang tot elementen en apparaten van elektronische engineering, in het bijzonder [196 - 198]. In deze werkt in frequentiebereik tot 18 GHz, de invloed van de dikte van de composiet met toegevoegde CNT's en dragermatrixsamenstelling en CNT-inhoud.

Vanwege de snelle ontwikkeling van technologieën voor het verkrijgen van CNT's en MWCNT's, merkbaar is de constante daling van hun kosten, die volgens buitenlandse bronnen is niet meer dan 300 \$/kg. Zoals getoond in sec. 1 het gebruik van precies zulke koolstof nanogestructureerde objecten hoge EMI-absorptie wordt bereikt - meer dan 55 dB, dat wil zeggen het niveau van de goedgekeurde EMR daalt tot 0,01%. Praktisch verantwoord de onderdrempel voor de absorptie van microgolfstraling wordt geacht 8% te zijn, wat kan worden voorzien van een toevoeging aan het basismateriaal CNT/MWCNT binnen 1 ÿ 2% van de massafractie.

In dit verband hebben we de microgolfabsorptie van MWCNT's bestudeerd, gesynthetiseerd door pyrokatalytische synthese met ferromagnetisch nanokatalysator in de vorm van Ni (paragraaf 2.2) zowel in zuivere vorm als met onbeduidend (niet meer dan 2%) hun toevoeging aan de samenstelling van het gebouw cementmerk 500 en verrijkt ijzerertsconcentraat Mikhailovsky GOK (paragraaf 3.4). De studies werden uitgevoerd op de vector PNA-L Agilent N5230A microgolfnetwerkanalysator. Microgolfstraling werd gebruikt in het frequentiebereik 15 ÷ 40 GHz spanning U = 3,2 mV en vermogen P = 0,2 ÿW. afmetingen versterking (S21) werd uitgevoerd in 2 bereiken: 15 ÷ 26 GHz en 26 ÷ 40 GHz, wat het mogelijk maakte om de afhankelijkheid S21(f) te detailleren. resultaten studies S21(f) worden gepresenteerd in Fig. 4.9 ÿ4.12 en zo gegroepeerd dat elk heeft een frequentierespons voor MWCNT, de overeenkomstige matrix van cement of ijzerertsconcentraat en dezelfde matrix met toevoeging van MWCNT: voor cement 2% en voor ijzerertsconcentraat - 0,2%. Merk op dat alle frequentieresponsmetingen werden uitgevoerd onder dezelfde omstandigheden: getest materialen in poedervorm werden gebriketteerd in cellofaan en in de resonator gedrukt. Voor aanvang van de metingen, kalibratie waarbij de effecten van verpakking worden afgetrokken. Minimaal numeriek waarden - S21 bij de respectieve frequenties worden getabelleerd en gepresenteerd voor elk frequentiebereik in de tabel. 4,2 - 15 ÿ 26 GHz en tab. 4.3 - 26 -40GHz.

Een onderscheidend kenmerk van de toegepaste MWCNT's is dat magnetische nanodeeltjes van nikkel zijn gebonden aan MWCNT's, wat wordt bevestigd synchronisatie van de concentratieprofielen van de verdeling van C en Ni over EDA-gegevens (Fig. 3.21). Wanneer deze nanocomplexen interageren met het veld elektromagnetische golf ontstaan er ponderomotorische krachten (4.5), oscillerende bewegingen veroorzaken vanwege de aanwezigheid van elastische eigenschappen nanobuisjes met een frequentie bepaald door formule (4.6). Typisch de stijfheidscoëfficiënt van nanobuisjes ligt meestal tussen 100 en

1000 [120], terwijl het massamiddelpunt van het MWCNT-Ni-nanodeeltjessysteem blijkt te zijn verplaatst vanwege de hogere nikkeldichtheid. Geschatte berekening, volgens (4.6), de effectieve grootte van de MWCNT bij de laagste resonantiefrequentie 26 GHz wanneer S21max = -12,7 dB (Tabel 4.2) geeft 3,13 μm. Gezien de diameter waarvan de waarde, bepaald met verschillende methoden (paragraaf 3.4), ligt in binnen 20 nm is het mogelijk om de kenmerkende aspectverhouding van deze structuren te verkrijgen. verhouding "lengte - diameter": L / d binnen 100 ÷ 1000. Sinds de frequentierespons MWCNT in het bereik tot 26 GHz is dan vrij monotoon de aldus bepaalde lengte zal de grootste zijn.

Tabel 4.2

Frequentieresponsgegevens S21(f) met toevoegingen

Lc+UNT		Zh.k.		UNT		Cement		Cement+CNT	
fi,	– S21,	fi,	– S21,	fi,	– S21,	fi,	– S21,	fi,	– S21,
GHz	dB	GHz	dB	GHz	dB	GHz	dB	GHz	dB
15.6	11.9	16.8	5	17	9.8	16	1.1	17.6	4.5
18.2	14.7	18	5.8	19.8	10.3	17.2	0,4	19.7	6.3
19.9	26.9	18.9	5.7	20.3	10.3	18.5	0,25	23.1	7.8
21.8	39.2	19.7	5.8	20.9	10	19.7	1	24.7	7.5
23.4	28.6	20.9	5.9	23.5	11.3	20.9	1.2	26.5	11.4
24.3	30.7	23	6	26	12.7	21.7	1.9		
26.8	19.2	23.9	5.9			22	2		
		25.4	8.4			23.3	2.3		
			•			22.0	2.5		

MWCNT (ÿgen = 15 ÿ 26 GHz)

21.7	1.9
22	2
23.3	2.3
23.8	3.5
24.2	2.9
24.7	3.2
25.7	5
26.2	7.3

Tabel 4.3

	001(0)	
Fragulantiaracha	ncananyonc S(1)1)	mot toovoorangoo
		·

Zh.k. + CNT		Zh.k		UNT		Cement		Cement + KNT	
fi,	– S21,	fi,	– S21,	fi,	– S21,	fi,	– S21,	£ 011-	– S21,
GHz	dB	GHz	dB	GHz	dB	GHz	dB	fi, GHz	dB
26.8	23.8	26.6	12.1	27.4	27	27.3	2.5	28.5	17.6
28.3	21.9	28.8	13.4	29.3	42.6	29	4	31.8	21.2
dertig	28.1	32.7	16.9	30.7	30.5	dertig	7.2	34.6	28.9
31.2	31.7	35,5	27.1	32	25.8	31.3	11.2	35.3	28.1
33.1	21.3	36.3	26.6	32.4	26.1	32.3	5.7	37.9	32.1
35,5	28.6	36.9	27.5	33.1	26.8	33.3	7.9	39.6	30.1
37.2	36.7	37.6	32.1	33.7	28.8	35	10.1		
38.8	33.9	38.6	30.4	34.8	37.2	36.4	8.1		
				35.3	37,5	37.2	9.7		
				39	33.6	38.3	17.1		
			đ			39.1	25.6		

MWCNT (ygen = 26 y 40 GHz)

Laten we een algemene analyse uitvoeren van de limieten van veranderingen in de frequentierespons S21(f) voor elk van gepresenteerde materialen, zowel in de originele staat als in het mengsel. Dus voor CNT's bleek het natuurlijk in alle gevallen hetzelfde en gevarieerd te zijn in het eerste frequentieinterval (ÿgen = 15 ÿ 26 GHz – I) van S21min = – 9,8 tot S21max = –12,7 dB, terwijl in het tweede (ÿgen = 26 ÿ 40 GHz – II) – vanaf S21min = – 25,8 tot S21max = -42,6 dB. Tegelijkertijd is er een algemene trend een toename van het absorptievermogen van microgolfstraling met toenemende frequentie. Tegelijkertijd tonen de afhankelijkheden S21(f) voor MWCNT bij de frequenties ÿgene ÿ ÿcr het verschijnen van halfgolfresonantie, vergezeld van modulatie staande golven zoals voorheen in koolstofstructuren van natuurlijk shungiet. Evenzo geven we de drempelwijzigingen aan - voor materialen, fungeren als een matrix, evenals hun mengsels met MWCNT's.



Figuur 4.9 - Frequentierespons van de gain S21 in het frequentiebereik 15 - 25 GHz:



Figuur 4.10 - Frequentierespons van versterking S21 in het frequentiebereik 26 -40 GHz: cement + MWCNT (2%) - ____; cement - ___; MSUNT - __

Voor cement (Fig. 4.9 en Fig. 4.10), veranderingen in S21(f) bij frequenties bereik I - van S21min = - 0,1 tot - S21max = - 7,3 dB, en in het tweede bereik II -S21min = -2,5 tot S21max= -25,6 dB. Met toenemende frequentie is er een toename S21. De afhankelijkheid S21(f) wordt echter niet alleen gemoduleerd door staande golven vertegenwoordigd door fluctuaties van nogal willekeurige aard, het voorkomen die kan worden geassocieerd met elastische trillingen van een sterk inhomogeen afmetingen en fasesamenstelling van de diëlektrische massa van cement. Afwezigheid homogeniteit in grootte elimineert het optreden van een kwartgolf

resonantie, die werd waargenomen in de koolstofstructuren van shungiet.

Analyse van S21(f) voor cement + CNT (2%) geeft de volgende microgolfparameters absorptie in elk van de bereiken: I - S21min = - 4,5 tot S21max = - 11,4 dB,

II - van - S21min = - 17,6 tot S21max = - 32,1 dB. Dat wil zeggen, er is een toename in S21 meerdere keren. Tegelijkertijd is de afhankelijkheid S21(f) behoorlijk geworden gladgestreken karakter, behoud van de algemene groeitrend met een toename van frequenties. In beide reeksen van de bestudeerde frequenties,

halfgolfresonanties, en bij een frequentie van ongeveer 39 GHz,

kwartgolfresonantie wanneer en S21 = -25 dB. Het is kenmerkend dat op hetzelfde frequentie in het monster alleen van cement S21max = -25,6 dB, dat is in feite er is een superpositie op de resonantie, absorptie burst.

Een vergelijkbare algemene analyse voor de samenstelling van ijzerpoeder concentraat (Zh.K) (Fig. 4.11 en Fig. 4.12) in de gemarkeerde bereiken I geeft S21min = -5 tot S21max = -8,4 dB, en II – vanaf S21min = -12,1 tot S21max - 30,4 dB, en in ijzer concentraat

er treden veranderingen op van S21min = – 11,9 naar S21max = – 39,2 dB, en II – van S21min = - 21,9 tot S21max = respectievelijk - 36,7 dB. Let op dat voor poeder samenstelling L.K + MWCNT (0,2 %) AFC S21(f) verwerft op de aangegeven frequenties resonant karakter (Fig. 4.11 en Fig. 4.12).



Figuur 4.11 - Frequentierespons van de gain S21 15 - 26 GHz:

JK + MWCNT (0,2%) – ____; JK - ___; MSUNT - ____

Voor beide poedersamenstellingen (cement + MWCNT (2%) en

L.C + MWCNT (0,2 %), moet een afname van het microgolfniveau worden opgemerkt absorptie vergeleken met monster alleen gebaseerd op

CNT/MSUNT. Echter, voor een materiaal in de vorm van een matrix zonder MWCNT, zoals voor cement, en voor Zh.K was het niveau van microgolfabsorptie niet minder dan 2 keer lager (Fig. 4.9 – Fig. 4.12). Merk op dat voor S21 waarden onder -25dB EMP wordt meer dan 300 keer verzwakt, dat wil zeggen dat slechts 0,3% van de microgolf doorlaat straling. Dit benadrukt het praktische belang van het gebruik nanokoolstofformaties, in het bijzonder MWCNT's als microadditieven in de gespecificeerde matrices.



Afbeelding 4.12 - Frequentiebereik van de versterking S21 26 - 40 GHz: JK + MWCNT (0,2%) - ____; JK - ___; MSUNT - ____

Vergelijking van de gepresenteerde gegevens laat zien dat toevoegen MWCNT in cement, als het belangrijkste bouwmateriaal, is in wezen verhoogt de microgolfabsorptie, vooral in de regio met de hoogste bestudeerde frequenties: tot 40 GHz. Er wordt een nog groter effect bereikt met de introductie van MWCNT in de compositie van Zh.K. (voornamelijk magnetiet - Fe3O4 en hematiet - Fe2O3, die een uitgesproken natuurlijk magnetisme hebben). In dit geval is een toename van de microgolfabsorptie verzekerd, zelfs bij vermindering van de toevoeging van MWCNT's tot 0,2% van de totale poedermassa composities.

Het optreden van de bovenstaande functies in de veranderingen in de frequentierespons S21(f), de aanwezigheid van enkele frequentie-intervallen met significante versterking microgolfabsorptie (Tabel 4.1 en Tabel 4.2 en alle figuren), uiteraard, zijn verbonden met de fasesamenstelling en structuur van het materiaal, geschikte matrix, evenals het effect van microadditieven daarop MSUNT. Dus voor L.C. + MWCNT in de I-band in het bereik van 20 - 25 GHz

er is een sterke toename van de microgolfabsorptie, die zelfs 4 bleek te zijn keer hoger dan in MWCNT (zie Fig. 4.11). Voor cement + MWCNT-samenstelling de algemene opwaartse trend van S21 is typerend. In dit geval wordt het ook opgemerkt smoothing S21(f) vergeleken met het spectrum voor cement zonder additief (Afb. 4.9 en Afb. 4.10), terwijl voor L.C. + MWCNT daarentegen de groei amplitudes en fase-omkering bij dezelfde oscillatiefrequenties (Zie figuur 4.11 en figuur 4.12). Dit resultaat kan te wijten zijn aan het complex bijdrage aan S21(f), zowel het diëlektricum ÿÿ = ÿÿ + iÿÿ MWCNT, cement, en magnetische permeabiliteit ÿÿ = ÿÿ + iÿÿ voor Zh.K. Het is belangrijk op te merken dat voor poedersamenstelling van cement + MWCNT is dan alleen significant ÿÿ wat betreft JK + MWCNT, ÿÿ en ÿÿ zullen een duidelijke invloed hebben [79].

Laten we een kwalitatieve analyse uitvoeren van de processen die plaatsvinden bij interactie van microgolfstraling met materialen in de resonator met parameters beschreven in sec. 4.1. Uiteraard van alle soorten verstrooiing EMR in het gespecificeerde frequentiebereik tot 40 GHz (met golven van tientallen millimeter - ver IR-bereik) Rayleigh-verstrooiing is sindsdien mogelijk de afmetingen van de bestudeerde verspreidingssystemen zijn veel kleiner dan ÿ. Het karakter echter waargenomen frequentierespons in de vorm S21(f) komt niet overeen met een zodanige verstrooiing dat ook bevestigd door de bevindingen van [196 – 198], waar geen verschuiving werd gevonden spectrale kenmerken van microgolfstraling (in het bereik tot 18 GHz) bij door cement gaan (deeltjesgrootte tientallen microns) met toenemend concentratie van CNT's - van 0.25 tot 1.0% en de dikte van de laag van de bestudeerde monsters in de resonator - van 5 tot 10 mm. Zoals reeds opgemerkt, onder onze voorwaarden, de dikte van alle bestudeerde monsters was hetzelfde en was ongeveer 1,5 mm, en veranderingen in de concentratie van MWCNT-microadditieven gingen alleen gepaard verandering in intensiteit S21(f) bij overeenkomstige frequenties (f) zonder een significante verschuiving zowel naar het Stokes f ÿ f- gen als naar het anti-Stokes f ÿ f- gen gebieden. Opgemerkt moet worden dat hiermee geen rekening is gehouden deeltjesgrootten en/of hun complexen, in het bijzonder nanoclusters, groei wat over het algemeen zowel de Stokes-verschuiving veroorzaakt als

versterking van de oscillatieamplitude, volgens [121]. Magnetron intensiteit signaal *(I)* verandert volgens de Gauss-verdeling, oplopend met eerste sectie *I* ÿ *d* ³, en voor *d* ÿ dcr., die voor magnetische deeltjes, k Bijvoorbeeld, (3.7) is gedefinieerd, afnemend *I* ÿ d^1 . Onder onze voorwaarden voorwaarde *d* < dcr en amplificatie van I zou moeten optreden.

Om in deze situatie de waargenomen afhankelijkheden S21(f) te interpreteren, blijkbaar zou een belangrijke rol moeten worden gespeeld door interferentieverschijnselen binnenin resonator met de resulterende amplitude *E* of H, bepaald door uitdrukking (4.2). Optreden van oscillaties op afhankelijkheid S21(f), en ook hun versterking/verzwakking zal optreden bij frequenties fmin = v/2d (paragraaf 4.2), op voorwaarde dat ze in-fase/uit-fase zijn met ruimtelijke frequenties bepaald door interferentie hoge/lage tonen die gemoduleerd zijn resonator holte.

Dus het gebruik van MWCNT-microadditieven in poedervorm samenstellingen met cement of ijzerertsconcentraat, maakt het mogelijk de absorptiecapaciteit van microgolfstraling aanzienlijk verhogen frequentiebereik tot 40 GHz, wat te wijten is aan de complexe bijdrage, zoals diëlektrisch ÿÿ = ÿÿ + ÿÿ MWCNT, cement en magnetische doorlatendheid ÿÿ = ÿÿ + ÿÿ voor L.C.

Conclusie

Volgens de resultaten van de structurele en elementaire analyse in exemplaren van natuurlijke shungite behandeld met HF, wordt een autopsie genoteerd siliconen frameschalen, wat de toename van hun verklaart Röntgen-amorfisme. Hyperspectrale distributie van Raman op fullerenen op het oppervlak van een natuurlijke splitsing van natuurlijke shungiet aangeeft isotrope opstelling van fullereen nanoclusters, die daarna verwerking HF wordt alleen maar meer uitgesproken, wat consistent is met een toename van het niveau van röntgenamorfisme.

waargenomen in nanogestructureerde amorfe koolstof, verkregen uit het schungietmineraal, waardoor de opname wordt verhoogd vermogen, reflectie en diëlektrisch verlies van microgolfstraling worden bereikt zowel door diëlektrische verliezen als door dissipatie en absorptie van EMP-energie. Tegelijkertijd de overheersende de toename van diëlektrische verliezen wordt veroorzaakt door de lage geleidbaarheid van koolstof formaties bij frequenties lager dan de kritieke. Toenemende energieopname EMP bij frequenties hoger dan de kritische op de aangegeven nanokoolstof formaties van deeltjes en/of nanoclusters daarvan wordt as genoemd halve golfresonantie, wanneer het materiaal van het testmonster binnen resonator blijkt te worden gemoduleerd door staande golven, en kwartgolfresonantie, wanneer in het maximale elektrische veld Microgolfstraling, deze structuren zijn dipool-gepolariseerd en onderhevig aan vervorming trillingen.

Metaal-koolstof nanocomposieten met FM-metaalinsluitingen zijn effectieve absorbers van EM-straling. Dat bepaald introductie van ferromagnetische nanodeeltjes in nanogestructureerde koolstof matrix verhoogt de microgolfabsorptiecoëfficiënt in alle bestudeerde monsters. Het is experimenteel vastgesteld dat microgolfabsorptie in praktisch significant dynamisch bereik kan te wijten zijn aan zowel de samenstelling en structuur van de koolstofmatrix als de grootte van de insluitsels

ferromagnetische nanodeeltjes. Voorgestelde resonant-magnetostrictief Mechanisme van microgolfabsorptie door het voorbeeld van FeCo/C metaal-koolstof nanocomposiet.

Het gebruik van MWCNT-microadditieven in poedersamenstellingen met cement- of ijzerertsconcentraat, maakt aanzienlijk mogelijk vergroot het absorptievermogen van microgolfstraling in het gehele bereik frequenties tot 40 GHz, wat vanwege de complexe bijdrage, zoals diëlektrische MWCNT en cement, en magnetische permeabiliteit ijzererts concentraat.
Bibliografie

 Lutsev, L. V. Multi-purpose radio-absorberende materialen op basis van magnetische nanostructuren: verkrijgen, eigenschappen en toepassingen [tekst] / L.V. Lutsev, GA Nikolaychuk, VV Petrov, SV Yakovlev // Nanotechnics. —
 2008. -ÿ10. - blz. 37-43.

2. Torgovanov, V. A. Echovrije kamers [tekst] / V. A. Torgovanov //

Buitenlandse radio-elektronica. - 1974. - Nr. 12. - blz. 20-46.

3. Lynkov, L. M. Nieuwe materialen voor elektromagnetische schermen

straling [tekst] / L. M. Lynkov, V. A. Bogush, T. V. Borbotko, E. A.

Oekraïens, N.V. Kolbun // Rapporten van BSUIR. - 2004. - T. 2., nr. 5. - blz. 152-167.

4. Antonov, A. S. Hoogfrequente magnetische permeabiliteit van composiet materialen die carbonylijzer bevatten [tekst] / A.S. Antonov, L.V.

Panina, AK Sarychev // JTF. - 1989. - Nr. 59., Nummer 6. - S. 88-94.

5. Brekhovskikh, L. M. Golven in gelaagde media / L. M. Brekhovskikh. - M.:

Ripol Klassieker, 1973. - 342 p.

6. Kazantseva, N. E. Veelbelovende materialen voor absorbers

elektromagnetische golven van het microgolfbereik [tekst] / N.E.

Kazantseva, NG Ryvkina, IA Chmutin // Radiotechniek en elektronica. --

2003.- T.48., nr. 2. — Blz. 196-209.

7. Ostrovsky, O. S. Beschermende schermen en absorbers van elektromagnetische straling golven [tekst] / O. S. Ostrovsky, E. N. Odarenko, A. A. Shmatko // Fysiek

oppervlakte techniek. —2003. - T.1., nr. 2. - blz. 161-172.

8. Stewart, W. Mobiele telefoons en gezondheid [tekst] / W. Stewart-Chilton:

Onafhankelijke deskundigengroep mobiele telefoons, 2000. - 168 p.

9. Dawson, TW Pacemakerstoring door magnetische velden op het elektriciteitsnet

frequenties [tekst] / TW Dawson, K. Caputa, MA Stuchly, RB Shepard, R.

Kavet, A. Sastre // IEEE-transacties over biomedische technologie. —2002. — Vol. 49., nr. 3. - Blz. 254-262.

10. Dawson, TW Pacemakerinterferentie en laagfrequente elektrische inductie in mensen door externe velden en elektroden [tekst] / TW Dawson, MA Stuchly, K. Caputa, A. Sastre, RB Shepard, R. Kavet // IEEE-transacties op biomedisch engineering. -2000. — Vol. 47., nr. 9. - Blz. 1211-1218.

11. Pozar, DM Microgolftechniek / DM Pozar. Hoboken: John Wiley &

Zonen, 2005. - 17 p.

12. Thostenson, ET Microgolfverwerking: grondbeginselen en toepassingen [tekst]

/ ET Thostenson, TW Chou // Composieten Deel A: Applied Science en

fabricage. - 1999. - Vol. 30., nr. 9. - Blz. 1055-1071.

13. Oh, JH Ontwerp van radarabsorberende constructies met behulp van glas/epoxy-composieten met roet in X-band frequentiebereiken [tekst] / JH Oh, KS Oh, C.

G. Kim, CS Hong // Composieten Deel B: Engineering. -2004. -Vol. 35., nee.

1.— Blz. 49-56.

14. Shen, G. Absorberende eigenschappen en structureel ontwerp van microgolfabsorbeerders. gebaseerd op W-type La-gedoteerde ferriet- en koolstofvezelcomposieten [tekst] / G. Shen, Z.

Xu, Y. Li // Tijdschrift voor magnetisme en magnetische materialen. - 2006. - Vol. 301.,

Nr. 2. - Blz. 325-330.

15. Yan, SJ Microgolfabsorptie-eigenschappen van FeNi3-submicrometerbolletjes en SiO2 FeNi3 core-shell-structuren [tekst] / SJ Yan, L. Zhen, CY Xu, JT Jiang, WZ Shao // Journal of Physics D: Applied Physics. - 2010. - Vol. 43.,

Nr. 24. - P. 245003.

16. Kittel, C. Over de theorie van ferromagnetische resonantieabsorptie [tekst] / C. Kittel // fysieke beoordeling. - 1948. - Vol. 73., nr. 2. — Blz. 155.

17. Maeda, T. Effect van de zachte/harde uitwisselingsinteractie op natuurlijke resonantie frequentie en golf elektromagnetische absorptie van de zeldzame aarde-ijzer-boor verbindingen [tekst] / T. Maeda, S. Sugimoto, T. Kagotani, N. Tezuka, K. Inomata // Journal of magnetisme en magnetische materialen. - 2004. - Vol. 281., nr. 2. — P. 195-205.

18. Vysotsky, S. L. Spectrum en verliezen van magnetostatisch oppervlak golven in een eendimensionaal magnisch kristal [tekst] / S. L. Vysotsky, S. A.

Nikitov, N. N. Novitsky, A. I. Stogniy, Yu. A. Filimonov // Tijdschrift technische fysica. -2011.-T. 81., nr. 2. - Blz. 150-152.

Acher, O. Generalisatie van de wet van Snoek naar ferromagnetische films en composieten [tekst] / O. Acher, S. Dubourg // Fysieke beoordeling B. - 2008. - Vol.
 77., nr. 10. — Blz. 104440.

Benedek, G. Nanogestructureerde koolstof voor geavanceerde toepassingen [tekst] / G.
 Benedek, P. Milani, VG Ralchenko // Dordrecht: Kluwer Academic Publishers,
 2000. - 365 p.

 Shuba, MV Theorie van meerwandige koolstofnanobuisjes als golfgeleiders en antennes in het infrarood en de zichtbare regimes [tekst] / MV Shuba, GY Slepyan, SA Maksimenko, C. Thomsen, A. Lakhtakia // Fysieke beoordeling B. —2009.— Vol. 79., nr. 15. — Blz. 155403.

22. Balberg, I. Een uitgebreid beeld van de elektrische verschijnselen in koolstof zwart-polymeercomposieten [tekst] / IA Balberg // Carbon. - 2002. - Vol. 40., Nr. 2. - Blz. 139-143.

23. Wu, KH Effect van roetgehalte op elektriciteit en magnetron

absorberende eigenschappen van polyaniline/carbon black nanocomposieten [tekst] / KHWu,

TH Ting, GP Wang, WD Ho, CC Shih // Polymeerafbraak en

stabiliteit. - 2008. - Vol. 93., nr. 2. - Blz. 483-488.

Brosseau, C. Opkomende technologieën van plastic koolstof nano-elektronica: A recensie [tekst] / C. Brosseau // Surface and Coatings Technology. - 2011. - Vol.
 206., nr. 4. - P. 753-758.

25. Liu, L. Microgolfabsorptie-eigenschappen van een golfabsorberende coating gebruikmakend van carbonyl-ijzerpoeder en roet [tekst] / L. Liu, Y. Duan, L. Ma,

S. Liu, Z. Yu // Toegepaste oppervlaktewetenschap. - 2010. - Vol. 257., nr. 3. - P. 842-846.

26. Shen, M. Een onderzoek naar vochtopname en adhesie van het mengproces film met behulp van p-alkylfenol-resorcinol-formaldehyde en rubberlatex [tekst] / M. Shen, J. Zhang, Q. Chen // Tijdschrift voor toegepaste polymeerwetenschap. - 2009. - Vol. 113., nr. 6. - P. 3550-3556.

27. Soloman, MA Effect van carbon black op het mechanische en diëlektrische eigenschappen van rubberferrietcomposieten die bariumferriet bevatten [tekst] / MA Soloman, P. Kurian, MR Anantharaman, PA Joy // Tijdschrift voor toegepast polymeer wetenschap. - 2003. - Deel 89., nr. 3. - P. 769-778.

28. Wen, B. Elektromagnetische golfabsorptie-eigenschappen van koolstofpoeder uit gekatalyseerd roet in X- en Ku-banden [tekst] / J. Zhao, Y. Duan, X. Zhang, Y.

Zhao, C. Dong, S. Liu, T. Li // Journal of physics D: Applied Physics. — 2006. — Vol. 39., nr. 9. - P. 1960-1962.

29. Ishizaki, K. Selectiviteit van het energieverbruik van microgolven bij het verminderen van Fe3O4 met roet in gemengd poeder [tekst] / K. Ishizaki, K. Nagata // ISIJ Internationale. - 2007. - Vol. 47., nr. 6. - Blz. 811-816.

30. Brosseau, C. Invloed van uniaxiale spanning op de microgolfabsorptie.

eigenschappen van gevulde polymeren [tekst] / C. Brosseau, W. Ndong, A. Mdarhri // Journal van Technische Natuurkunde. - 2008. - Vol. 104., Nr. 7. - P. 074907.

31. Park, KY Vervaardiging en elektromagnetische kenmerken van elektromagnetisch golfabsorberende sandwichconstructies [tekst] / KY Park, SE Lee, CG Kim, JH Han // Composieten wetenschap en technologie. - 2006. - Vol. 66., nr. 3. — Blz. 576-584.

 Meng, W. Absorptie-eigenschappen van carbonyl-ijzer / carbonzwart dubbellaags microgolfabsorbers [tekst] / W. Meng, D. Yuping, L. Shunhua, L. Xiaogang, J. Zhijiang // Journal of magnetisme en magnetische materialen. - 2009 - Vol. 321., Nr. 20. - Blz. 3442-3446.

 Ventilator, Y. Evaluatie van de microgolfabsorptie-eigenschap van vlokgrafiet [tekst] / Y. Fan, H. Yang, M. Li, G. Zou // Materiaalchemie en natuurkunde. —
 2009. Vol. 115., nr. 2. - P. 696-698.

34. Gogoi, JP Synthesis en microgolfkarakterisering van uitgebreid grafiet/novolac fenolharscomposiet voor microgolfabsorptietoepassingen JP Gogoi, NS Bhattacharyya, KC James Raju // Composieten Deel B: engineering. - 2011. - Vol. 42., nr. 5. - P. 1291-1297.

35. Ajayan, PM Koolstofbuizen van nanometerformaat [tekst] / PM Ajayan, TW

Ebbesen // Verslagen over vooruitgang in de natuurkunde. - 1997. - Vol. 60., nr. 10.— P. 1025-1062.

36. Zhou, Y. P-kanaal, n-kanaal dunne-filmtransistors en pn-diodes gebaseerd op enkelwandige koolstofnanobuisnetwerken [tekst] / Y. Zhou, A. Gaur, SH Hur, C. Kocabas, MA Meitl, M. Shim, JA Rogers // Nano Letters. - 2004. - Vol. 4., Nr. 10. - Blz. 2031-2035.

 Takenobu, T. Stabiele en gecontroleerde amfotere doping door inkapseling van organische moleculen in koolstofnanobuisjes [tekst] / T. Takenobu, T. Takano, M. Shiraishi, Y. Murakami, M. Ata, H. Kataura, Y. Achiba, Y. Iwasa // Natuur materialen. - 2003. - Vol. 2., nr. 10. - P. 683-688.

38. Gui, X. Microgolfabsorberende eigenschappen en magnetische eigenschappen van verschillende

koolstof nanobuisjes [tekst] / X. Gui, K. Wang, J. Wei, R. Lü, Q. Shu, Y. Jia, C. Wang,

H. Zhu, D. Wu // Wetenschap in China Serie E: Technologische Wetenschappen. — 2009. — Vol. 52., Nr. 1. - P. 227-231.

39. Torquato, S. Willekeurige heterogene materialen: microstructuur en macroscopisch eigenschappen [tekst] / S. Torquato // Princeton: Spriger, 2002. - 228 p.

40. Stauffer, D. Inleiding tot de percolatietheorie [tekst] / D. Stauffer, A. Aharony // Londen: Taylor en Francis, 1991. - 183 p.

41. Achlioptas, D. Explosieve percolatie in willekeurige netwerken [tekst] / D. Achlioptas, RM D'Souza, J. Spencer // Wetenschap. - 2009. - Vol. 323., nr. 5920.-

Blz. 1453-1455.

42. McQueen, D. H. Meervoudige drempelpercolatie in polymeer/vulmiddelcomposieten D.

H. McQueen, KM Jäger, M. Pelíšková // Journal of Physics D: Applied Physics.

- 2004. - Vol. 37., nr. 15. - P. 2160-2169.

43. Reghu, M. Transport in polyaniline-netwerken nabij de percolatiedrempel

[tekst] / M. Reghu, CO Yoon, CY Yang, D. Moses, P. Smith, AJ Heeger, Y.

Cao // Fysieke recensie B. - 1994. - Vol. 50., nr. 19. - P. 13931-13942.

44. Liu, Z. Microgolfabsorptie van enkelwandige koolstofnanobuisjes / oplosbaar kruis gekoppelde polyurethaancomposieten [tekst] / Z. Liu, G. Bai, Y. Huang, F. Li, Y. Ma, T.

Guo, X. Hij, X. Lin, H. Gao, Y. Chen // The Journal of Physical Chemistry C. — 2007. Vol. 111., nr. 37. - P. 13696-13700.

45. Ventilator, Z. Elektromagnetische en microgolfabsorberende eigenschappen van meerwandig koolstofnanobuisjes/polymeercomposieten [tekst] / Z. Fan, G. Luo, Z. Zhang, L. Zhou,
F. Wei // Materiaalkunde en -techniek: B. - 2006. - Vol. 132., nr. 1. - P.
85-89.

46. Kovacs, JZ Twee percolatiedrempels in epoxycomposieten van koolstofnanobuisjes [tekst] / JZ Kovacs, BS Velagala, K. Schulte, W. Bauhofer // Composieten wetenschap en technologie. - 2007. - Vol. 67., nr. 5. - Blz. 922-928.
47. Schmidt, RH Het effect van aggregatie op de elektrische geleidbaarheid van spin gecoate composietfilms van polymeer/koolstof nanobuis [tekst] / RH Schmidt, IA Kinloch, AN Burgess, AH Windle // Langmuir. - 2007. - Vol. 23., nr. 10.— Blz. 5707-5712.

48. Saib, A. Koolstofnanobuiscomposieten voor breedbandmicrogolfabsorptie materialen [tekst] / L. Bednarz, R. Daussin, C. Bailly, X. Lou, J. Thomassin, C.
Pagnoulle, C. Detrembleur, R. Jérôme, I. Huynen // IEEE-transacties op Microgolftheorie en -technieken. - 2006. - Vol. 54., nr. 6. - P. 2745-2754.
49. Gojny, FH Invloed van verschillende koolstofnanobuisjes op het mechanische eigenschappen van epoxymatrixcomposieten - een vergelijkende studie [tekst] / FH Gojny, MH Wichmann, B. Fiedler, K. Schulte // Samengestelde wetenschap en technologie.
- 2005. - Vol. 65., nr. 15. - P. 2300-2313.

50. Gojny, FH Carbon nanobuis-versterkte epoxy-composieten: verbeterd
stijfheid en breuktaaiheid bij een laag gehalte aan nanobuisjes [tekst] / FH Gojny, MH
G. Wichmann, U. Köpke, B. Fiedle, K. Schulte // Composietenwetenschap en
technologie. - 2004. - Vol. 64., nr. 15. - P. 2363-2371.

51. Zou, T. Elektromagnetische en microgolfabsorberende eigenschappen van meerwandig koolstof nanobuisjes gevuld met Ni nanodraad [tekst] / H. Li, N. Zhao, C. Shi // Journal van legeringen en verbindingen. —2010. - Deel 496., nr. 1. - Blz. 22-24.

52. Kim, B. Elektrische eigenschappen van enkelwandige koolstof nanobuis en epoxy composieten [tekst] / J. Lee, I. Yu // Journal of Applied Physics. —2003. — Vol.94., Nr. 10. - P. 6724-6728.

53. Saini, P. Polyaniline-MWCNT nanocomposieten voor microgolfabsorptie en EMI-afscherming [tekst] / VP Choudhary, RB Singh, SK Mathur Dhawan //
Materiaalchemie en natuurkunde. - 2009. - Vol. 113., nr. 2 - P 919-926.

54. Wu, J. Hoge microgolfdiëlektrische constante van meerwandige koolstofnanobuis composieten [tekst] / L. Kong // Letters toegepaste natuurkunde. - 2004. - Vol. 84., Nr. 24. - P 4956-4958.

55. Balberg, I. Percolatiedrempels in het driedimensionale sticks-systeem [tekst] /
N. Binenbaum, N. Wagner // Fysieke beoordelingsbrieven. - 1984. - Vol. 52.,
Nr. 17.—P 1465-1468.

56. Balberg, I. Uitgesloten volume en zijn relatie tot het begin van percolatie [tekst] /
CH Anderson, S. Alexander, N. Wagner // Fysieke beoordeling B. - 1984. - Vol.
30., nr. 7. - P 3933-3943.

57. Balberg, I. Kritisch gedrag van het tweedimensionale sticksysteem [tekst] / N.,
Binenbaum Anderson CH // Fysieke beoordelingsbrieven. - 1983. - Vol. 51.,
Nr. 18 - P 1605-1608.

 58. Lagarkov, AN Elektromagnetische eigenschappen van composieten die langwerpig zijn het uitvoeren van insluitsels [tekst] / AN Lagarkov, AK Sarychev // Physical Review
 B. - 1996. - Vol. 53., nr. 10. - P. 6318-6336.

59. Muradyan, V.E. Diëlektrisch ^{eigenschappen} composieten, gemodificeerd met koolstof nanostructuren, in een magnetron

bereik [tekst] / V. E. Muradyan, E. A. Sokolov, S. D. Babenko, A. P.

Moravsky // Tijdschrift voor technische natuurkunde. - 2010. - T.80., Nr. 2. - S. 83-87.

60. Celzard, A. Kritieke concentratie in percolerende systemen die een high bevatten

aspect-ratio filler [tekst] / A. Celzard, E. McRae, C. Deleuze, M. Dufort, G. Furdin,

JF Marché // Fysieke recensie B. - 1996. - Vol. 53., nr. 10. - P. 6209-6214.

61. Martin, CA Vorming van doorsijpelende netwerken in meerwandige koolstof nanobuis-epoxycomposieten [tekst] / CA Martin, JKW Sandler, MSP

Shaffer, MK Schwarz, W. Bauhofer, K. Schulte, AH Windle // Composieten wetenschap en technologie. - 2004. - Vol. 64., nr. 15. - P. 2309-2316.
62. Sandler, JKW Ultralage elektrische percolatiedrempel in koolstof-nanobuis epoxycomposieten [tekst] / JKW Sandler, JE Kirk, IA Kinloch, MSP Shaffer, AH Windle // Polymer. - 2003. - Vol. 44., nr. 19. - P. 5893-5899.
63. Bryning, MB zeer lage geleidbaarheidsdrempel in bulk isotrope enkele Ommuurde koolstof nanobuis-epoxy composieten [tekst] / MB Bryning, MF Islam, JM Kikkawa, AG Yodh // Geavanceerde materialen. - 2005. - Vol. 17., nr. 9.—P. 1186-1191.

64. Flandin, L. Nieuwe nanocomposietmaterialen gemaakt van een isolerende matrix en geleidende vulstoffen: verwerking en eigenschappen [tekst] / L. Flandin, JY Cavaillé, G. Bidan, Y. Brechet // Polymeercomposieten. - 2000. - Vol. 21., nr. 2. - P. 165-174.
65. Adohi, BP Een vergelijking tussen fysische eigenschappen van carbon black polymeer en koolstof nanobuisjes-polymeer composieten [tekst] / BP Adohi, A. Mdarhri, C. Prunier, B. Haidar, C. Brosseau // Journal of Applied Physics. — 2010. - Vol. 108., Nr. 7. - P. 074108.

66. Bauhofer, W. Een overzicht en analyse van elektrische percolatie in koolstof nanobuis polymeercomposieten [tekst] / W. Bauhofer, JZ Kovacs // Composieten wetenschap en technologie. - 2009. - Vol. 69., nr. 10. - P. 1486-1498.

67. Shen, SZ Impact van de beeldverhouding en dispersie van koolstofnanobuizen op epoxy Prestaties van nanocomposiet [tekst] / SZ Shen, S. Bateman, C. Huynh, M.

Dell'Olio, S. Hawkins, WD Yang, QY Yang, KF Cai // Geavanceerde materialen Onderzoek. - 2009. - Nr. 66. - P. 198-201.

 68. Che, R. Verbetering van microgolfabsorptie en complexe permittiviteit en permeabiliteit van Fe ingekapseld in koolstofnanobuisjes [tekst] / R. Che, LM Peng, X. F Duan., Q Chen., XL Liang // Geavanceerde materialen. - 2004. - Vol. 16., nr. 5. - P. 401-405.

69. Narayanan, TN Verbeterde microgolfabsorptie in met nikkel gevulde multiwall koolstof nanobuisjes in de S-band [tekst] / TN Narayanan, V. Sunny, MM

Shaijumon, PM Ajayan, MR Anantharaman // Elektrochemisch en vaste stof brieven. - 2009. - Vol. 12., nr. 4. - P. K21-K24.

70. Lv, R. Synthese, veldemissie en microgolfabsorptie van koolstof
nanobuisjes gevuld met ferromagnetische nanodraden [tekst] / R. Lv, F. Kang, J. Gu, K.
Wang, D. Wu // Wetenschap China Technologische Wetenschappen. - 2010. - Vol. 53.,
Nr. 6. - P. 1453-1459.

71. Zhao, DL Elektromagnetische en microgolfabsorberende eigenschappen van Co-fill koolstof nanobuisjes [tekst] / DL Zhao, JM Zhang, X. Li, ZM Shen // Journal of Legeringen en verbindingen. - 2010. - Vol. 505., Nr. 2. - P. 712-716.

72. Lin, H. Microgolfabsorberende eigenschappen van co-gevulde koolstofnanobuisjes [tekst] /
H. Lin, H. Zhu, H. Guo, L. Yu // Materials Research Bulletin. — Vol. 43., nr. 10. —
2008. - Blz. 2697-2702.

73. Zhang, L. De elektromagnetische kenmerken en absorberende eigenschappen van meerwandige koolstofnanobuisjes gevuld met Er2O3- nanodeeltjes als magnetron absorbers [tekst] / L. Zhang, H. Zhu, Y. Song, Y. Zhang, Y. Huang // Materialen Wetenschap en techniek: B. - 2008. - Vol. 153., Nr. 1. - Blz. 78-82.

74. Zhao, DL Elektromagnetische en microgolfabsorberende eigenschappen van multi ommuurde koolstof nanobuisjes gevuld met Ag nanodraden [tekst] / DL Zhao, X. Li, ZM Shen // Materiaalkunde en -techniek: B. - 2008. - Vol. 150., nr. 2.—P. 105-110.

75. Xu, P. Een studie van de magnetische en elektromagnetische eigenschappen van ÿ-Fe2O3 meerwandige koolstofnanobuizen (MWCNT) en Fe/Fe3C-MWCNT-composieten [tekst] / P. Xu, XJ Han, XR Liu, B. Zhang, C. Wang, XH Wang // Materialen Scheikunde en natuurkunde. - 2009. - Vol. 114., nr. 2. - P. 556-560.

76. Zhang, L. Diëlektrische, magnetische en microgolfabsorberende eigenschappen van multi ommuurde koolstofnanobuizen gevuld met Sm2O3- nanodeeltjes [tekst] / L. Zhang, H. Zhu // Materialen Brieven. - 2009. - Vol. 63., Nr. 2. - Blz. 272-274.

77. Feng, X. Elektrische geleidbaarheid en microgolfabsorberende eigenschappen van nikkelgecoate meerwandige koolstofnanobuisjes/poly(ftalazinonethersulfonketon)s composieten [tekst] / X. Feng, G. Liao, J. Du, L. Dong, K. Jin, X. Jian // Polymer Technische wetenschappen. - 2008. - Vol. 48., nr. 5. - P. 1007-1014. 78. Zhao, DL Magnetronabsorberende eigenschap en complexe permittiviteit en doorlaatbaarheid van epoxycomposieten die Ni-gecoate en met Ag gevulde koolstof bevatten nanobuisjes [tekst] / DL Zhao, X. Li, ZM Shen // Composites Science en

technologie. - 2008. - Vol. 68., nr. 14. - P. 2902-2908.

79. Shen, X. Voorbereiding en elektromagnetische prestaties van coating van meerwandige koolstof nanobuisjes met ijzeren nanogranule [tekst] / X. Shen, RZ Gong, Y. Nie, JH Nie // Tijdschrift voor magnetisme en magnetische materialen. - 2005. - Nr. 288. - P. 397-402.

80. Zhang, Z. Complexe permittiviteit en permeabiliteitsspectra van verschillende soorten koolstof nanobuisjes [tekst] / Z. Zhang, G. Luo, Z. Fan, R. Xiang, L. Zhou, F. Wei // Acta physicochimica sinica. - 2006. - Vol. 22., nr. 3. - P. 296-300.

81. Kim, HM Elektrische geleidbaarheid en afscherming van elektromagnetische interferentie van meerwandige composieten van koolstofnanobuisjes die Fe-katalysator bevatten [tekst] / HM Kim, K. Kim, CY Lee, J. Joo, SJ Cho, HS Yoon, DA Pejakovic, JW Yoo,

AJ Epstein // Letteren voor toegepaste natuurkunde. - 2004. - Vol. 84., nr. 4. - P. 589-591.

82. Pal, S. Carbon nanostraws: nanobuisjes gevuld met superparamagnetisch

nanodeeltjes [tekst] / S. Chandra, MH Phan, P. Mukherjee, H. Srikanth //

Nanotechnologie. - 2009. - Vol. 20., nr. 48. P. 485604.

83. Zhan, Y. Een nieuw koolstofnanobuisjes / Fe3O4 anorganisch hybride materiaal:

Synthese, karakterisering en microgolf-elektromagnetische eigenschappen [tekst] / Y.

Zhan, R. Zhao, Y. Lei, F. Meng, J. Zhong, X. Liu // Journal of magnetisme en

magnetische materialen. - 2011. - Vol. 323., nr. 7. - Blz. 1006-1010.

84. Vázquez, E. Koolstofnanobuisjes en microgolven: interacties, reacties en

toepassingen [tekst] / E. Vázquez, M. Prato // Acs Nano. - 2009. - Vol. 3.,

Nr. 12. - P. 3819-3824.

85. Moradi, A. Microgolfrespons van gemagnetiseerd waterstofplasma in koolstof
nanobuisjes: meervoudige reflectie-effecten [tekst] / A. Moradi // Toegepaste optica. — Vol.
49., nr. 10. - 2010. - Blz. 1728-1733.

86. Kawabata, A. Elektronische eigenschappen van fijne metaaldeeltjes. II. Plasma resonantieabsorptie [tekst] / A. Kawabata, R. Kubo // Journal of the physical samenleving van Japan. - 1966. - Vol. 21., nr. 9. - P. 1765-1772.

87. Zhu, H. Elektromagnetische absorptie-eigenschappen van met Sn gevulde meerwandige koolstof nanobuisjes [tekst] / L. Zhang, L. Zhang, Y. Song, Y. Huang, Y. Zhang // Materialen brieven. - 2012. - Nr. 64. - Blz. 227-230.

88. Anufrieva, S. I. Mineralogische en technische kenmerken van shungiet

grondstoffen die de keuze bepalen van effectieve richtingen voor het creëren van nieuwe

materialen. S. I. Anufrieva, EG Ozhigina, AA Rogozhin // Geomaterialen

voor geavanceerde technologie, diamanten, edele metalen, Timano-edelstenen

Regio Noord-Oeral. - Syktyvkar, 2010. - S. 31-32.

89. Buseck, PR Geologische fullerenen: beoordeling en analyse [tekst] / PR Buseck //

Aard- en planetaire wetenschapsbrieven. - 2002. - Vol. 203., Nr. 3. - Blz. 781-792.

90. Mossman, D. Testen op fullerenen in geologische materialen: Oklo koolstofhoudend

stoffen, Karelische shungieten, Sudbury Black Tuff [tekst] / D. Mossman, G.

Eigendorf, D. Tokaryk, F. Gauthier-Lafaye, KD Guckert, V. Melezhik, CE

Farrow // Geologie. - 2003. - T. 31., nr. 3. - S. 255-258.

91. Golubev, EA Elektrofysische eigenschappen en structurele kenmerken

shungite (natuurlijke nanogestructureerde koolstof) [tekst] / E. A.

Golubev // Vastestoffysica. - T. 55., nr. 5. - 2013. - S. 995-1002.

92. Goldovskaya-Piristaya, L.F. Over de mogelijkheid om natuurlijk te gebruiken

klei- en shungietmaterialen om verhoogde stijfheid te elimineren

drinkwater [tekst] / L.F. Goldovskaya-Piristy, V.A. Peristy, V.A.

Kanishcheva, SV Korolkova // Wetenschappelijk Bulletin van de BelSU. - Nr. 15., uitgave 86. - 2010. - S. 125-129.

93. Moshnikov, I. A. Het gebruik van shungite-rotsen bij de creatie

radio-afscherming composietmaterialen [tekst] / I. A. Moshnikov,

VV Kovalevsky, TN Lazareva, AV Petrov // Geodynamica, magmatisme,

sedimentogenese en mijnbouw in het noordwesten van Rusland. - Petrozavodsk, 2007. — blz. 272-274. 94. Pukhir, HA Effect van magnetische onzuiverheden op basis van shungiet elektromagnetische absorbers over hun afschermende eigenschappen [tekst] / HA Pukhir, MS Mahmoud // Algemene Vergadering en Wetenschappelijk Symposium, 2011 XXXe URSI. — Istanboel, 2011. — Blz. 1-4.

95. Krishtopova, EA Radio-absorberende eigenschappen van poedervorm shungiet met insluitsels van koper, nikkel en kobalt [tekst] / E.A. Krishtopova // Technische middelen voor informatiebeveiliging. - Minsk, 2008. - P. 81.
96. Krishtopova, EA Absorbers van elektromagnetische straling op basis van shungiet met vloeibare vulstof [tekst] / E.A. Krishtopova, A.N.
Binzhuk // Technische middelen voor informatiebescherming. - Minsk, 2008. - S. 81-82.

97. Säily J., Räisänen A. Studies over spiegelende en niet-spiegelende reflecties van radarabsorberende materialen (RAM) bij submillimetergolflengten [tekst] / J. Säily, A. Räisänen // Helsinki, Technische Universiteit van Helsinki, 2003. - 60 pp.
98. Lynkov, L. M. Schermen van elektromagnetische straling gebaseerd op shungiet in poedervorm [tekst] / L. M. Lynkov, M. Sh. Mahmud, E. A. Krishtopova // Bulletin van de Polotsk State University. — 2012.
- Nr. 4. - S. 103-108.

99. Proudnik AM, Mahmood SM, Lynkou LM De studie van afscherming eigenschappen van composieten op basis van cement en schungiet // Magnetron en telecommunicatietechnologie (CriMiCo). - Krim, 2012. - c. 639-640.

100. Ryzhov A. S. Nanogemodificeerd magnesia-schungiet

beschermend beton [tekst] / A. S. Ryzhov, L. N. Potselueva // Engineering bouwmagazine - 2010. - nr. 2. — blz. 49-55.

101. Canuto, C. Spectrale methoden in vloeistofdynamica [tekst] / C. Canuto, MY Hussaini, A. Quarteroni, TA Zang // Jaaroverzicht van vloeistofmechanica. — 1988. -Vol. 19., Nr. 1. - P. 339-367.

102. Chabinsky, I. Toepassing van microgolfenergie, verleden, heden en toekomst
«Brave New World» [tekst] / I. Chabinsky // Microgolfverwerking van materialen. —
1988. - Nr. 124. - P. 17-32.

103. Richard, DR Huidig en toekomstig gebruik van microgolfenergie [tekst] / DR
Richard, D. Smith // MRS-procedures. - 1990. - Nr. 189. - P. 383-390.
104. Mills AF Heat Transfer USA [tekst] / AF Mills // Concord: CRC Press,
1992. - 880 p.

105. Yin, Y. Microgolfondersteunde chemische dampinfiltratie voor keramische matrix composieten [tekst] / Y. Yin, J. Binner, T. Cross // Microgolven: theorie en

Toepassing in materiaalverwerking. - 1997. - Nr. 4. - P. 349-356.

106. Metaxas, AC Industrial Microwave Heating Verenigd Koninkrijk [tekst] / AC

Metaxas, RJ Meredith // Stevenage: Peter Peregrinus, 1983. - 354 pp.

107. Varadan, VK Microgolfsinteren van keramiek [tekst] / VK Varadan, Y.

Ma, A. Lakhtakia, VV Varadan // Cambridge University Press. — 1988.—

Nr. 124. - Blz. 45-57.

108. Roussy, G. Temperatuurschommelingen van in de magnetron verwarmde materialen: studie en controle [tekst] / G. Roussy, A. Mercier, J.-M. Thiebaut, J.-P. Vauburg // J.

Magnetron vermogen. - 1985. -Vol. 20., nr. 1. - P. 47-51.

109. Zhang, X. Magnetron diëlektrisch verwarmingsgedrag van ondersteunde MoS2 en Pt

Katalysatoren [tekst] / X. Zhang, D.O. Hayward, DMP Mingos // Industrial &

technisch scheikundig onderzoek. - 2001. -Vol. 40., nr. 13. - P. 2810-2817.

110. Rai, S. Effect van het geheugen van de microgolfvermogensdichtheid van water op schimmelsporen

ontkieming [tekst] / S. Rai, UP Singh, GD Mishra, SP Singh //

Elektromagnetische biologie en geneeskunde. - 1994. -Vol. 13., nr. 3. - P. 247-252.

111. Rai, S. Bijkomend bewijs van stabiele EMF-geïnduceerde veranderingen in water onthuld

door kieming van schimmelsporen [tekst] / S. Rai, UP Singh, GD Mishra, SP Singh

// Elektromagnetische biologie en geneeskunde. - 1994. -Vol. 13., nr. 3. - P. 253-259.

112. Gandhi, OP De ANSI-veiligheidsnorm voor radiofrequenties: de grondgedachte en

enkele problemen [tekst] / OP Gandhi // Engineering in Medicine and Biology

Tijdschrift. —Vol. 6., nr. 1. - 1987. - c. 22-25.

113. Mishra, T. Effect van microgolfstraling met laag vermogen op micro-organismen en andere levensvormen [tekst] / T. Mishra, P. Kushwah, K. Dholiya, V. Kothari // Vooruitgang in magnetron en draadloze technologie. - 2013. -Vol. 1., nr. 1. - P. 4-11.

114. Culkin, KA Vernietiging van Escherichia coli en Salmonella typhimurium in
in de magnetron bereide soepen [Voedselbesmetting] [tekst] / KA Culkin, DYC Fung
// Journal of Milk and Food Technology - 1975. - Vol. 38., nr. 1. - Blz. 3-11.
115 Singh, S. P. Athermische fysiologische effecten van microgolven op een cynobacterie
Nostoc muscorum: bewijs voor EM-geheugenbits in water [tekst] / SP Singh, S.
Rai, AK Rai, SP Tiwari, SS Singh, J. Abraham // Medisch en biologisch
Engineering en informatica. - 1994. -Vol. 32., nr. 2. - P. 175-180.
116. Samarketu, SP Effect van direct gemoduleerde microgolfmodulatie

blootstelling aan fysiologie van cyanobacterie Anabena dolilum [tekst] / SP Samarketu, SP Singh, RK Jha // Proceedings of the Asia Pacific Microwave conferentie. - 1996. - Nr. 2. - P. 155-158.

117. Dreyfuss, MS Vergelijking van effecten van subletale microgolfstraling en conventionele verhitting op de metabole activiteit van Staphylococcus aureus [tekst] / MS Dreyfuss, JR Chipley // Toegepaste en omgevingsmicrobiologie. —
1980. Vol. 39., nr. 1. - P. 13-16.

118. Ray, S. Fysiologische veranderingen bij ratten na blootstelling aan lage niveaus van microgolven [tekst] / S. Ray, J. Behari // Stralingsonderzoek. - 1990. - Vol. 123., Nr. 2. - P. 199-202.

119. Kunjilwar, KK Effect van amplitudegemoduleerde radiofrequentiestraling op cholinerge systeem van zich ontwikkelende ratten [tekst] / KK Kunjilwar, J. Behari // Brain onderzoek. - 1993. - Vol. 601., Nr. 1. - P. 321-324.

120. Budd, RA Modulatie van de immuniteit van zoogdieren door elektromagnetische velden straling [tekst] / RA Budd, P. Czerski // J Microw Power. - 1985. - Vol. 20., Nummer 4. - Blz. 217-231.

121. Nageswari, KS Effect van chronische microgolfstraling op T-cel-gemedieerd immuniteit bij het konijn [tekst] / KS Nageswari, KR Sarma, VS Rajvanshi, R. Sharan, M. Sharma, V. Barathwal, V. Singh // Internationaal tijdschrift van biometeorologie. - 1991. - Vol. 35., nr. 2. - P. 92-97.

122. Lu, ST Vooruitgang in door microgolven geïnduceerde neuro-endocriene effecten: de concept van stress [tekst] / ST Lu, WG Lotz, SM Michaelson // Proceedings of de IEEE. - 1980. - Vol. 68., nr. 1. - P. 73-77.

123. Lu, ST Effecten van microgolven op de bijnierschors [tekst] / ST Lu, S. Pettit,
SJ Lu, SM Michaelson // Stralingsonderzoek. - 1986. - Vol. 107., nr. 2.—P.
234-249.

124. Lu, ST Effecten van microgolven op drie verschillende soorten ratten [tekst] / ST
Lu, NA Lebda, SJ Lu, S. Pettit, SM Michaelson // Stralingsonderzoek. — 1987.
— Vol. 110., nr. 2. - P. 173-191.

125. Lai, H. Onderzoek naar de neurologische effecten van niet-ioniserende straling op de Universiteit van Washington [tekst] / H. Lai // Bio-elektromagnetica. - 1992. - Vol.

13., nr. 6. - P. 513-526.

126. Kuzmenko, A.P. Natuurlijke koolstof micro- en nanoformaties als

poederabsorbeerder van microgolfstraling [tekst] / A.P. Kuzmenko, V.V.

Rodionov // De toekomst van de wetenschap - 2013: materialen van de internationale jeugd wetenschappelijke conferentie.– Koersk, 2013.–S. 248-251.

127. Kovalevsky, V.V. Hyperfullereen koolstofhoudende materie in

shungietrotsen van de Onega-structuur (Karelië) [tekst] / V.V.

Kovalevsky, LP Galdobina, T.N. Lazareva, S.Yu. Chazhengina //

Mineragenie van het Precambrium: materialen van de All-Russian Conference. -

Petrozavodsk, 2009. - blz. 106-109.

128. Buseck, P.R. Fullerenen uit de geologische omgeving [tekst] / P.R. Buseck,

SJ Tsipursky, R. Hettich // Wetenschap - 1992. - nr. 257. - Blz. 215-217.

129. Kuzmenko, A.P. Hyperfullereen koolstof nanoformaties als

poedervuller voor absorptie van microgolfstraling [tekst] /

A.P. Kuzmenko, V.V. Rodionov, V.A. Kharseev // Nanotechnologie. - 2013. - Nr. 4., Nummer 36. - S. 35-36.

130. Rozhkova, N.N. Shungite-koolstof en zijn modificatie [tekst] /

NN Rozhkova, GI Emelyanov, L.E. Gorlenko, V.V. Lunin // Ros. scheikunde En. (EN.

Ros. scheikunde over hen. DI. Mendelejev). - 2004. - T. XLVIII., Nr. 5. - S. 107-115.

131. Gorelik, OP Clusterstructuur van roetdeeltjes die fulleron bevatten
en C60 fullereenpoeder [tekst] / O.P. Gorelik, GA Dyuzhev, D.V. Novikov,
VM Oichenko, GN Fursey // Tijdschrift voor technische natuurkunde. - 2000. - T.70.,
Nr. 11. - S. 118-125.

132. Filippov, M.M. Bitumolietrotsen van de Onega-structuur -

veelbelovende grondstof voor de productie van concentraten van schungiet

[tekst] / M. M. Filippov, V. I. Kevlich, P. V. Medvedev // Problemen

rationeel gebruik van natuurlijke en technogene grondstoffen van de Barentsz

regio in de techniek van bouw en technische materialen: materialen

Tweede internationale wetenschappelijke conferentie. - Petrozavodsk, 2005. - S. 183-185.

133. Dyukkiev, EF Verrijking van shungietgesteenten [tekst] / EF Dyukkiev,

L. V. Kondratyeva, Yu. K. Kalinin // Shungites - een nieuwe koolstofhoudende grondstof.
Petrozavodsk, 1984. - blz. 99-104.

134. Skamnitskaya, LS Materiaalsamenstelling en wasbaarheid van shungiet
rotsen van de Tolvui-structuur [tekst] / L.S. Skamnitskaja, L.P. Galdobina, AV
Barkhatov // Carboonformaties in de geologische geschiedenis
Vormingsomstandigheden, ertsgehalte, fysische chemie van koolstof, technologieën:

materiaal van het internationale symposium. - Petrozavodsk, 2000. - P. 149-161.

135. Aleshina, LA Onderzoek naar het spuiten van shungiet met behulp van een ontlading [tekst] / LA Aleshina, VI Podgorny, GB Stefanovitsj, AD Fofanov //

Tijdschrift voor technische natuurkunde. - 2004. - T.74., nr. 9. - S. 43-46.

136. Rozhkova, N.N. Studie van de interactie van gasvormig chloor met

shungietrotsen [tekst] / N.N. Rozhkova, A.G. Toepolev, S.N.

Ivashevskaja, Yu.A. Kukushkina, V.V. Sokolov, A.E. Kravchik // Communicatie

oppervlaktestructuren van de aardkorst met diepe: materialen XIV

internationale conferentie. 2 delen. - Petrozavodsk, 2008. - P. 155-158.

137. Zavertkin, A.S. Het gebruik van reagentia en technogene grondstoffen voor verrijking van shungietrotsen [tekst] / A.S. Zavertkin, V.I. Tyaganova, A.G.
Tupolev // Problemen bij het rationeel gebruik van natuurlijke en technogene grondstoffen uit de barentsstreek in bouw- en technisch materiaal technologie: conferentiemateriaal. - Petrozavodsk, 2005. - S. 71-73.
138. Kuzmenko, AP Koolstofnanostructuren van shungietgesteenten [tekst] / A.P. Kuzmenko, V.V. Rodionov // Functionele nanomaterialen en zeer zuivere stoffen: materialen van de III All-Russian Youth conferenties met elementen van een wetenschappelijke school. - M., 2012. - S. 502 - 503.
139. Kuzmenko, A.P. Koolstof nanostructurele formaties van shungite [tekst] / A.P. Kuzmenko, V.M. Emelyanov, V.E. Dreyzin, SA Efanov, V.V. Rodionov // Proceedings van de South-Western State University. — 2012. -ÿ2 (41). - blz. 97 - 102.

140. Rozhkova, N.N. Het verkrijgen van stabiele waterige dispersies van nanoclusters shungiet koolstof [tekst] / N.N. Rozhkova, V.S. Rozhkova, GI Emelianova,
LE Gorlenko, V.V. Lunin// Geodynamica, magmatisme, sedimentogenese en
Mineragenie van het noordwesten van Rusland: materialen van de conferentie. —

Petrozavodsk, 2007. - blz. 89-93.

141. Kholodkevich, S.V. Structurele kenmerken en temperatuurbestendigheid shungiet koolstof naar grafitisatie [tekst] / S.V. Kholodkevitsj, V.I.
Berezkin, V.Yu. Davydov // Vastestoffysica. - 1999. -T. 41., nr. 8. - S.
1412-1415.

142. Kuzmenko, AP Microgolfeigenschappen van gekweekte koolstofnanobuisjes methode van pyrolyse van ethanol op een nikkelkatalysator [tekst] / A.P.
Kuzmenko, V.V. Rodionov // Perspectieftechnologieën, apparatuur en analytische systemen voor materiaalkunde en nanomaterialen: Collectie
Proceedings van de XI Internationale Conferentie. - Koersk, 2014. - Deel 1. - P. 212-217.

143. Kuzmenko, AP Microgolfeigenschappen van koolstofnanobuisjes gekweekt door pyrolyse van ethanol op nikkelkatalysator [tekst] / AP Kuzmenko, SG Emelyanov,

LM Chervyakov, MB Dobromyslov // Journal of Nano- and Electronic Physics.

-2014. -Vol. 6., nr. 3. - P. 03037-1 - 03037-2.

144. Kuzmenko, AP Invloed van structurele kenmerken en fysisch-chemisch
eigenschappen van metaal-koolstof nanocomposieten met ferromagnetische metaalinsluitsels erop
microgolfstraling [tekst] / AP Kuzmenko, LV Kozhitov, DG Muratov, VV
Rodionov, AV Popkova, EV Yakushko, MB Dobromyslov // Journal of Nano
en elektronische fysica. - 2014. -Vol. 6., nr. 3. - P. 03024-1 - 03024-5.
145. Tocke, M. Het verkrijgen van koolstofnanobuisjes door middel van magnetron
gelijkstroomsproeien [tekst] / M. Toke // Apparaten en uitrusting
experiment. - 2005. - Nr. 3. - S. 150-152.

146. Kozlov, G.I. Synthese van enkelwandige koolstofnanobuisjes in uitbreidende damp-gasstroom van grafietlaserablatieproducten met katalysator [tekst] / G. I. Kozlov, I. G. Assovsky // Journal of technical natuurkunde. - 2003. -T. 73., nr. 11. - blz. 76-82.

147. Buranova Yu.S. Studie van nanobuisjes met kobalt as

filler door transmissie-elektronenmicroscopie [tekst] /

Yu.S. Buranova // Fysica, elektronica, nanotechnologieën: Proceedings of the Moscow Institute of Physics and Technology. — 2011. -T. 3., nr. 3. - blz. 30-41.

148. Sidorenko, DS Productie en studie van koolstofnanobuisjes [tekst] /

DS Sidorenko, AV Vovk, S.A. Koetylev, G.M. Kuzmicheva, AB Doebovsky//

Bulletin van MITHT. Chemie en technologie van organische stoffen. - 2009. -T.

4., nr. 1. - blz. 52-59.

149. Fursikov, P.V. Katalytische synthese en eigenschappen van koolstof nanovezels en nanobuisjes [tekst] / P. V. Fursikov, B. P. Tarasov //

Alternatieve energie en ecologie. - 2004. - Nr. 10. - S. 24-40.

150. Lu, Wei. XRD-, SEM- en XAS-onderzoeken van FeCo-films die elektrolytisch zijn afgezet op verschillende stroomdichtheid [tekst] / Wei Lu, Ping Huang, Chenchong He, Biao Yan // Int. J. Elektrochem. - 2013. - Vol. 8.—Blz. 914-923.

151. Lee, GH, structurele en magnetische eigenschappen van bimetalen FeCo nanoclusters [tekst] / SH Huh Jeong, JW Kim, BJ Choi, JH Jeong, // Journal of the Korean fysieke samenleving, - 2003, - Vol, 42., nr, 3.— Blz, 367-370.

152. Meshcheryakov, VF Magnetische en microgolfeigenschappen van nanocomposiet films op basis van Fe–Co–Ni-deeltjes met verschillende vormen [tekst] / YK Fetisov, AA Stashkevich, G. Viau // Tijdschrift voor toegepaste natuurkunde. - 2008. - Nr. 104. - P. 063910-1 - 063910-8.

153. Bayrakdar, H. Elektromagnetische voortplanting en absorberende eigenschap van ferrietpolymeer nanocomposietstructuur [tekst] / H. Bayrakdar // Progress In Elektromagnetisch onderzoek. - 2012. - Nr. 25. - P. 269 - 281.

154. Guo Jingbo. Elektromagnetische en microgolfabsorptie-eigenschappen van carbonyl-ijzer/Fe91Si9 composieten in gigahertz-bereik [tekst] / Jingbo Guo, Yuping Duan, Lidong Liu, Liyang Chen, Shunhua Liu // Journal of Electromagnetic Analyse en toepassingen. - 2011. - Nr. 3. - P. 140 - 146.

155. Yan, SJ Synthese, karakterisering en elektromagnetische eigenschappen van Fe1bloemachtige microdeeltjes van xCox- legering [tekst] / SJ Yan, L. Zhen, CY Xu // Journal

van magnetisme en magnetische materialen. - 2011. - Nr. 323. - P. 515-520.

156. Jiang, Jingjing Microgolfabsorptie-eigenschappen van Ni/(C, siliciden)

nanocapsules [tekst] / Jingjing Jiang, Han Wang, Huaihong Guo, Teng Yang, Wen

Shu Tang, Da Li, Song Ma, Dianyu Geng, Wei Liu, // Onderzoeksbrieven op nanoschaal.

- 2012. - Nr. 238. - P. 1-7.

157. Kozhitov, LV Microgolfeigenschappen van metaal-koolstof

nanocomposieten met ferromagnetische metalen insluitsels [tekst] /

LV Kozhitov, A.P. Kuzmenko, DG Moeratov, V.V. Rodionov, AV popkova,

EV Yakushko // Wetenschappelijke verklaringen van de staat Belgorod

Universiteit. - 2014. - - Nr. 25., Nummer 37 - P. 151-160.

158. Kozhitov, LV Invloed van de verhouding van metaalhoudende componenten

over de fasesamenstelling van Fe-Co/C nanocomposieten [tekst] / L.V. Kozhitov, A.P.

Kuzmenko, DG Moeratov, V.A. Harseev, V.V. Rodionov, AV Popkova, K.E.

Matveev // Fysica en technologie van nanomaterialen en structuren: collectie

wetenschappelijke artikelen van de Internationale Wetenschappelijke en Praktische Conferentie - Koersk, 2013.-S. 15 - 18.

159. Kozhitov, LV Microgolfeigenschappen van metaal-koolstof
nanocomposieten met ferromagnetische metalen insluitsels [tekst] /
LV Kozhitov, A.P. Kuzmenko, DG Moeratov, V.V. Rodionov, AV popkova,
EV Yakushko // Wetenschappelijke verklaringen van de staat Belgorod
Universiteit. - 2014. - - Nr. 25., Nummer 37 - P. 151-160.
160. Kozhitov, LV Invloed van de verhouding van metaal samengestelde nanocomposieten Fe
Co/C over fasesamenstelling [tekst] / LV Kozhitov, AP Kuzmenko, DG
Muratov, VA Harseev, VV Rodionov, AV Popkova, KE Matveev // Journal of
Nano- en elektronische fysica. - 2013. - Vol. 5., nr. 4. - P. 040008-1 040008-3.

161. Kozhitov, LV Structuur en elektromagnetische eigenschappen in het Kÿ - bereik frequenties van nanodeeltjes op basis van IR-gepyrolyseerd polyacrylonitraat en Fe, Ni, Co [tekst] / L.V. Kozhitov, A.P. Kuzmenko, DG Moeratov, V.V. Rodionov, AV Popkova, EV Yakushko // Perspectieftechnologieën, apparatuur en analytische systemen voor materiaalkunde en nanomaterialen: proefschriften verslagen van de XI Internationale Conferentie. - Koersk, 2014. - Deel 1. - S. 100-105.

162. Kurokawa, K. Krachtgolven en de verstrooiingsmatrix [tekst] / K. Kurokawa //
IEEE-transacties over microgolftheorie en -technieken. - 1965. - Vol. 13., Nee.
2. - Blz. 194-202.

163. Matthews, EW Het gebruik van verstrooiingsmatrices in microgolfcircuits [tekst] /
Matthews EW // IRE-transacties over microgolftheorie en -technieken.— 1955.
— Vol. 3., nr. 3. - c. 21-26.

164. Todoroki, A. Elektrische weerstandsverandering van koolstof / epoxycomposiet
laminaten onder cyclische belasting onder schade-initiatielimiet [tekst] / A. Todoroki,
D.Haruyama, Y.Mizutani, Y.Suzuki, T.Yasuoka // Open Journal of Composite
materialen. - 2014. - Nr. 4. - P. 22-31.

165. Miao-miao Yu. Nieuwe flexibele breedband magnetron absorberende stoffen gecoat met grafiet nanosheets/polyurethaan nanocomposieten [tekst] / Miao-miao Yu, Shao-huaChen, ZheZhou, Mei-fangZhu // Vooruitgang in de natuurwetenschappen: materialen internationaal. - 2012. - Vol. 22., nr. 4. - P. 288-294. 166. Malygin, GA Plasticiteit en sterkte van micro- en nanokristallijne materialen [tekst] / G. A. Malygin // Vastestoffysica lichaam. - 2007. - T.49., nr. 6. - S. 961-982. 167. Emelyanov, S.G. Studie van de structuur en magnetische eigenschappen van kleine shungiet mineraal poeder afhankelijk van verhitting [tekst] / S.G. Emelyanov, Yu.A. Mirgorod, V.M. Fedosyuk // Nieuws van het zuidwesten Staatsuniversiteit. - 2012. - T.4., nr. 43. - S. 191-196. 168. Kovalevskia, VV Vergelijking van koolstof in shungjetgesteenten met andere natuurlijke koolstofatomen: een röntgen- en TEM-onderzoek [tekst] / VV Kovalevskia, PR Buseck, JM Cowley // Koolstof. - 2001. - Vol. 39.-p. 243-256 169. Konkov, O.I. Fullerenen in shungite [tekst] / O.I. Konkov, E.I. Terukov, N. Pfaunder // Vastestoffysica. - 1994. - T.36., nr. 10. - S. 3169-3171. 170. Emelyanov, SG Mechanismen van microgolfabsorptie in koolstof

verbindingen van shungite [tekst] / SG Emelyanov, AP Kuzmenko, VV

Rodionov, MB Dobromyslov // Journal of Nano- and Electronic Physics. -

2013. - Vol. 5., nr. 4. - P. 04023-1 - 04023-3.

171. Bruin, W.F. Micromagnetisme / U.F. Bruin. — M.: Nauka, 1979. — 159 p.

172. Vonsovsky, S.V. Magnetisme / S.V. Vonsovsky. — M.: Nauka, 1971. — 1032 ca.

173. Kikoin, IK Tabellen met fysieke grootheden. Naslagwerk / IK Kikoin.

— M.: Atomizdat, 1976. — 1008 p.

174. Eletsky, AV Koolstof nanobuisjes [tekst] / A.V. Eletsky // UFN.--

1997. -T.167., Nr. 9.- S. 945-972.

175. Kuzmenko, AP 3D fractalisatie op natuurlijk colloïdaal micro-insluitsels [tekst] / A.P. Kuzmenko, Nyen Aung Chan, V.V. Rodionov // JTF. - 2015. - T.85., nr. 6. - S. 118-125.

176 Rashid, K. Abu Al-Rub. Over het aspectverhoudingseffect van meerwandige koolstof nanobuisversterkingen op de mechanische eigenschappen van cementgebonden nanocomposieten [tekst] / K. Rashid, Abu Al-Rub, Ahmad I. Ashour, Bryan M. Tyson // Constructie en bouwmaterialen. - 2012. - Nr. 35. - P. 647 - 655.

177. Asif Rasheed. De efficiëntie van de oxidatie van koolstofnanovezels met verschillende oxidatiemiddelen [tekst] / Asif Rasheed, Britt Jane, Y. Howe, Mark D. Dadmun, F. Phillip // Koolstof. - 2007. - P. 1072-1080.

178. Wang Liu Ying. Raman-spectroscopie en microgolfabsorberende eigenschappen

van CNTs/Al2O3-TiO2 composiet absorberende coatings met verschillende diameters

[tekst] / Wang Liu-Ying, XU Zhuo, Hua Shao-Chun, Liu An-Min, Guo Qin, Liu Gu

// Journal of anorganische materialen. - 2013. - Vol. 28., nr. 2. - P. 136-140.

179. Kuzmenko, AP microgolfabsorptie van ijzererts en cement

composieten met micro-insluitsels van koolstofnanobuisjes [tekst] / A.P.

Kuzmenko, V.V. Rodionov, Tet Pyo Naing, Myo Ming Tan // Modern

instrumentele systemen, informatietechnologieën en innovaties:

verzameling wetenschappelijke artikelen van de XII International Scientific and Practical conferenties. - Koersk, 2015. - Deel 2. - P. 320-323.

180. Petrov, V. Studie van radio-absorberende eigenschappen van materialen op

basis van nanostructuren [tekst] / V. Petrov, G. Nikolaychuk, S. Yakovlev, L.

Luntsev // Componenten en technologieën. - 2008. - Nr. 12 - S. 141-146.

181. Kuzmenko, AP Mechanismen van microgolfabsorptie in koolstof

shungietverbindingen [tekst] / A.P. Kuzmenko, V.V. Rodionov, S.G.

Emelyanov // Fysica en technologie van nanomaterialen en structuren: verzameling wetenschappelijke artikelen van de Internationale Wetenschappelijke en Praktische Conferentie - Koersk, 2013.-S. 23-25.

182. Zaitsev, GN Invloed van de structuur en het vochtgehalte van shungietrotsen op hun elektrische eigenschappen [tekst] / G. N. Zaitsev, V. V. Kovalevsky // Geologie en mineralen van Karelië. - Petrozavodsk, 2006. - blz. 135-139.
183. Belousova, E. S. Composietmaterialen met geleidende en diëlektrische componenten voor het afschermen van elektromagnetische straling microgolfstraling [tekst] / E.S. Belousova, N.V. Nasonova, T.A.
Pulko, L. M. Lynkov // Bulletin van de Polotsk State University.
Serie V. - 2014. - S. 62-66.
184. Brantov, S. K. Halfgeleidergedrag van nanokristallijn

carbon [tekst] / S. K. Brantov // Fysica en technologie van halfgeleiders. ---

2014. -T.48., Nr. 5.- S. 676 - 670.

185. Kuzmenko, AP Afscherming van microgolfstraling door koolstof

nanomaterialen [tekst] / AP Kuzmenko, V.V. Rodionov //

Informatie-metende diagnose- en controlesystemen.

Diagnostiek - 2013: zat. Materialen III Intern. wetenschappelijk - technologie. Conf.- Koersk, 2013.-S. 128 - 135.

186. I. V. Bychkov, Onderzoek naar het effectieve diëlektricum

doorlaatbaarheid van het composietmateriaal CaSO4 2 H2O - grafiet [tekst] / I.

V. Bychkov, DV Dubrovskikh, I. S. Zotov, AA Fediy // Bulletin

Staatsuniversiteit van Tsjeljabinsk - 2011. -T. 7 (222)., nr. 9. -

blz. 7-15.

187. Lynkov, LM Radio-absorberende eigenschappen van nikkelhoudend

shungite in poedervorm [tekst] / T. V. Borbotko, E. A. Krishtopova //

PZhTF. - 2009. -T. 35., nr. 9. - blz. 44-48.

188. Krishtopova, E. A. Invloed van chemische samenstelling op elektromagnetische velden

kenmerken van shungite [tekst] / E. A. Krishtopova // Modern

radio-elektronica: onderzoek en opleiding. - Minsk,

2008. - blz. 78-80.

189. Guo, J. Elektromagnetische en microgolfabsorptie-eigenschappen van carbonyl-IJzer/Fe91Si9- composieten in Gigahertz-bereik [tekst] / J. Guo, Y. Duan, L. Liu, L. Chen, S. Liu // Tijdschrift voor elektromagnetische analyse en toepassingen. — 2011. — Vol. 3. - Blz. 140-146

190. Zbinden, R. Infraroodspectroscopie van hoge polymeren / R.

Zbinden. — M.: Mir, 1966. — 177 p.

191. Usanov, D. A. Het type resonantiereflectie veranderen

elektromagnetische straling in de structuren van "nanometermetaal

diëlektrische film" [tekst] / D.A. Usanov, A.V. Skripal, A.V. Abramov,

Bogolyubov AS // Brieven aan ZhTF. - 2007. -T. 33., nr. 2. - blz. 13-22.

192. Kikoin, IK Tabellen met fysieke grootheden. Directory / IK Kikoin.

— M.: Atomizdat, 1976. — 1008 p.

193. Dong, XL koolstofgecoate Fe-Co C nanocapsules bereid door boog

ontlading in methaan [tekst] / XL Dong, ZD Zhang, SR Jin, BK Kim. //

Tijdschrift voor toegepaste natuurkunde. - 1999. - Vol. 86., nr. 12. - P. 6701-6706.

194. Meshcheryakov, VF Magnetische en microgolfeigenschappen van nanocomposiet

films op basis van Fe-Co-Ni deeltjes van verschillende vormen [tekst] / VF

Meshcheryakov, YK Fetisov, AA Stashkevich, G. Viau // Journal of Applied

Natuurkunde. - 2008. - Vol. 104., nr. 6. - P. 063910-1 - 063910-8.

195. Usanov, D. A. Complexe diëlektrische constante van composieten

gebaseerd op diëlektrische matrices en hun samenstellende koolstof

nanobuisjes [tekst] / D.A. Usanov, A.V. Skripal, A.V. Romanov // Tijdschrift

technische fysica. - 2011. -T. 81., Nr. 1. - S. 106-110.

196. Zhang, X. Golfabsorberende eigenschappen van meerwandige koolstofnanobuisjes Versterkte op cement gebaseerde composieten [tekst] / X. Zhang, G. Zhang, C. Zhao, X. Cheng // 4e internationale conferentie over de duurzaamheid van betonconstructies. — West Lafayette, 2014. - P. 212-218.

197. Nam, I. W. Invloed van toevoegingen van silicadamp op elektromagnetische interferentie afschermingseffectiviteit van meerwandige composieten van koolstofnanobuisjes/cement [tekst] /
IW Nam, HK Kim, HK Lee // Constructie en bouwmaterialen. — 2012.
Nr. 30. - P. 480-487.

198. Kuzmenko, AP microgolfabsorptie van ijzererts en cement
composieten met micro-insluitsels van koolstofnanobuisjes [tekst] / A.P.
Kuzmenko, V.V. Rodionov, Tet Pyo Naing, Myo Ming Tan // Modern
instrumentele systemen, informatietechnologieën en innovaties:
verzameling wetenschappelijke artikelen van de XII International Scientific and Practical
conferenties. - Koersk, 2015. - Deel 2. - P. 320-323.
199. Qin, F. Een overzicht en analyse van microgolfabsorptie in polymeer
composieten gevuld [tekst] / F. Qin, C. Brosseau // Journal of Applied Physics. —
Nr. 111. - 2012. - P. 61301-2 - 061301-24.
200. Gerasimov, R. Yu Definitie en identificatie van parameters
gecondenseerde materie volgens de onderzoeksmethode in het microgolfbereik [tekst] / R.
Yu Gerasimov, VN Bovenko, M. Yu Gerasimov // Engineering Journal:
wetenschap en innovatie. - 2013. - S. 1-11.