

Azerbaijan Journal of Physics





www.physics.gov.az

XXIX 2023



Institute of Physics Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan



Published from 1995 Ministry of Press and Information of Azerbaijan Republic, Registration number 514, 20.02.1995 **ISSN 1028-8546** vol. XXIX, Number 04, 2023 Section: A

Azerbaijan Journal of Physics



Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan Institute of Physics

HONORARY EDITORS

Arif PASHAYEV

INTERNATIONAL REVIEW BOARD

EDITORS-IN-CHIEF

Arif HASHIMOV

SENIOR EDITOR

Talat MEHDIYEV

Arif Hashimov, Azerbaijan Boris Denker, Russia Vyacheslav Tuzlukov, Belarus Gennadii Jablonskii, Belarus Vladimir Man'ko, Russia Mirhasan Seyidov, Türkiye Dieter Hochheimer, USA Victor L'vov, Israel Majid Ebrahim-Zadeh, Spain Natig Atakishiyev, Mexico Huseyn Ibragimov, Azerbaijan Nazim Mamedov, Azerbaijan Anatoly Boreysho, Russia Mikhail Khalin, Russia Javad Abdinov, Azerbaijan Faik Mikailzade, Türkiye Tayar Djafarov, Azerbaijan Kerim Allahverdiyev, Azerbaijan Talat Mehdiyev, Azerbaijan Zakir Jahangirli, Azerbaijan Salima Mehdiyeva, Azerbaijan Nadir Abdullayev, Azerbaijan Oktay Tagiyev, Azerbaijan Ayaz Bayramov, Azerbaijan Tofiq Mammadov, Azerbaijan Shakir Nagiyev, Azerbaijan Rauf Guseynov, Azerbaijan

TECHNICAL EDITORIAL BOARD

Senior secretary: Elmira Akhundova; Nazli Huseynova, Elshana Aleskerova, Rena Nayimbayeva, Gulnura Jafarova, Nigar Aliyeva.

PUBLISHING OFFICE

131, H. Javid ave., AZ-1143, Baku Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan Institute of Physics

 Tel.:
 (99412) 539-51-63, 539-32-23

 Fax:
 (99412) 537-22-92

 E-mail:
 jophphysics@gmail.com

 Internet:
 www.physics.gov.az

It is authorized for printing:

BARİUM TİTANAT HİSSƏCİKLƏRİ VƏ OLEİN TURŞUSUNDAN İBARƏT QARIŞIĞIN VOLT-FARAD XARAKTERİSTİKASININ TƏDQİQİ

2023

A.R. İMAMƏLİYEV, G.F. QƏNİZADƏ

Azərbayan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu Hüseyn Cavid pr. 131 Bakı, Azərbaycan Rahimoglu@mail.ru

300 nm ölçülü monodispers barium titanat hissəciklərinin olein turşusu ilə qarışığının dielektrik xassələri eksperimental tədqiq olunmuşdur. Qarışığın nazik təbəqəsinin volt-farad xarakteristikası histerezis xassəsi göstərir. Barium titanat kristalının həcmi nümunəsi ilə müqayisədə qarışığın kohersitiv sahəsi xeyli böyüyür (1.5 kV/sm-dən 2.5 kV/sm-ə qədər), spontan polyarizasiyası isə əhəmiyyətli dərəcədə kiçilir (26 μC/sm²-dən 0,3 μC/sm²-ə qədər). Barium titanat hissəciklərinin müasir modelləri əsasında alınan nəticələrin izahı verilmişdir.

Açar sözlər: barium titanat, dielektrik histerezisi, spontan polyarizasiya, submikron hissəciklər. **PACS:** 77.55.fe, 77.80.Dj, 78.20.Ci

GİRİŞ

Perovskit tipli kristalların tipik nümunəsi olan barium titanat (BaTiO₃) güclü seqnetoelektrik xassəsi göstərdiyinə görə (otaq temperaturunda spontan polyarizasianın qiyməti $P_s=26 \ \mu C/sm^2$) geniş tətbiqlərə malikdir. Onun əsasında müxtəlif cihazlar - operativ yaddaş qurğuları, qeyri-xətti və superkondensatorlar, infraqırmızı sensorlar, ultrasəs generatorları, müsbət temperatur əmsallı termistorlar, lazer şüasının tezliyini 2 dəfə artıran qurğu və s. düzəldilir [1-4].

Submikron BaTiO3 hissəcikləri onun böyük ölçülü kristalına xas olmayan xassələr göstərir. Bu xassələri digər funksional materialların xassələri ilə konstruktiv şəkildə uzlaşdırmaqla barium titanatın tətbiq sahələrini daha da genişləndirmək mümkündür. Məsələn, polimer və BaTiO₃ hissəcikləri əsasında düzəldilən kompozitlərdən yükü saxlayan cihazlar, çoxlaylı keramik kondensatorlar, gərginlik sensoru və s. hazırlanmasında istifadə olunur [4]. Gələcəkdə BaTiO3 nanohissəciklərindən maye kristal displeylərdə istifadə oluna bilər, çünki maye kristala cüzi miqdarda BaTiO3 hissəciklərinin əlavə olunması onun elektrooptik xarakteristikalarının (astana gərginliyi, keçid müddəti və s.) əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşmasına səbəb olur [5-8].Tətbiq zamanı barium titanat əsaslı kompozit və kolloid sistemlərin xarakteristikalarını optimallaşdırmaq üçün BaTiO₃ hissəciklərinin xassələrinin həcmi kristalla müqayisədə necə dəyişdiyini aydınlaşdırmaq lazımdır. Təqdim olunan işdə 300 nm ölçülü monodispers BaTiO₃ nanohissəciklərinnin dielektrik xassələri volt-farad ölçmələri (CV-measurements) metodu ilə tədqiq olunmuşdur.

EXSPERIMENT

Təcrübədə istifadə olunan BaTiO₃ hissəcikləri ABŞ-ın US Nano Research şirkətindən alınmışdır. Şəkil 1-də bu hissəciklərin JOEL JSM-767F cihazında çıxarılmış SEM (scanning electron microscope) şəkli göstərilmişdir.

Bruker D2-Phaser (CuKa) cihazında 22°C temperaturda çıxarılan tozşəkilli rentgen difraktogram şəkil 2-də göstərilmişdir. LeBail üsulu ilə dəqiqləşdirilmış qəfəs parametrləri nümunənin tetragonal fazaya aid olduğunu təsdiq edir. Dəqiqləşmənin nəticələri belədir: fəza qrupu P4mm; qəfəs parametrləri a=3.9944(1)Å, c=4.0362(2)Å, V=64.398(4)Å³, R-Bragg =0.776%.

BaTiO₃ hissəciklərinin nazik təbəqəsini almaq və onların bir-birinə yapışmasının qarşısını almaq üçün quru (tozşəkilli) barium titanata 16% (çəki) olein turşusu əlavə olunmuşdur. Bu, qarışıqda BaTiO₃ hissəciklərinin 43% həcm payına uyğun gəlir. Qarışıq mazutşəkilli (slurry-like) bir halda olur ki, bu da onun nazik təbəsini almaqda cətinlik törətmir.

Qarışığın dielektrik nüfuzluğunu ölçmək üçün o xüsusi formalı yuvacığa doldurulur. Yuvacıq iç tərəfi şəffaf keçirici ITO (indium qalay oksidi) təbəqə ilə örtülmüş və bir-birindən 60 mkm qalınlıqlı teflon arakəsmə ilə ayrılmış iki müstəviparalel şüşə lövhədən ibarətdir. Yuvacığın səffaf olması keçən işlqda qarışığın şəklini çəkməyə imkan verir. BaTiO₃ hissəcikləri – olein turşusu qarışığının AmScope kamerası (14 MP) ilə təchiz olunmuş Karl Zeiss Yena polyatizasiya mikroskopunda çəkilmiş mikrofotoqrafiyası şəkil 3-də göstərilmişdir (düzbucaqlı görüş sahəsinin ölçüləri 20mkm və 15 mkm-dir).



Şəkil 1. BaTiO₃ hissəciklərinin SEM şəkli.







Şəkil 3. BaTiO3 hissəcikləri ilə olein turşusu qarışığının optik mikroskopda şəkli.



Şəkil 4. BaTiO₃ hissəcikləri – olein turşusu qarışığının dielektrik nüfuzluğunun elektrik sahəsinin intensivliyindən asılılığı.

Yuvacığın volt-farad xarakteristikası E7-8 rəqəmsal RLC-metrinin köməyi ilə ölçülmüşdür. Yuvacığa tətbiq olunan sinusoidal test siqnalı 1 *kHs* tezliyə və 1 *V* amplituda malikdir. Bundan əlavə, RLC-metr yuvacığa ± 20 *V* sabit sürüşmə gərginliyi tətbiq etməyə imkan verir.

Yuvacığın elektrik tutumunun ölçülməsi

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}$$

düsturuna əsasən qarışığın dielektrik nüfuzluğunu (ε) təyin etməyə imkan verir. S=2 sm² - yuvacığın sahəsi, d=60 mkm – lövhələr arasındakı məsafə (və ya BaTiO₃ hissəcikləri – olein turşusu təbəqəsinin qalınlığı),

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$
 - elektrik sabitidir.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Yuvacığın volt-farad xarakteristikasından istifadə edərək BaTiO₃ hissəcikləri – olein turşusu qarışığının dielektrik nüfuzluğunun elektrik sahəsinin intensivli-

yindən ($E = \frac{U}{d}$) asılılıq qrfiki qurulmuşdur (şəkil 4).

Qrafikin təhlilindən aşağıdakı maraqlı nəticələr çıxarmaq olar:

 gözlənildiyi kimi, dielektrik nüfuzluğunun xarici elektrik sahəsundən asılılığı histerezis xarakteri daşıyır və bu histerezis asimmetrikdir;

2) dielektrik nüfuzlunun artması 2.5 kV/sm-dən başlayır;

3) dielektrik nüfuzluğunun qiymətinin maksimal qiymətə çatması (doyması) təxminən 10 kV/sm-də baş verir;

4) koersitiv sahə təxminən 5 kV/sm-dir.

Histerzisin mövcud olması göstərir ki, 300 nm ölçülü BaTiO₃ hissəcikləri seqnetoelektrik xassəsini saxlayır. Fərq ondadır ki, barium titanatın həcmi nümunəsində xaici elektrk sahəsinin təsiri ilə polidomen haldan monodomen hala keçid astana xarakteri daşımır, lakin dielektrik mühitində dispersiya olunmuş BaTiO₃ hissəciklərində bu keçid 2.5 kV/sm astana sahəsindən başlayır.

Heterogen qarışıqların dielektrik nüfuzluğu üçün

$$\frac{\varepsilon_p - \varepsilon}{\varepsilon_p - \varepsilon_m} \cdot \left(\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{3}} = 1 - f$$

düsturdan [9] istifadə edərək BaTiO₃ hissəcikləri–olein turşusu qarışığının dielektrik nüfuzluğundan (ε) BaTiO₃ hissəciklərinin dielektrik nüfuzluğunu (ε_p) hesablamaq olar. Burada $\underline{\varepsilon}_m$ =2,1 - olein turşusunun dielektrk nüfuzluğu, f=0,43 - BaTiO₃ hissəciklərinin qarışıqdakı həcm payıdır. Düsturdan alınır ki, BaTiO₃ hissəciklərinin polidomen halda (sahə olmadıqda) dielektrik nüfuzluğu ε_p^{\min} = 220, monodomen halda (sahə

olduqda) isə $\varepsilon_p^{\text{max}} = 565$ olur.

Polyarlaşmış (monodomen) və polyalaşmamış (polidomen) BaTiO₃hissəciklərinin dielektrik nüfuzluqları arasındakı fərqə görə onların spontan polyarizasiyasını qiymətləndirmək olar:

$$P_{S} = \varepsilon_{0} \left(\varepsilon_{p}^{\max} - \varepsilon_{p}^{\min} \right) E \approx 10^{-11} \frac{F}{m} \cdot 300 \cdot 10^{6} \frac{V}{m} = 3 \cdot 10^{-3} \frac{C}{m^{2}} = 3000 \frac{\mu C}{m^{2}} = 0.3 \frac{\mu C}{sm^{2}}$$

Bu barium titanatın kristalının böyük ölçülü nü-

munəsindəki qiymətdən ($P_S = 26 \frac{\mu C}{sm^2}$ [10]) çox kiçikdir. Bunun iki səbəbi var. Birinci (əsas) səbəb BaTiO₃ hissəciklərinin ölçüsünün kiçilməsi ilə səth effektlərinin rolunun artması nəticəsində spontan polyarizasiyanın yaranması üçün cavabdeh olan tetra-

qonallıq dərəcəsinin ($\frac{c}{a}$) azalmasıdır [11]. Digər səbəb

isə bu hissəciklərin quruluşu ilə bağlıdır. Müasir təsəvvürlərə görə BaTiO₃ hissəciklərini kötük-qabıq (core-

- Yu. Garbovskiy, O.Zribi, A. Glushchenko. Emerging Applications of Ferroelectric Nanoparticles in Materials Technologies, Biology and Medicine. http://dx/doi/org/10.5772/52616
- J. Scott. Ferroelectric Materials for Energy Applications. 2018 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 376 p
- [3] *K. Uchino.* Ferroelectric devices, CRC Press, 2011, 361 p.
- [4] B. Ertuğ. Overview of Electrical Properties of Barium Titanate. American Journal of Engineering Research (AJER), 2013, v.02, 08, p.01-07
- [5] Y. Reznikov. Ferroelectric Colloids in Liquid Crystals, Liquid Crystals beyond Displays: Chemistry, Physics, and Applications edited by Quan Li, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012, 573 p.

shell) modeli ilə xarakterizə olunur [12]. Bu modelə görə BaTiO₃ hissəciklərin tetraqonal qəfəsə malik kötükdən və kubik qabıqdan ibarətdir. Qabıq hissə spontan polyarizasiyaya pay vermədiyindən bu, hissəciyin spontan polyarizasiyasının azalmasına səbəb olur.

Dielektrik nüfuzluğunun artması BaTiO₃ hissəciklərinin içərisində domen divarının hərəkəti, doyma hadisəsi isə polyarlaşmış hissəciklərin elektrik sahəsində dönmə prosesinin başa çatması ilə bağlıdır. Koersitiv sahənin boyüməsi də, hesab edirik ki, kiçik ölçülərdə domen divarlarının hərəkətinin çətinləşməsi ilə bağlıdır.

- [6] T.D. Ibragimov, A.R. Imamaliyev, G.M. Bayramov. Influence of barium titanate particles on electro-optic characteristics of liquid crystalline mixture H-37, Optk 2016, v. 127, p. 1217.
- [7] T.D. Ibragimov, A.R. Imamaliyev, G.M. Bayramov. Formation of local electric fields in the ferroelectric BaTiO₃ particles-liquid crystal colloid, Ferroelectrics 2016, v. 495, p. 60.
- [8] A.R. Imamaliyev, Sh.A. Humbatov, M.A. Ramazanov. Effect of ferroelectric BaTiO₃ particles on the threshold voltage of a smectic A liquid crystal, Beilstein Journal of Nanotech. 2018, v. 9, p. 824.
- [9] G.R. Gorur. Dielectrics in the electric field (CRC Press, Taylor and Francis Group, 2017) 774p
- [10] J. Blakemore. Solid state physics, Cambridge University Press 1985, 517 p.

- [11] J. Yu, J. Chu. Nanocrystalline Barium Titanate, Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology Edited by H. S. Nalwa, v. 6, p. 389-416.
- [12] P. Sedykh, E. Michel, D. Charnaya, J.Haase. Size Effects in Fine Barium Titanate Particles, Ferroelectrics 2010, v. 400, p. 135.

A.R. Imamaliyev, G.F. Ganizade

INVESTIGATION OF VOLT-FARAD CHARACTERISTICS OF BARIUM TITANATE PARTICLES - OLEIC ACID MIXTURE

In this work, the dielectric properties of a mixture of 300 nm sized monodisperse barium titanate particles and oleic acid are experimentally investigated. The volt-farad characteristic of the thin film of the mixture shows hysteresis property. The coercive field has a high value (2.5 kV/cm) compared to the bulk barium titanate crystal (1.5 kV/cm). And the value of spontaneous polarization of particles ($0.3 \ \mu C/cm^2$) is two orders of magnitude lower than that of the bulk crystal ($26 \ \mu C/cm^2$). Explanations of the obtained results on the basis of existing models are given.

А.Р. Имамалиев, Г.Ф. Ганизаде

ИССЛЕДОВНИЕ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕСИ ЧАСТИЦЫ ТИТАНАТА БАРИЯ – ОЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА

В работе экспериментально исследовано диэлектрические свойства смеси монодисперсных частиц титаната бария с размером 300 нм и олеиновой кислоты. Вольт-фарадная характеристика тонкой пленки смеси показывает гистерезисное свойство. Коэрцитивное поле имеет высокое значение (2.5 кВ/см) по сравнению с объемным кристаллом титаната бария (1.5 кВ/см). А величина спонтанной поляризации частиц (0,3 мкКл/см²) оказывается на два порядка ниже, чем у объемного кристалла (26 мкКл/см²). Приведены объяснения полученных результатов на основе существующих моделей.

Qəbul olunma tarixi:06.10.2023

MÜXTƏLİF TEMPERATURLARDA VƏ POLYARLAŞMA GƏRGİNLİKLƏRİNDƏ POLİPROPİLEN ƏSASLI NANOGİL ƏLAVƏ EDİLMİŞ KOMPOZİTLƏRİN ELEKTRET XASSƏLƏRİ

2023

M.A. MUSAYEV, A.Ə. HADIYEVA, A.N. CƏFƏROVA

Azərbaycan Dövlət Neft ve Sənaye Universiteti, AZ1010, Azadlıq pros., 20 e-mail: <u>aynure 82@mail.ru</u>

Polipropilen (PP) və onun əsasında müxtəlif faizlərdə D_{k1} markalı nanogil əlavə edilmiş nanokompozitlərin müxtəlif temperaturlarda və polyarlaşma gərginliklərində elektret xassələri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, PP+D_{k1} nanokompozitlərinin quruluşunda matrisanın ayrı-ayrı yerlərində D_{k1} hissəciklərinin bir yerə toplanması baş verə bilər. Bu yığılmış hissəciklər – klasterlər polimer matrisasında nizamsız paylanırlar və D_{k1} -in həcmi miqdarı artdıqca klasterlərin də sayı arta bilər. Buna görə PP+10,0% D_{k1} nanokompoziti yüksək elektret stabilliyinə malikdir.

Açar sözlər: nanogil, nanokompozit, elektret, polyarlaşma, polipropilen PACS: 81.05.Rm

Giriş

Fizika və kimyanın inkişaf sahələrinin sürətlə artması ilə əlaqədar olaraq elektret maddələrə maraq günü-gündən artır. Praktiki olaraq istifadə edilən elektret maddələr polimer dielektriklərdən hazırlanır [1,2]. Halhazırda geniş istifadə sahəsinə malik olan elektretlər məişət texnikasında (yüksək keyfiyyətli elektret mikrofonlar) xüsusi təyinatlı texnikaya (elektret dozimetrlər, elektret hidrofonlar) qədər bütün sahələri əhatə edir. Ona görə müəyyən xassəli elektretlərin alınması fiziki tədqiqatların genişlənməsinin praktiki tələbidir.

Yeni elektret maddələrin hazırlanmasında əsas istiqamətlərdən biri polimer əsaslı kompozitlərin alınmasıdır. Yüksək keyfiyyətli elektret maddələri polimerlərə yüksək dispersiyalı əlavələrin daxil edilməsi ilə əldə etmək olar. Alınan kompozit maddələrdə yeni quruluş elementləri yaranır və bu elementlər yükdaşıyıcıların tələləri rolunu oynayır. Polimerlərə daxil edilən əlavələr molekulyarüstü quruluş xarakterini dəyişməklə quruluş elementlərinin qablaşmasına və yeni kristal mərkəzlərin yaranmasına təsir göstərir və əlavə ilə matrisanı ayıran sərhəddə karbonil, karboksil, peroksid və hidropereoksid qrupların meydana çıxmasına səbəb olur.

Polyarizasiya nəticəsində polimerlər və polimer kompozitlər elektret xassəyə malik olurlar. Polyarizasiya maddədə yüklü zərrəciklərin paylanmasının statistik tarazlığının pozulmasıdır və yükün elektrik momentinin sıfırdan fərqli qiymət almasıdır. Eyni zamanda, elektrik yükləri polyarizasiya prosesində faiz aralığındakı sərhəddə və qeyri-bircins bölgələrdə toplanırlar. İonlar və elektronlar ola bilər ki, polimerlərdə heç bir qarşılıqlı təsirdə olmurlar və tələlərə düşərək uzun müddət orada qala bilirlər. Polimerin quruluşundakı fərqli qüsurları və orientasiya olunmuş dipolları (son qruplar, kristallik amorf bölgələr arasındakı sərhədlər və s.) tələ kimi götürə bilərik.

İnjeksiya olunmuş ionlar kiçik dərinliklərə səthdən bir neçə molekulyar təbəqə qalınlığında olan məsafəyə nüfuz edir, elektronlar daha dərinə keçə bilir. Bütövlükdə homoyüklər nümunə səthində yığılırlar. Soyumadan sonra yüksək elektrik gərginliyini kəsməklə homoelekret almaq olar. Fazalararası sərhəddəki qarşılıqlı təsir sistemin ayrı-ayrı komponentlərin xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə səbəb olur və nəticədə kompozit materiallar onun tərkibinə daxil olan komponentlərlə müqayisədə pronsipcə yeni xassələrə malik olurlar. Quruluş baxımından belə sistemlər çoxlu sayda amorf və kristallik bölgələrdən ibarətdir. Kristallik bölgərdən amorf bölgələrə və ya tərsinə keçən keçirici makromolekulların əmələ gətirdiyi bu cür mürəkkəb bir quruluşa, bir də başqa bir quruluşa və xassəyə malik olan ikinci bir komponent (nanogil) təsir edirsə, belə materiallar özünəməxsus xüsusiyyətlərə malik olurlar və polimer nanokompozitlərin fizik-mexaniki, həmçinin elektret xassələrinə təsir edə bilərlər.

Təqdim etdiyimiz işdə izotaktik polipropilen (PP) əsasında D_{k1} markalı nanogil əlavə edilmiş nanokompozitlərin elektret xassələri araşdırılmışdır.

Nümunələrin hazırlanması və ölçmə metodları

D_{k1} nanohissəcik müxtəlif faizlərdə (1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 kütlə%) toz şəklində PP ilə mexaniki qarışdırıldıqdan sonra, qaynar presləmə üsulu ilə (433K, 15MPa, 10 dəq.) nazik (50-70mkm) nümunələr əldə edilmişdir. Əlavə olaraq istifadə olunan nanogil montmorillonitli (MMT) təbəqəli silikatlardır və bu təbəqələrin ölçüləri: uzunluğu 200 nm-ə qədər, eni 1-3nm aralığındadır [3]. Şəkil 1-də MMT kristalının atom qəfəsinin quruluşu göstərilmişdir: mərkəzdə Al (alüminium), Mg (maqnezium) və Fe (dəmir) atomları yerləşir və onlar silisium oksid təbəqəsi ilə əhatə olunur.

Bu cür quruluşa malik gilin daxilində elektrostatik tarazlığın pozulması artır və təbəqənin xaricində mənfi yüklü hissəciklərin artması gözlənilir. Na⁺, Ca⁺⁺ kationlarının absorbiyası ilə mənfi yüklü hissəciklər neytrallaşır. Na⁺ MMT hissəciklərinin belə müstəvi şəklində olması bu təbəqələrin bir-biri üzərinə düzülərək polimer matrisası ilə qat-qat təbəqəli quruluş yaratmasına gətirir. Təbəqələr arasındakı boşluqlar qalereya da adlanır. Bu cür quruluşlarda havanın və rütubətin keçməsi polimer matrisaya nəzərən çətinləşir [3].

Giannelisin [4] apardığı təcrübələrə görə nanokompozitin alınması üç mərhələdə olur: 1-ci mərhələdə (a) taktoid meydana gəlir: polimerin makromolekulları D_{k1}in aqlomeratlarını xarici tərəfdən örtürlər. 2-ci mərhələdə (b) zəncir seqmentləri D_{k1} in təbəqələri arasındakı boşluqlara daxil olmaqla təbəqələrin 2-3 nm aralanmasına səbəb olurlar. 3-cü mərhələdə (c) D_{k1} tə-

bəqələrinin bir-birinə nisbətən uzaqlaşması və təbəqələrin nizamsız düzülüşü başlayır, təbəqələr təmamilə ayrılırlar.



Şəkil 1. Montmorillonitin atom quruluşu.



Şəkil 2. «Polimer-təbəqəli silikat» kompozitlərin alınması.



Şəkil. 3. Kompozitlərin elektret xassələrini müəyyən edən qurğunun sxemi: 1- panel; 2- yüksək gərginlikli elektrod; 3- dayaq; 4- nümunə; 5- soba; 6- yerlə birləşdirilmiş elektrod

PP əsasında alınmış nanokompozitlər T_p =390 Kdə t_p =1 saat ərzində E_p =0,8·10⁷ V/m intensivlikli elektrotermopolyarizasiyaya (ETP) məruz qalmışdır. Polyarlaşma və elektretlərin tədqiqi üçün qurğunun sxemi şəkil 3-də göstərilmişdir.

Təcribi olaraq tapılmış $U_k=U_p$ gərginliyin qiyməti elektret yüklərinin effektiv səth sıxlığının qiymətini təyin etməyə imkan verir.

$$Q = \frac{\varepsilon U_k}{2\pi L} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 U_k}{L}$$

Burada, *L*-elektretin qalınlığıdır. Qeyd edək ki, ölçülən Q elektrod və elektret arasındakı məsafədən asılı deyil. Effektiv yüklənmənin qiyməti kompensasiyaedici gərginliyin U_k işarəsi ilə təyin edilir.

Nəticələr və onların izahı

Polimer dielektriklərin elektret xassələrinin öyrənilməsinə dair çoxlu sayda təcrübi nəticələr göstərdi ki, elektrik sahəsinin təsiri ilə polimerlərin həcmində əmələ gələn yülər (polyarlaşma) matrisada tələlər deyilən tutucularda toplanır və uzun müddət orada qala bilirlər [5,6] bu cür maddələrə elektret maddələr deyilir. Elektret xüsusiyyətləri yüklərin yığılması ilə yaranan elektret potensiallar fərqi U_p ($U_k=U_p$) və toplanan yüklərin effektiv səthi sıxlığı σ_e ilə müəyyən olunur. Bunlar isə ilk növbədə elektret dielektrik maddələrin müxtəlif tələlərində toplanan yüklərin miqdarının dəyişməsi ilə əlaqədardır.

Bir saat müddətində ETP-yə məruz qalmış termoelektretlərin σ_e –nin əlavənin miqdarından asılılığı şəkil 4-də göstərilmişdir. Dk1-in həcmi miqdarı artdıqca σ_e artır və 10%-dən azalma müşahidə olunur. Həmçinin PP; PP+2,0% Dk1 və PP+10% Dk1 nümunələrinin elektret stabilliyinə də baxılmışdır. Şəkil 5-dən də göründüyü kimi, yüksək stabilliyə və yükün böyük qiymətinə PP+10% Dk1 kompoziti malikdir. Bu kompozitdə σ_e saf PP-yə nəzərən 5 dəfə artmışdır ($\sigma_e(PP)$ = 0,3 mkKl; $\sigma_e(PP+10,0\%D_{k1}) = 1,5$ mkKl). Əlavənin 10% miqdarında elektret xüsusiyyətlərinin yaxsılasması elektrik sahəsinin və temperaturun təsiri altında makromolekulların orientasiyası, üst molekulyar guruluşun pozulması və yenidən qruplaşması və sferolitlər arasında tikilmələrin hesabına baş verə bilər. Güman olunur ki, [7] polyarlaşmanın bu növündə yüklərin stabilləşməsi və toplanması üçün dərin tələlər rolunu oynayan çoxlu defektlər əmələ gələ bilər.

Araşdırmalardan da məlumdur ki, [8, 9] polimerlərə radiasiya şüalanması, elektrik boşalması və ya elektrik sahəsi təsir etdiyi zaman matrisada yaranan həcmi yüklərin sıxlığı üst molekulyar quruluşdan asılıdır. Bizim nümunələrdə üst molekulyar quruluşu dəyişən D_{k1} əlavəsi, E_p və T_p -dir. Polyarizasiya olunmuş nümunələrdə elektrik sahəsinin (E_P) təsiri ilə nanogil hissəciklərində induksiya olunmuş dipol momenti yaranır. Dipol momentinin yaranma mexanizmini şəkil 1-də verilmiş montmorillonit hissəciklərinin atom quruluşu haqqında məlumata və polielektrolit modelinə görə izah edə bilərik. MMT hissəciklərinin səthində yerləşən bir doymamış valent rabitəsinə malik olan Si atomu OH hidroksil qrupuna birləşməklə doyur. Əgər bu qrup protonu itirsə, onda mənfi yüklənmiş [O]- və tərsinə proton birləşdirərək [OH₂]⁺ qrupları yaranar. Bu cür yaranmış yüklü hissəciklər elektrik sahəsi təsir etdikdə uyğun istiqamətdə hissəciklərin səthi boyunca qrupların yerdəyişməsi baş verir, bu da makrodipolların yaranmasına gətirir. Nanokompozitlərin elektrik sahəsində polyarlaşması zamanı T_p =390 K-də makrodipollar nizamla düzülməyə başlayırlar və müəyyən vaxtdan sonra həmin intensivlikli elektrik sahəsinin təsiri altında soyuma gedir. Soyuma prosesində dipollar sanki «donur», nizamlı bir düzülüş yaranır və nanokompozit polyarlaşır. Nanokompozitdə əlavənin miqdarı 10 %-ə qədər artdıqda makrodipolların da sayı artır. Əlavənin 10%dən sonrakı artımında nanohissəciklərin aqlomerasiya prosesinin ehtimalı artır [10].



Şəkil 4. PP+ D_{k1} nanokompozitlərinin yük sıxlığının (σ_e) nanogilin faiz miqdarından (ϕ) asılılığı.



Şəkil 5. PP və PP+ D_{k1} kompozitlərindən alınan termoelektretlərin effektiv səthi yük sıxlığının (σ_e) onların T=293K-də saxlanma zamanından (t) asılılıqları: 1~PP; 2~PP+2,0% D_{k1}; 3~PP+10,0% D_{k1}

Polyarlaşma şərtlərini dəyişməklə D_{k1} daxil edilmiş kompozitlərin elektret xassəsələrini öyrənmək üçün $t_p=1$ saatda və müxtəlif T_p və E_p -də polyarlaşmış PP; PP+2,0 % D_{k1} və PP+ 10% D_{k1} nümunələrinin effektiv səthi yük sıxlıqları hesablanmışdır (şəkil 6). Göründüyü kimi, T_p və E_p dəyişdikcə göründüyü kimi, hər bir nümunənin özünə uyğun σ_e -nin maksimum qiymətləri vardır, $\sigma_e=f(E_p)$ asılılğı müxtəlif temperaturlarda ekstremal xarakterə malikdir və σ_e -nin ən böyük qiymətinə uyğun gələn polyarlaşma gərginliyi də T_p -dən asılıdır. Şərtlər eyni olduğu hallarda (T_p , E_p , $t_p=const$) nanokompozitlərin σ_e -si PP-yə görə çoxdur. Bundan başqa, T_p artdıqca σ_e -in ən böyük qiymətləri kiçik E_p -lərə doğru sürüşür və bütün nümunələr üçün bu müşahi-

də olunur. Polyarlaşma temperaturu yüksəldicə T_p >400K həcmində olan tələlərin sayı artır və σ_e ən böyük qiymətlərini kiçik E_p -lərdə alır [11].



Şəkil 6. PP+ D_{k1} nanokompozitlərinin effektiv yük sıxlığınım (σ_e) elektrik sahəsinin intensivliklərindən (E_p) asılılıqları: a) saf PP; b) PP+2,0% D_{k1}; c) PP+10,0% D_{k1}: 1 $\sim T_p$ =370K; 2 $\sim T_p$ =430K; 3 $\sim T_p$ =410K; 4 $\sim T_p$ =390K.

NƏTİCƏ

Beləliklə, müxtəlif metodlarlarla polyarlaşmış nanokompozitlərin elektret xassələrinin tədqiqi göstərdi ki, yüksək elektret stabilliyinə və yükün böyük qiymətinə termoelektret halında PP+10,0% D_{k1} malikdir. Bu əlavənin 10,0%-dən yuxarı miqdarlarında elektret xassələrinin pisləşməsi nanohissəciklərin aqlomerasiyası ilə izah oluna bilər. Həmçinin PP-yə əlavə edilən D_{k1} hissəcikləri özlərini makrodipol kimi aparır və dipol relaksasiya proseslərinin üzə çıxmasında özünü göstərir.

- [1] А.Г. Кравцов, Н. Бруниг. Электретный эффект в волокнах на основе полипропилена, обработанных коронном разрядом. Высокомолек. соед., серия А и Б, 2000, т. 42, №6, с. 1074-1077.
- [2] А.Г. Кравцов. О методах исследования электретного состояния полимерных материалов. Пластические массы, 2000, №8, с. 6-10.
- [3] E. Giannelis. Polymer layered silicate nanocomposites. Adv.Mater., 1996, v. 8, p. 29-35.
- [4] E. Giannelis, N. Krishnamoorti, E. Manias. Polymer-Silicate Nanocomposites: Model Systems for Confined Polymers and Polymer Brushes. Adv. Polym. Sci., 1998, v. 138, p. 107.
- [5] А.С. Гусейнова, М.А. Рамазанов. Влияние коронного разряда на электретные свойств полиолефинов, модифицированных добавками низкомолекулярных красителей. Fizika, 2009, v.15, №2, р. 160-162.

MÜXTƏLİF TEMPERATURLARDA VƏ POLYARLAŞMA GƏRGİNLİKLƏRİNDƏ POLİPROPİLEN ƏSASLI NANOGİL...

- [6] Б.Х. Мирзаахмедов, С.С. Негматов, Х.Х. Махмудов. Исследование процесса формирования электретных композиционных полимерных материалов. Узбек., Физика, 2004, т. 6, №4, с. 285-287.
- [7] Л.А. Костандов, Н.С. Ениколопов, Ф.А. Дьячковский и др. Способ получения композиционного материала, Х. М. А., Авт. Свид. СССР 763379; Бюл. изобр., 1980, №34, с. 129.
- [8] В.Е. Гуль, В.Н. Кулезнев. Структура и механические свойства полимеров: Учеб. для хим. Технолог. вузов, М.: Издательство «Лабиринт», 1994, 367 с.
- [9] И.П. Добровольская, В.Е. Юдин, Н.Ф. Дроздова и др. Структура и свойства пленочных

композитов на основе метилцеллюлозы, повиаргола и наночастиц монтмориллонита. Высокомолек. соед., серия А, 2011, т. 53, №2, с. 256-262.

- [10] М.А. Рамазанов, А.А. Хадиева, Р.Л. Мамедова и др. Влияние температурно-временных режимов кристаллизации на теплофизические свойства полимерных нанокомпозитов на основе полипропилена и Д_{к1}. Проблемы энергетики, Баку, 2011, №3, с. 67-70.
- [11] Д.А. Еремеев, М.Ф. Галиханов, Р.Я. Дебердеев. Изучение композиционных короноэлектретов на основе полиэтилена и белой сажи. Структура и динамика молекулярных систем, 2003, ч. 1, вып. 10, с. 122-125.

M.A. Musayev, A.A. Hadieva, A.N. Jafarova

ELECTRET PROPERTIES OF POLYPROPYLENE BASED Dk1 NANOCLAY ADDED NANOCOMPOSITES AT DIFFERENT TEMPERATURES AND POLARIZATION VOLTAGES

Electret properties of polypropylene (PP) and nanocomposites with different percentages of D_{k1} brand nanoclay added to it at different temperatures and polarization voltages were studied. It was determined that in the structure of $PP + D_{k1}$ nanocomposites, aggregation of D_{k1} particles can occur in separate parts of the matrix. These aggregated particles - clusters are irregularly distributed in the polymer matrix, and the number of clusters can increase as the amount of D_{k1} increases. Therefore, PP+10.0% D_{k1} nanocomposite has high electret stability.

М.А. Мусаев, А.А.Хадиева, А.Н.Джафарова

ЭЛЕКТРЕТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОГЛИН МАРКИ Dk1 НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И НАПРЯЖЕНИЯХ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Изучены электретные свойства полипропилена (ПП) и нанокомпозитов с различным процентным содержанием добавленной к нему наноглины марки D_{k1} при различных температурах и напряжениях поляризации. Установлено, что в структуре нанокомпозитов ПП+ D_{k1} агрегация частиц D_{k1} может происходить в отдельных частях матрицы. Эти агрегированные частицы – кластеры распределены в полимерной матрице неравномерно, и количество кластеров может увеличиваться по мере увеличения количества D_{k1} . Таким образом, нанокомпозит ПП+10,0% D_{k1} обладает высокой электретной стабильностью.

Qəbul olunma tarixi:23.10.2023

CuGaS2 MONOKRİSTALINDA KİÇİK ÖLCÜLÜ ATOM KLASTERLƏRİNİN DİSKRET SPEKTRLƏRİ

2023

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, H.M. ƏSGƏROV

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu Az1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131 E-mail: gasımoğlu@yahoo.com

CuGaS2 monokristalının səthində texnoloji proses zamanı formalaşan atom klasterləri ilə, massiv maddə sərhəddində yaranan, kvantlanmış elektron dalğalarının diskret spektrləri təqdim olunmuşdur. Alınan nəticələrin tədbiqi üçün perspektivli olduğu qeyd olunmuşdur.

Açar sözlər: Tunel keçidi, Kulon pilləkənləri, dislokasiyalar.quruluş pozulmaları. Pacs: 61.80.Ed

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi A^IB^{III}C₂^{VI} ümumi formulu ilə ifadə olunur, burada A^I(Cu,Ag), B^{III}(Ga,İn), C^{VI}(S,Se,Te) təmsil edir. Bu tərkibə daxil olan birləşmələrdən biri də CuGaS2-dir. AIBVI birləşmələrindən olan ZnS-in üçqat elektron analoqudur. İlk dəfə Xan və əməkdaşları tərəfindən birləşmələrin əksəriyyətinin xalkopirit strukturunda kristallaşdığı aydınlaşdırılmışdır. CuGaS₂ p-tip keçiriciliyə malikdir. Düzgün kimyəvi quruluşdan kənara çıxmalar keçiriciliyin tipini dəyişmir. İstisna olaraq birləşmələrin bəziləri həm p-tip həm də n-tip ola bilər [2]. Monokristallarda güclü ikiqat sınma müşahidə olunmuşdur ki, bu fiziki xassə qeyri xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Materialların üstün cəhətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və aktiv rekombinasiya mərkəzləridir. Bu birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir, mütləq ekstremumları Brillüen zonasının Γ nöqtəsində yerləşir. A^I B^{III} C₂^{VI} birləşmələrində iki mis atomu iki gallium atomu ilə tetraedr əmələ gətirir, mərkəzdə isə kükürd atomu yerləşir. Birləşmələrin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi F.Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur [3]. CuGaS₂ monokristalı xüsusi üsulla sintez olunmuş, sonra isə Bricmen üsulu ilə yetişdirilmişdir. Birləşməyə daxil olan maddələrin təmizlik dərəcəsi aşağıdakı kimidir. Cu-99,999%, Ga-99,9999%, S-99,9999%-dir. Yuxarı temperatur 1423K, aşağı temperatur 973K olmuşdur. Nümunənin otaq temperaturundakı müqaviməti R=10m, ölçüləri 1x0,5x2mm³ tərtibindədir. Rentgen analizinin nəticələri (şəkil 1) və Raman spektirinin təhlili (şəkil 2) göstərir ki, aldığımız kristalların parametrləri elmi ədəbiyyatda olanlarla uyğunluq təşkil edir. Qəfəs parametrləri belədir: a=b=5,36A°, c=10,49A°, fəza simmetrya qrupu (42m)-dir.



Şəkil 1. CuGaS2 monokristalının Rentgen şualarının difraksiyası spektri. T=300K.(Difractrometr d8 Advance).



Şəkil 2. Monokristal CuGaS2. İşığın Raman səpilməsi spektri.

Mövzunun aktuallığı

Xalkopiritlərdə tetraqonal formada kristallaşma, ikitipli fərqli metal atomunun mövcud olması simmetriyanın zəifləməsinə səbəb olur. Bu xüsusiyyət deformasiya hasabına daxili sahənin yaranmasına gətirir. Ona görə də xarici təsirlərdən sonra, kristal səthində bir çox mürəkkəb və yeni quruluşlar meydana gəlir [4]. Massiv maddə ilə, nanoquruluşların qarşılıqlı təsirindən Fermi səviyyəsinin yerdəyişməsinin qiymətini tapmaq mümkündür. Aktuallıq ondan ibarətdir ki, bu üsulla yarımkeçiricinin konsentrasiyası və tipi haqqında məlumat əldə etmək olur.

Məsələnin qoyuluşu

CuGaS₂ monokristalının elektirik xassələrinin ölçülməsi və səthinin öyrənilməsi səthdə və daxildə baş verən elektron quruluşu haqqında yeni məlumatların əldə edilməsindən, çoxtutumlu yaddaş elementlərinin, sensorların hazırlanmasından, detektorların təkmilləşdirilməsindən günəş elementlərinin hazırlanmasından və yuxarıda sadalananları həyata keçirmək üçün lazım olan fiziki xassələrin araşdırılmasından ibarətdir.

Bunun üçün elektrik sahəsi və modulyasiya olunmuş işığın təsirindən sonra araşdırmalar apardıq. Volt-Amper xarakteristikasında, keçiriciliyi ifadə edən spektrdə, elektrik hərəkət quvvəsini ölçərkən müşahidə olunan nəticələr göstərir ki, obyektlər mikroelektronika üçün geniş imkanlara malikdir.

Təcrübənin aparılması

Tədqiqatlar aparmaq üçün istifadə olunan kompleks qurğu aşağıdakı cihazlardan təşkil olunmuşdur. MDR-23, üç güzgü qəfəsdən ibarət olmaqla geniş bir dalğa uzunluğu oblastını əhatə edir. I-güzgü qəfəs (200-500nm), II-güzgü qəfəs (350-1000nm), III-güzgü qəfəs (700-2000nm), IV cüzgü qəfəs(1400-4000nm). Güclü işıq mənbəyindən düşən şüalar linzalar sistemi vasitəsi ilə nümunənin üzərinə yönəldilir. Kristala düşən şüalar gücləndiriciyə düşür, oradan detektora, sonda isə Digital Multimeter adlı müasir cihaza daxil olur, sonra siqnal şəklində qeyd olunur. Volt-Amper xarakteristikasını ölçərkən intensivliyi ifadə edən spektrin kvadratik olmaması, srektrin diskret xarakter daşıması, yeni xassələrə malik yarımkeçiricinin alındığından xəbər verir. Volt-Amper xarakteristikasının spektrində Klon pillələrinin, klon məhdudiyyəti effektinin, Klon patlaması effektlərinin alınması tərəfimizdən ilk dəfədir ki, müşahidə olunur. Alınan nəticələrin Fotokeçiriciliyin spektrində və Elektrik hərəkət qüvvəsinin spektrində müşahidə olunması bir daha sübut edir ki, tədqiqat apardığımız obyektlər nanotexnologiya üçün gələcəyi olan maddələr hesab olunmalıdır.

Təcrübədən alınan nəticələr

Aparılan elektrik araşdırmaları göstərir ki, səthdə yaranan nanoquruluşlar, noqtəvi defektlərdən fərqli olan digər defektlərin quruluş-fəza çevrilməsi hesabına meydana gəlir [5]. Nəticələri izah etmək üçün iki metodika mövcuddurr:

I-sistemə termodinamik nəzərdən baxılması;

II-texnoloji yetişdirmə zamanı atomar baxış mexanizmi və kristal səthindəki quruluşa görə.

Biz ikinci sistemə üstünlük veririk.Volt-Amper xarakteristikasının spektrində müşahidə olunan ilkin nəticələr:

- 1. Klon pilləkənləri;
- 2. Klon məhdudiyyəti;
- 3. Klon patlaması;
- 4. Dislokasiyalar.
- Fotokeçiriciliyin spektrində:
- 1. Rezonans pikləri;
- 2. Təkrarlanan dalğa paketləri;
- 3. Müşahidə olunan mənfi müqavimət.

Elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işiğin dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrində:

- 1. Kəskin eksiton pikləri
- 2. Elektronların kinetik hərəkətini ifadə edən periodik dalğa paketi.

3. Müşahidə olunan diferiensal mənfi müqavimət. Alınan nəticələrin izahı

Təqdim olunan işdə II üsula üstünlük verdik, çünki kristal səthində yeni quruluşların əmələ gəlməsi və onların elektirik xassələrə təsirindən söhbət gedir.



Şəkil 3. CuGaS₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kantakların kristaloqrafik oxlara nəzərən istiqaməti (001)



Şəkil 4. CuGaS2 monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kontaktların kristaloqrafik oxlara nəzərən istiqaməti (010).

Birləşmə 1423K temperatura qədər qızdırılır və qəfil soyudulur. Texnoloji olaraq alınma prosesində temperatur qradiyentindən yaranan plastik deformasiyadan nanoquruluşların strukturunun formalaşması üçün faza keçidləri əmələ gəlir [6]. Sistemin deformasiyaya uğramasını onun hər tərəfdən bərabər sıxılmasına mütənasib götürürlər. Bərabər sıxılma zamanı kristal səthində yükdaşıyıcıların yürüklüyünün artması qanunauyğun sayılır. Kristal soyuyarkən ərinti kristallaşmağa başlayır bu nanoquruluşun yaranmasının birinci fazasıdır və axıcılığın yox olmasını ifadə edir. İkinci faza isə bərk maddənin əmələ gəlməsidir. Bu zaman kristalın səthi enerjinin ən kiçik qiymətini almağa çalışır. Yaranan atom klasterləri və nanoquruluşlar Volt-Amper xarakteristikasında aşqar səviyyələrini ifadə edən qeyri xətti əyri formasında ifadə olunur. Bu əlaqələr (001) istiqamətində zəif görünür (şəkil 3).



Şəkil 5. CuGaS₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kontaktların kristaloqrafik oxlara nəzərən istiqaməti.(100)

Kristalın müxtəlif səthlərinə kontaktlar qoymaqla ölçü apardığımız istiqamətlərdə anizotropluq daha açıq şəkildə özünü göstərir. (010) istiqamətində aşqar səviyyələrin görüntüsü bir qədər də aydınlaşır (şəkil 4). Başqa bir istiqamətdə (100) isə əyri xətlərin sayına görə, səviyyələr haqqında fikir demək mümkündür (şəkil 5).

Bundan əvvəl çap etdirdiyimiz məqalədə CuAlS₂ monokristalının səthində meydana gələn nanoquruluşlardan danışmışdıq [7]. Cu(T=1083°C), Al(660°C.) hər iki metalın ərimə temperaturu yüksək olduğu üçün termodinamik sabit və dayanıqlı quruluşların əldə olduğunu qeyd etmişdik. CuGaS₂ onlarla eyni quruluşa malik maddələr olduğundan deyilənləri axırıncı maddəyə də aid etmək olar. Amma burada bir fərq vardır Ga metalının ərimə temperaturu aşağıdır (T=29,8°C). Bu isə formalaşma zamanı qüvvələr nisbətinin pozulmasına gətirib çıxarır. Ona görə də, CuGaS₂ kristalında nanoboru deyil, nanoquruluşlar alınmışdır. Yeni texnologiya tədbiq etməklə alınan kristalları kimyəvi reaktivlərlə işlədikdə, dislokasiyaların hərəkətini izləmək mümkündür. Bütün bunları nəzərdən keçirdikdə aydın olur ki, biroxlu kristalların səthində nanoquruluşların müxtəlif formada təzahür etməsi, birləşmələri təşkil edən maddələrin sıxlığından, ərimə temperaturundan, birdə düzgün seçilmiş temperatur qradiyentindən asılıdır (şəkil 6).



Şəkil 6. Yeni alınmış maddənin CuGaS₂, səthinin kimyəvi üsulla təmizləndikdən sonra Volt-Amper xarakteristikası.



Şəkil 7. Yeni alınmış maddənın CuGaS₂, 40 dəqiqə tavlandıqdan sonra Volt-Amper xarakteristikası.



Şəkil 8. CuGaS₂ monokristalında fotoelektrik keçiriciliyi gücləndiricinin 100 mV rejimində.



Şəkil 9. CuGaS₂ monokristalında fotoelektrik keçiriciliyi gücləndiricinin 300 mV rejimində.

Araşdırmalardan aydın olmuşdur ki, səth effektləri elektrik və optik xassələrə kəskin şəkildə təsir edir [8]. Kristalların məsaməli olması yeni xassələrin meydana gəlməsinə səbəb olur. Bu tip texnologiyalarla yetişdirilən maddələrin zona quruluşuna deformasiya təsir etmiş olur. Deformasiyaların kristal səthindəki nanoquruluşlara təsiri isə onların morfologiyasının dəyişməsinə səbəb olur, bu isə muasir nanoelektronikanın əsası deməkdir (şəkil 7). Yönəldici sahənin kiçik qiymətlərində rezonans piklərini müşahidə edirik. Rezonans piklərinin yaranmasına səbəb isə, xarici sahənin tezliyi ilə elektronu ifadə edən dalğaların tezliyinin üstüstə düşməsidir. Xarici sahənin təsirindən yaranan pyezoeffekt səthdəki nanoquruluşların dartılmasına və genişlənməsinə səbəb olur, bu isə özünü fotokeçiriciliyin diskret spektrlərində göstərir (şəkil 8).



Şəkil 10. CuGaS₂ monokristalında fotoelektrik keçiriciliyi. Gücləndiricinin 1V rejimində.



Şəkil 11. CuGaS₂ monokristalında elektrik hərəkət qüv vəsinin, modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığı gücləndiricinin 100mV rejimində.



Şəkil 12. CuGaS₂ monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığı. Gücləndiricinin 300mV rejimində.



Şəkil 13. CuGaS₂ monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığı gücləndiricinin 1V rejimində.

Bu rəqslər bəzən periodik, bəzən isə qeyri periodik olur. Simmetrik təkrarlanan dalğa paketlərini biz əsasən yönəldici sahənin böyük qiymətlərində müşahidə edirik (0-300V). Kiçik intervalda isə (0,05V) rezonans pikləri və diferensial mənfi müqaviməti müşahidə edirik (şəkil 9). Bu, bir daha bizə belə deməyə imkan verir ki, nanoquruluşların morfologiyası kiçik yönəldici sahələrin hesabına daha kəskin dəyişir (şəkil 10). Biroxlu kristalların laylı periodik kristallara oxşar xassələrinə aid çoxlu misallar çəkə bilərik. Ona görə də, rezonans pikinin periodik dalğa paketlərinin və diferensial müqavimətin spektrlərdə təkrarlanması translyasiya simmetryasının pozulması deməkdir. Bu isə elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrdə plastik deformasiyanın yaratdığı diskret spektrlər forması halını almış olur (şəkil 11).

Təcrübələrimizə söykənərək deyə bilərik ki, alınan rezonans maksimumları xarici təsirdən Fermi səviyyəsinin yerini dəyişməsinə görədir ki, biz bunu voltaik effektin meydana gəlməsində görürük (şəkil 12). Xarici təsirlər hesabına, nanoquruluşların özlərini membran (Lifişiş membranı) kimi aparması, nanoquruluşların morfologiyasının dəyişməsi ilə əlaqədardır. Bu tip nonoquruluşların biroxlu kristallardakı rolu xüsusilə ona görə əhəmiyyətlidir ki, optik ox istiqamətində düzülmüş kvant çuxurlara ötürücü sistem kimi baxdıqda, xarici sahənin hesabına hündürlüklər bərabərləşir, tunel keçidi baş verir və intensivliyin kəskin artması müşahidə olunur (şəkil 13). Matrisa ilə onun səthində yaranan

- W.H.Koschel, F.Sorger and J.Baars. Optikal Phonons in I-II-III₂ compunds,. Journal de Phyusique n 9, t. 36, Septembre. 1975, page C3-177.
- [2] G.D.Boyd, H.Mc.Kasper. JhMcFee Quantum Electronics, IEEE Journal of 7(12), 1971, p563-573.
- [3] А.А.Вайнолин, Ф.М.Гашимзаде, Н.А.Горюнова, Ф.П.Касаманлы, Д.Н.Наследов, Э.О.Османов, Ю.В.Рудь. ФТТ, 5, 1199,1963; Изв.А.Н.сср,сер. Физ.,1964,т.28, ст.1085.
- [4] Л.А. Головань, В.Ю. Тимощенко, П.К. Кашкаров. Оптические свойства нанокампазитов на аснове пористых систем. УФН, 2007, том 177, номер 6, ст.619-638.
- [5] В.Е.Панин, В.Е.Егорушкин. Физическая мезомеханика и неровнавесная термодинамика как методологическая основа наноматерриаловедениия. Физическая мезомеханика 12,4 (2009) ст. 7-26.
- [6] А.П. Бахтинов, В.Н. Водоньянов, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетяга, Д.Ю. Конаплянко. Транспорт носителей заряда в композитных наноструктурах на основе слоистого полупроводника P-GaSe и сегнетоэлектрика KNO₃. ФТП, 2011, том 45, вып. 3, ст. 348-359.
- [7] γ-radiyasiyanın CuAlS₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikasına təsiri. Fizika 2017, Volume XXIII, №2, Section Az, s.10-14.
- [8] Optical Properties of II-IV-V₂ and I-III-VI₂ Crystals with Particular Reference to Transmission limits. By *G.C.Bhar and R.C.Simith.* Phys. Stat.sol. (a), 13, 157(1972) p.157-167.

nanoquruluşların xassələri kəskin fərqlənir. Biz bir növ monokristalla onun səthində baş verənləri təcrübi olaraq müşahidə etmiş oluruq.

Yekun nəticə

Üçqat birləşmələrin səthinin tədqiqatı göstərir ki, nanotexnologiya üçün ikiqat analoqlarından fərqli olaraq, bu obyektlər üstün xassələrə malikdirlər. Çünki səthin anizotropluğundan yaranan ikiqat sınmanın olması, qaranlıqda cərəyanın, müqavimətin qiymətinin kiçik olması simmetriya mərkəzinin olmaması birləşmələrin üstün cəhəti sayılır. Volt-Amper xarakteristikasında Kulon pillələrinin, Kulon məhdudiyyəti effektinin, Kulon partlaması effektlərinin müşahidə olunması bu tip yarımkeçiricilərdə alınan ilkin nəticələrdir. Fotokeçiriciliyin spektrində, elektrik hərəkət qüvvəsinin spektrində müstəvi laylı quruluşlara məxsus periodik dalğa paketləri, rezonans pikləri, diferensial mənfi müqavimətin müşahidə olunması yeni üstün qəfəsə məxsus müasir xassəli yarımkeçiricinin alındığından xəbər verir. Bununla da biz biroxlu kristalların tətbiqi üçün böyük imkanlara malik olduğunu təcrübələr əsasında ortaya çıxarmış oluruq.

- [9] Visible Stimulated Emission in ternary Chalcopyrite sulfides and selenides. *J.L.Shay* and B.Tel and H.M. Kasper. Ap. Physics Leters, Volume 19, Numer 9, 1 november 1971, p.366-368.p.366-368.
- [10] Growth and characterization of CuAlS₂, and CuAlSe₂ single crystals. *L.Roa*, *P.Grima*, *J.Gonzalez*, *J.C.Chervin*. *J.*P.Itie, A.Chevy. cryst. Res. Texnol. Volume 31, 1996, p.49-52.
- [11] Optical propertoes of the chalcoprite semiconductors ZnGeP₂, ZnGeAs₂, CuGaS₂, CuAlS₂, CuInSe₂, and AgInSe₂. J.C.Rife, and R.N.Dexter, P.M.Bridenbaugh, B.W.Veal. Physical Rev. Volume16, Numer 10, 15 November 1977, p.4491-4500.
- [12] *Л.И.Бергер, Ф.Э.Балневская.* Неорганические материалы. 1966, том. III, №8, стр. 1514-1515, 1966.
- [13] C.T.Hüseynov, T.Q.Qasımov. Azərbaycan EA Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 1976, N6, s.105-107.
- [14] Комбинационное рассеяние света и динамика кристаллической решетки. М.1982. *Н.Г.Басов.* с.223.
- [15] Физика и Химия соединений А²В⁶. С.А.Медведева. 1970. С.624.
- [16] Тройные полупроводники $A^2B^4C_2^5$ и $A^2B_2{}^3C_4{}^6$.Кишинев. *С.И.Радауцан*.1972. с.259.
- [17] Полупроводники A²B⁴C₂⁵. *Н.А.Горюнова*, *Ю.А.Валова*. М.1974. с.373.
- [18] Зоны и Экситоны соединений группы А²В⁶. *В.В.Соболев.* Кишинев 1980. с.253.
- [19] Yuan deng, Chang-Wei Cui, Ni-La Zhang, Tian-Hao Ji, Qing-lin Yang, Lin Cuo. Fabrication of bismuth telluride nonotubes via a siple

solvothermal process, Solid state communications, 138 (2006), p. 111-113.

- [20] *А.И.Димитриев*. Ван-дер-Ваалсова поверхность InSe как возможный стандарт нанорельефа в метрологии нанообъектов, ЖТФ, 2012, том 82, вып. 8, ст. 114-118.
- [21] В.И.Козловский, В.С.Кривобок, П.И.Кузнецов, С.Н.Николаев, Е.Е.Онищенко, А.А.Пручкина, А.Г.Тимирязев, С.И.Ченцов. Экситонное излучеие тонких кристалических пленок Zn(S)Se, размещенных в полости микрорезонаторов на основе аморфных диэлектирических покрытий. ФТП, 2016, том 50, вып1, ст.9-17.
- [22] Н.Н.Новикова, В.А.Яковлев, И.В.Кучеренко. Спектры инфракрасного отражения и нарушенного полного внутреннего отражения топологического изолятора Bi₂Se₃. Письма в ЖЭТФ, том 102, вып. 4, с.253-256.
- [23] В.Н.Катеринчук, З.Р.Кудринский. Размерный оптический эффект в наноструктурированных пленках In₂O₃ ФТП, 2013, том 47, вып. 3 с.320-323.

- [24] J.L.Say, B.Tell, H.M.Kasper and I.M.Schiavone.
 p-d Hibridization of the Valence Band of I-III VI₂ Compounds. Physical Review B Volume 5, Number 12, 15 June, 1972, p.5003-5005.
- [25] В.П.Жузе, В.М.Сергева и Е.Л.Штурм. Полупроводниковые соединения с общей формулой ABX₂. ЖТФ, том XXVIII, в.10, с- 2094-2108, 1958.
- [26] *W.H.Koschel, F.Sorger and J.Baars.* Optical Phononsin I-III-VI₂ Compounds. Jou single crystals.
- [27] *Р.В.Поль.* Оптика и атомная физика, 1966, ст.552.
- [28] İ.Qasımoğlu. Elektrik sahəsinin təsiri ilə CuGaS₂ monokristalında yaranan döyünən cərəyan. Volume XX, Number 3 Section: Az November, 2014.s 25-27.
- [29] М.Косевич. Основы механики кристалической решетки. М.1964.
- [30] *А.Л. Бучаченко*. УФН. 2014, том 184. N1ст. 101-108.

I. Gasimoglu, G.S. Mehdiev, G.M. Asgerov

DISCRETE SPECTRA OF SMALL-SIZED ATOMIC CLUSTERS IN CuGaS₂ SINGLE CRYSTALS

Discrete spectra, quantizing electronic waveforms, are formulated in the process of technologies on $CuGaS_2$ single crystals with atomic clusters and boundaries of massive matter. The prospects for applied purposes and the conclusion of the data obtained are damaged.

Qəbul olunma tarixi:26.10.2023

Al/Fe₃O₄ NAZİK TƏBƏQƏLİ SİSTEMLƏRİNİN ALINMASI VƏ STRUKTUR TƏDQİQİ

X.N. ƏHMƏDOVA^{1,2}

¹ Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu, H. Cavid pr.131, AZ-1143, Bakı, Azərbaycan, ²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, AZ1010 Azərbaycan <u>x.khalilova@rambler.ru</u>

İşdə nano ölçülü Al və Fe₃O₄ tozlarının laylı nazik təbəqələri rentgen difraksiyası metodu ilə tədqiq edilmiş və bu zaman müəyyən edilmişdir ki, h = 30 və 60 nm qalınlıqlı nazik təbəqələrdə Al və Fe₃O₄ maddələri öz kristal quruluşunu saxlaya bilirlər. Bunun əsas səbəbi, onların uyğun olaraq Fm-3m və Fd-3m fəza qruplu kubik simmetriyalı kristal quruluşa malik olmaları ilə izah edilmişdir. Rentgen difraksiyası spektrlərində Al kristallarına uyğun maksimumların (111) və (200) atom müstəvilərinə, Fe₃O₄ kristallarına uyğun maksimumların (044) atom müstəvisinə uyğun gəldiyi müəyyən edilmişdir. Nəzərə alsaq ki, ayrı-ayrılıqda götürüldükdə Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələri daha kiçik ölçülərdə: h = 15 və 30 nm qalınlığında alınmışdır. Buna baxmayaraq, kristal quruluş formalaşmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, bu təbəqələrdə həm alüminium, həm də dəmir oksid təbəqəsi öz quruluş xüsusiyyətlərini saxlayırlar.

Açar sözlər: kristal quruluş, nazik təbəqələr. kristal quruluş, Fe₃O₄ nazik təbəqələri PACS: 78.66.Sq 73.50.-h, 73.61.-r

1. GİRİŞ

Metal və metal oksidlər müasir elektronikada geniş tətbiq edilirlər. Bu materiallardan yalnız funksianal xassələrinə görə deyil, həm də örtük materialları kimi geniş istifadə edilir. Çünki, nano ölçülərdə bu materiallar ətraf mühitlə əlaqəni kəsməyə imkan verir. Ona görə də, son zamanlarda metal və metal oksidlərin nano təbəqələrinin alınması və onların tədqiq edilməsi bərk cisim elektronikasının əsas istiqamətlərindəndir. Müəyyən edilmişdir ki, bu materiallar həm də ionlaşdırıcı şüalara qarşı davamlı materiallardır. Ona görə də, onların aviasiya və nüvə texnologiyalarında geniş tətbiq imkanları vardır [1-3].

Məlumdur ki, müasir aviasiya texnologiyalarında Al geniş tətbiq edilir. Son zamanlarda elektromaqnit uducu materialların tətbiq edilməsi ehtiyacı yaranmışdır. Alüminiumda maqnit xassələrinin olmamasına görə, Al-Fe sisteminin tətbiq edilməsi zərurəti yaranmışdır. Məlumdur ki, dəmir və onun bir çox oksid birləşmələrində güclü maqnit xassələri vardır. Ona görə də, bu materiallarda ferromaqnit və antiferromaqnit xassələrin tədqiq edilməsi istiqamətində geniş tədqiqatlar aparılır [4-5]. O cümlədən, bu materiallarda həm də yüksək uduculuq qabiliyyəti müşahidə edilmişdir. Belə materiallardan biri də dəmir oksid nanohissəcikləridir [6-7,13]. Nanotexnologiyanın inkisaf etməsi bu istiqamətdə aparılan tədqiqatları da inkişaf etdirmişdir. Məlumdur ki, materialların nano ölçülərində fərqli funksiyalar müşahidə edilir. Ona görə də, bu istiqamətdə daha çox tədqiqatlar aparılır [8-9,14]. Müəyyən edilmişdir ki, Fe₃O₄ tərkibli nanokompozit materiallarda güclü elektromagnit xassələr, o cümlədən elektromagnit dalğalarının udulması müşahidə edilir [10, 11]. Xüsusi texnologiya vasitəsilə Al ilə örtülmüş Fe₃O₄ nanohissəcikləri üçün f = 12.0 GHz tezliyinin xarakterik olduğu təyin edilmişdir [12].

Elektromaqnit uducu material kimi yeni laylı sistemlərin alınmasına ehtiyac vardır. Çünki laylı sistemlərdə udulma ilə yanaşı, həm də elektromaqnit dalğalarının iki mühit arasında sınması nəticəsində qayıdan şüanın istiqaməti dəyişir. Ona görə də, belə materiallardan elektromaqnit dalğalarının qayıtması minimuma endirilir. Belə sistemlərin alınması üçün Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin Al təbəqələri ilə sistem şəklində model obyekt hesab edilə bilər. Dəmir oksid və alüminium nazik təbəqələri ayrı-ayrılıqda tədqiq edilsələr də, birlikdə sistem şəklində öyrənilməmişdirlər. Bu işdə, şüşə üzərində müxtəlif optimal rejimlərdə Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələrindən ibarət laylı sistemlər alınmış və onların quruluş xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir.

2. TƏCRÜBƏLƏR

Nazik təbəqələr SkySpring Nanomaterials istehsalı olan d = 50 nm ölçülü Al və d = 30 nm ölçülü Fe₃O₄ nanohissəciklərindən alınmışdır. Laylı təbəqələr 25×19mm ölçülü şüşə altlıq üzərində termik tozlandırma metodu ilə alınmışdır. Əvvəlcə şüşənin üzərinə alüminium çökdürülmüş, sonra isə üzərində dəmir oksid təbəqəsi çökdürülmüşdür. Müxtəlif qalınlıqda iki Al-Fe₃O₄ nazik təbəqə alınmışdır. Təcrübələr Leybold-Herause L-560 markalı vakuum qurğusunda (P=2·10⁻⁵mbar) aparılmışdır. Nazik təbəqələrin alınmasından əvvəl şüşə altlığın səthində 800 Vt gücündə ion təmizlənməsi aparılmışdır. Tozlanma prosesini yaxşılaşdırmaq məqsədilə şüşə altlıq vakuum kamerasında 100°C-ə qədər qızdırılmışdır. Tozlandırma prosesi 25 san müddətində aparılmışdır.

Alınmış nümunələrin struktur faza analizi D8 Advance XRD difraktometrindən (Bruker, Almaniya) istifadə edilməklə rentgen difraksiya üsulu ilə aparılmışdır. Difraktometrin parametrləri: 40 kV, 40 mA, CuK α – şüalanma, λ = 1,5406 Å. Təcrübələr otaq temperaturunda aparılmışdır. Alınmış spektrlər Origin proqramlarında analiz edilmişdır. Difraksiya maksimumları Al və Fe₃O₄ kristallarının ştrix diaqramı ilə müqayisə edilmiş və nazik təbəqələrin kristal quruluşları müəyyən edilmişdir.

3. NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏLƏR

Alüminium və dəmir oksid sistemindən ibarət laylı nazik təbəqələr şüşə altlıqlar üzərində termik tozlandırma üsulu ilə alınmışdır. Altlıq qismində istifadə olunan 25×19 mm ölçülü şüşə lövhə ion təmizlənməsi metodu ilə kimyəvi təmizlənmişdir. Təbəqələrin müxtəlif qalınlıqlarda alınması məqsədi ilə uyğun optimal rejimlər seçilmişdir. Əvvəlcə h = 15 və 30 nm qalınlıqlı Al nazik təbəqələri alınmış, sonra isə onların üzərinə h = 15və 30 nm qalınlıqlı Fe₃O₄ nazik təbəqələri çökdürülmüşdür.

Nazik təbəqələrin səthi dəmir oksid təbəqəsidir və qeyri-şəffaf mühitdir. Qalınlıqları iki dəfə fərqli olmasına baxmayaraq nümunələrin rəngləri demək olar ki, fərqlənmirlər. Bu onunla əlaqədardır ki, dəmir oksid nazik təbəqələri optik şüalar üçün uducu mühit hesab olunur. Təbəqələrin səthi boyunca rəngin dəyişməməsindən görünür ki, termik tozlandırma metodu ilə alınmış təbəqələr kifayət qədər bircins alınmışdır. Bu xüsusiyyətlər materialın fiziki-kimyəvi xassələrinin tədqiqi zamanı alınmış nəticələrin dəqiqliyini və etibarlılığını artırır.

Nazik təbəqələrin formalaşmasını müəyyən etmək üçün, bu təbəqələrin quruluş aspektlərinin öyrənilməsi vacibdir. Bu məqsədlə, şüşə altlıqlar üzərində alınmış Al-Fe₃O₄ sisteminin kristal quruluşu rentgen difraksiyası metodu ilə otaq temperaturunda tədqiq edilmişdir. Normal şəraitdə alınmış rentgen difraksiyası spektrləri şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Şüşə altlıq üzərində alınmış 30 nm (qara) və 60nm (qırmızı) qalınlıqlı Al-Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin rentgen difraksiyası spektləri.

Spektrlərin Origin proqramında analiz edilmişdir. $10^{\circ} \le 2\theta \le 70^{\circ}$ difraksiya bucağı intervalında üç maksimum müşahidə edilmişdir. Nazik təbəqələrdə əlavə fon da yaranmışdır ki, bu da bərk cisimlər fizikasından məlum olan amorflaşma ilə əlaqədardır. Bu maksimumları analiz etmək üçün Al və Fe₃O₄ kristalları üçün Diamond 2.3 proqramında difraksiya diaqramı qurulmuşdur. Əvvəlki tədqiqatlar zamanı alınmış nəticələrə uyğun olaraq qurulmuş diaqramlar şəkil 2-də göstərilmişdir [15].

Şəkil 1 və 2-də verilmiş difraksiya diaqramlarının rentgen difraksiyası spektrləri ilə müqayisəsindən müəyyən edilmişdir ki, nazik təbəqələrdə həm Al kristalları, həm də Fe₃O₄ kristalları formalaşmışdır. Spektrlərdə $2\theta = 38.57^{\circ}$ və 44.79° difraksiya bucaqlarında müşahidə edilən iki difraksiya maksimumu Al kristallarına uyğun gəlmişdir. Analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu atom müstəviləri Fm-3m fəza qruplu kubik simmetriyalı kristal quruluşunda (111) və (200) atom müstəvilərinə uyğun gəlir. Spektrlərdə 2θ = 65.18° difraksiya bucaqlarında müşahidə edilən üç difraksiya maksimumu Fe₃O₄ kristallarına uyğun gəlmişdir. Analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu atom müstəviləri Fd-3m fəza qruplu kubik simmetriyalı kristal quruluşunda (044) və (200) atom müstəvilərinə uyğun gəlir.



Şəkil 2. Al və Fe₃O₄ kristallarının difraksiya diaqramları [15].

Quruluş tədqiqatları zamanı müəyyən edilmişdir ki, kiçik ölçülərdə alınmasına baxmayaraq, nazik təbəqələrdə kristal quruluş formalaşmışdır. Nəzərə alsaq ki, ayrı-ayrılıqda götürüldükdə Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələri daha kiçik ölçülərdə: h = 15 və 30 nm qalınlığında alınmışdır. Buna baxmayaraq, kristal quruluş formalaşmışdır. Bunun əsas səbəbi ondan ibarətdir ki, bu maddələrin hər biri kifayət qədər yüksək simmetriyaya malik kubik sinqoniyada kristallaşırlar. Ona gərə termik tozlandırma metodu ilə şüşə üzərinə çökdürülərkən Al nazik təbəqəsi və onun üzərində Fe₃O₄ nazik təbəqəsi yarana bilir.

Şüşə altlıqlar üzərində termal çökmə yolu ilə əldə edilən Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin səth quruluşu skan edən elektron mikroskopdan istifadə edilməklə tədqiq edilmişdir. Nümunələr üçün 2D formatda alınmış səth quruluşu şəkil 3-də göstərilmişdir.şəkildən görünür ki, şüşə üzərində alüminium və dəmir oksidi nanohissəcikləri kifayət qədər homojen formada çökmüş və bircins mühit alınmışdır. Nümunələrin səthində müəyyən bir rəng fərqi meydana çıxdı ki, bu da təbəqələrin qalınlığından asılı olaraq optik xüsusiyyətlərin fərqi ilə izah olunur. Nazik təbəqələrin səth quruluşu 5000 əmsalı ilə böyüdülmüş və mikron miqyasında alınmışdır.

Şəkil 3-dən göründüyü kimi nazik təbəqələr kifayət qədər homogendir. Səth strukturunda kiçik çıxıntılar müşahidə edilib ki, bu da səthdə dəmir oksidi nanohissəciklərinin olduğunu göstərir.

SEM analizi zamanı nazik təbəqələrin kimyəvi tərkibinin təhlili də aparılmışdır. Elementar analizlərin nəticələri cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1-də təqdim olunan tərkibin təhlilindən nümunələrdə çoxlu sayda Si atomunun tapıldığını görmək olar. Bu, Al və Fe₃O₄-dən nazik təbəqələrin alındığı şüşə substrata uyğundur. Təhlildən görünür ki, burada Al və Fe elementləri ilə yanaşı, kifayət qədər böyük miqdarda O elementi var. a və b analizlərindən görünür ki, nümunələrdə Fe atomlarının konsentrasiyası nə qədər böyük olduğundan asılı olaraq təbəqələrin qalınlığı artır.. Bu, Fe₃O₄ təbəqəsinin qalın təbəqələrdə daha yaxşı əmələ gəlməsi ilə əlaqədardır.

Al/Fe₃O₄ sist emindəki nazik təbəqələrin qalınlığını və səthin hamarlığını öyrənmək üçün atom qüvvəsi mikroskopunda tədqiqatlar aparılmışdır. 2D formatında nümunələrin səth quruluşu şəkil 4-də göstərilmişdir. Şəkil 4-də göstərilən səth quruluşundan görünür ki, alınan nazik təbəqələrin səthi ideal şəkildə hamar deyil. Bu təsvirlər 98×98 nm ölçüləri olan a və b nümunələri üçün 2D-də əldə edilmiş səth strukturlarıdır. İncə təbəqələrin səth strukturunun daha dəqiq təsviri üçün 3D formatında təsvirlər alınmışdır. Alınan nəticələr şəkil 5-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. Şüşə substratda alınmış Al & Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin SEM təsviri. a) 30 nm qalınlığında, b) 60 nm qalınlığında.

Şüşə substratda alınan Al və Fe₃O₄ nazik

Cədvəl 1.

təbəqələrinin kimyəvi tərkibinin təhlili									
samj	ole a	sample b							
Element	%	Element	%						
0	46.01	0	46.93						
Si	12.81	Si	27.62						
Al	30.83	Al	10.65						
Fe	4.82	Fe	8.69						
Ca	2.40	Ca	4.03						
Na	1.87	Na	1.06						
Mg	1.26	Mg	1.03						
Total	100	Total	100						



Şəkil 4. Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin ikiölçülü AFM təsviri.



Şəkil 5. Al və Fe₃O₄ nazik təbəqələrinin üçölçülü AFM təsviri.

X.N. ƏHMƏDOVA

Şəkil 5-də göstərilən səth quruluşundan məlum olur ki, müxtəlif qalınlıqlarda Al /Fe₃O₄ nazik təbəqələri alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, nümunə qalınlığı a: da = 30 nm və nümunə qalınlığı b: db = 60 nm. AFM tədqiqatları zamanı nümunələrin qalınlığı ilə bağlı əldə edilən nəticələr SEM tədqiqatları zamanı səthin strukturu və tərkibinin təhlilindən əldə edilən nəticələrlə tam uyğundur.

- [1] *Y. Jia, Ch. Maurice, B. Öhlander.* Effect of the alkaline industrial residues fly ash, green liquor dregs, and lime mud on mine tailings oxidation when used as covering material, Environmental Earth Sciences, 72, p.319-334, 2014.
- [2] J. Gao, G. He, Sh. Liang, D. Wang, B. Yang. Comparative study on in situ surface cleaning effect of intrinsic oxide-covering GaAs surface using TMA precursor and Al₂O₃ buffer layer for HfGdO gate dielectrics, Journal of Materials Chemistry C, 6, p.2546-2555, 2018.
- [3] *S.A. Hasanova*. Compared the efficiency of TiO₂ and N-doped TiO₂ to degrade btex, Advanced Physical Research, 3, 3, p.123-128, 2021.
- [4] Y.I. Aliyev, T.M. Ilyasli, A.O. Dashdemirov, M.R. Allazov, A.V. Trukhanov, Y.G. Asadov, S.H. Jabarov, N.T. Dang. The structural and vibrational properties of Ni-doped chalcopyrite CuFeS₂, Journal of Ovonic Research, 14, 2, p.165-169, 2018.
- [5] N.O. Golosova, D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, L.S. Dubrovinsky, A.I. Mammadov, R.Z. Mehdiyeva, S.H. Jabarov, H.-P. Liermann, K.V. Glazyrin, T.N. Dang, V.G. Smotrakov, V.V. Eremkin, B.N. Savenko. Structural, magnetic and vibrational properties of multiferroic GaFeO₃ at high pressure, Journal of Alloys and Compounds, 684, p.352-358, 2016.
- [6] A.V. Trukhanov, V.G. Kostishyn, L.V. Panina, S.H. Jabarov, V.V. Korovushkin, S.V. Trukhanov, E.L. Trukhanova. Magnetic properties and Mössbauer study of gallium doped M-type barium hexaferrites, Ceramics International, 43, 15, p.12822-12827, 2017.
- [7] A.V. Trukhanov, N.T. Dang, S.V. Trukhanov, S.H. Jabarov, I.S. Kazakevich, A.I. Mammadov, R.Z.Mekhdiyeva, V.A. Turchenko, R.E. Huseynov. Crystal structure, magnetic properties, and raman spectra of solid solutions BaFe_{12-x}Al_xO₁₉. Physics of the Solid State, 58, 5, p.992-996, 2016.

- [8] *A.D. Valiyeva.* Conversion of propanol over the nanostructured NiNaX zeolite catalyst, New Materials, Compounds and Applications, 6, 1, p.85-90, 2022.
- [9] H.D. Ibrahimov, F.A. Amirov, H.J. Huseynov, Z.M.Ibragimova, L.S. Zamanova, R.N. Asadzadeh, S.H. Jabarov. Carbon nanotubes obtained from natural gas by CVD, Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 13, 6, p.1244-1247, 2019.
- [10] I. Shorstkii, M. Sosnin. Microwave absorption properties of Fe₃O₄ particles coated with Al via rotation magnetic field method, Coating, 11, p.621(1-10), 2021.
- [11] A.D. Fortes, I.G. Wood, L. Vočadlo, K.S. Knight, W.G. Marshall, M.G. Tucker, F. Fernandez-Alonso. Phase behaviour and thermoelastic properties of perdeuterated ammonia hydrate and ice polymorphs from 0 to 2 GPa, Journal of Applied Crystallography, 42, p.846-866, 2009.
- [12] F.F. Ferreira, E. Granado, Jr.W. Carvalho, S.W.Kycia, D. Bruno, Jr.R. Roosevelt. X-ray powder diffraction beamline at D10B of LNLS: application to the Ba₂FeReO₆ double perovskite, Journal of Synchrotron Radiation, 13, p.46-53, 2005.
- [13] Kh.N. Ahmadova, S.H. Jabarov. Obtaining of Al nanolayers and crystal structure. International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE) IJTPE - Issue 52, Volume 14, Number 3, pp.116-120 September 2022.
- [14] *Kh.N. Ahmadova, S.H. Jabarov.* Obtaining of Al Nanosized Thin Layers and Their Structural Properties. Arabian Journal for Science and Engineering, 2022
- [15] Ch. Zou, Y. Yao, N. Wei, Y. Gong, W. Fu, M. Wang, L. Jiang, X. Liao, G. Yin, Z. Huang, X. Chen. Electromagnetic wave absorption properties of mesoporous Fe₃O₄/C nanocomposites, Composites Part B: Engineering, 77, p. 209-2014, 2015.

Kh.N. Ahmadova

PREPARATION AND STRUCTURE STUDY OF THIN LAYER SYSTEMS OF AI/Fe₃O₄

In this work, layered thin films of nano-sized Al and Fe₃O₄ powders were studied by X-ray diffraction method, and it was determined that Al and Fe₃O₄ substances can maintain their crystal structure in thin layers with a thickness of h = 30 and 60 nm. The main reason for this is explained by their cubic symmetry crystal structure with Fm-3m and Fd-3m space groups, respectively. In the X-ray diffraction spectra, it was determined that the maxima corresponding to Al crystals correspond to the (111) and (200) atomic planes, and the maxima corresponding to Fe₃O₄ crystals correspond to the (044) atomic plane. If we take into account that Al and Fe₃O₄ thin films taken separately were obtained in smaller sizes: h = 15 and 30 nm thick. Nevertheless, the crystal structure is formed. It was determined that both aluminum and iron oxide layers retain their structural properties in these layers.

Al/Fe₃O₄ NAZİK TƏBƏQƏLİ SİSTEMLƏRİNİN ALINMASI VƏ STRUKTUR TƏDQİQİ

Х.Н. Ахмедова

ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТОНКОСЛОЙНЫХ СИСТЕМ АІ/Fe₃O₄

В данной работе методом рентгеновской дифракции исследованы слоистые тонкие слои наноразмерных порошков Al и Fe₃O₄ и установлено, что вещества Al и Fe₃O₄ могут сохранять свою кристаллическую структуру в тонких слоях толщиной h = 30 и 60 нм. . Основная причина этого объясняется их кристаллической структурой кубической симметрии с пространственными группами Fm-3m и Fd-3m соответственно. В рентгеновских дифракционных спектрах установлено, что максимумы, соответствующие кристаллам Al, соответствуют атомным плоскостям (111) и (200), а максимумы, соответствующие кристаллам Fe₃O₄, соответствуют атомной плоскости (044). Если учесть, что тонкие пленки Al и Fe₃O₄, взятые по отдельности, были получены меньших размеров: толщиной h = 15 и 30 нм. Тем не менее кристаллическая структура формируется. Установлено, что слои оксидов алюминия и железа сохраняют в этих слоях свои структурные свойства.

Qəbul olunma tarixi:03.11.2023

NEYTRON SELİNİN TƏSİRİ ALTINDA BOR KARBİD (B4C) NANOHİSSƏCİKLƏRİNDƏ DEFEKT HALLARININ TƏDQİQİ

2023

JALƏ G. ATAKİŞİYEVA

Nanotexnologiyalar və Radiasiya Materialşünaslığı Şöbəsi, Nüvə Tədqiqatları Departamenti, İnnovasiya və Rəqəmsal İnkişaf Agentliyi, Qobu qəsəbəsi, Bakı-Şamaxı şossesi, Bakı AZ1073, Azərbaycan email: atakishiyevajale24@gmail.com

BC nanohissəciklərində paramaqnit mərkəzlər və onların təbiəti maqnit sahəsinin müxtəlif güclərində müqayisəli şəkildə öyrənilmişdir. BC nanohissəciklərində sintez və digər səbəblərdən meydana gələn paramaqnit defekt halları müşahidə olunan EPR siqnalı ilə ətraflı izah edilmişdir. Spektroskopik analizlər otaq temperaturunda 500 ÷ 5500 G intervalında mərkəzi 3300G olan sahədə aparılıb. Eyni zamanda işdə, daha çox paramaqnit mərkəzlər müşahidə olunan 0.3270 - 0.3370 T oblastı əlavə olaraq nəzərdən keçirilmişdir.

Keywords: B₄C nanohissəcikləri, nanomaterial, defect halları, neytronlarla şüalanma. **PACS**: 61.46.+w, 65.80.+n, 67.80.Gb

1. Giriş

Son zamanlar nüvə texnologiyaları dünya alimlərinin əsas diqqət mərkəzində olan elmi tədqiqat sahələrindən biridir. Bu texnologiyaların çox geniş təyinatlı tətbiq imkanları nüvə elmində istifadə perspektivləri olan materiallar üzərində elmi tədqiqat işlərinin aparılması məsələsini aktual edir. Bu baxımdan, bor əsaslı müxtəlif tip carbid və oksid birləşmələri və kompozitləri göstərmək olar, hansı ki, bir çox parametrlərinə görə xüsusilə də yüksək fiziki və kimyəvi davamlılığına görə bu tip materialların nüvə texnologiyalarında tətbiqi əlverişlidir [1-5]. Qeyd edilən materiallar sırasında bor karbid birləşməsini qeyd etmək lazımdır ki, həm fiziki, həm də kimyəvi parametrlərinə görə nüvə texnologiyalarında tətbiq perspektivləri baxımından mükəmməl material ola bilər [6, 7]. Qeyd edək ki, BC birləşməsi fiziki xassələrinə görə geniş qadağan olunmuş zolağa malik yarımkeçirici materialdır. Bu səbəbdən də, eyni zamanda əlverişli optik xüsusiyyətləri ilə fərqlənir. Bununla yanaşı, yüksək temperatur və təzyiqdə özünün fiziki və kimyəvi parametrlərini saxlayan yüksək stabilliyə malik keramik materialdır. Digər bir cox materiallar kimi struktur nöqteyi-nəzərdən bor karbidin də bir neçə modifikasiyası mövcuddur. Məlumdur ki, makro ölçülərindən nano ölçülərinə keçdikcə hətta eyni növ birləşmələrin həm fiziki, həm də kimyəvi xassələrində əhəmiyyətli dərəcədə nəzərə çarpacaq dəyişikliklər meydana çıxır [8-10]. Bunun əsas səbəbləri nano ölcülərdə materialların xüsusi səth sahəsinin və həssaslığın dəfələrlə dəyişməsidir. Aydındır ki, müasir dövrdə elm və texnologiyanın güclü inkişafı artıq makro ölçülü materiallardan daha kiçik nano ölçülü materiallara keçidi şərtləndirir və təbii ki, böyük üstünlükləri ilə yanaşı olaraq bir sıra mümkün problemlərin həlli məsələsini də

aktuallaşdırır. Buna görə də, xüsusilə nüvə texnologiyalarında eyni növ materialların makro ölçülərindən nano ölçülərə keçidi zamanı onların fizikikimyəvi parametrlərinin dəyişməsi məsələsinə xüsusi diqqət yetrilməlidir.

Qeyd edək ki, nüvə texnologiyalarında tətbiq imkanına malik olan materiallar xüsusilə də yüksək temperaturun, ionlaşdırıcı mühitlərin və mexaniki təsirlərin altında yüksək davamlılığa malik olmalıdır. Bu baxımdan ionlasdırıcı süaların nanomateriallar təsirinin öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyətə üzərində malikdir. İndiyə qədər bir çox nanomateriallar üzərində neytron selinin təsiri müəyyən qədər tədqiq edilmişdir [11-16]. BC nanohissəciklərinin sintezi zamanı mümkün defekt hallarının yaranması EPR spektroskopiyası ilə müəyyən qədər öyrənilə bilər. Eyni zamanda məlumdur ki, bor və karbon atomları arasındakı məsafənin çox kiçik olması bu birləşmənin yüksək davamlığa malik olmasını göstərir [17-19]. Lakin sintez zamanı bir çox hallarda atomlararası məsafə o qədər də əhəmiyyətli deyil. Buna görə də, BC nanohissəcikləri üzərində sintez prosesində əlavə təsir effektrlərinin öyrənilməsi son dərəcə aktual məsələdir. Belə ki, sintez səraitindən və xarici təsiridən asılı olaraq BC nanohissəciklərində müxtəlif tipli defektlər yarana bilər, hansı ki, bu defektlərin əsasını bor və karbon boşluqları təşkil edir. Ətraf mühitin təsiri ilə yaranan defektlər təbii haldan dəfələrlə çox olur və materialın fiziki xassələrində nəzərə çarpacaq dəyişikliklərə səbəb olur. Bu səbəbdən, təqdim edilən işdə müxtəlif maqnit sahəsinin müxtəlif güclərində BC nanohissəciklərində defektəmələgəlmə prosesləri EPR spektroskopiya metodu ilə ətraflı öyrənilmişdir.

2. Təcrübələr

Təcrübədə istifadə olunan nanomaterial 80-120m²/q xüsusi səth sahəsinə, 45-55 nm ölçülü hissəciklərə və

0.1 q/sm³ sıxlığa malik BC nanohissəcikləridir (US Research Nanomaterials, Inc., TX, USA). EPR spektrləri Bruker EPR EMX Plus radiospektrometrində otaq temperaturunda alınmışdır. Radiospektrometr elektromaqnit dalğasının ifrat yüksək tezliyinin X oblastında işləyir, tezlikyi ~9.8 GHs (dalğa uzunluğu λ ~3 sm) təşkil edir. Nümunələr nazik divarlı, daxili diametri 3 mm olan ifrat təmiz şüşədən hazırlanmış "Wilmad" firmasının EPR borucuqlarına doldurularaq rezonatora yerləşdirilmişdir. Modulyasiya tezliyi 10⁵ hs olmuş, modulyasiya amplitudu spektrin enindən asılı olaraq seçilmişdir. Bütün nümunələr toz şəklində, qara rəngli mikrokristallardan təşkil olunmuşdur.

3. Eksperimental nəticələr

Xarici maqnit sahəsinin fərqli dalğa güclərində B₄C nanohissəciklərinin EPR spektrləri 1-ci şəkildə göstərilmişdir. Şəkildə göstərilən üç spektr, radiodalğanın 0.20; 2.14; 21.60 mW güclərində və maqnit sahəsinin çox geniş intervalında (250-5750 Gauss) çəkilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi dalğa enerjisinin təqribən 100 dəfə artmasına baxmayaraq EPR spektrlərinin tərkibində və formasında heç bir fərq müşahidə olunmur. Spektrdə üç xətti fərqləndirmək olur, bu xətlər A, B, C ilə işarə edilmişdir.

Nümunələrin maqnit sahəsinin geniş oblastında alınmış spektrinin müxtəlif dalğa güclərində çəkilmiş spektrlərin tərkibində və formasında seçiləcək fərqin müşahidə olunmaması deməyə əsas verir ki, hər üç xarakterik xətt (A, B və C) eyni bir kimyəvi mənbədən gəlir, çünkü dalğa gücünün təxminən 100 dəfə aptmasına baxmayaraq, bu xətlərdə fərqli doyma müşahədə olunmur və nəticədə spektrin forması dəyişmir.

Maddənin yüksək təmizliyə malik olması və spektrdə müxtəlif aşqarlara xas olan xətlərin müşahidə olunmaması alınan spektrin kimyəvi mənbəyinin maddənin yüksək temperaturda aparılan sintezi zamanı yaranan termal, bioqrafik, nöqtəvi defektlərə aid olduğunu təsdiqləməyə imkan verir. Spektrdə üç fərqli maqnit sahəsində A, B və C işarəli xəttlərin olması və spektrin forması onu göstərir ki, cütləşməmiş elektronun tutulduğu defekt yüksək ortorombik anizotropiyaya malikdir, g-faktorun A, B və C xətlərində qiymətlərini uyğun olaraq g_z , g_y və g_x ilə işarə etsək: $g_z=2.9769$, $g_y=2.0044$, $g_x=1.9910$.

Neytronlarla şüalanma zamanı, nümunələrin xarakterik bir əlaməti ondan ibarətdir ki, şüalanmış və şüalanmamış nümunələrin hamısının rəngi qaradır. Neytron şüalanması nümunələrdə yeni rəng yaratmamışdır. Şüalanmış nümunələrin rənginin dəyişməməsi və EPR spektrində şüalanmadan sonra veni fərqli xətlərin müsahidə olunmaması (şüalanmamış nümunəyə nəzərən) göstərir ki, neytron şüalanması kristallik qəfəsdə yeni nöqtəvi paramaqnit defektləri yaratmır və şüalanma nəticəsində ancaq termal biografik defeklərin struktur və simmetriyasında müəyyən dəyişikliklər əmələ gəlir.



Şəkil 1. Nanokristallik B₄C hissəciklərinin müxtəlif dalğa gücündə və maqnit sahəsinin (250 ÷ 5500 G) intervalında EPR spektriləri: a)0.20mW b) 2.14 mW c)21.6 mW



Şəkil 2. Nanokristallik B4C hissəciklərinin maqnit sahəsinin (250 ÷ 5750 G) intervalında EPR spektri.

Ümumi yanaşmada, selinin neytron nanohissəcikləri EPR siqnallarına təsirini ətraflı şərh etmək üçün daha çox analitik işlərə ehtiyac duyulur. İlkin yanaşmada aparılan analizlərdən məlum olur ki, nümunələrdə udulma dozası artdıqca spektrdə olan kiçik və böyük maqnit sahələrində müşahidə olunan A $(g_z = 2.9769)$ və C $(g_x = 1.9910)$ xətlərinin intensivliyi azalır və yüksək dozalarda tamam yox olur və spektrdə ancaq bir simmetrik singlet B (g = 2.0049) xətti qalır. Spektrin belə dəyişməsi göstərir ki, neytronların təsiri nəticəsində paramaqnit defektin yaxın ətrafının simmetriyasında dəyişiklik baş verir: cütləşməmiş elektronun ən yaxın ətrafının anizotropik simmetriyası aradan çıxır, əvəzində bu ətrafda yüksək izotropik simmetriya yaranır. Eyni zamanda xəttin intensivliyində artım müşahidə olunur. Xəttin eninin kifayət qədər böyüməsi bu nümunədə "spin-qəfəs" relaksasiya zamanının kifayət qədər kiçilməsi ilə izah oluna bilir. Belə nəticəyə gəlmək olar ki, neytronların təsiri ilə cütləşməmiş elektronun yaxın ətrafının simmetriyasının ortorombik haldan izotropik keçməsi, bu defektdə elektronun kristallik qəfəsdə daha six rabitə ilə yerləşməsinə gətirir. Bu sıx rabitə isə öz ¹ növbəsində "spin - qəfəs" relaksasiyası zamanını kiçikdir və xəttin enini böyüdür.

4. Nəticə

B₄C nanohissəciklərində EPR siqnalının yaranmasına səbəb ehtimal olunur ki, sadalananlardır: a) B₄C nanohissəciklərinin tərkibində aşqarların olması, b) nümunənin sintezində yaranan vakansiyalar, c) həcmdə komponentlərin paylanmasında heterogenik, d) kristallitlərin böyüməsindəki defektlər və s. $B_{1-x}C_x(0.1 \le x \ge 2)$ bor - carbid sistemlərinin öyrənilməsi istiqamətində alınmış son nəticələr göstərir ki, bu maddədə yaranan paramaqnit mərkəz B₃C' radikalıdır. Bu radikalın ölçüləri və sayı nümunələrin sintez prosesinin aparıldığı şəraitdən asılı olur. Belə ki, sintez nəticəsində B və C atomlarından ikosaedrlər (iyirmiüzlü) yaranır, həmin ikosaedrlərin tilləri vasitəsi ilə birləşərək sadə romboedral qəfəs yaradır, üç bor atomundan ibarət zəncir bu qəfəsin daxildə yerləşir və qəfəsi möhkəmləndirir. Həmin zəncir B₃C[•] radikalını yaradır və EPR siqnalını verir.

- Yunsong Jung, Yunju Lee, Ji Hyun Kim, Sangjoon Ahn. "Accelerated corrosion tests of Al-B4C neutron absorber used in spent nuclear fuel pool" Journal of Nuclear Materials 552, 2021, 153011.
- [2] Yong Hee Choi, Han Gyu Joo. "Multiscale simulation of neutron induced damage in tritium breeding blankets with different spectral shifters" Fusion Engineering and Design 88, 2013, 2471-2475.
- [3] Shabbeer Ahmad et al. "Mass optimization of the radiation shadow shield for space nuclear power system" Progress in Nuclear Energy 131, 2021, 103607.
- [4] Yunsong Jung et al. "Experimental estimation of radiation damage induced by $10B(n, \alpha)7Li$ reactions in Al-B4C neutron absorber discharged from spent nuclear fuel pool" Journal of Nuclear Materials 587, 2023, 154728.

<u>NEYTRON SELİNİN TƏSİRİ ALTINDA BOR KARBİD (B4C) NANOHİSSƏCİKLƏRİNDƏ DEFEKT HALLARININ TƏDQİQİ</u>

- [5] *Suman Mukherjee et al.* "Cytotoxic biphenyl-4carboxylic acid targets the tubulin–microtubule system and inhibits cellular migration in HeLa cells" Journal of Taibah University for Science 10, 2016, 839-849.
- [6] Ali Oktay Gul et al. "Newly synthesized NiCoFeCrW High-Entropy Alloys (HEAs): Multiple impacts of B4C additive on structural, mechanical, and nuclear shielding properties" Intermetallics 146, 2022, 107593.
- [7] Alexandre Brillon et al. "Characterization of Al/B4C composite materials fabricated by powder metallurgy process technique for nuclear applications" Journal of Nuclear Materials 565, 2022, 153724.
- [8] T.H. Manjunatha et al. "Wear analysis of Al7075 alloyed with nano B4C: A Taguchi approach" Materials Today: Proceedings 47, 10, 2021, 2603-2607
- [9] S. Shashidhar et al. "Processing, Microstructure and Tensile Behavior of Nano B4C Particulates Reinforced Al2219 Alloy Composites" Materials Today: Proceedings 5, 2018, 25158-25164.
- [10] J. Arun et al. "Fatigue life, distortion behavior of AA 8011- nano B4C composite using simulated acoustic emission technique – An experimental and statistical appraisal" International Journal of Fatigue 164, 2022, 107168.
- [11] Elchin Huseynov, Anze Jazbec, Luka Snoj.
 "Temperature vs. impedance dependencies of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" Applied Physics A 125, 91-98, 2019.
- [12] *Elchin Huseynov, Anze Jazbec.* "EPR spectroscopic studies of neutron-irradiated

nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" Silicon 11/4, 1801–1807, 2019.

- [13] Elchin M. Huseynov. "FTIR spectroscopy of ZrC nanoparticles under the gamma radiation" Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 286, 122032, 2023
- [14] *Elchin M. Huseynov, Tural G. Naghiyev.* "Investigation of thermal parameters of AlN nanoparticles at the different heating rates" Vacuum 212, 111990, 2023.
- [15] Elchin M. Huseynov & Raisa R. Hakhiyeva. "Investigation of gamma irradiated nanocrystalline titanium carbide particles using thermal methods" Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry volume 332, 3779–3785, 2023
- [16] Elchin M. Huseynov and Tural G. Naghiyev. "Investigation of the nanocrystalline nature of silicon carbide (3C–SiC) nanoparticles by XRD and TEM methods" Modern Physics Letters B 37,23, 2350072, 2023.
- [17] *Yingchao Guo et al.* "In-situ synthesized nano/micron carbide and boride reinforced high-NbTiAl alloy via nano-B4C addition" Materials Letters 342, 2023, 134354.
- [18] Soung Yeoul Ahn et al. "Boost in mechanical strength of additive manufactured CoCrFeMnNi HEA by reinforcement inclusion of B4C nanoparticles" Journal of Alloys and Compounds 960, 2023, 170631.
- [19] M.R. Moradi et al. "Fabrication of Nanocomposite Al-B4C Foam via Powder Metallurgyspace Holder Technique" Procedia Materials Science 11, 2015, 553-559.

Jale G. Atakishiyeva

INVESTIGATION OF DEFECTS IN BORON CARBIDE (B4C) NANOPARTICLES UNDER THE INFLUENCE OF NEUTRON BEAM

Paramagnetic centers in B_4C nanoparticles and their nature were comparatively studied at different magnetic field strengths. Paramagnetic defect states in B_4C nanoparticles due to synthesis and other reasons are explained in detail by the observed EPR signal. Spectroscopic analyzes were carried out at room temperature in the range of 500÷5500 G in the field centered at 3300 G. In the same work, the region 0.3270 - 0.3370 T, where more paramagnetic centers are observed, was additionally considered.

Жале Г. Атакишиева

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ НАНОЧАСТИЦ КАРБИДА БОРА (B4C) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРОННОГО ПУЧКА

Парамагнитные центры в наночастицах B₄C и их природа сравнительно изучены при различных мощностях магнитного поля. Парамагнитные дефектные состояния в наночастицах B₄C, обусловленные синтезом и другими причинами, подробно объясняются наблюдаемым сигналом ЭПР. Спектроскопические анализы проводились при комнатной температуре в диапазоне 500-5500 Гс в поле с центром 3300 Гс. В той же работе дополнительно рассматривалась область 0,3270 - 0,3370 Тл, где наблюдается больше парамагнитных центров.

Qəbul olunma tarixi:24.11.2023

MnBi2Te4 KRİSTALLARINDA RAMAN AKTİV TEZLİKLƏRİNİN TEMPERATURDAN DƏYİŞMƏSİNDƏ İSTİDƏN GENİŞLƏNMƏNİN PAYI

¹Z.İ. BƏDƏLOVA, ²X.V. ƏLİQULİYEVA, ³A.X. RZAYEVA, ^{1,3}N.A. ABDULLAYEV

 ¹Fizika İnstitutu, Elm və Təhsil Nazirliyi, Bakı, Azərbaycan, AZ1143, H. Cavid pr., 131
 ²Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan, AZ5008, 43-cü m., Bakı küç., 1
 ³Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan, AZ1148, Z. Xəlilov küç., 23 <u>abnadir@mail.ru</u>

MnBi₂Te₄ monokristallarında Raman səpilməsi öyrənilmişdir. Raman tezliklərinin temperaturdan dəyişməsində fononfonon qarşılıqlı təsirin və istidən genişlənməsindən verdiyi paylar müəyyən olunub.

Açar sözlər: Raman səpilməsi, Raman-aktiv fononlar, istidən genişlənmə, anharmonizm, elastik modulu, PACS: 63.20.kg, 64.70.kg, 65.40.De, 78.30._j

GİRİŞ

Məlum olduğu kimi, real kristallarda atomlar arasında qarşılıqlı təsir potensialı, bir qayda olaraq, qeyriharmonik formaya malikdir və buna görə də fonon tezlikləri ω temperaturla dəyişir. Bu dəyişiklik ümumi halda belə yazılır:

$$\frac{d\omega}{dT} = \left(\frac{\partial\omega}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial\omega}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial\omega}{\partial T}\right)_V + \alpha B \left(\frac{\partial\omega}{\partial p}\right)$$
(1)

burada α – istidən genişlənmə əmsalı, B - həcmi elastik modulu. (1)-dəki birinci toplanan fiksə olunmuş atomların tarazlıq vəziyyətində və güc sabitlərinin qiymətlə-"aşkar" rində fonon-fonon qarşılıqlı təsirinin ("explicit") payını əks etdirir. İkinci toplanan, "dolayı" ("implicit") pay, istidən genişlənməsi səbəbindən temperaturla bağlı olan atomlararası məsafənin və temperaturla güc sabitlərində dəyişikliklərlə bağlı olan tezlik qiymətlərinə təsirini əks etdirir. [1]-də göstərilmişdir ki, istidən genişlənmədən gələn kiçik bir pay kovalent kristallar və molekulyar kristallardakı "molekuldaxili" rəqslər üçün xarakterikdir. [2]-də müəyyən edilmişdir ki, laylı GaS kristallarında Raman-aktiv fononların tezliklərinin temperaturdan asılılığına istidən genişlənməsinin payı kristal qəfəsdəki atomlararası rabitənin xarakterindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Tezliyi vander-Vaals tipli təbəqələrarası zəif rabitə ilə müəyyən edilən fononlar üçün fonon tezliyinin temperaturla dəyişməsi əsasən (60-75%) istidən genişlənməsinin verdiyi pay ilə əlaqədardır. Laydaxili güclü rabitə ilə müəyyən edilən fonon tezliyinin temperaturla dəyişməsi əsasən (1)-dəki birinci toplanın payı ilə bağlıdır. Buna görə də, laylı MnBi2Te4 monokristallarında Raman-aktiv fononların *w* tezliklərinin temperaturla ümumi dəyişməsində hər bir toplananın (1) rolunu müəyyən etmək maraqlı idi.

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

Şəkil 1-də 4.2, 50 və 295K [3] temperaturlarda MnBi₂Te₄ monokristallarının raman səpilməsi spektrləri göstərilib. Şəkil 2-də göründüyü kimi, lay müstəvisində $(E_g^{\ l}, E_g^{\ 2}$ və $E_g^{\ 3})$ və laylara perpendikulyar $(A_{Ig}^{\ l},$ A_{Ig}^2 və A_{Ig}^3) olaraq atom yerdəyişmələri ilə bağlı olan altı raman aktiv fonon müşahidə olunur. $\Delta T=290$ K temperatur diapazonunda Raman-aktiv fononların tezliklərindəki dəyişikliklər $\Delta\omega/\omega$ Cədvəl 1-də verilmişdir.

Həcmi istidən genişlənmə əmsalının α qiyməti MnBi₂Te₄ monokristalları ilə izostruktur olan Bi₂Te₃ monokristallarının [4] həcmi istilik genişlənmə əmsalına bərabər götürülə bilər.

[4]-ə əsasən, laylar boyu xətti genişlənmə əmsalının qiyməti 300 K temperaturda $\beta_{II}=1.5 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, laylara perpendikulyar olan xətti genişlənmə əmsalının qiyməti isə $\beta_{\perp}=2.17 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$ bərabərdir. Bu halda $\alpha=2\beta_{II}+\beta_{\perp}=5.17 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$. Həcmi elastik modulunun *B* və $\partial \omega/\partial p$ əmsallarının qiymətləri [5]-dən götürülüb.



Şəkil 1. T=4.2K, 50K və 295K temperaturlarda MnBi₂Te₄ monokristallarında Raman səpilmə spektrləri [3].



Şəkil 2. MnBi2Te4 monokristallarında Raman-aktiv modalarında atomların yerdəyişməsi.

Cədvəl 1.

MnBi₂Te₄ kristallarında Raman aktiv tezliklərinin A_{1g}^1 (48,3 sm⁻¹), E_g^3 (107.9 sm⁻¹) və A_{1g}^3 (144.6 sm⁻¹) qiymətlərinin ümumi (Total) dəyişməsinə istidən genişlənməsinin (TE) və fonon-fonon qarşılıqlı təsirinin (PPI) verdiyi paylar.

<i>ω</i> , <i>cm</i> ⁻¹ 300K	$\frac{\partial \omega}{\partial p}, \frac{cm^{-1}}{GPa}$	B, [3] GPa	α , $10^{-5}K^{-1}$	$10^3 \frac{ \Delta\omega }{\omega}$ Total	$10^3 \frac{ \Delta\omega }{\omega}_{\mathrm{TE}}$	$10^3 \frac{ \Delta\omega }{\omega}_{PPI}$	η, %
48.3	1.44	51	5.17	31	18	13	58
107.9	1.63	51	5.17	37	11.6	15.4	31
144.6	1.94	51	5.17	39	10,2	28.8	26

Cədvəl 1-də MnBi₂Te₄ monokristallarında üç Raman tezliyinin temperatur asılılığı haqqında məlumat verilir: aşağı tezlikli E_g^2 (48.3 sm⁻¹) və yüksək tezlikli E_g^3 (107.9 sm⁻¹) və A_{1g}^3 (144.6 sm⁻¹). Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, istidən genişlənməsinin tezliklərin temperatur asılılığına 58% aşağı tezlikli E_g^2 (48.3 sm⁻¹) moda üçün verdiyi pay daha böyükdür. Yüksək tezlikli E_g^3 (107.9 sm⁻¹) və A_{lg}^3 (144.6 sm⁻¹) modalar üçün güclü laydaxili qarşılıqlı təsirlə bağlı olan pay əhəmiyyətli dərəcədə aşağıdır, bu da [1, 2]-dəki məlumatlara uyğundur.

- R. Zallen, E.M. Conwell. The effect of temperature on libron frequencies in molecular crystals: Implications for TTF-TCNQ. Solid State Communications, 1979, vol. 31, is. 8, pp. 557-561.
- [2] N.A. Abdullayev, L.N. Alieva, R.A. Suleimanov. Thermal expansion and temperature dependence of Raman active modes in layer semiconductors. Phys. stat. sol. (b), 1985, vol. 129, is. 1, pp. K13-K16.
- [3] A.A. Maksimov, I.I. Tartakovskii, Z.S. Aliev, I.R. Amiraslanov, N.A. Abdullayev, V.N. Zverev, Z.A.

Jahangirli, I.Yu. Sklyadneva, M.M. Otrokov, N.T. Mamedov and E.V. Chulkov. JETP Letters, 2023, vol. 118, № 5, pp. 357–362.

- [4] L.M. Pavlova, Yu.I. Shtern, and R.E. Mironov. Thermal Expansion of Bismuth Telluride. High Temperature, 2011, vol. 49, № 3, pp. 369–379.
- [5] C. Pei, Y. Xia, J. Wu, Y. Zhao, L. Gao, T. Ying, B. Gao, N. Li, W. Yang, D. Zhang, H. Gou, Y. Chen, H. Hosono, G. Li, Y. Qi. Pressure-Induced Topological and Structural Phase Transitions in an Antiferromagnetic Topological Insulator. Chin. Phys. Lett., 2020, vol. 37, № 6, p. 066401.

Z.I. BADALOVA, Kh.V. ALIQULIYEVA, A.X. RZAYEVA, N.A. ABDULLAYEV

CONTRIBUTION OF THERMAL EXPANSION IN THE CHANGE OF THE RAMAN ACTIVE FREQUENCIES WITH TEMPERATURE IN MnBi₂Te₄ CRYSTALS

Raman scattering in $MnBi_2Te_4$ single crystals was studied. The contributions of phonon-phonon interaction and thermal expansion in the change of Raman frequencies with temperature have been determined.

Qəbul olunma tarixi: 01.12.2023

NANOÖLÇÜLÜ (Zn-Ni) FERRİTLƏRİNİN ELEKTRİK VƏ MAQNİT XASSƏLƏRİ

G.Z. İSKƏNDƏROVA

2023

Fizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan gunay_080881@mail.ru

Ş.Ə. İBRAHİMOVA

Azərbaycan Dövlət Bədən Tərbiyəsi və İdman Akademiyası

Ferrit nanokristallarının alınmasının müxtəlif texnoloji üsulları, onların elektrik, dielektrik, maqnit xassələrinin, hissəciklərin ölçülərindən asılılığının tədqiqi üsulları icmal şəklində təqdim olunmuşdur.

Açar sözlər: elektrik keçiriciliyi, dielektrik nüfuzluğu, maqnit xassələri, elektromaqnit enerjisi. PACS: 41.20Gz;42.72Ai

Geniş praktik əhəmiyyətə malik olan ferrit materialların öyrənilməsinə maraq bu materialların müasir texnologiyada tətbiqinin artması hesabına aktual olaraq qalmaqdadır. Ferritlər maqnit materialları kimi radiotexnikada, elektronikada, avtomatlaşdırmada, hesablama texnikasında (elektromaqnit dalğalarının ferrit absorberləri, antenalar, nüvələr, yaddaş elementləri, daimi maqnitlər və s.) istifadə olunur. Ferritlər həm tətbiqi, həm də nəzəri cəhətdən vacib materiallardır. Hazırda yüksək maqnit xassələri ilə aşağı elektrik keçiriciliyinin birləşməsi səbəbindən ferritlər yüksək tezlikli texnologiyada (100 kHz-dən çox) geniş istifadə olunur.

Ferritlərin əsas üstünlüyü, maqnit və dielektrik sabitlərin yüksək dəyərlərinin birləşməsi səbəbindən megahers dalğa uzunluğu diapazonunda yüksək sındırma əmsalıdır (1000-dən çox), bu da kiçik qalınlıqda effektiv radiouducu örtüklər istehsal etməyə imkan verir (10mm-dən az). Tədqiqatlar göstərir ki, ferritin səthindən əks olunan elektromaqnit şüalarının gücünün zəifləməsi həm müdaxilə prosesləri, həm də ferritdə yayılma zamanı elektromaqnit enerjisinin səpilmə prosesləri ilə əlaqədardır. Meqahers diapazonunda sındırma əmsalı ilə elektromaqnit şüalanma tezliyi arasında tərs mütənasib əlaqə ferrit örtüklərinin sabit qalınlığında əks olunan şüalanmanın minimum olması üçün şərait yaradır. Yüksək sındırma əmsalı ferritlərdə elektromaqnit dalğalarının yayılma sürətini ləngidir, bu da onların enerjisinin yayılması proseslərini gücləndirir. Ferritlərin əsas kimyəvi tərkibinin, aşqarların, mikrostruktur parametrlərinin və texnoloji şəraitin onların maqnit və dielektrik sabitliklərinə təsiri haqqında tədqiqatlar təqdim olunur.

Ferritlərin alınması üçün ilkin komponent olaraq oksidlər, hidroksidlər, oksalat və karbonatlar (bəzən onları məhlulda birgə çökdürürlər) və yaxud duzlarının (nitratlar, sulfatlar, ikiqat sulfatlar) buxarlanması ilə alınan tərkiblərdən istifadə olunur. Həll olan ferritlər üçün natriumun karbonat və ya hidroksid, həmçinin ammonium xlorid məhlullarının hidrotermal işləmələrindən istifadə olunur. Metal ferritlərin məlum sintez üsulları aşağıdaklardır: yüksəktemperaturlu hidrotermal işləmə və həmçinin uyğun tərkib hissələrinin bişirilməsidir ki, bu zaman cox böyük enerji sərf olunur. Ferritlərin formalaşmasının son mərhələsində bərk fazaların qarşılıqlı təsirinin sürətini yüksəltmək məqsədi ilə, son zamanlar termiki üsulla yanaşı, reaksiya qarışığına mexaniki, ultrasəs təsiri ilə, yaxud müxtəlif digər fiziki vasitələrin təsiri ilə işlər aparılır. Ultra yüksəktezlikli elektromaqnit sahəsində ferritlərin alınması enerji və vaxt baxımından daha perspektivlidir.

 $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri son illər böyük elmi maraq kəsb edir. Ferritlərin xarakteristik xüsusiyyəti onların bir-biri ilə dolayı mübadilə qarşılıqlı təsirində olan 2 maqnit alt qəfəsə malik olmalarıdır (hər bir alt qəfəsin atomları arasındakı dipol qarşılıqlı təsir müxtəlif alt qəfəslərin atomları arasındakı dipol qarşılıqlı təsirdən daha azdır). Bu ferritlərin öyrənilmiş tərkiblərinin digər xüsusiyyəti, simmetriya dəyişmədən çevrilmiş şpinel quruluşdan (NiFe₂O₄) normal şpinel quruluşa (ZnFe₂O₄) tədricən keçməsidir və bu zaman ferromaqnit düzülüşdən antiferromaqnit düzülüşə keçid müşahidə olunur [1].

Qeyd edək ki, tərkibdə sinkin miqdarı artdıqca, ferritlərin maqnit nüfuzluğu artır (ZnFe2O4 üçün μ H=55), Ni_{0.28}Zn_{0.72}Fe₂O₄ tərkibində maksimuma çatır (μ H=4200) və sonra kəskin azalır. Polikristal Ni_{1-x} Zn_x Fe₂O₄ nümunələrinin kiçik bucaqlı neyton səpilməsinə dair aparılan tədqiqatlara həsr olunmuş məqalələrdə adi keramika texnologiyası ilə sintez edilmiş bu ferritlərin x=0.75 konsentrasiyasında 0.60, 0.68 konsentrasiyalarında aşağı temperaturlarda qeyri-kollinear maqnit struktur üçün xarakterik olan yüksək sahə qavrayıcılığı qeydə alınır. T=4.2K temperaturda bu tərkiblərdə maqnit momentlərinin z-proyeksiyalarının maqnit qeyri-bircinsliyinin (orta ölçü: 1-10nm) əmələ gəlməsi nəticəsində kiçik bucaqlı intensiv neytron səpilməsi müşahidə olunur. Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ ferritləri Küri temperaturundan aşağı bütün temperaturlarda qəfəslərarası və qəfəslərdaxili mübadilə qarşılıqlı təsirlərin rəqabəti nəticəsində yaranan qeyri-bircins struktura malikdir. Eyni zamanda, qeyri-bircins maqnit struktur bu ferritlərdə uzununa dalğa maqnit həyəcanlanma vəziyyətinin sıxlığının artmasına səbəb olur. Messbauer spektrlərinin tədqiqlərindən göründüyü kimi, Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄-ferritlərinin struktur analoqu olan maqnetit nanotozlarında (dənəciklərin ölçüsü ~15-45 nm) zəif maqnit faza mövcuddur.

[2] işində müəlliflər tərəfindən keramika üsulu ilə kiçik konsentrasiyalı Cu əvəzləməli Ni_{1-x} Zn_xFe₂O₄ ferrit materiallar sintez olunub və tədqiq edilmişdir. Ferritlərə Cu ionunun əlavəsi daha aşağı temperaturlarda kompozit almağa imkan verir, ancaq Cu ionu nümunələrin xüsusi müqavimətini aşağı salır ki, bu da onların yuksək tezliklərdə istifadəsi üçün əlverişsizdir. Ona görə də, lazım olan xüsusiyyətlərə malik material hazırlamaq üçün, Ni, Zn və Cu-un miqdari nisbəti, onların məxsusi xüsusiyyətləri nəzərə alınmalıdır. [2] işdə Cu əvəzləməsinin Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄ -ferritin mikrostrukturuna təsiri müxtəlif eksperimentlərlə tədqiq edilmişdir. Sintez olunmuş Ni_{0.4}Zn_{0.6-x}Cu_x Fe₂O₄ (x=0-0.6) ferrit nümunələrinin rentgen faza analizi səthə mərkəzləşmiş bir fazalı kubik strukturun formalaşmasını təsdiq edir. Müşahidə olunan bütün maksimumlar Fd3m- O_h^7 fəza simmetriya quruluşuna malik şpinel strukturlu ferritlərin rentgen spektrlərinə xarakterikdir.

 $Ni_{0.4}Zn_{0.6-x}Cu_x Fe_2O_4$ ferritlərinin qəfəs parametrləri hesablanmış və müəyyən olunmuşdur ki, Cu^{2+} ionunun konsentrasiyasının artması qəfəs parametrinin 8.3963 Å-dən 8.3425Å qədər azalmasına səbəb olur.

Ədəbiyyat icmalının təhlili nəticəsində demək olar ki, ferritlər və onlardan hazırlanmış məmulatlar digər maqnit materiallarından fərqli olaraq radioelektronika və kompüter texnologiyasında daha geniş istifadə olunur. Ferrit məmulatları əksər hallarda digər materiallardan hazırlanmış məhsulları effektiv şəkildə əvəz edə bilir, ancaq onlar heç bir başqa materiala xas olmayan bir sıra unikal fiziki-kimyəvi, maqnit və elektrik xüsusiyyətlərinə malikdirlər. Ferrit məhsullarının hesablamada istifadəsi yaddaş qurğularının və kommutasiya cihazlarının əhəmiyyətli dərəcədə miniatürləşdirilməsinin mümkünlüyü səbəbindən hesablama prosesini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirir, bu da öz növbəsində daha dəqiq xüsusiyyətlərə malik ferrit məmulatları istehsalına tələbatı artırır.

Bütün deyilənlərdən belə nəticə hasil olur ki, ferrit materialların alınmasını, xassələrini və xassələrini dəyişdirmə yollarını öyrənmək hələ də aktual məsələ olaraq qalır.

- [1] A.∂.Sadıqova, Ş.∂.∂hmədova, Ş.N.∂liyeva, T.R.Mehdiyev. Ni_{1-x}Zn_xFe₂O₄ ferrit nanotozlarının İQ spektrləri. AJP Fizika 2018 volume XXIV №1, section: Az, s.26-32
- [2] İ.F.Yusibova. Cu əvəzləməli Ni-Zn ferritlərinin struktur xüsusiyyətləri. AJP Fizika 2020 volume XXVI №2, section: Az, s.44-49

G.Z. Iskandarova, S.A. Ibrahimova

ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF NANOSIZED (Zn-Ni) FERRITES

The review presents various technological methods for producing ferrite nanocrystals, methods for studying their electrical, dielectric, magnetic properties, and dependence on particle sizes.

Г.З. Искандарова, Ш.А. Ибрагимова

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ (Zn-Ni) ФЕРРИТОВ

В виде обзора представлены различные технологические методы получения нанокристаллов феррита, методы исследования их электрических, диэлектрических, магнитных свойств, зависимости от размеров частиц.

Qəbul olunma tarixi: 07.12.2023

<u>AJP FİZİKA, 2023, vol. XXIX, №4, section: En</u> BURAXILIŞINDA DƏRC OLUNAN MƏQALƏLƏRİN QISA XÜLASƏSİ

S.O. Eminov, S.Ə. Əliyev, F.E. Məmmədov, İ.İ. Qurbanov, E.M. Əkbərov, C.A. Quliyev, A.Ə. Bədəlov

InSb ƏRİNTİSİ ƏSASINDA İŞLƏYƏN ELEKTROHİDRODİNAMİK İON MƏNBƏYİNDƏN ALINAN İON DƏSTƏSİNDƏ CƏRƏYAN SIXLIĞININ RADİAL PAYLANMASI

İşçi maddəsi InSb olan maye-metal ion mənbəyindən alınan dəstə cərəyanının müxtəlif qiymətlərində emissiya nöqtəsindən müəyyən məsafədə yerləşdirilmiş kiçikölçülü hədəf-zond vasitəsilə cərəyan sıxlığının dəstənin mərkəzindən kənarlara doğru - emissiya sahəsinin radiusu boyunca paylanması araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, emissiya cərəyanının müxtəlif qiymətlərində emissiya sahəsinin həndəsi ölçülərinin sabit qalmasına baxmayaraq, dəstənin mərkəzindən kənarlara doğru ölçmə nöqtələrində cərəyan sıxlığının qiyməti azalır. Təcrübi nəticələr ion mənbəyi vasitəsilə müxtəlif altlıqlar üzərinə çökdürülən nazik təbəqələrin ölçülərinin məqsədəuyğun şəkildə tənzim olunması və alınan nümunələrin səthində təbəqənin qalınlığının bərabər paylanmasını təmin etmək üçün maksimum imkan yaradır.

A.M. Babanlı

KEYN TİPLİ YARIMKEÇİRİCİ BORUDA ELEKTRONLARIN İSTİLİK TUTUMU

Nanoborunun səthində Keyn elektronlarının enerji spektri və istilik tutumu araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, yüksək temperaturlarda nanoborunun səthindəki Keyn elektronlarının istilik tutumu parabolik dispersiya qanunu olan yarımkeçirici nanoborunun istilik tutumundan 4 dəfə böyükdür və aşağı temperaturda istilik tutumu $2k_B$ -yə bərabərdir.

A.İ. Bayramova, Ə.H. Hüseynov

Cu3In5S9 FOTOHƏSSAS NAZİK TƏBƏQƏLƏRİN ALINMASI VƏ XASSƏLƏRİ

Maddənin vakuumda termik ani buxarlanması üsulu ilə $Cu_3In_5S_9$ birləşməsinin yüksək fotohəssas nazik təbəqələri alınmışdır. Nazik təbəqədə aşqar fotokeçiriciliyi və maksimumu 1,15 eV-də yerləşən aşqar udma zolağı aşkar edilmişdir. Güman edilir ki, təbəqədə yüksək konsentrasiyalı aşqar elektron halların olması kristal qəfəs strukturunda çoxsaylı kation və anion vakansiyaların mövcudluğu ilə əlaqəlidir.

A.M. Babanlı, B.H. İbrahimov

KEYN TİPLİ YARIMKEÇİRİCİ BORUDA ELEKTRONLARIN TERMODİNAMİK FUNKSİYALARI

Cırlaşmış elektron qazı üçün uzununa maqnit sahəsində nanoborunun səthində Keyn elektronlarının enerji spektri və istilik tutumu tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, aşağı temperaturlarda borunun səthindəki elektronların istilik tutumu temperaturla xətti olaraq dəyişir.

A.N. Cəfərova, A.Ə. Hadıyeva

QEYRİ TEMPERATUR SAHƏSİNDƏ MAYELƏRİN ÖZÜLÜLÜYÜ

Bu məqalədə qeyri-stasionar rejimdə, yəni birbaşa texnoloji əməliyyatların giriş və çıxış məlumatları əsasında yerinə yetirilməsi prosesində dinamik özlülüyün dəyişmə qanununu əldə olunmuşdur. Qeyri-stasionar və stasionar rejimdə özlülük arasında əlaqə quran düstur alınmışdır.

V.N. Cəfərova, V.K. Saricanova, M.A. Musayev

DEFEKT QURULUŞLU ZnSe BİRLƏŞMƏSİNİN ELEKTRON VƏ MAQNİT XASSƏLƏRİNİN TƏMƏL PRİNSİPLƏRDƏN HESABLANMASI

Defekt quruluşlu ZnSe 32- və 96-atom superözək sistemləri üçün elektron və maqnit xassələri təməl prinsiplərdən öyrənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, bir, iki və üç Zn vakansiyası tədqiq edilən ZnSe birləşməsinin $\sim 2 \mu_B$ tam maqnit momenti ilə maqnitlənməsinə səbəb olur və maqnitləşməyə əsas payı strukturun Se atomlarından verir. Hesablanmş elektron zona quruluşuna əsasən deyə bilərik ki, ZnSe superözəyi Zn vakansiyası halında yarımkeçiricilik xassəsi göstərir.

E.Ə. Məsimov, A.R.İmaməliyev, A.H.Əsədova

AQAROZA-SU SİSTEMİNDƏ ZOL-GEL FAZA KEÇİDİNİN ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİ METODU VASİTƏSİ İLƏ TƏDQİQİ

İşdə aqaroza-su sistemində zol-gel faza keçidini tədqiq etmək məqsədi ilə elektrik keçiriciliyi metodundan istifadə edilmişdir. Bu məqsədlə aqaroza-su sisteminin 0.1%; 0.3% və 1%-li məhlullarının keçiriciliyinin temperatur asılılığı, eləcə də həmin konsentrasiyalara hidrofob (izoamil spirti) və hidrofil (çaxır turşusunun Na duzu) təbiətli əlavələrin bu asıllılığa təsiri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, hidrofil təbiətli əlavə geli möhkəmləndirir və gelin geləmələgəlmə (T_g) və ərimə (T_a) temperaturlarını yuxariya doğru sürüşdürür. Hidrofob təbiətli əlavə (hidrofob izoamil spirti) isə əksinə geli zəiflədir, yəni geləmələgəlmə (T_g) və ərimə (T_a) temperaturlarını aşağıya doğru sürüşdürür.

İ.F. Yusibova, Ş.N.Əliyeva

MİS ƏVƏZLƏMƏLI Ni-Zn NANOFERRİTLƏRININ İQ-ANALİZİ

Metal oksid əsaslı nanokristal Ni_{0,4}Zn_{0,6-x}Cu_xFe₂O₄ (*x*=0-0,6) ferritləri yüksəktemperaturlu metod ilə sintez edilmişdir. IR tədqiqatlar metal ionların rəqslərinin yaratdığı və şpinel ferrit fazasının əmələ gəlməsini göstərən nəzərə çarpan zolaqların mövcudluğunu təsdiq etdi. Əvəz edilmiş elementin konsentrasiyası İQ spektrin uyğun xətlərində sürüşməyə səbəb olur.



MÜNDƏRİCAT

1.	Barium titanat hissəcikləri və olein turşusundan ibarət qarışığın volt-farad xarakteristikasının tədqiqi	
	A.R. İmaməliyev, G.F. Qənizadə	3
2.	Müxtəlif temperaturlarda və polyarlaşma gərginliklərində polipropilen əsaslı nanogil əlavə	
	edilmiş kompozitlərin elektret xassələri	
	M.A Musayev, A.Ə.Hadıyeva, A.N.Cəfərova	7
3.	CuGaS2 monokristalında kiçik ölçülü atom klasterlərinin diskret spektrləri	
	İ. Qasımoğlu, Q.S. Mehdiyev, H.M. Əsgərov	12
4.	Al/Fe ₃ O ₄ nazik təbəqəli sistemlərinin alınması və struktur tədqiqi	
	X.N. Əhmədova	19
5.	Neytron selinin təsiri altında bor karbid (B4C) nanohissəciklərində defekt hallarının tədqiqi	
	Jalə G. Atakişiyeva	24
6.	MnBi2Te4 kristallarında Raman aktiv tezliklərinin temperaturdan dəyişməsində istidən	
	genişlənmənin payı	
	Z.İ. Bədəlova, X.V. Əliquliyeva, A.X. Rzayeva, N.A. Abdullayev	28
7.	Nanoölçülü (Zn-Ni) ferritlərinin elektrik və maqnit xassələri	
	G.Z. İskəndərova, Ş.Ə. İbrahimova	30
8.	FİZİKA, vol. XXIX, Nº4, 2023, section: En buraxılışında dərc olunan məqalələrin qısa	
	xülasəsi	32



www.physics.gov.az