

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

Fe ATOMLARI İLƏ DOLDURULMUŞ ÇOXQAT KARBON NANOBORULARIN KİMYƏVİ BUXAR ÇÖKDÜRMƏ ÜSULU İLƏ ALINMASI VƏ ÇOXFUNKSIYALI NANOKOMPOZİTLƏRİN İŞLƏNMƏ TEXNOLOGİYASI

İxtisas: 2203.01 – Elektronika

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Rövşən Fərhad oğlu Həsənov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2022

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının (AMEA) Fizika İnstitutunun "Bionanostrukturlar fizikası" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

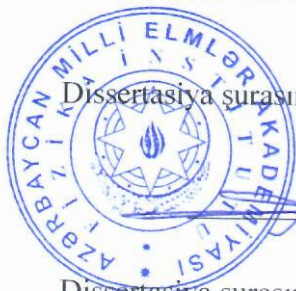
Elmi rəhbər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru
Rasim Baba oğlu Cabbarov

Rəsmi opponətlər: Fizika elmləri doktoru, dosent
Tahir Cümşüd oğlu İbrahimov

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Vaqif Əli oğlu Məhərrəmov

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Elşən Fayaz oğlu Nəsirov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının bazasındakı qeydiyyat nömrəsi BED 1.14 olan Birdəfəlik dissertasiya şurası



Dissertasiya şurasının sədri:

AMEA-nın həqiqi üzvü,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Nazim Timur oğlu Məmmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Fizika elmləri doktoru, dosent
Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva

Elmi seminarın sədri:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
dosent
Ayaz Hidayət oğlu Bayramov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir dövrdə, nanotexnologiya sahəsi, fizika, kimya, biologiya, tibb, informatika və texnika sahələrindəki bilikləri özündə birləşdirdiyindən, aparıcı elmi sahələrdən biri hesab olunur. Nanotexnologiyanın ən sadə tərfi “nanomiqyas üzrə texnologiya” hesab edilir. Bu baxımdan, bu texnologiyadan müxtəlif tip nanomaterialların və nanoqurğuların yaradılmasında geniş şəkildə istifadə edilə bilər.

Üstün mexaniki və fiziki xassələrinə görə karbon nanomaterialları uzun illərdir ki, diqqət mərkəzindədir və karbon nanotexnologiyası daima yeniləşən elmin prioritet istiqamətlərindən biridir. Karbon nanomateriallarının sənayedə, kənd təsərrüfatında və tibbdə tətbiqləri bu sahələrdə xeyli təkmilləşmələrə gətirib çıxarmışdır. Yeni texnologiyalar daha sürətli cavab verən elektron cihazlar, daha kiçik inteqral sxemlər və daha az enerji istehlakı tələb edir. Belə tələblərə cavab verən innovativ materialların siyahısında nanoborular və nanotellər ön sıralardadır. Karbon modifikasiyaları arasında xüsusi maraq kəsb edən və nanotexnologiya sahəsinin ən çox tətbiq olunan materiallarından biri də Karbon Nanoborularıdır (KNB). KNB – ları qrafit və almaz kimi digər karbon allotroplarından fərqli xüsusiyyətlərə malikdir və kəşf edildikdən sonra üstün xüsusiyyətləri, həmçinin, maraqlı tətbiqləri sayəsində qlobal tədqiqatların mövzusu olmuşdur. Beləliklə, elektrik, mexaniki, istilik, maqnit, kimyəvi, struktur xüsusiyyətlərinə görə, KNB – larin müxtəlif sahələrdəki tətbiqləri geniş praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Xarici divarların sayına və atom strukturuna görə KNB – ları birdivərli, ikidivərli və çoxdivərli növlərə ayrılır. KNB – ları həm metal, həm də yarımkəçirici xassəli olmaqla yanaşı, polimerlərin elektrik, mexaniki möhkəmlik, udma və bir çox xassələrinə də güclü təsir göstərir. Karbon nanostrukturların alınması üçün bir neçə texnologiya (texnoloji üsullar) mövcuddur: qövsvəri boşalma (arc – discharge), lazerlə püskürtmə (laser ablation), kimyəvi buxar çökdürmə (chemical vapor deposition) – KBÇ (CVD) və s. Alınma üsulları içərisində iqtisadi və praktik cəhətdən səmərəli hesab olunan üsullardan biri də Katalitik KBÇ (KKBÇ) üsullarıdır. Aerosol əsasında olan KBÇ üsulu ilə nanoboruların əmələ gəlməsində katalizator rolunu oynayan ferrosen, nikelosen, kobaltosen kimi

qarışıqlardan istifadə etməklə çoxdivarlı KNB – ları sintez olunur. Bu üsulla hazırlanmış KNB – ları dielektrik, katalist, polimer materiallara möhkəmliyinin və keçiriciliyinin artırılması məqsədi ilə qatılır və alınan nanokompozit material bir sıra vacib xassələrə və üstünlüklərə malik olur. Beləliklə, KNB – ların əsas tətbiqlərindən biri keçirici və struktur kompozitlərin hazırlanmasıdır. KNB əsaslı polimer nanokompozit təbəqələrinin nanoelektronika, sensor texnologiyası, aerokosmik və s. – də tətbiqi öyrənilir.

Dissertasiya işində, KNB – ların sintezi və öyrənilməsinə aid elmi işlərin genişliyinə baxmayaraq, müxtəlif üsullarla belə nanoboruların, onlar əsasında yeni nanokompozitlərin alınaraq müasir metodlarla tədqiqi bu sahədə daha səmərəli elektron çeviricilərinin yaradılması üçün böyük maraq kəsb edir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti.

Dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində tədqiqat obyekti və predmeti olaraq, Aerosol əsaslı Kimyəvi Buxar Çökdürmə üsulundan istifadə olunaraq sintez olunmuş, təmizlənmiş, funksionallaşdırılmış və KNB əsaslı polimer nanokompozit materialın hazırlanması məqsədilə polimerlərdə iki faktorlu mexaniki metod vasitəsilə dispersiya olunmuş çoxdivarlı KNB – ların tədqiq edilməsidir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.

Aparılmış tədqiqat işinin məqsədi, Katalitik (Aerosol əsaslı) Kimyəvi Buxar Çökdürmə (KKBÇ) üsulu ilə çoxdivarlı karbon nanoboruların (ÇDKNB – ları) sintezi, onların əsasında polimer nanokompozitlərin (KNB/PNK) alınması, bu tip materialların nanoelektronikada tətbiq imkanlarının müəyyənləşdirilməsidir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı işlər yerinə yetirilmişdir:

KNB – ların sintez edilməsində yeni üsul – Aerosol əsaslı KBC üsulundan istifadə olunmuşdur. Bu prosesdə kifayət qədər uzun, hamar, kiçik diametrlı KNB – ların yetişdirilməsi üçün müxtəlif karbon mənbələrindən və təcrübi şəraitlərdən istifadə edilmişdir. Apardığımız təcrübələr göstərmişdir ki, bu üsul vasitəsilə sintez olunmuş KNB – ları, katalizatorun olmaması ilə yetişdirilə bilməz.

– Katalizator kimi dəmirdən (Fe) istifadə olunaraq yüksək keyfiyyətə malik olan KNB – ların yetişdirilməsi üçün optimal sintez

şəraiti araşdırılmışdır. Tədqiq olunan KNB – ların optimal yetişmə temperaturu: 830 – 1000 °C aralığında təyin edilmişdir. Bununla yanaşı, sintez temperaturunun aşağı olması KNB – ların məhsuldarlığının azalmasına səbəb olur. Bundan başqa, reaktorda mövcud olan aşağı temperaturalar ($T < 840\text{ }^{\circ}\text{C}$) alınan məhsulun miqdarının azalmasına, yüksək temperaturalar ($T > 950\text{ }^{\circ}\text{C}$) isə pirolitik karbonun və ya digər karbon strukturlarının formalaşmasına gətirib çıxarır.

– Sintez edilmiş KNB – ları Skanedicci Elektron Mikroskopiyası (SEM), Transmissiya Elektron Mikroskopiyası (TEM), Enerji Dispersiyalı Rentgen Spektroskopiyası (EDRS), Rentgen Difraksiya (RD), Raman Spektroskopiya (RS) analiz üsulları vasitəsilə tədqiq edilmiş və burada səthin morfolojiyası, KNB – ların ölçüləri (diametr, uzunluq), təmizlik dərəcəsi, element tərkibi, divarların (örtüklərin) sayı, struktur, amorf və kristal fazaları kimi xarakteristikaları öyrənilmişdir.

– Elektrik keçirici xassəli polimer nanokompozit materialların hazırlanması məqsədilə, polimer matrisdə KNB – ların dispersiya edilməsi üçün, kimyəvi və iki faktorlu mexaniki dispersiya metodlarından istifadə olunmuşdur. Tədqiqat nəticəsində məlum olmuşdur ki, KNB – ları tərkibli polimer nanokompozitlərin istehsalı üçün dissertasiya işində formalaşdırılmış iki faktorlu mexaniki metod, mürəkkəb və əlverişsiz metod olan kimyəvi metodla müqayisədə üstünlük təşkil edir.

– Müxtəlif faiz nisbətinə (1%, 2%, 3%, 5%) malik KNB əsaslı polimer (polidimetilsiloksan (PDMS) və epoksid qətran polimerləri) kompozitlərin hazırlanma texnologiyası, həm kimyəvi, həm də iki faktorlu mexaniki dispersiya metodları vasitəsilə həyata keçirilmiş və bu nanokompozitlərin elektrik xassələri tədqiq edilmişdir.

– Həllətmə və dispersiya metodları ilə alınmış ÇDKNB/PP, ÇDKNB/Xitosan və ÇDKNB/Epoksid qətran əsaslı nazik təbəqəli kompozitlərin xüsusi elektrik keçiriciliyi öyrənilmişdir.

Tədqiqat metodları.

Tədqiqat metodlarına aşağıdakılar daxildir: KNB – ların səth morfolojiyasının, ölçülərinin (diametr, uzunluq), divarların sayının SEM və TEM analiz üsulları vasitəsilə tədqiqi; təmizlik dərəcəsinin və

element tərkibinin, həmçinin, amorf və kristal fazalarının EDRS və Raman Spektroskopiya analiz üsulları vasitəsilə tədqiqi, KNB – ların strukturunun (monokristal, polikristal) Rentgen Difraksiya analiz üsulu vasitəsilə tədqiqi, KNB əsaslı polimer nanokompozitlərin elektrik xassələrinin Hiresta – UPMCP – HT450 cihazından istifadə olunaraq tədqiq edilməsi.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar

1. Alınma üsullarının səmərəliliyindən və yetişmə texnologiyasından asılı olaraq, çoxdivarlı KNB – ların sintez edilməsində (formalaşmasında) iqtisadi və praktik cəhətdən sərfəli olan yeni üsul – Aerosol əsaslı KBÇ üsulunun təklif edilməsi;

2. Aerosol əsaslı KBÇ üsulunda, katalizator qismində dəmirdən və müxtəlif karbon mənbələrindən (üzvi həlledicilərdən) istifadə olunaraq, yüksək keyfiyyətə malik çoxdivarlı KNB – ların yetişdirilməsi üçün nəzərdə tutulan optimal sintez şəraitlərinin araşdırılması;

3. Aerosol əsaslı KBÇ qurğusunda, karbon mənbəyi olaraq, ferrosen / kükürd / ksilol məhlulundan istifadə olunaraq, çoxdivarlı KNB – ların yetişdirilməsi üçün optimal sintez şəraitlərinin araşdırılması;

4. Aerosol əsaslı KBÇ qurğusunda, karbon mənbəyi olaraq, Azərbaycan neft fraksiyalarından istifadə edilərək, yüksək keyfiyyətə malik çoxdivarlı KNB – ların yetişdirilməsi üçün nəzərdə tutulan optimal sintez şəraitlərinin araşdırılması;

5. Hər üç halda, formalaşmış KNB – ların müxtəlif analiz üsulları vasitəsilə tədqiqi və bir sıra xassələrinin öyrənilməsi;

6. Sintez olunmuş KNB – ların təmizlənmə prosesi və polimer matris daxilində dispersiya edilməsi;

7. Elektrik keçirici xassəli KNB / Polimer nanokompozitlərin hazırlanma texnologiyaları, bu kompozitlərin elektrik xüsusiyyətlərinin araşdırılması.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

İşin elmi yeniliyi KNB – ların alınma üsullarının və KNB – ları əsasında polimer nanokompozitlərin hazırlanma texnologiyalarının araşdırılmasına həsr olunmuşdur. Bu baxımdan, ilk dəfə olaraq, aşağıdakı işlər yerinə yerinə yetirilmişdir:

– Karbon (Elektrik) Qövs – Boşalma və Lazerlə Püskürtmə üsulları vasitəsilə həyata keçirilən proseslərdə, çoxdivarlı KNB – ların alınma texnologiyası qarışıq xarakter daşıdığından, onların sintez edilməsi üçün yeni üsul – Aerosol əsaslı KBÇ üsulu təklif edilmişdir.

– Bu üsul vasitəsilə baş verən prosesdə aerosol üçün yararlı məhlul olaraq, karbohidratlı mayelər seçilmiş, təcrübə zamanı karbon mənbəyinin fasiləsiz şəkildə daxil olması nəticəsində məhsulun istehsal miqdarının 10 dəfəyədək artırılmasına nail olunmuşdur.

– ÇDKNB – ların Aerosol əsaslı KBÇ üsulu vasitəsilə sintez olunma prosesində karbon mənbəyi olaraq, ferrosen / kükürd / ksilol məhlulundan istifadə edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, kükürd və ya kükürd tərkibli birləşmələrin yetişmə promotorlar kimi reaksiya məhluluna əlavə edilməsi, sintez olunmuş KNB – ların divarlarının sayına, səth morfologiyasına və elektrik xassələrinə təsir göstərir. Reagent qarışığında kükürdün (S_2) külli miqdarda olması amorf karbonun, az miqdarda olması isə ÇDKNB – ların və karbon liflərin yaranmasına səbəb olur.

– Ucuz və ağır tonnajlı xammalın yararlığını təyin etmək məqsədilə, çoxdivarlı KNB – ların Aerosol əsaslı KBÇ üsulu vasitəsilə sintez olunma prosesində karbon mənbəyi olaraq, Azərbaycan neftinin: Ağır benzin ($C_7 - C_{11}$), reaktiv yanacaq ($C_9 - C_{16}$), dizel yanacağı ($C_{14} - C_{25}$) fraksiyalarından istifadə edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, Azərbaycan neftinin bu fraksiyalarından istifadədə, alınmış çoxdivarlı KNB – ları, atmosfer təzyiqində, yalnız benzin fraksiyası nəticəsində formalaşır. Bu prosesdə, sintez olunmuş ÇDKNB – ların təmizlənmə mərhələsi: Ultrasəs qurğu vasitəsilə üzvi həlledicilərdən (tsikloheksan, toluol) istifadə olunaraq yumaq; Hava atmosfer şəraitində muffel sobasında $420^\circ C$ temperaturda yarım saat yandırmaq üsulları vasitəsilə aparılmışdır.

– KNB/Polimer nanokompozitlərin hazırlanmasında, həm kimyəvi, həm də iki faktorlu mexaniki dispersiya metodlarından istifadə edilməklə, fərqli faizə (%) malik KNB – ları əsasında iki növ kompozit: KNB/PDMS və KNB / Epoksid qətran nanokompozitləri hazırlanmışdır.

– PDMS – də KNB – ların dispersiyası üçün nəzərdə tutulmuş kimyəvi metoddan istifadədə, KNB – ların müxtəlif faiz nisbətlərində (1%, 3%, 5% və 7%) hazırlanmış KNB/PDMS nanokompozitlərdə aqlomeratlar cüzidir və dispersiya yaxşıdır. PDMS – də KNB – ların 1% və 3% nisbətlərinə malik nümunələrində dispersiyanın yaxşı olmasına baxmayaraq, xüsusi elektrik keçiriciliyi ($<10^{-6}$ S/m) çox aşağı olur. KNB – ların xüsusi elektrik keçiriciliyi 3% nisbətindən başlayaraq çox sürətlə artır.

– İki faktorlu mexaniki metodla əldə edilmiş nümunələr, PDMS – də KNB – ların hətta 1% nisbətində belə yaxşı elektrik xüsusiyyətləri nümayiş etdirir. SEM analizi göstərir ki, mexaniki təsirə görə ayrılmış KNB – ları, güclü dağıdıcı təsirə məruz qalmayaraq polimerdə homogen (bircins) paylanırlar, və həmçinin, ikinci (dispersiyadan sonra) aqlomerasiya prosesi baş vermir. Bu fakt nanokompozitlərin elektrik xüsusiyyətlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. İki faktorlu mexaniki metodla əldə edilmiş 5% – li KNB – ları tərkibli KNB / PDMS nanokompozitinin xüsusi elektrik keçiriciliyi, kimyəvi metodla əldə olunmuş eyni tərkibli nanokompozitlərin xüsusi elektrik keçiriciliyindən 10^3 – 10^5 dəfə üstündür.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.

KNB – ların qeyri – adi xassələrə malik olması, onları mikroelektronika, nanoelektronika, spintronika, optika, materialşünaslıq, mexaniki və bioloji sahələrdə tətbiq, perspektiv cəhətdən maraqlı, aparıcı və üstün edir. KNB – ların az miqdarda polimer kompozitlərə daxil olması təkcə onun möhkəmliyini və mexaniki modulunu deyil, həmçinin, kimyəvi davamlılığını, istilik və elektrik keçiriciliyini, eləcə də ölçü stabilliyini saxlamağa imkan verir. Polimer matrisaya daxil olan KNB – ları kompozitin elektrik keçiriciliyini yaxşılaşdırır. Bu isə, tutumlu enerji saxlanması və təkrar doldurula bilən batareyaları əlavə aktiv materiallarla təmin etməyə imkan yaradır. Biosensordlarda KNB / Polimer nanokompozitləri daha yaxşı nəticə verir, çünki elektron keçiriciliyi və ion kütlə keçiriciliyi daha sürətlidir.

KNB – ları əsaslı olaraq, nanoelektronika sahəsi üzrə, enerji saxlama cihazları, termoelektrik və fotoelektrik cihazları özündə

birləşdirən enerji çevirici qurğular, sahə emissiya displeyləri və şüalanma mənbələri, nanoölçülü yarımkeçirici tranzistorlar, nanoelektromexaniki sistemlər və s. kimi tətbiqlərdə geniş spektri əhatə edir. KNB əsaslı Polimer nanokompozitlər displeylərdə elastiki elektrodlar, elektron kağız, antistatik örtük, güllə keçirməyən gödəkcələr, qoruyucu geyimlər və s. kimi tətbiqlər üçün potensial cəhətdən alternativ materiallardır. Onları, həmçinin, hava nəqliyyatı, avtomobil, tikinti və neft sənayesi kimi bir çox sahələrdə tətbiq etmək mümkün olacaqdır.

Alınmış elmi nəticələr həm də nanokompozitlərin və onlar əsasında elektron çeviricilərinin fizikasının inkişafında faydalıdır.

Aprobasiyası və tətbiqi.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri “Academician G.B. Abdullayev Centenary International Conference and School Modern Trends in Condensed Matter Physics” (NASA, Institute of Physics, Azerbaijan Journal of Physics, 2018) beynəlxalq konfransda, həmçinin, “Fabrication, Properties and Applications of Nano – Materials and Nano – Devices International Conference, Italy, 2019” xarici konfransda məruzə və müzakirə edilmişdir.

Dissertasiya mövzusu üzrə 10 elmi iş (1 məqalə beynəlxalq konfrans materialı, 2 tezis xarici konfrans materialı, 1 məqalə 1.43 impakt faktorlu xarici jurnalda, 2 məqalə 1.42 impakt faktorlu xarici jurnalda, 1 məqalə 0.97 impakt faktorlu xarici jurnalda, 3 məqalə Respublikada nəşr olunan jurnallarda) nəşr olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun 2.2 sayılı “Bionanostrukturlar fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın strukturu və həcmi.

Dissertasiya işi giriş, beş fəsil, əsas nəticələr və 120 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İş 54 şəkil, 2 cədvəl və 171753 işarədən ibarət olmaqla 160 kompüter çap səhifəsi təşkil edir.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı, dissertasiyanın elmi məqsədi, onun elmi və praktiki əhəmiyyəti, əldə olunan elmi yeniliklər, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, işin aprobasiyası, quruluşu və qısa xülasəsi şərh olunmuşdur.

“Karbon Nanoboruların (KNB) və KNB əsaslı Polimer Nanokompozitlərin (KNB/PNK) xüsusiyyətləri və tətbiq sahələri” adlı birinci fəsildə KNB – ları haqqında ümumi məlumat, onların strukturu, xarici divarların sayına və atom quruluşuna görə növləri verilmiş, həmçinin, KNB əsaslı Polimer Nanokompozitlərin (KNB/PNK) müxtəlif tətbiq sahələrində işlənmə texnologiyası göstərilmişdir. Məlum olduğu kimi, KNB – ları, silindrik formalı, qrafit xassəli karbondan təşkil olunmuş və boru şəklində qıvrılmış qrafit təbəqələridir. Qrafen – qrafit strukturlu karbon monotəbəqəsi hesab olunduğundan, bu təbəqə bir neçə formada yuvarlanaraq, KNB – larin müxtəlif növlərini yaradır. Ümumilikdə desək, xarici divarların sayına və atom quruluşuna görə, KNB – ları birdivərli, ikidivərli, çoxdivərli olmaqla üç yerə ayrılır. Birdivərli KNB – ları (BDKNB) diametri 1 – 3 nm ölçüsünə malik olan bükülmüş qrafen təbəqədən hazırlanmış nanoborulardır. Bundan başqa, birdivərli KNB – ları, elektrik xüsusiyyətləri baxımından, KNB – larin çox önəmli bir növü hesab olunur və qrafitin tək layının silindr şəklində diyirlənməsi kimi formalaşdırıla bilər. İkidivərli KNB – ları (İDKNB) iki konsentrik karbon nanoborularından ibarət olur, hansı ki, xarici boru özünə daxili borunu birləşdirir (daxil edir). Çoxdivərli KNB – ları (ÇDKNB) qrafen boruların sayından asılı olaraq, diametri 8 – 50 nm aralığında olan bükülmüş qrafen laylarından ibarət olan nanoborulardır. Başqa sözlə desək, çoxdivərli KNB – ları müxtəlif diametrli konsentrik birdivərli KNB – larin toplusu kimi də başa düşülür. KNB – larda qrafitdə olduğu kimi sp^2 – rabitəsi (hibridləşmə halı) mövcuddur və bu birləşmədə hər bir atom digər üç qonşu atomla birləşmiş şəkildə olur. Bundan başqa, KNB – larin növü, qrafen təbəqəsinin silindr şəklində bükülməsi orientasiyasından asılıdır. Bu da, qrafen təbəqəsinin necə büküldüyünü müəyyən edən bir kəmiyyətlə – xirallıq vektoru (C_h) adlanan vektorla göstərilə bilər.

Xirallıq anlayışı, KNB – ların elektrik xassələrinin müəyyən olunmasında əsas faktorlardan biridir. KNB – ları bir sıra elektrik, istilik və struktur xassələrinə malik olurlar və bu xassələr KNB – ların fiziki dizaynından asılı olaraq dəyişilə bilər. Xirallıq vektoru iki tam ədədlə (n, m) müəyyən edilir və aşağıdakı düstur şəklində ifadə olunur:

$$C_h = na_1 + ma_2 \quad (1)$$

Burada n və m – tam ədədlər olduğu halda, a_1 və a_2 vektorları qrafen təbəqəsinin yaratdığı ikiölçülü qəfəsin vahid vektorlarıdır. KNB – ları oxunun istiqaməti bu xiral vektora perpendikulyardır. Xirallıq vektoru və ziq – zaq şəkilli nanoboru oxu arasındakı bucaq xirallıq bucağı (θ) adlanır. Qrafen təbəqənin silindr şəklində bükülməsindən asılı olaraq, KNB – ların aşağıdakı növləri vardır:

- 1) Qoltuqlu kürsü (kreslo) şəkilli KNB – ları üçün: $n = m$ ($\theta = 30^\circ$);
- 2) Ziq – zaq şəkilli KNB – ları üçün: $n = 0, m = 0$ ($\theta = 0^\circ$);
- 3) Xiral KNB – ları üçün isə: $n \neq m$ ($0^\circ < \theta < 30^\circ$).

(n, m) tam ədəd cütliyü KNB – ların xirallığını müəyyənləşdirir, həmçinin, KNB – ların optik, mexaniki və elektron xüsusiyyətlərinə təsir edir. Ümumi olaraq, borunun diametrindən və dönmə bucağından asılı olaraq, “qoltuqlu kürsü şəkilli” quruluşa malik olan KNB – ları metal xassəli, “ziq – zaq şəkilli” və “xiral” quruluşa malik olan KNB – ları isə metal, yarımkəçirici və dielektrik xassəli olurlar. “Qoltuqlu kürsü” və “ziq – zaq” şəkilli boru strukturları yüksək simmetriya dərəcəsinə malikdirlər. Bu şərt altıbucaqlıların çevrə ətrafındakı düzlüyünə əsaslanır. Praktikada ən çox təsadüf edilən “xiral” boru strukturu iki əks əlaqəli formada mövcud ola bilər. KNB – ları üçün karbon – karbon rabitə uzunluğu: $a_{cc} = 0.1421$ nm, laylar arasındakı məsafə isə: 0.34 nm = 3.4 Å təşkil edir. Tərkibində termoplastik maddələr, termoreaktiv materiallar və elastomerlər olmaqla, polimer matris və aşqarlardan təşkil olunmuş polimer nanokompozitlər (PNK), bir çox texniki tətbiqlər üçün iqtisadi cəhətdən sərfəli olan materialların vacib qrupu hesab olunur.

Kompozitlərin alınması (istehsalı) üçün, unikal xüsusiyyətlərə malik olan iki və ya daha çox material birləşir. Məsələn, yüksək modullu karbon lifləri və ya silisium dioksid (SiO_2) hissəcikləri, davamlılıq, modul və qırılma sərtliyi kimi yüksək mexaniki xüsusiyyətlər nümayiş etdirən möhkəmləndirici PNK – lərin istehsal edilməsi üçün polimerə əlavə edirlər. Bundan başqa, ölçüsü mikron tərtibində olan dolduruculardan istifadə olunduqda, PNK – lərin xassələrinin optimallaşdırılmasında bir sıra çətinlik yaranır. Ümumiyyətlə, PNK – lərdə əənəvi doldurucu tərkibi, adətən, 10 – 70% aralığında dəyişir. Bu da, öz növbəsində, yüksək sıxlığa və yüksək material dəyərinə malik olan kompozitin alınması ilə nəticələnir. Tərkibində mikroölçülü doldurucuları olan PNK – lərdən fərqli olaraq, nanoölçülü KNB – lərin polimer sistemə daxil edilməsi, doldurucular arasında qısa məsafəyə səbəb olur. Bu baxımdan, kompozitlərin xassələri, doldurucu tərkibinin az olmasından asılı olaraq, modifikasiya oluna bilər. Məlum olduğu kimi, KNB – ləri, möhkəm və sərt lif hesab olunduğundan, onların mükəmməl mexaniki xassələri fiziki xüsusiyyətlərlə birləşərək, KNB / PNK – lərin potensial tətbiqləri üçün əlverişli şərait yaradır. KNB / PNK – lərin işlənmə texnologiyasına gəldikdə isə, bu tip kompozitlərdən struktur materiallarda, elektromaqnit xassəli materiallarda, elektroakustika, kimya sahələrində, maşınqayırma sənayesində, nanoelektronika sahəsində, hidrogen akkumulyatoru, interkonnektlər, enerji saxlama cihazları (superkondensatorlar, Li – ion batareyaları) kimi tətbiqlərdə və tibb sahəsində (dərman preparatlarının nişanlı çatdırılması, çoxfunksiyalı nanokonteyner) geniş istifadə olunur. Bundan başqa, sintez edilmiş KNB – lərin və KNB / PNK – lərin mexaniki, elektrik, istilik, optik xüsusiyyətləri göstərilmiş və bu xassələri sayəsində elastiklik modulu, səthi gərilmə müqaviməti, cərəyan sıxlığı, elektrik və istilik keçiriciliyi və s. kimi xarakteristikaları öyrənilmişdir. Bizə məlumdur ki, KNB – ləri yüksək aspektə və geniş səth sahəsinə, həmçinin, nəzərə cərpacaq dərəcədə üstün və aparıcı mexaniki möhkəmliyə (davamlılığa) malik olduqları üçün, onların aspekt nisbəti, digər karbon əsaslı materiallarla (qrafit, almaz, fülleren) müqayisədə 1000 dəfə çoxdur. Nəzəri və təcrübi hesablamalar göstərmişdir ki, ümumi olaraq, KNB – lərin Yunq modulunun qiyməti 270 – 950 TPa

aralığında, gərilmə müqaviməti isə çox yüksək olub, 11 – 63 QPa aralığında qiymətləndirilir. Elastiklik (Yunq) modulunun yüksək qiymətə malik olması, KNB – ları skanedic mikroskop zondlarının yaradılmasında tətbiq cəhətdən faydalı edir. KNB – larin elastiki olması, müəyyən həddə malikdir və çox güclü qüvvələrin təsiri altında KNB – larin, daimi olaraq, deformasiya edilməsi mümkündür. Bundan başqa, KNB – ları olduqca maraqlı elektrik xassələrinə də malikdirlər. KNB – larin daxili strukturundan və onun digər obyektlərlə qarşılıqlı əlaqəsindən asılı olaraq, individual KNB – larin elektrik xüsusiyyətləri: müqavimət, elektrik tutumu və induktivlik tipli kəmiyyətlərlə xarakterizə olunur. KNB – ları daxilində olan elektrik daşıyıcısı, defekt səpilmələri və qəfəs vibrasiyaları vasitəsilə təsirlənirlər. Nanoölçülü qrafit strukturları kimi, KNB – ları yalnız elektrik və mexaniki xüsusiyyətləri ilə deyil, həmçinin, eyni zamanda, özlərinin istilik xüsusiyyətləri ilə də böyük maraq kəsb edir. Bütün KNB – ları “ballistik keçiricilik” kimi tanınan xüsusiyyətə malik olub, borunun uzunluğu boyunca mükəmməl istilik keçirici olmaları və həmçinin, boru oxuna yan istiqamətdə yaxşı izolyator olmaları gözlənilir. KNB – larin istilik keçiriciliyi nəzəri və təcrübi olaraq tədqiq edilmişdir. Belə ki, birdivərli KNB – larin xüsusi istilik keçiriciliyinin: $200 \text{ Vt/m} \times K$ – dən çox olduğu, çoxdivərli KNB – larin xüsusi istilik keçiriciliyinin isə $3000 \text{ Vt/m} \times K$ – dən çox olduğu göstərilir. KNB – larin temperatur sabitliyi vakuumda 2800°C , havada isə təxminən 750°C – yə qədər qiymətləndirilir. Saf və funksionallaşdırılmış KNB – larin müxtəlif materiallara sadəcə 1% – lik əlavə edilməsi, materialın istilik keçiriciliyini ikiqat artırabilir. Bu da onu göstərir ki, KNB – ları əsasında hazırlanmış polimer nanokompozit materialları sənayedə termik idarəetmə tətbiqləri üçün faydalı ola bilər. Maddənin xüsusi istilik tutumu ($C(T)$) – aşağı enerjili həyəcanlanma hallarının həssas bir zondudur. Ümumi olaraq, üçölçülü struktura malik qrafit, ikiölçülü struktura malik qrafen və KNB – larda, fononlar dominant (əsas) həyəcanlanma hallarına malik olurlar. Bu baxımdan, fononların xüsusi istilik tutumu – C_f yüksək temperaturalarda $C(T)$ ilə müqayisədə üstünlük təşkil edir. Fononların xüsusi istilik tutumu (C_f) fonon səviyyələrinin sıxlığından ($\rho(\omega)$) asılı

olub, hər bir fonon səviyyəsinin temperaturundan asılı olaraq, $\rho(\omega)$ – nın integrasiya edilməsi nəticəsində əldə edilə bilər:

$$C_f = \int k_B \left(\frac{\hbar\omega}{k_B T} \right)^2 \frac{e^{\left(\frac{\hbar\omega}{k_B T} \right)} \rho(\omega) d\omega}{\left(e^{\frac{\hbar\omega}{k_B T}} - 1 \right)} \quad (2)$$

Materialşünaslıq elmindən məlum olduğu kimi, KNB – ların optik xassələrinə, onların optik absorbsiya (udma), fotolüminessensiya, fluoressensiya və Raman spektroskopiyası kimi vacib xüsusiyyətləri daxildir. Qeyd etmək lazımdır ki, optik absorbsiya, fotolüminessensiya və Raman spektroskopiyası üsulları, qeyri – boruşəkilli karbon tərkibi, sintez edilmiş KNB – ların strukturu (xırallıq) və struktur qüsurları baxımından, KNB – ların keyfiyyətinin tez və etibarlı şəkildə xarakterizə edilməsinə şərait yaradır. Bu xüsusiyyətlər, praktiki olaraq, optik, mexaniki və elektrik xassələri kimi, istənilən xassəni müəyyənləşdirirlər. Dünya miqyasında KNB – ları meydana gəldikdən sonra KNB / PNK – lərin xassələrinin araşdırılması üçün çoxsaylı imkanlar yarandı. KNB – larla doldurulmuş nanokompozitlərin mexaniki, elektrik, termik, optik və s. xassələri, saf polimerlərə nəzərən əhəmiyyətli dərəcədə təkmilləşdirildi. Məlum olduğu kimi, polimer matrisin təbiəti, KNB – ların aspekt nisbəti (uzunluq / diametr nisbəti), təkrar emal prosesi (məs, kovalent funksionallaşdırma, polimer və ya səthi – aktiv maddə (SAM) səth örtüyü), istifadə olunan emal üsulu kimi bir sıra faktorlar formalaşdırılmış nanokompozitlərin xüsusiyyətlərinə həlledici şəkildə təsir göstərir. Polimerlərin elektrik keçiriciliyi, onlara müxtəlif növ karbon lifləri, karbon qarası və qrafit də daxil olmaqla, keçirici xassəyə malik doldurucuların əlavə edilməsi nəticəsində artırıla bilər. Digər karbon əsaslı dolduruculardan fərqli olaraq, KNB – ların, yüksək keçiricilik qabiliyyətinə ($\gg 10^{-10}$ S/m) və aşağı aspekt nisbətinə (uzunluq / diametr nisbəti) malik olması, tədqiqatçıları, KNB – larla doldurulmuş elektrik keçirici xassəli nanokompozitlərin istehsalı istiqamətinə yönəltdi. KNB – ların birləşməsi (kompozitə daxil edilməsi), izoləedici matris daxilində elektrik keçiriciliyinin yaranmasına səbəb olur. Bu da, əsaslı olaraq, termoreaktiv matrisdə

üçölçülü elektrik keçirici şəbəkələrin formalaşması ilə əlaqələndirilə bilər. Belə ki, dispers olunmuş doldurucu hissəcikləri arasında elektronların tunel effekti baş verir. KNB – ları daşıyıcı xassələrə malik olduğuna görə, epoksid qətran kompozitlərdə onlardan elektrik keçirici doldurucu qismində istifadə olunur. Bu cür kompozitlər, xarakterik olaraq, perkolyasiya (sızma) sərhədinə (həddi) malik olurlar. Sızma nəzəriyyəsi, keçirici xassəli doldurucudan və izoləedici matrisdən ibarət olan (təşkil olunmuş) kompozitlərin elektrik keçirici xassələrinin izah edilməsinə şamil olunur. Keçiriciliyə malik doldurucu tərkibi tədricən artdıqda, kompozit metal – dielektrik keçidinə məruz qalır. Belə ki, kritik doldurucu tərkibi sızma həddi adlanır. Bu zaman, fasiləsiz elektron keçidi və keçirici şəbəkələrin formalaşmasına görə kompozitin ölçülmüş elektrik keçiriciliyi bir neçə tərtib artır. Verilən halda, matris – doldurucu birləşməsi (kombinasiyası) üçün kritik keçiriciliyə malik doldurucunun yük köçürmə qabiliyyəti (yəni, sızma həddi) aşağıdakı düsturla hesablanır:

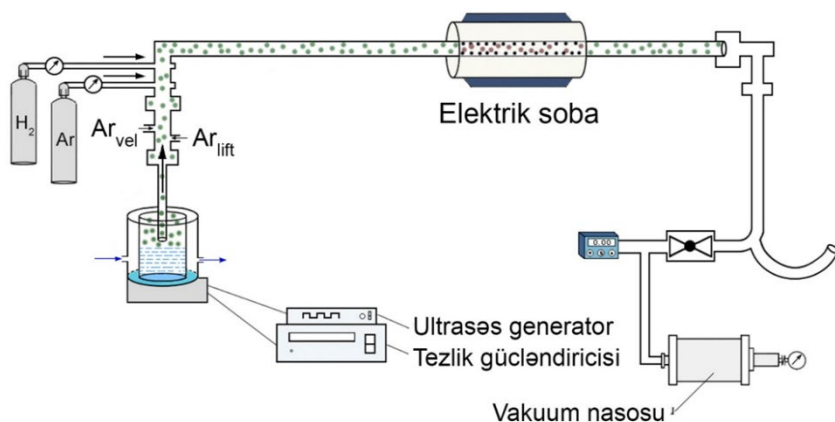
$$\sigma = \sigma_0(v - v_c)^t \quad (3)$$

Hardakı, σ – kompozitin elektrik keçiriciliyi, σ_0 – xarakterik keçiricilik, v – doldurucunun həcm nisbəti, v_c – sızma həddində həcm nisbəti, t – isə kritik əmsaldır (göstəricidir). Beləliklə, buradan belə bir nəticə çıxır ki, həm sızma həddi, həm də kompozitin maksimal keçiriciliyi, nanoölçülü karbon tərkibli doldurucu növündən və dispersiya dərəcəsindən kəskin şəkildə asılıdır.

“KNB – larin alınma üsulları” adlı ikinci fəsilə
KNB – larin fiziki proses və yüksək temperatur amillərinə görə təsnif olunmuş alınma üsulları, bu üsulların xüsusiyyətləri, üstünlükləri və zəruriyyəti, təmizlənmə mərhələsi, həmçinin, onların (KNB – ları) yeni, müasir yetişdirilmə metodu olan və dissertasiya işinin yerinə yetirilməsində istifadə edilən Aerosol əsaslı Kimyəvi Buxar Çökdürmə (AKBÇ) üsulu haqqında məlumat verilmişdir. 1996 – cı ildə Kimyəvi Buxar Çökdürmə (KBÇ) üsulu KNB – larin sintezi və genişmiqyaslı istehsalı üçün ənənəvi üsullardan birinə çevrilmişdir. Bu üsul külli miqdarda KNB – ları sintez etmək və altılıq üzərində

yetişmə texnologiyasının istiqamətini idarə etmək xüsusiyyətlərinə malik olan üsuldur. Bu prosesdə karbohidrogen qazı (etilen, metan və ya asetilen) və proses qaz (ammonyak, azot, hidrogen) qarışıqları atmosfer təzyiqinin təsiri altında və 700 – 900 °C temperatur şəraitində qızdırılmış metal altlıq yerləşdirilən reaksiya kamerasında olan qarşılıqlı təsirə məruz qalır. Karbohidrogen qazının parçalanması və çökdürmə nəticəsində yaradılmış KNB – ları metal altlıq üzərində yetişir. Katalizatorlardan istifadə və altlığın hazırlanması KBÇ üsulunun vacib faktorlarından biri sayılır. Bu altlıq yetişdirilmiş KNB – larin xarakter və növünün müəyyən olunmasında mühüm rol oynayır. Altlıq materialı kimi Si elementindən, kvars şüşə (SiO_2) və alüminium oksid (Al_2O_3) birləşmələrindən geniş şəkildə istifadə olunur. Katalizatorlar Fe, Co və Ni bənzər metal nanohissəcikləri hesab olunurlar və onlar metal altlıq üzərində elektron şüa buxarlanması, fiziki tozlanma və ya məhlul çökməsi vasitəsilə çökdürülə bilər. Məsələli Si altlığı böyük səthlərdə fərdyönümlü KNB – larin yetişdirilməsi üçün ideal altlıq hesab olunur. KNB – larin diametri, katalizator hissəciklərinin ölçüsündən asılıdır. Bu səbəbdən arzuolunan nəticəni almaq üçün, katalizator əsaslı çökdürmə üsulundan düzgün və ehtiyatlı şəkildə istifadə etmək lazımdır. Aerosol əsaslı KBÇ üsulu, müxtəlif qarışıqlardan istifadə olunaraq KNB – larin alınmasına əsaslanan yeganə üsullardan biridir. Bu üsulla hazırlanmış KNB – ları bir çox üstünlüklərə malik olurlar, hansı ki, katalitik materialın hazırlanmasında müxtəlif turşulardan istifadə olunaraq əlavə kimyəvi təmizləmə prosesi tələb etmir. Bu texnologiya məhlulun aerosol şəklində reaktora inyeksiya olunmasına və yüksək temperaturda (830 – 1000 °C) termik parçalanmasına əsaslanır (Şəkil 1). Bu prosesdə sistem hava vasitəsilə evakuasiya edilmiş və daşıyıcı qaz qismində Ar / H_2 qaz qarışıqlarından istifadə olunmuşdur. Bundan başqa, KNB – larin yeni Aerosol əsaslı KBÇ üsulu vasitəsilə sintez edilməsində karbon mənbəyi olaraq Azərbaycan neft fraksiyalarından (ağır benzin fraksiyası, reaktiv yanacaq fraksiyası, dizel yanacağı fraksiyası) istifadə olunmuşdur. Qeyd edək ki, burada sintez prosesləri: 930 °C temperaturda həm atmosfer təzyiqi altında, həm də daha aşağı (10 – 30 kPa) təzyiqlər altında həyata keçirilmişdir. Bütün təcrübələrdə ferrosen ($\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$) konsentrasiyası $n = 20$

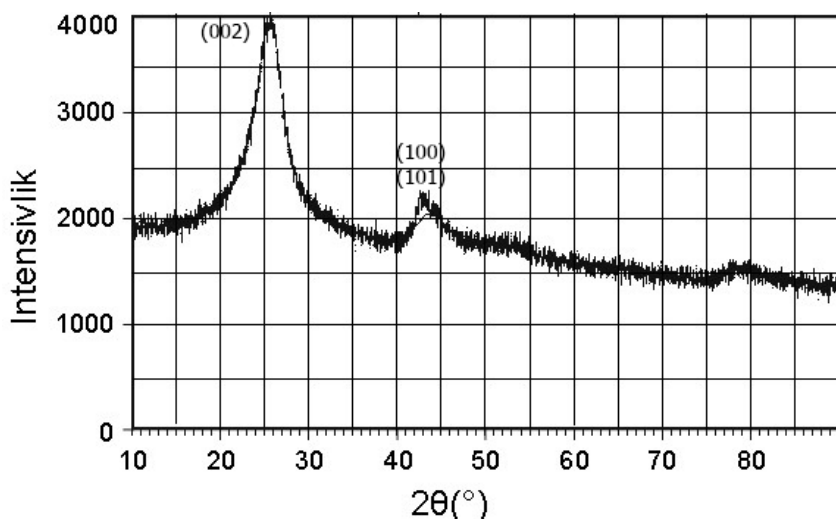
mq/ml olan üzvi həlledici ilə qarışdırılaraq katalizator qismində istifadə olunmuşdur. Standart şəraitdə aparılan eksperimentdə, sintez olunmuş KNB – ları heç bir kimyəvi yardım olmadan borulardan təmizlənmişdir. Lakin, Azərbaycan neft fraksiyalarından istifadə olunaraq, sintez edilmiş KNB – ların təmizlənmə prosesi: 1) Ultrasəs qurğu vasitəsilə üzvi həlledicilərdən (tsikloheksan, toluol) istifadə olunaraq yumaq; 2) Hava atmosfer şəraitində muffel sobasında 420 °C temperaturda yarım saat yandırmaqla aparılmışdır.



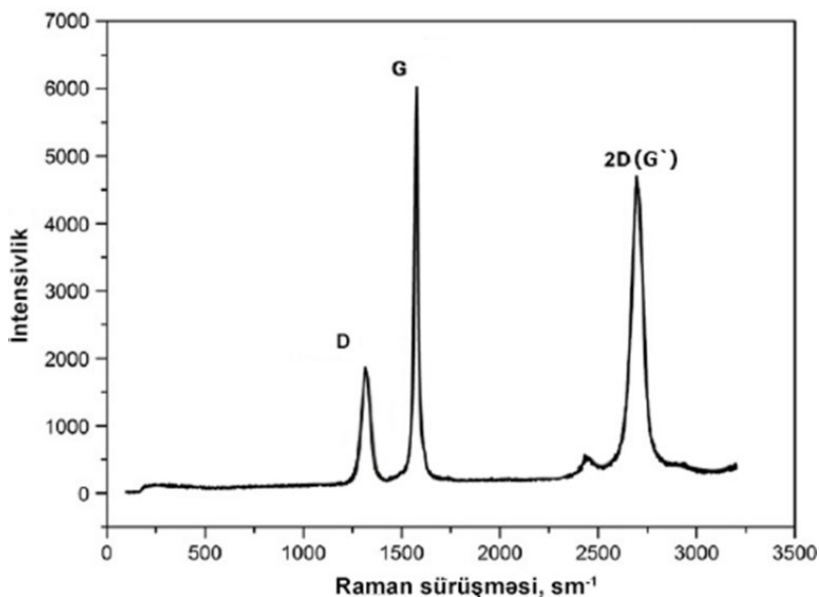
Şəkil 1. Aerosol əsaslı KBÇ Qurğusunun ümumi təsviri.

“KNB – ların xarakteristikası” adlı üçüncü fəsildə sintez olunmuş KNB – ların yetişdirilmə prosesi və müxtəlif xarakterizə edilmə üsullarından istifadə edilərək tədqiq edilməsi (analizi) şərh olunmuşdur. Fərqli şərtlər daxilində sintez olunmuş hər bir nümunə (KNB – ları) analiz edilmişdir. Alınmış KNB – larda səthin morfolojiyası, həndəsi parametrləri (diametr, uzunluq, divarların sayı) və dəmirin (Fe) yerləşmə mövqeyini təyin etmək üçün, Skanedic Elektron Mikroskopiyası (SEM) və Transmissiya Elektron Mikroskopiyası (TEM) analiz üsullarından istifadə olunmuşdur. KNB – ların strukturu, Rentgen difraksiyası (RD) analiz üsulu vasitəsilə tədqiq edilmişdir (Şəkil 2). Xarakterizə etmə ω – 20

diffraktometri vasitəsilə həyata keçirilmişdir. KNB – ları nümunələrinin təmizlik dərəcəsi, amorf və kristal fazaları Raman spektroskopiyası (RS) vasitəsilə analiz edilmişdir (Şəkil 3). Nümunənin həyəcanlandırılması üçün dalğa uzunluğu $\lambda = 532$ nm olan yaşıl lazer şüasından istifadə olunmuşdur. Şüa 50x obyektivindən göndərilmişdir. Bütün ölçmələr otaq temperaturunda aparılmışdır. Raman signalı “Qayıdan Şüa Detektoru (QŞD)” qurğusu tərəfindən toplanmışdır. Aerosol əsaslı KBC qurğusunda KNB – larin sintez prosesi karbon mənbəyi qismində tsikloheksan həlledicisindən və $n = 20$ mq/ml ferrosen konsentrasiyasından istifadə olunaraq yerinə yetirilmişdir. Bunun nəticəsində reaktorun qaynar sahəsindəki temperatur dəyişdirilmiş və onun əldə olunan KNB – larin xarakteristikalarına olan təsiri analiz edilmişdir.



Şəkil 2. $T = 840$ °C – də yetişdirilmiş ÇDKNB – larin Rentgen nümunələri



Şəkil 3. $T = 840\text{ }^{\circ}\text{C}$ – də yetişdirilmiş ÇDKNB – lərin Raman səpilmə spektrləri.

“KNB – lərin funksionallaşdırılması və dispersiyası” adlı dördüncü fəsildə sintez olunmuş KNB – lərin funksionallaşdırılması və dispersiyası, funksionallaşdırma prosesinin növləri (kimyəvi (kovalent), fiziki (qeyri – kovalent)), KNB – lərin funksionallaşmasında polimerlərin və səthi – aktiv maddələrin (SAM) rolu, həmçinin, kimyəvi və iki faktorlu mexaniki dispersiya metodlarından istifadə edilərək KNB əsaslı Polimer nanokompozitlərin hazırlanması texnologiyası, bu tip kompozitlərin elektrik xassələrinin tədqiq edilməsi göstərilmişdir. Məlum olduğu kimi, KNB – lərin dispersiyası dedikdə, KNB – lərin polimer matrisə daxil edilməsi və polimer matris daxilində vahid səthdə müəyyən tarazlıqda paylanması başa düşülür. Funksionallaşdırma dedikdə isə, materialın səth kimyasının dəyişdirilməsi nəticəsində, materiala yeni funksiya, xüsusiyyət, qabiliyyət və xassələrin əlavə edilməsi prosesi başa düşülür. Funksionallaşdırma prosesi, molekul və ya nanohissəciklərin, maddənin səthinə, kimyəvi rəbitə və ya adsorbsiya

yolu ilə, əlavə edilməsi nəticəsində həyata keçirilir. Bir sıra tədqiqatlar, funksional və struktur tətbiqlər üçün nəzərdə tutularaq, KNB – ları əsaslı polimer nanokompozitlərin (KNB / Polimer Nanokompozit) istehsalı istiqamətində yönəldilmişdir. Beləki, geniş yayılmış sintez üsullarının əsas problemləri, metal və amorf tərkibli qarışıqlarla çirklənmiş, həmçinin, müxtəlif diametr və xırallığa malik olan KNB – larin istehsal edilməsi prosesi olmuşdur. Bununla belə, KNB – larin, möhkəmləndirici kimi, istifadə edilmə potensialı, fazalar arasındakı zəif qarşılıqlı təsir və KNB – larla polimer matris arasında mövcud olan Van der Waals qarşılıqlı təsir qüvvələri səbəblərindən kəskin şəkildə məhdudlaşdı. Bundan başqa, KNB – ları, nanoölçülü miqyasda, kiçik diametrə, yüksək aspekt nisbətinə (> 1000) və geniş səth sahəsinə malik olduqları üçün, KNB – larin dispersiyası, sferik hissəcik və karbon lifləri kimi şərti doldurucuların dispersiyasından əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Həmçinin, sənaye məqsədli KNB – ları qarışıq dəstə şəklində təchiz olunur. Bu da, dispersiya prosesi zamanı, yaranmış çətinliklərə gətirib çıxarır. Belə ki, bu problemlərin həll yolu, KNB – larin səth xüsusiyyətlərini modifikasiya etmək üçün, üsulların təkmilləşdirilməsi istiqamətində yönəlmişdir. Bu yanaşmaları isə, sadə bir şəkildə, KNB – ları və aktiv maddələr arasında, qarşılıqlı təsir kimi mövcud olan, kimyəvi (kovalent) və fiziki (qeyri – kovalent) funksionallaşdırma tip növlərə ayırmaq olar. Kimyəvi funksionallaşdırma, KNB – larin karbon forması ilə əlaqədə olan funksional qrupların kovalent rabitəsinə əsaslanır. Bu proses, KNB – larin son qapaqlarında və ya çoxlu sayda defektə malik olan yan divarlarında həyata keçirilə bilər. KNB – larin yan divarlarının, birbaşa olaraq, kovalent funksionallaşdırılması, hibridləşmənin sp^2 – dən sp^3 – ə dəyişməsi və eyni zamanda, qrafen təbəqəsində mövcud olan π – konyuqasiya sisteminin itkisi ilə əlaqələndirilir. Kimyəvi cəhətdən funksionallaşmış KNB – ları, bir çox polimerlərlə birgə güclü fazalar arasındakı rabitə yarada bilirlər. Bu da, KNB əsaslı nanokompozitlərə yüksək mexaniki və funksional xassələrə malik olmaq xüsusiyyəti qazandırır. Ümumiyyətlə, kovalent metodlardan istifadə olunaraq, KNB – larin funksionallaşdırılması, onların səthini yararlı funksional qruplarla təmin edə bilər. Lakin, kovalent üsulların bir sıra çatışmazlığı olduğundan, biz qeyri – kovalent

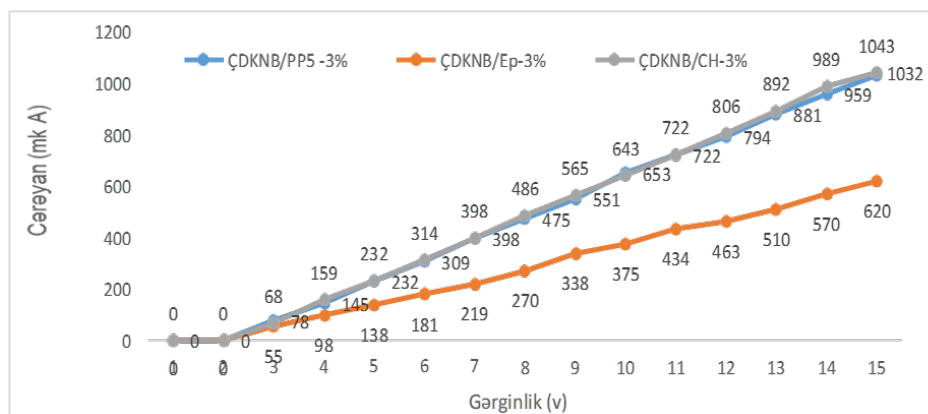
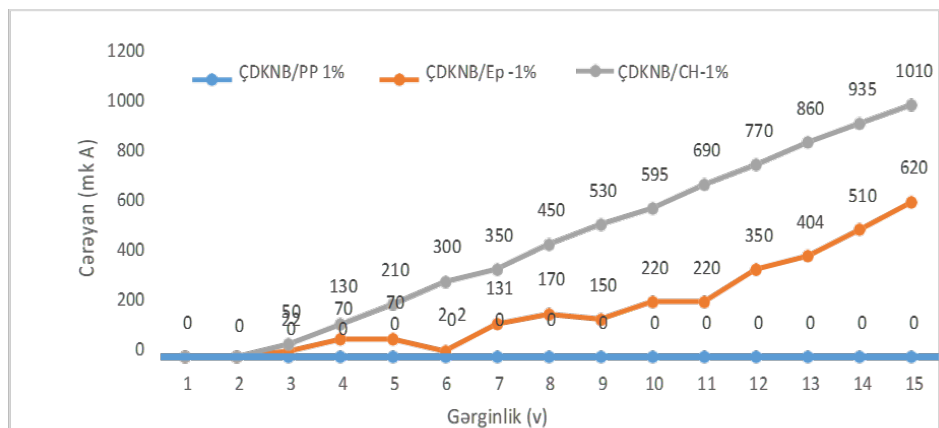
funksionallaşdırma üsuluna keçirik. Qeyri – kovalent funksionallaşdırma üsulunun üstünlüyü ondan ibarətdir ki, bu üsulda, KNB – ların yan divarlarında olan “birləşmiş rabitə” sistemi dağılmır və bu da, nəticə etibarı ilə, materialın son struktur xassələrinə heç bir təsir göstərmir. Bundan başqa, qeyri – kovalent funksionallaşdırma üsulu, KNB – ların fazalar arası xüsusiyyətlərini tənzimləmək üçün alternativ bir üsuldur. Bununla belə, KNB – ların funksionallaşdırılmasında, polimerlərdən başqa, səthi – aktiv maddələrdən də istifadə olunur. Son zamanlarda, nanotexnologiya sənayesinin inkişafının əsas istiqamətlərindən biri də, nanoölçülü komponentlərin əlavə edilməsi nəticəsində, yeni xassələrə malik olan polimer nanokompozit materialların hazırlanması olmuşdur. Bu baxımdan, elektrik keçirici xassəli nanokompozitlərin hazırlanması üçün, perspektivli material kimi, unikal fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərə malik olan KNB – ları nəzərdən keçirildi. KNB – ların polimer matrisə daxil edilməsi və bu matris daxilində vahid səthdə müəyyən tarazlıqda paylanması (dispersiyası), KNB – ları elektrik keçirici xassəyə malik materiala çevirməkdən başqa, həmçinin, onların istilik keçiriciliyini və möhkəmliyini bir neçə tərtib artırır. Yüksək keyfiyyətə və keçiriciliyə malik olan polimer kompozitlərin istehsalı zamanı yaranmış çətinlik, nanokarbon materialının polimer matrisdə vahid səthdə bərabər paylanması və yüksək dispersiya vəziyyətinin zəruriliyi ilə əlaqədar olmuşdur. KNB – ların aqlomeratlar formalaşdırmağa meylli olduğunu nəzərə alaraq, KNB – ların dispersiyası üçün müxtəlif emal metodlarının işlənib hazırlanması tələb olunur. Bu metodlar da, polimer materialın təbiətindən və KNB – ların növlərindən (funksionallaşdırılmış və ya qeyri – funksionallaşdırılmış, birdivərli və ya çoxdivərli, və s.) asılı olaraq, biri – birindən kəskin şəkildə fərqlənirlər. – OH, – CHOH, – COOH və digər funksional qruplarla funksionallaşdırılmış KNB – ları, çox vaxt, KNB əsaslı polimer nanokompozitlərin (KNB / Polimer Nanokompozit) vahid tərkibini formalaşdıran müvafiq polimerlərlə uyğunluq təşkil edir. Belə ki, qeyri – funksionallaşdırılmış KNB – ların (QFKNB – ları) polimerin modifikasiya prosesində istifadəsi, funksionallaşdırılmış KNB – lara (FKNB – ları) nisbətən, qiymət baxımından daha sərfəli olur. Bundan başqa, QFKNB – ları,

effektiv modifikasiyaedici xassələrin (məsələn, yüksək elektrik keçiriciliyi) olmasına görə, FKNB – lardan fərqlənir, hansı ki, bu xassələr KNB – larin funksionallaşdırılması (modifikasiyası) prosesində kəskin azalır. Belə ki, KNB əsaslı Polimer nanokompozitlərin istehsalında həm kimyəvi, həm də iki faktorlu mexaniki dispersiya metodlarından istifadə olunaraq, fərqli faizə malik iki növ kompozit: KNB/PDMS və KNB/Epoksid qətran kompozitləri hazırlanmışdır. Nanokompozitlərin elektrik xassələri, Hiresta – UPMCP – HT450 vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Tətbiq olunan gərginlik (U) altında, tam cərəyan şiddətinin (I) əldə edilməsindən sonra, nanokompozitlərin elektrik keçiriciliyi, Om qanununa əsasən, aşağıdakı düsturla hesablanır: $\sigma_{kom} = (I/U) \times (D/S)$, hardakı, D – iki elektrod arasındakı məsafə, S – isə elektrodun kəsişmə sahəsidir.

“KNB əsaslı polimer nanokompozitlərin (KNB/PNK) nazik təbəqələrinin yeni nəsil elektronika üçün tədqiqi” adlı beşinci fəsildə müxtəlif növ polimerlərdən istifadə olunaraq, KNB əsaslı polimer nanokompozitlərin alınma texnologiyası, bu tip materialların nazik təbəqələrinin hazırlanması, volt – amper xarakteristikası (VAX) və elektrik keçiriciliyinin təyin edilməsi, həmçinin, KNB əsaslı polimer nanokompozitlərin nazik təbəqələrinin yeni nəsil elektronika materialı kimi tətbiqlərinin araşdırılması haqqında söhbət açılmışdır. Yeni texnologiyalar daha sürətli cavab reaksiyası verən elektron cihazlar, daha kiçik inteqral sxemlər və daha az enerji sərfiyyatı tələb edir. KNB – ları və KNB əsaslı polimerlər belə tələblərə cavab verən innovativ materiallar siyahısındadır. Lakin, onların ayrı – ayrılıqda istifadəsi tətbiq imkanlarını məhdudlaşdırır. KNB – ları polimerlərin elektrik, möhkəmlik və absorbsiya xassələrinə güclü təsir edir. Polimerlər də öz növbəsində KNB – larin nazik təbəqə şəklində tətbiqini genişləndirir. Müasir dövrdə KNB/polimer nanokompozit təbəqələrinin nanoelektronika, sensor texnologiyası, aerokosmos, tibb və digər sahələrdə tətbiqi araşdırılmaqdadır. Burada epoksid, polipropilen (PP) və xitosan polimerlərindən istifadə olunaraq, ÇDKNB/Epoksid, ÇDKNB/PP, ÇDKNB/Xitosan tip kompozitlərin nazik təbəqələri hazırlanmışdır. KNB/Epoksid kompozitləri bir sıra tətbiqetmələrdə istifadə edilir: avtomobil, aerokosmik, radar absorbsiya materialı, elektromaqnit

interferensiya qoruyucusu, elektronika, biotibbi cihazlar və külək turbini pərlərində. Epoksid qətran polimerinin və KNB/Epoksid nanokompozitin xüsusiyyətləri, onların potensial tətbiqəmələrini araşdırmaq üçün vacibdir. KNB/PP nanokompozitləri poliolefin materiallarla müqayisədə üstün istilik sabitliyinə malikdir. KNB/PP kompozitlərində elektrik və istilik keçiriciliyi polimer matrisində keçirici şəbəkə yaradan KNB – lərin əlavə edilməsi ilə artır. KNB/Xitosan kompozitlərinin tətbiqləri, biotibbi (toxuma mühəndisliyi, biosensorlar və dərman preparatlarının ünvanlı çatdırılması) və çirkab su sahələri daxil olmaqla tətbiq edilmişdir. Bu nanobiokompozitlərin toxuma mühəndisliyi və dərman verilməsində çoxsaylı potensial tətbiqəmələri gözlənilir.

Nümunələrin keçiriciliyi *iki – zond metodu* ilə təyin edilmişdir. İki – zond üsulunun mahiyyəti ondadır ki, burada materialın xüsusi müqaviməti, onun müqavimətini və fiziki ölçülərini ölçməklə təyin edilir. Bu halda material uzunluğu (l), hündürlüyü (h) və eni (a) olan düzbucaqlı şəklində kəsilir. Metal kontaktlar nümunənin iki tərəfinə bərkidilir. Ölçmə zamanı kontaktlar iki tərəfdən bərkidildiyi üçün bu üsul iki zond üsulu adlanır. Nümunəyə gərginlik mənbəyi tətbiq edilir və bunun nəticəsində də cərəyan nümunədən axmağa başlayır. Dövrəyə ardıcıl olaraq qoşulmuş ampermetr (A) nümunədən axan cərəyan şiddətini (I) ölçür. Əvvəldə qeyd etdiyimiz kimi, ÇDKNB – lərin kiçik kütlə nisbətində polimerlərə daxil edilməsi ilə hazırlanmış kompozit təbəqələrin elektrik xassələrindən müşahidə olmuşdur ki, ÇDKNB – ləri polimerlərin elektrik xassələrini dielektrikdən keçiriciliyə doğru dəyişməsinə kəskin şəkildə təsir edir. Nümunələrin sabit gərginlikdə VAX – ləri təyin edilmiş və alınan nəticələrə əsasən keçiricilikləri hesablanmışdır (Şəkil 4). Bundan əlavə, kontaktların yerini bütün səth boyunca dəyişərək müxtəlif hissələrdə yoxlanılan VAX – lərin eyni olması və eyni zamanda kontaktların nümunələrin uc nöqtələrinə yerləşdirərək aparılan ölçmələrin də eyni nəticə verməsi alınan təbəqələrdə KNB – lərin bircins paylanması nümayiş etdirir. Beləliklə, kompozit təbəqələrin iki zond metodu ilə ölçülmələrə və hesablamalara əsasən elektrik keçiricilikləri təyin edilmişdir (Cədvəl).



Şəkil 4. 1% və 3% ÇDKNB/polimer kompozit təbəqələrin VAX – ları.

Cədvəl. ÇDKNB/polimer kompozit təbəqələrin xüsusi elektrik keçiriciliyi.

KNB/Polimer kompozitlər	1%-li nümunənin elektrik keçiriciliyi $S \cdot m^{-1}$	3%-li nümunənin elektrik keçiriciliyi $S \cdot m^{-1}$
<i>ÇDKNB/Xitosan</i>	$2.3 \cdot 10^6$	$2.4 \cdot 10^6$
<i>ÇDKNB/PP</i>	–	$2.3 \cdot 10^6$
<i>ÇDKNB/Epoksid</i>	$1.2 \cdot 10^6$	$1.3 \cdot 10^6$

NƏTİCƏLƏR

1. Müxtəlif karbon mənbələrindən, katalizatorlardan və sintez temperaturlarından (830 – 1000 °C) istifadə olunaraq və Aerozol əsaslı Kimyəvi Buxar Çökdürmə (AKBÇ) üsulunun optimal rejimi tapılaraq yüksək təmizlik dərəcəsinə malik KNB – ları yetişdirilmişdir.

2. Rentgen difraksiya və Raman spektroskopiyası analizləri nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, 840 °C – də yetişdirilmiş ÇDKNB nümunələrində D (defekt) və G (qrafit) pik nöqtələrinin intensivlikləri nisbəti – I_D/I_G vahiddən kiçikdir və bu, KNB – ları arasında amorf karbonun və defektlərin mövcud olmamasını təsdiq edir.

3. TEM, SEM və EDRS analizləri nəticələrindən Fe nanohissəciklərinin KNB – ların tək uc hissəsində deyil, həm də, onların uzunluğu boyunca (KNB – ların daxili kanalı) yerləşməsi

müəyyən edilmişdir. Nümunələrdə Fe nanohissəciklərin uc hissədə yerləşməsi üstünlük təşkil edir və bu, KNB – ların diametrini formalaşdırır.

4. Ferrosen / kükürd / ksilol məhlulundan istifadə olunaraq, AKBÇ üsulu ilə sintez edilmiş KNB – ların yetişdirilməsi zamanı kükürdün reaksiya məhluluna əlavə edilməsi, yekunda alınan KNB – ların divarlarının sayının azalmasına gətirdiyi müşahidə olunmuşdur.

5. SEM, TEM və Raman spektroskopiya analizləri nəticəsində ikidivarlı və çoxdivarlı KNB – ların mövcudluğu müəyyən edilmişdir.

6. Karbon mənbəyi olaraq, Azərbaycan neftinin distillə olunmuş neft fraksiyalarından (Ağır benzin ($C_7 - C_{11}$), reaktiv yanacaq ($C_9 - C_{16}$), dizel yanacağı ($C_{14} - C_{25}$) fraksiyaları) istifadə edilərək, alınan ÇDKNB – ların atmosfer təzyiqində yalnız benzin fraksiyası nəticəsində formalaşması müəyyən edilmişdir.

7. Nanokompozitlərin hazırlanması məqsədilə polimer matrisdə ÇDKNB – ların dispersiya edilməsi üçün yüksək səviyyədə optimallaşdırılmış (təkmilləşdirilmiş) yeni iki faktorlu mexaniki metod işlənib hazırlanmışdır. SEM analizi və elektrik ölçmələri göstərmişdir ki, qeyri – funksionallaşdırılmış ÇDKNB – ları, polimer matris daxilində, kimyəvi metoddan fərqli olaraq, iki faktorlu mexaniki metod vasitəsilə daha yaxşı dispersiya olunur.

8. İki faktorlu mexaniki metodla əldə edilmiş nümunələrin xüsusi elektrik keçiriciliyinin, kimyəvi metodla əldə edilmiş nümunələrə nisbətən $10^3 - 10^5$ dəfə yüksək olması göstərilmişdir.

9. Həllətmə və dispersiya metodlarından istifadə olunaraq, dielektrik polimerlərə (epoksid, polipropilen, xitosan) 1% və 3% ÇDKNB – ların daxil edilməsi, qalınlıqları 50 mkm olan ÇDKNB/Polimer kompozit təbəqələrin alınmasına səbəb olur.

DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ DƏRC EDİLMİŞ ELMI İŞLƏRİN SİYAHISI

- [1] Abdullayeva S. Characterization of High Quality Carbon Nanotubes Synthesized via Aerosol – CVD / S. Abdullayeva, N. Musayeva, R. Jabbarov [et al.] // Journal of Advances in Physics – 2015. – v. 11. № 4. – p. 3229 – 3240.
- [2] Abdullayeva S. Optimization of synthesis condition for high quality carbon nanotubes / S. Abdullayeva, N. Musayeva, C. Frigeri [et al.] // Azerbaijan Journal of Physics – 2016. – v. XXII. № 1. Section: En., – p. 11 – 14.
- [3] Abdullayeva S. Synthesis of Carbon Nanotubes Using Azerbaijan's Oil / S. Abdullayeva, N. Musayeva, A. Huseynov [et al.] // J. Advances in Materials Physics and Chemistry – 2016. – v. 6. № 5. – p. 105 – 112.
- [4] Abdullayeva S. Carbon nanotubes dispersion in polymers by two – factor mechanical method / S. Abdullayeva, N. Musayeva, R. Jabbarov [et al.] // J. Advances in Materials Physics and Chemistry – 2016. – v. 6. № 11, p. 291 – 304.
- [5] Hasanov R. Role of Sulphur in the A – CVD growth of single – wall CNTs / R. Hasanov, N. Musayeva, S. Babayev // Academician G.B. Abdullayev Centenary International Conference and School Modern Trends in Condensed Matter Physics, Azerbaijan Journal of Physics – 2018. – v. XXIV. № 3. Section: En. – p. 49 – 53.
- [6] Musayeva N. Functionalization of carbon nanotubes for nitroaromatic explosive detection / N. Musayeva, R. Hasanov, T. Orujov [et al.] // Fabrication, Properties and Applications of Nano – Materials and Nano – Devices International Conference, Italy – 2019. – p. 105 – 106.

[7] Musayeva N. Sensors based on carbon nanotubes and germanium nanowires for explosive detection / N. Musayeva, R. Hasanov, T. Orujov [et al.] // Fabrication, Properties and Applications of Nano – Materials and Nano – Devices International Conference, Italy – 2019. – p. 112 – 113.

[8] Гасанов Р. Получение многостенных углеродных нанотрубок методом химического осаждения из газовой фазы на основе аэрозоля и их СЭМ анализы / Р. Гасанов // Journal of Baku Engineering University in Physics – 2019. – v. 3. № 2. – p. 150 – 155.

[9] Musayeva N. Growth and functionalization of carbon nanotubes for nitroaromatic explosive detection / N. Musayeva, R. Hasanov, Ch. Sultanov [et al.] // J. Materials Today: Proceedings – 2020. – v. 20. № 1. – p. 46 – 49.

[10] Həsənov R. Kükürdün Karbon Nanoborularının (KNB) diametrinə təsirinin analizi / R. Həsənov // Azerbaijan Journal of Physics – 2020. – v. XXVI. № 1. Section: Az., – p. 31 – 36.

Dissertasiyanın müdafiəsi "30" mart 2022-ci il tarixində saat 11⁰⁰ Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən BED 1.14 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1143, Azərbaycan, Bakı şəhəri, H. Cavid prospekti 131.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat "28" fevral 2022-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 23.02.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39698

Tiraj: 70