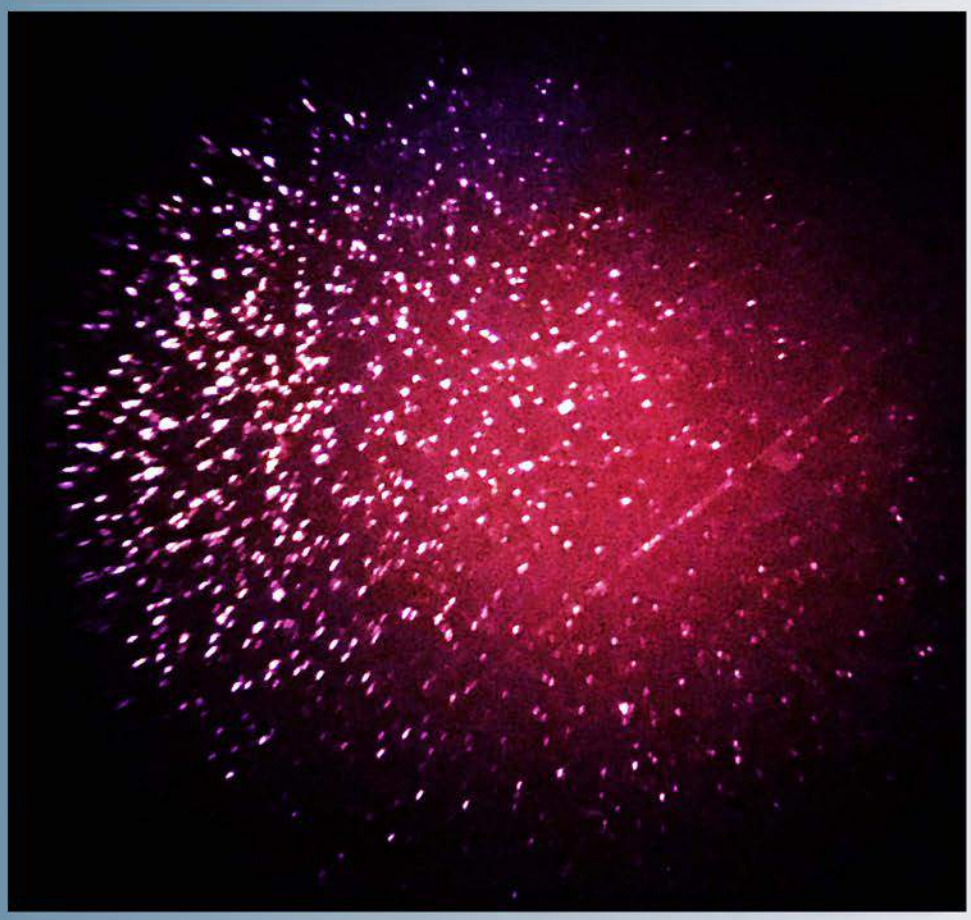
ISSN 1028-8546

Volume XXIV, Number 1
Section: Az
March, 2018

Azerbaijan Journal of Physics

Fizika



www.physics.gov.az

G.M. Abdullayev Institute of Physics
Azerbaijan National Academy of Sciences
Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences

Published from 1995
Ministry of Press and Information
of Azerbaijan Republic,
Registration number 402, 16.04.1997

ISSN 1028-8546
vol. XXIV, Number 01 2018
Series: Az

Azerbaijan Journal of Physics

FIZIKA

G.M.Abdullayev Institute of Physics
Azerbaijan National Academy of Sciences
Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences

HONORARY EDITORS

Arif PASHAYEV

EDITORS-IN-CHIEF

Nazim MAMEDOV Chingiz QAJAR

SENIOR EDITOR

Talat MEHDIYEV

INTERNATIONAL REVIEW BOARD

Ivan Scherbakov, Russia
Kerim Allahverdiyev, Azerbaijan
Mehmet Öndr Yetiş, Turkey
Gennadii Jablonskii, Buelorussia
Rafael Imamov, Russia
Vladimir Man'ko, Russia
Eldar Salayev, Azerbaijan
Dieter Hochheimer, USA
Victor L'vov, Israel
Vyacheslav Tuzlukov, South Korea
Majid Ebrahim-Zadeh, Spain
Firudin Hashimzadeh, Azerbaijan
Anatoly Boreysho, Russia
Mikhail Khalin, Russia
Hasan Bidadi, Tebriz, Iran
Natiq Atakishiyev, Mexico
Tayar Djafarov, Azerbaijan
Arif Hashimov, Azerbaijan
Javad Abdinov, Azerbaijan
Bagadur Tagiyev, Azerbaijan
Talat Mehdiyev, Azerbaijan
Vali Huseynov, Azerbaijan
Ayaz Baramov, Azerbaijan
Tofiq Mammadov, Azerbaijan
Salima Mehdiyeva, Azerbaijan
Shakir Nagiyev, Azerbaijan
Rauf Guseynov, Azerbaijan
Almuk Abbasov, Azerbaijan
Yusif Asadov, Azerbaijan

TECHNICAL EDITORIAL BOARD

Senior secretary Elmira Akhundova, Nazli Guseynova, Sakina Aliyeva,
Nigar Akhundova, Elshana Aleskerova, Rena Nayimbayeva

PUBLISHING OFFICE

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev 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:

Published at "**SƏRQ-QƏRB**"
17 Ashug Alessger str., Baku
Typographer : Aziz Gulaliyev

Sent for printing on: __.__. 201_
Printing approved on: __.__. 201_
Physical binding:_____
Number of copies:_____200
Order:_____

NANOKRİSTALLİK SİLİSİUM KARBİD (3C-SiC) HİSSƏCİKLƏRİNDƏ NEYTRON ZƏBTİNİN TƏDQİQİ

E.M. HÜSEYNOV
AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutu, AZ 1143, B.Vahabzadə 9, Bakı, Azərbaycan
Milli Nüvə Tədqiqatları Mərkəzi, AZ1073, İnşaatçilar pr., 4, Bakı, Azərbaycan
elchin.h@yahoo.com

Fərqli enerjilərdə neytronların nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində udulması kompüter modelləşməsi ilə öyrənilmişdir. Neytronların nanomaterialda udulması 3C-SiC hissəciklərini təşkil edən silisium və karbon atomları üçün ayrı-ayrılıqda tədqiq edilmişdir. Silisium və karbon atomlarının fərqli tip izotoplarında udulmanın effektiv en kəsiyi fərqli olduğundan, hər bir stabil izotop üçün modelləşmə ayrı-ayrılıqda aparılmışdır. Eyni zamanda, silisium və karbon atomları üçün neytron zəbtinin effektiv en kəsiyi spektrləri qarşılıqlı öyrənilmişdir.

Açar sözlər: nanokristallik 3C-SiC, neytron zəbti, effektiv en kəsiyi
PACS: 61.46.+w, 28.20.−v, 25.85.Ec, 28.20.Gd, 61.80.Hg

1. GİRİŞ.

Öz unikal xassələrinə görə son zamanlar nano SiC dünya tədqiqatçılarının diqqət mərkəzindədir [1-7]. Oksidləşmə dərəcəsinin aşağı olması və yüksək kimyəvi davamlılığı nano SiC-in nüvə və kosmik texnologiyalarda tətbiq imkanlarını artırmışdır. Elektronika və texnikanın müxtəlif sahələrində SiC-in müxtəlif politiplərindən geniş istifadə olunur [11-14]. SiC-in 200-dən çox politipi məlumdur ki, onlardan da bir neçəsi daha geniş yayılmışdır. Müxtəlif politiplər içərisində silisium karbidin elektronika sistemlərində ən çox tətbiq olunanları 3C-SiC, 4H-SiC və 6H-SiC modifikasiyalarıdır. Bunlardan isə, 6H modifikasiyasının daha geniş yayılmasına baxmayaraq, təcrübi və iqtisadi cəhətdən daha səmərəlisi 3C-SiC politipidir. Məhz bu səbəbdən, təqdim olunan işdə nanokristallik 3C-SiC hissəcikləri üzərində modelləşmə aparılmışdır. Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərini tətbiq edərkən müxtəlif üsullarla aşqarlamaq tələb olunur. Ümumi yanaşmada, nanomaterialları aşqarlamaq üçün dünyada ən dəqiq üsullardan biri neytron seli ilə aşqarlamadır. Belə ki, neytron seli ilə aşqarlanma ilə nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin fiziki xassələrini dəyişmək mümkündür [15-21].

Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin neytronlarla qarşılıqlı təsiri zamanı neytron zəbti hadisəsi çox mühüm əhəmiyyətə malikdir. Neytronlar yükə malik olmadıqları üçün, onlar proton və digər yüklü zərrəciklərlə müqayisədə nüvəyə daha asan nüfuz edir və orda zəbt oluna bilirlər. Neytronların nüvədə zəbti zamanı effektiv en kəsiyi çox mühüm rola malikdir və, adətən, çox kiçik olduğu üçün barnlarla ölçülür ($1b=10^{-28}m^2$). Adətən, udulmanın effektiv en kəsiyi hədəf nüvənin kütlə ədədi ilə yanaşı düşən neytronun enerjisindən də kəskin asılı olur. Digər tərəfdən, neytronların nüvələrdə zəbt olunması qarşılıqlı təsir müddətindən də asılı prosesdir. Bütün hallarda neytron selinin udulmasının effektiv en kəsiyi ehtimallı prosesdir və hər bir nüvə üçün individualdır. Təqdim olunan işdə neytron selinin nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində udulmasının effektiv en kəsiyi nəzərdən keçirilmişdir. Həmçinin silisium və karbon atomlarının fərqli tip izotoplarında udulmanın effektiv en kəsiyi fərqli olduğundan, hər bir stabil izotop üçün modelləşmə individual analiz edilmişdir.

2. NƏZƏRİ YANAŞMALAR.

Neytron zəbti ilə baş verən nüvə reaksiyaları, demək olar ki, bütün nüvələrdə orta enerjili termal neytronlarla müşahidə oluna bilən prosesdir. Enerjinin 4MeV–10MeV intervalında neytronların ekzotermik adsorbsiyası (Z, A) formulundan (Z, $A+1$) formuluna dəyişmə ilə nəticələnir. Bu halda ilkin nüvə üçün mərkəzi kütlənin kinetik enerjisi (E_n) ilə sükunət enerjisi (Q) fərqi yaranır və təyin oluna bilir. Eyni zamanda bu tip qarşılıqlı təsir proseslərində elektromaqnit emmisiyası (qamma şüalanma) müşahidə olunur. Neytron zəbti ilə baş verən nüvə reaksiyalarında qamma parçalanma ilə yanaşı, α və ya β parçalanmalar da müşahidə oluna bilər. Rezonans hallarda Breit-Wigner formulu ilə bucaq momenti (I) və spinə (J) əsasən zəbt olunmanın effektiv en kəsiyi aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər [22]:

$$\sigma_{\ell J} = \pi\lambda\!\!\!^{-2} g_J \frac{\sum_j \Gamma_{\lambda J(n\ell j)}\Gamma_{\lambda J(\gamma)}}{\left(E_\lambda - E\right)^2 + \left(\frac{\Gamma_{\lambda J}}{2}\right)^2} \qquad (1)$$

burada $g_J = 2J+1/2(2I+1)$, $j = \left|I \pm 1/2\right|$ və I ilkin halda hədəf nüvənin spinidir. $\Gamma_{\lambda J(n\ell j)}$ neytronların enerji aralığı, $\Gamma_{\lambda J(\gamma)}$ ümumi şüalanmanın enerji aralığıdır. Ümimi enerji aralığı aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$\Gamma_{\lambda J} = \sum_{\ell,j} \Gamma_{\lambda J(n\ell j)} + \sum_{n'\ell'j'} \Gamma_{\lambda J(n'\ell'j')} + \Gamma_{\lambda J(\gamma)} \qquad (2)$$

Neytronların enerji aralıqları onların enerjilərinin ədədi qiymətindən asılıdır. Aşağı enerji limitləri spin-dalğa (s-dalğa) rezonans halı üçün $\Gamma_n(E) = \Gamma_n(E_\lambda)\sqrt{E/E_\lambda}$, foton–dalğa ($p$-dalğa) rezonans halı üçün $\Gamma_n(E) = \Gamma_n(E_\lambda)\cdot\left(E/E_\lambda\right)^{3/2}$ kimi təyin olunur.

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

Aşağı enerji limiti $E\to 0$ halında *s*-dalğa rezonans halı üçün: $\sigma_{oJ}\infty 1/\sqrt{E}$

p-dalğa rezonans halı üçün: $\sigma_{1J}\infty\sqrt{E}$

Bir neçə rezonans hallar üçün (1) tənliyini aşağıdakı kimi yaza bilərik[22]:

$$\left\langle \sigma_{\ell J}\right\rangle = \pi^2 \lambda\!\!\!^{-2} g \frac{1}{D_{\lambda J}} \cdot \sum_j \left\langle \frac{\Gamma_{\lambda J(n\ell j)}\Gamma_{\lambda J(\gamma)}}{\Gamma_{\lambda J}} \right\rangle \qquad (3)$$

J və *l* – in bütün qiymətlərində $\left\langle \sigma_{\ell J}\right\rangle$ cəmlənməsi ümumi effektiv en kəsiyini ifadə edir. Ümumi yanaşmada, ortalama effektiv en kəsiyi (3) tənliyindən aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$\left\langle \sigma_{\ell J}\right\rangle = \pi^2 \lambda\!\!\!^{-2} g \sum_j \frac{\left\langle \Gamma_{\lambda J(n\ell j)}\right\rangle\left\langle \Gamma_{\lambda J(\gamma)}\right\rangle}{D_{\lambda J}\left\langle \Gamma_{\lambda J}\right\rangle} \cdot S\left(\alpha_{\ell j};\alpha_1,...\alpha_\mu\right) \qquad (4)$$

burada *S* ölçüsüz kəmiyyətdir və $\sigma_{\ell J} = \left\langle \Gamma_{\lambda J(\gamma)}\right\rangle / \left\langle \Gamma_{\lambda J(n\ell j)}\right\rangle$ ilə təyin olunur. Bir neytron halı üçün *S* faktoru Lan və Linn tərəfindən qiymətləndirilmişdir [23,24].

Orta effektiv en kəsiyi *J* və *l* -in cəmlənməsi ilə aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\left\langle \sigma(E)\right\rangle = \frac{\pi^2 \lambda\!\!\!^{-2}}{(2I+1)} \cdot \sum_{j=|I-1/2|}^{j=I+1/2} \sum_J (2J+1) \frac{\left\langle \Gamma_{\lambda J(\gamma)}\right\rangle}{D_{\lambda J}} \cdot \sum_{\ell=|J-j|}^{\ell=J+j} \frac{\left\langle \Gamma_{\lambda J(n\ell j)}\right\rangle / D_{\lambda J}}{\left\langle \Gamma_{\lambda J}\right\rangle / D_{\lambda J}} \cdot S \qquad (5)$$

Neytronların enerjisinin keV qiymətlərində $\Gamma_{\lambda n} >> \Gamma_{\lambda\gamma}$ və $\Gamma_{\lambda n} \approx \Gamma_\lambda$ olarsa,

$$\left\langle \sigma(E)\right\rangle \infty \sum_J (2J+1) S_{J\gamma}(E)$$

olar, burada $S_{J\gamma}(E) = \left\langle \Gamma_{\lambda J(\gamma)}\right\rangle / D_{\lambda J}$ spin halında (*J*) ümumi radioaktivliyə müqavimət funksiyasıdır. Neytron zəbtinin qismən dalğavari analizlərində orta effektiv en kəsiyi *p*-dalğalarda neytronların müqavimət funksiyası ilə izah oluna bilər. Lakin bu halda, ilk öncə *s*-dalğa müqaviməti və sıxlıq səviyyəsi qiymətləndirilməlidir. Ümumi yanaşmada hər iki hissəcik üçün sıxlıq səviyyəsi (2*J*+1) kəmiyyətindən asılıdır. Kiçik xətaları nəzərə almasaq, *p*-dalğa müqavimət funksiyasını enerji asılılıqları ilə ortaq müqavimət funksiyası ilə izah etmək olar. Neytronların zəbti zamanı fotonüvə adsorbsiyasını Lorens funksiyası kimi ifadə etmək olar:

$$\sigma_\gamma(E) = \frac{\sigma_0(E_G)(\Gamma_G E)^2}{\left(E^2 - E_G^2\right)^2 + \Gamma_G^2 E^2} \qquad (6)$$

burada

$$\sigma_0 = 4\pi \frac{e^2\hbar}{Mc}\left(\frac{NZ}{A}\right)\left(\frac{1+0.8x}{\Gamma_0}\right) \qquad (7)$$

kimi təyin olunur. Neytron zəbti zamanı astana enerjisinin qiyməti hesablanarkən, böyük elektrik-dipol rezonansı (giant electric dipole resonance – GDR) halı çox önəmlidir. Neytron zəbti zamanı GDR yaranması neytron zəbti prosesinə güclü təsir edir. GDR rezonans bölgəsi Axel tərəfindən semiklassik yanaşma ilə öyrənilmişdir [25]. Sadə enerji yanaşması ilə, (6) tənliyindən alırıq:

$$\sigma(E = 7MeV) = 5.2\times 10^{-3}\left(\frac{E_\gamma}{7MeV}\right)^5 \cdot \left(\frac{A}{100}\right)^{8/3} \cdot \left(\frac{\Gamma_G}{5MeV}\right) barn \qquad (8)$$

Proses zamanı şüalanmaya müqavimət funksiyası aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər [22]:

$$\frac{\Gamma_{\gamma\mu}(E_\gamma, J_\mu)}{D(J_\mu)} = \left(\frac{4}{3\pi}\right)\left(\frac{e^2}{\hbar c}\right)\left(\frac{1}{Mc^2}\right)\left(\frac{NZ}{A}\right)(1+0.8x)\frac{\Gamma_G E_\gamma^4}{\left(E_\gamma^2 - E_G^2\right)^2 + \Gamma_G^2 E_\gamma^2} \qquad (9)$$

$E_\gamma \approx 7MeV$ qəbul etsək, Axel yanaşması ilə alarıq [22, 25]:

$$\frac{\Gamma_{\gamma\mu}}{D}(\approx 7MeV, J_\mu) = 2.2\times 10^{-5}\left(\frac{E_\gamma}{7MeV}\right)^5\left(\frac{A}{100}\right)^{8/3}\left(\frac{\Gamma_G}{5MeV}\right) \qquad (10)$$

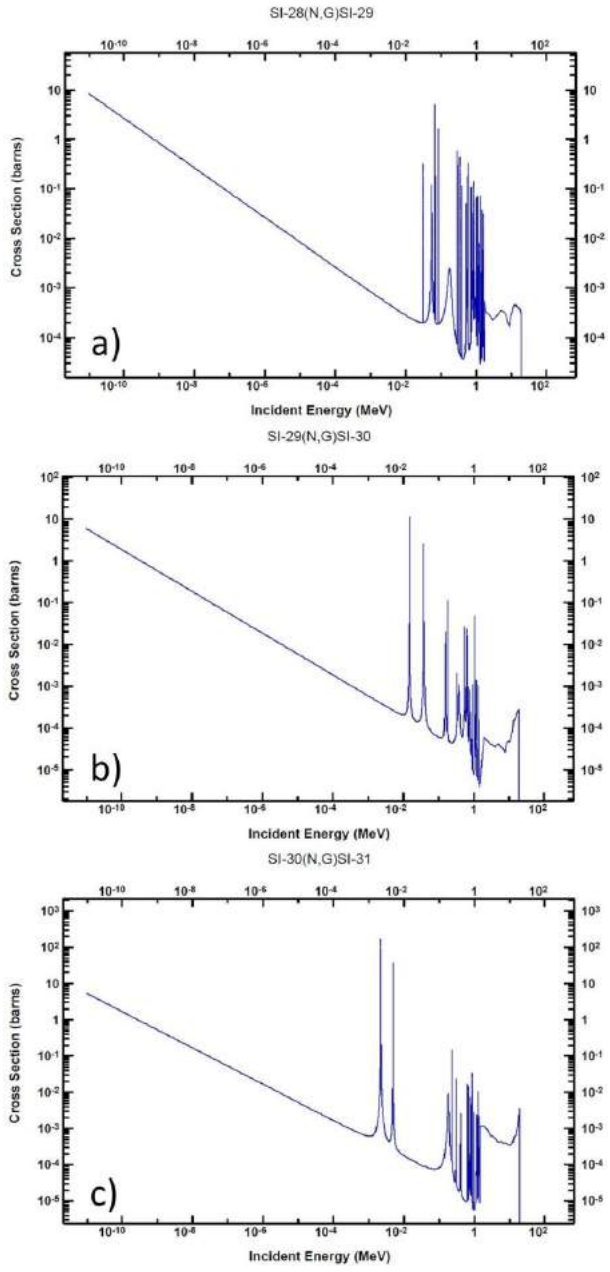
Alınmış nəticələr, adətən, bir hissəcik halı ilə müqaisə olunur:

$$\frac{\Gamma_{\gamma\mu}}{D} = c\left(\frac{E_\gamma}{7MeV}\right)^3\left(\frac{A}{100}\right)^{2/3} \tag{11}$$

Neytron zəbti zamanı GDR nəzərə alınaraq, şülanmanın orta enerji aralığı aşağıdakı kimi hesablana bilər [22]:

$$\left\langle\Gamma_\gamma\right\rangle(J) = \sum_\mu \left\langle\Gamma_{\gamma\mu}\right\rangle = \sum_{I=|J-1|}^{J+1}\int_0^{E_c}\rho\left[\left(E_c - E_\gamma\right), I\right]\left\langle\Gamma\right\rangle_{\gamma\mu}\left(E_\gamma, J\right)dE_\gamma = \frac{4}{3\pi}\left(\frac{NZ}{A}\right)\left(\frac{e^2}{\hbar c}\right)\left(\frac{1+0.8x}{Mc^2}\right)$$
$$I = \sum_{I=|J-1|}^{J+1}\int_0^{\infty}\frac{\rho\left(E_c - E_\gamma, I\right)}{\rho\left(E_c, J\right)}\cdot\frac{\Gamma_G E_\gamma^4}{\left(E_\gamma^2 - E_G^2\right)^2 + \Gamma_G^2 E_\gamma^2}dE_\gamma \tag{12}$$

3. NƏTİCƏ VƏ MÜZAKİRƏLƏR.

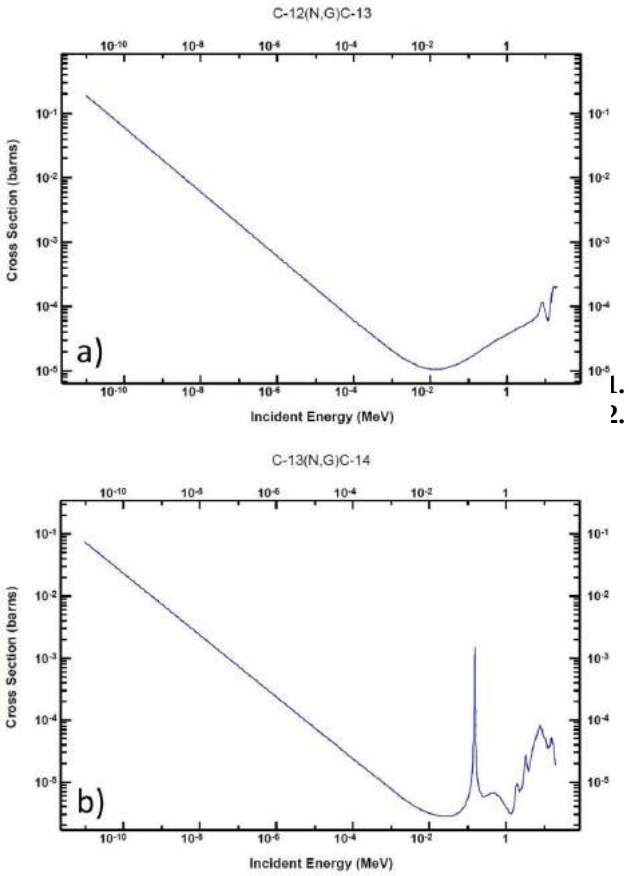


Şəkil 1. Neytron selinin silisium fərqli stabil izotoplarında zəbtinin effektiv en kəsiyi spektrləri.

Fərqli enerjilərdə neytron selinin nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində udulması NNDC (National Nuclear Data Center) bazasından və ENDF (Evaluated Nuclear Data File) sistemlərindən istifadə olunaraq kompüter modelləşməsi ilə öyrənilmişdir. Neytron selinin nanomaterialda zəbt olunması 3C-SiC hissəciklərini təşkil edən silisium və karbon atomları üçün ayrı-ayrılıqda öyrənilmişdir. Məlum olduğu kimi, silisiumun üç (təbii tərkib 92.23% ^{28}Si, 4.67% ^{29}Si və 3.1% ^{30}Si izotopu) və karbonun iki (təbii tərkib 98.93% ^{12}C və 1.07% ^{13}C izotopu) stabil izotopu mövcuddur. Silisium və karbon atomlarının fərqli tip izotoplarında udulmanın effektiv en kəsiyi fərqli olduğundan, hər bir stabil izotop üçün modelləşmə ayrı-ayrılıqda aparılmışdır. İlk olaraq silisium izotopları üçün udulmanın effektiv en kəsiyini nəzərdən keçirək (şəkil 1). Şəkildən göründüyü kimi, ^{28}Si izotopu üçün udulmanın effektiv en kəsiyində, enerjinin 10^{-2}~10MeV aralıqlarında rezonans hal müşahidə olunur (şəkil 1a).

Resonans halının enerjinin təqribən 1MeV ətrafında olması onu deməyə əsas verir ki, bu enerjilərdə neytron seli ^{28}Si izotopunda daha çox udulma ehtimalına malikdir. Silisiumun digər stabil izotoplarında (^{29}Si və ^{30}Si) da rezonans hal enerjinin təqribən 1MeV ətrafında baş verir (şəkil 1b, 1c). Lakin neytron selinin udulma spektrlərindən göründüyü kimi, silisiumun stabil izotoplarının kütlə ədədinin artması ilə, udulma spektrində müşahidə olunan rezonans hallar enerjinin azalması istiqamətində sürüşür. Başqa sözlə, əgər ^{28}Si izotopunda udulma spektrində müşahidə olunan rezonans halın minimal enerjisi təqribən $5\cdot10^{-2}$ MeV qiymətinə uyğun gəlirsə, ^{29}Si və ^{30}Si izotoplarında bu qiymət, uyğun olaraq, 10^{-2} MeV və 10^{-3} MeV kimidir. Bu isə onu göstərir ki, silisium izotopunun kütlə ədədinin artması ilə daha aşağı enerjilərdə rezonans halların baş verməsi mümkündür. Qeyd edək ki, digər stabil silisium izotoplarından fərqli olaraq ^{30}Si izotopunda baş verən udulma spektri rezonansı çox böyük praktik əhəmiyyətə malikdir. Belə ki, neytron transmutasion hadisəsinin baş verməsi üçün ^{30}Si izotopu həlledicidir. ^{30}Si izotopunda neytronlar zəbt olunaraq ^{31}Si izotopuna çevrilir. Sonradan ^{31}Si izotopu β-parçalanma ilə ^{31}P izotopuna çerilir və nanokriostallik 3C-SiC hissəciklərinin fiziki xassələrində köklü dəyişikliklərə səbəb olur [15-21]. Belə ki, ^{31}P izotopu nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində *p*-tip aşqar olur və onun konsentrasiyası elektronika sistemlərində çox mühüm praktiki əhəmiyyətə malikdir [26,27]. Digər tərəfdən, təqdim olunan nanokristallik 3C-SiC

hissəciklərində neytronlarla qarşılıqlı təsir nəticəsində karbon atomlarında da neytron zəbtinin araşdırılması çox mühümdür. ^{12}C və ^{13}C stabil izotoplarda neytron selinin zəbtinin effektiv en kəsikləri fərqlidir (şəkil 2).



Şəkil 2. Neytron selinin karbonun fərqli stabil izotoplarında zəbtinin effektiv en kəsiyi spektrləri.

Neytron selinin ^{12}C izotopları ilə qarşılıqlı təsiri zamanı demək olar ki, göstərilən enerji aralıqlarında rezonans hal müşahidə olunmur (şəkil 2a). Lakin ^{13}C izotopunda enerjinin təqribən 10^{-1}MeV qiyməti ətrafında rezonans hal müşahidə olunur (şəkil 2b). Bu isə onu deməyə əsas verir ki, nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində 0.1MeV enerjili neytronların zəbti nəticəsində ^{14}C izotoplarının konsentrasiyası arta bilər. ^{14}C izotopu isə β-aktiv izotop olub, müəyyən vaxt keçdikdən sonra ^{14}N izotopuna çevrilir. Lakin, ^{13}C izotopunun konsentrasiyasının az olması və digər proseslərlə müqayisədə ^{14}C izotopunun alınma ehtimalının aşağı olması, aparılan eksperimentlərdə bu proseslərin nəzərə alınmaması ilə nəticələnir. Belə ki, şəkil 1 və 2-nin müqayisəsindən görünür ki, Si izotopları üçün neytron zəbtinin effektiv en kəsiyi C atomları ilə müqayisədə təqribən 10^3 dəfə çoxdur.

NƏTİCƏLƏR

Kompüter modelləşməsindən, nanokristallik 3C-SiC hissəciklərini təşkil edən müxtəlif silisium və karbon izotoplarında neytron selinin zəbtinin effektiv en kəsiyinin ədədi qiymətinin fərqli olması məlum olmuşdur.^{28}Si, ^{29}Si və ^{30}Si izotoplarında udulma spektrlərində müşahidə olunan rezonans halların minimal enerjisi, uyğun olaraq, təqribən $5\cdot10^{-2}$ MeV, 10^{-2} MeV və 10^{-3} MeV kimi tapılmışdır. ^{30}Si izotopunda neytronların enerjisinin 10^{-3}MeV qiymətindən başlayan neytron zəbti nəticəsində nanokristallik 3C-SiC hissəcikləri neytron seli ilə ^{31}P izotopu ilə aşqarlana bilir. Silisium izotopları ilə yanaşı, ^{12}C və ^{13}C izotoplarında da neytron zəbti nəzərdən keçirilmiş və məlum olmuşdur ki, yalnız ^{13}C izotopunda enerjinin təqribən 10^{-1}MeV qiyməti ətrafında rezonans hal mövcuddur. Qarşılıqlı analizlərdən məlum olmuşdur ki, Si stabil izotopları üçün neytron zəptinin effektiv en kəsiyi C stabil izotopları ilə müqayisədə təqribən 10^3 dəfə çoxdur.

[1] *Gaurav Bajpai, Rajesh Purohit, R.S.Rana, Saurabh Singh Rajpurohit, Ajeet Rana*. "Investigation and Testing of Mechanical Properties of Al-Nano SiC Composites through Cold Isostatic Compaction Process" Materials Today: Proceedings 4, 2, 2017, A, 2723-2732.

[2] *Yigang Chen, Fang Wang, Yingjie Jia, Nan Yang, Xianming Zhang.* Bioresource Technology, 2017 226, 145-149.

[3] *S. X. Dou, O. Shcherbakova, W. K. Yeoh, J. H. Kim, S. Soltanian, X. L. Wang, C. Senatore, R. Flukiger, M. Dhalle, O. Husnjak, and E. Babic*. Phys. Rev. Lett., 2007, 98, 097002.

[4] A.Nawaz, W.G.Mao, C.Lu, Y.G.Shen. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. 2017, 66, 172-180.

[5] *Lukasz Rogal, Damian Kalita, Anna Tarasek, Piotr Bobrowski, Frank Czerwinski*. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 708, 344-352.

[6] *S. Soltanian, M. J. Qin, S. Keshavarzi, X. L. Wang, and S. X. Dou.* Phys. Rev., 2003, B 68, 134509.

[7] *Bola Yoon, Sea-Hoon Lee, Hee Soo Lee*. Ceramics International, 2017, 43, 1, A, 12-19.

[8] *I. G. Ivanov, A. Stelmach, M. Kleverman and E. Janzén*. Phys. Rev., 2006, B 73, 045205.

[9] *S. Lebegue, B. Arnaud, M. Alouani, and P. E. Bloechl.* Phys. Rev. B 67, 155208, 2003

[10] Ralf Falgenhauer, Patrick Rambacher, Lorenz Schlier et. Al. 112, 1557-1565, 2017

[11] *Qian Xun, Boyang Xun, Zuxin Li et.al.* "Application of SiC power electronic devices in secondary power source for aircraft" Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017, 70, 1336-1342, 2017

[12] *Meng Zhang* . Journal of Physics and Chemistry of Solids, 2017, 103, 1-5.

[13] *S. H. Rhim, Y. Qi, G. F. Sun, Y. Liu, M. Weinert, and L. Li.* Phys. Rev., 2011, B 84, 125425.

[14] *W.G. Mao, J. Chen, M.S. Si et. al*. Materials Science and Engineering: 2016, A 665, 26–34.

[15] *Elchin Huseynov.* Physics Letters A, 2016, 380/38, 3086-3091.

[16] *Elchin Huseynov, Anze Jazbec*. Physica B: Condensed Matter., 2017, 517, 30-34.

[17] *Elchin M. Huseynov*. 2017, 12, No. 6, 1750068.

[18] *Elchin M. Huseynov* "Neutron irradiation effects on the temperature dependencies of electrical conductivity of silicon carbide (3C-SiC) nanoparticles" Silicon, 2017.
[19] Elchin M. Huseynov. Physica B: Condensed Matter 510, 99-103, 2017.
[20] *Elchin Huseynov, Adil Garibov*. "Effects of neutron flux on the temperature dependencies of permittivity of 3C-SiC nanoparticles" Silicon 9/5, 753-759, 2017.
[21] *E.M. Huseynov*. Azerbaijan Journal of Physics, 2017, 23, 2, 24-32.
[22] *B. J. Allen, I. Bergqvist, R. E. Chrien, D. Gardner, W. P. Poenitz*."Neutron radiative capture (Neutron physics and nuclear data in science and technology; v.3), Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford OX3 OBW, England, 1984, p. 278.
[23] *A.M.Lane and J.E.Lynn*. Proc. Phys. Soc. 1957, A 70, 557.
[24] *S.F.Mughabghab* Physics Letters B, 1979, 81, 2, 93-97.
[25] Peter Axel. Phys. Rev., 1962, 126, 671.
[26] *Lance L.Snead, Takashi Nozawa, Yutai Katoh, Thak-Sang Byun, Sosuke Kondo, David A.Petti.* Journal of Nuclear Materials, 2007, 371, 1-3, 329-377.
[27] *Lance L. Snead, Yutai Katoh, Takaaki Koyanagi, Kurt Terrani, Eliot D. Specht.* Journal of Nuclear Materials, 2016, 471, 92-96.

E.M. Huseynov

NEUTRON CAPTURE INVESTIGATION OF NANOCRYSTALLINE SILICON CARBIDE (3C-SiC) PARTICLES

Neutron capture in the nanocrystalline 3C-SiC particles at the different energies has been studied by computer modeling.Neutron capture have been investigated separately for silicon and carbon atoms in the 3C-SiC particles. Modeling have been carried out separately for individual isotopes because of dissimilar absorption cross-section for various stable isotope of silicon and carbon atoms. Comparative absorption cross-section for the silicon and carbon atoms have been investigated simultaneously.

Э.М. Гусейнов

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННОГО ЗАХВАТА ЧАСТИЦ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ (3C-SiC)

Нейтронный захват в нанокристаллических частицах 3C-SiC изучался компьютерным моделированием при различных энергиях. Нейтронный захват исследовался отдельно для атомов кремния и углерода в 3C-SiC-частицах. Из-за разнородного поперечного сечения поглощения для различных стабильных изотопов кремния и атомов углерода моделирование проводилось отдельно для отдельных изотопов. Одновременно было исследовано сравнительное поперечное сечение поглощения для атомов кремния и углерода.

Qəbul olunma tarixi: 27.11.2017

YÖNƏLDİCİ SAHƏNİN, SƏRT ELEKTROMAQNİT ŞÜALANMASININ, TƏZYİQİN VƏ İŞIĞIN İNTENSİVLİYİNİN ZnSe MONOKRİSTALININ ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNƏ TƏSİRİ

İ. QASIMOĞLU, Ş.Q. QASIMOV, H.M. ƏSGƏROV, Ə.M. ƏLƏSGƏROV, N.V. MAHMUDOVA

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Bakı, Az 1143, H.Cavid, 131

E-mail: gasimoğlu@yahoo.com

ZnSe monokristalına, yönəldici sahənin, sərt elektromaqnit şüalanmasının, təzyiqin, işığın intensivliyinin təsirindən sonra, keçiriciliyin qiyməti artmışdır. Bunun, bütün hallarda, yaranan donor, akseptor ionlarının, vahid həcmə düşən sayının artması hesabına olduğu bildirilir. Akseptorların ionlaşma enerjisinin qiyməti, hesablanmışdır [10]: E_2=0,17eV, E_3=1,35eV.

Açar sözlər: monokristal, yönəldici sahə, radiasiya, təzyiq, intensivlik.
Pacs: 61.80.Ed

ZnSe monokristalı $A^{II}B^{VI}$ yarımkeçirici birləşmələr qrupuna daxildir [1]. Qaz daşıyıcıları üsulu ilə alınmışdır, fəza simmetriya qrupu ($\bar{4}$3m)-dir. Nümunənin otaq temperaturundakı müqaviməti R=10^9 Om-dur, sarı rəngdədir, işığa həssasdır. Elektirik hərəkət qüvvəsininn işarəsinə görə keçiriciliyin n-tip olduğu müəyyən olunmuşdur.

MÖVZUNUN AKTUALLIĞI.

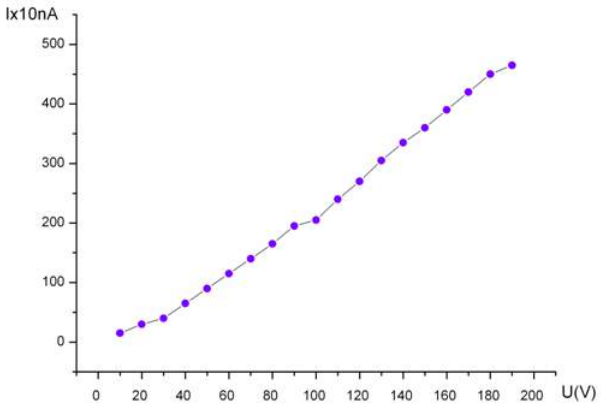
ZnSe monokristalı yarımkeçirici elektronikada geniş tədbiq olunur [2]. Bağlı zonanın enerjisinin böyük qiymətə malik olması, həmin materialdan hazırlanan elektron cihazların yüksək temperatur intervalında işləməsini təmin etmiş olur. Radiasiyadan və digər təsirlərdən sonra yaranan noqtəvi defektlər ZnSe-in fiziki xassələrini kəskin dəyişdirir. Bu dəyişmə bərabər paylanan və idarə olunan defektlər hesabına olur. Yüksək keyfiyyətli elektron cihazların hazırlanması defektlərin düzgün idarə olunmasından asılıdır.

MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU.

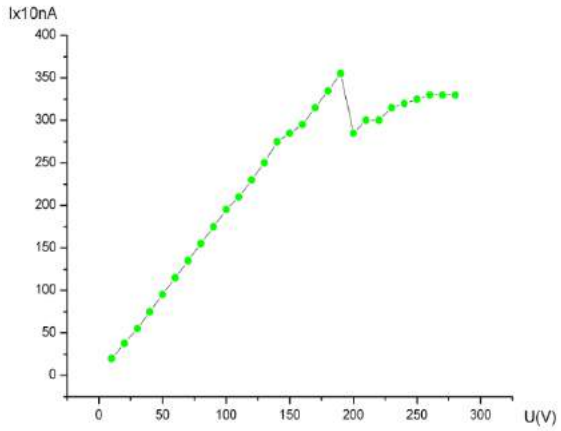
Yönəldici sahənin, γ-radiyasiyanın, təzyiqin və işığın intensivliyinin təsirindən sonra yaranan nöqtəvi defektlərin ZnSe monokristalının elektrofiziki xassələrinə təsir etməsi, bizə imkan verir ki, radiasiyaya, təzyiqə davamlı olan, yüksək enerjili zərrəcikləri qəbul edən γ-detektorların hazırlanması üçün fiziki parametrləri təcrübə yolu ilə müəyyənləşdirək, tədbiqinin mümkünlüyü üçün təkliflər irəli sürək.

TƏCRÜBƏNİN APARILMASI.

Ölçmələr otaq temperaturunda aparılmışdır. Kiçik gərginliklər üçün 0,1V, böyük gərginliklər üçün 10V-dan bir, cərəyanın qiyməti qeyd edilmişdir.Təcrübələr geniş elektrik sahəsi intervalını əhatə edir (0,0001-300V). ZnSe təmiz monokristalının volt-amper xarakteristikasında, normal xətti asılılığı müşahidə edirik (şəkil 1). γ-radiasiyadan sonra (E=5000 Qrey) spektr formasını dəyişmişdir (şəkil 2). İkinci dozadan sonra (E=10000 Qrey) pilləyəbənzər spektr alınmışdır (şəkil 3). Üçüncü dozadan sonra doyma halını müşahidə edirik (şəkil 4). Yönəldici sahənin, γ-radiasiyanın, təzyiqin (şəkil 5), işığın intensivliyinin (şəkil 6) təsirlərindən sonra, bütün hallarda keçiriciliyin qiymətinin artdığını görürük. Təcrübənin metodikası, ilkin və təsirdən sonrakı kristalların çəkilmiş spektrlərinin müqayisəsi üsuluna əsaslanmışdır. Ayrı-ayrılıqda aparılan hər bir təcrübə zamanı, çəkilən iyirmi qrafikdən biri seçilmişdir.

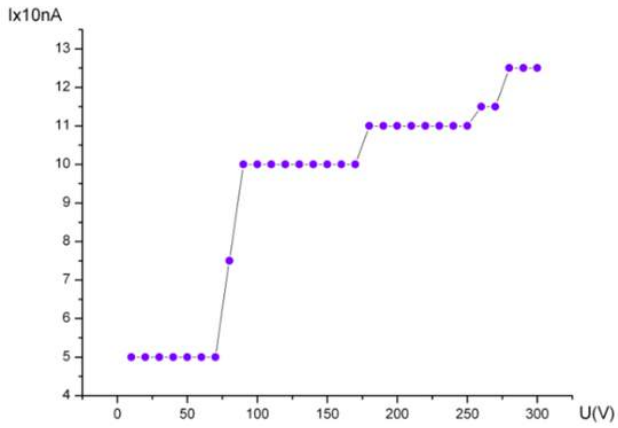


Şəkil 1. T=300K, ZnSe monokristalının Volt-Amper xarakteristikası.

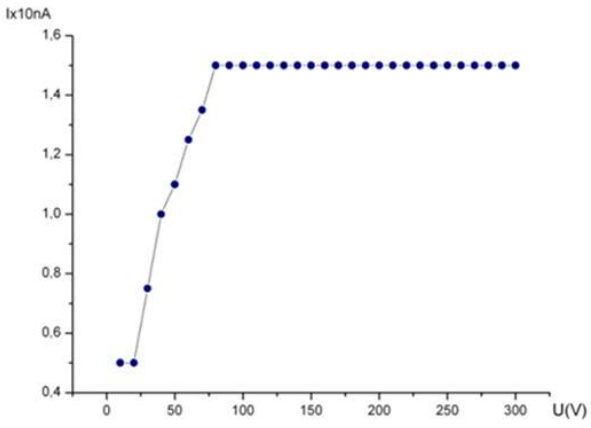


Şəkil 2. T=300K, 5000 Qrey γ- dozadan sonra ZnSe monokristalının Volt-Amper xarakteristikası.

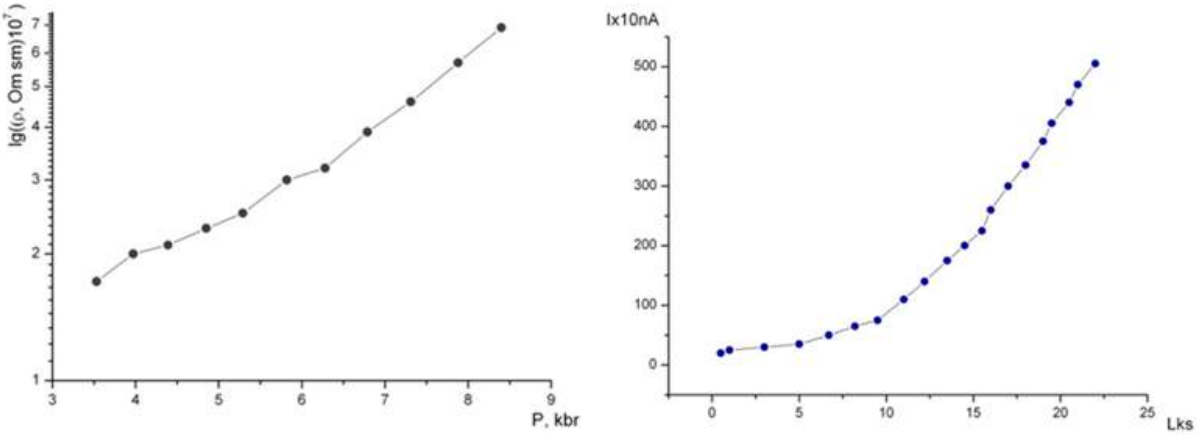
131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com



Şəkil3. T=300K, 10000 Qrey γ-dozadan sonra ZnSe monokristalının Volt-Amper xarakteristikası



Şəkil 4. T=300K, 50000 Qrey γ-dozadan sonra ZnSe monokristalının Volt-Amper xarakteristikası.



Şəkil 5. T=300K, Yarımloqarifmik masştabda xüsusi müqavimətin təzyiqdən asılılığı.

ALINAN NƏTİCƏLƏRİN TƏHLİLİ.

Volt-Amper xarakteristikasını ifadə edən spektrdə tunel perexodunun müşahidə olunması, radiasiyanın və yönəldici sahənin hesabına olur. Bu təsirdən sonra yükdaşıyıcıların konsentrasiyasında artım müşahidə olunur. Həmçinin qamma radiasiyadan, təzyiqdən, işığın intensivliyinin təsirindən sonra da həmin halla rastlaşırıq. Radiasiyanın və təzyiqin təsirindən sonra donor-akseptorların konsentrasiyası kəskin artır. Yaranan akseptorların ionlaşma enerjisi ZnSe monokristalı üçün, tərəfimizdən fotokeçiriciliyin spektrindən müəyyən olunmuşdur [10]. Bu qiymətlər E_2=0,17eV, E_3=1,35eV-dur. Noqtəvi defektlərin vahid həcmə düşən sayının artması donor ionlarının boş zona ilə, akçeptor ionlarının dolu zona ilə birləşməsinə səbəb olur, bu isə bağlı zonanın daralması deməkdir. Ona görə də çəpərin hündürlüyü azaldığından tunel keçidi baş verir. γ - radiasiyanın dozasını artırdıqdan sonra, doyma halını müşahidə edirik ki, bu parametr elmi ədəbiyyatda "işçi sahə" adlanır və dəqiq cihazqayırmada xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Təzyiqin qiymətini artırarkən keçiriciliyin qiymətinin artdığını, eyni ilə, işığın intensivliyinin qiymətini artırdıqdan sonra isə, cərəyanın qiymətində kvadratik artımın şahidi oluruq. Doymanı ifadə edən xətti spektrdən, istifadə edərək, donor-akseptorların vahid həcmə düşən sayını müəyyənləşdirmək mümkündür. Xətti spektrdən tapılan doyma cərəyanının qiyməti, yaranan elektron-deşiklərin sayı ilə ekvivalentdir [3]. Təzyiqdən sonra xüsusi müqavimətin qiymətinin dəyişməsi, iki sınıq xətlə ifadə olunmuşdur. Spektri ifadə edən əyrinin birinci hissəsi tədricən artırsa, ikinci hissədə kvadratik artım müşahidə edirik. Kvadratik artım onunla ələqədardır ki, əgər kiçik təzyiqlərdə keçiricilik sərbəst yükdaşıyıcıların hesabına baş verirdisə, təzyiqin böyük qiymətlərində yaranan donor, akseptor ionlarının vahid həcmə düşən sayının artması ilə bağlı zonanın enini azaldır. Yaranan əlavə yükdaşıyıcılar əks elektroda daha tez çatır və keçiriciliyin qiyməti kəskin artır.

YEKUN NƏTİCƏ.

Aparılan təcrübələri nəzərdən keçirdikdən sonra, yekun nəticəyə gəlib deyə bilərik ki, bütün hallarda, keçiriciliyin qiyməti artmışdır. Yönəldici sahənin, radiasiyanın, təzyiqin və işığın intensivliyinin təsirindən sonra, donor və akseptor tipli noqtəvi defektlərin sayı artır, ancaq nümunə *n*-tip olduğundan, rekombinasiyadan sonra donor ionlarının vahid həcmə düşən sayı çox qaldığına görə Fermi səviyyəsi yuxarıya qalxır. Bu səbəbdən də keçiriciliyin qiyməti artmış olur.

[1] Физика и химия соединений $A^{II}B^{VI}$ М.1970, 624 с.
[2] *I. Qasımoğlu, Q.S. Mehtiyev, Z. Qədiroğlu, Ə.M.Ələsgərov, İ.A. Məmmədova, N.V. Mahmudova*. AJP, Fizika 2017 v. XXIII, n. 2, section: Az, p. 10-14.
[3] *Я.А. Федотов.* Основы Физики полупроводниковых приборов. М. 1964, 650 с.
[4] *İ. Qasımoğlu.* Fizika 2014, v. XX, n. 3, section: Az, p. 23-25.
[5] *Ч. Уэрт, Р.Томсон.* Физика твердого тела. М. 1966, 562 с.
[6] *Ю.И. Равич, Б.А. Ефимова, И.А. Смирнов*. Методы исследования полупроводников в применении к халкогенидам свинца PbTe, PbSe и PbS. М.1968. 380 с.
[7] *С.М. Рывкин.* Фотоэлектрические явления в полупроводниках М.1963, 494 с.
[8] *С.Н. Левин.* Основы полупроводниковой микроелектроники. М.1966, 242 с.
[9] *В.С. Вавилов.* Действие излучений на полупроводники. М.1963, 264 с.
[10] *İ. Qasımığlu, Ə.M. Ələsgərov, C.T. Hüseynov, İ.A. Məmmədova, Q.S. Mehdiyev, Ə.H. Bağırov, Z.Qədiroğlu.* vol. XXII, 2016, n.1, sektion: Az, 15-17 c.
[11] *Е.Р.Мустель, В.Н.Парыгин.* Методы модуляции и сканирования света. М.1970, 295 с.
[12] *Ю.К. Шалабутов*. Введение в физику полупроводников. Ленинград 1969, 290 с.
[13] *В.Я. Дегода, Г.П. Подист*. ФТП, 2016, том 50, вып. 5, с. 589-995.

İ.Qasımoğlu, Ş.Q.Qasımov, H.M.Əsgərov, Ə.M.Ələsgərov, N.V.Mahmudova

THE ACTIONS OF THE POLARIZING FIELD, THE STIFF ELECTROMAGNETIC RADIATION, THE PRESSURE AND THE LIGHT INTENSITY ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF ZnSe SINGLE CRYSTALS

The action of a polarizing field, hard electromagnetic radiation, pressure and light intensity on the electrical conductivity of ZnSe single crystals are investigated. Experiments have shown that the increase in electrical conductivity is justified, the increase in the concentration of donar and acceptor ions after the action. The ionization energy of the acceptor levels is determined (0.17-1.35eV).

İ. Qasımoğlu, Ş.Q. Qasımov, H.M. Əsgərov, Ə.M. Ələsgərov, N.V. Mahmudova

ДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРИЗУЮШЕГО ПОЛЯ, ЖЕСТГОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ДАВЛЕНИЯ И ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ ZnSe.

Исследованы действия поляризующего поля, жесткого электромагнитного излучения, давления и интенсивности света на электропроводность монокристаллов ZnSe. Эксперименты подтвердили, что возрастания электропроводности обоснованы, увеличение концентрации донорных и акцепторных ионов после действия. Определены энергия ионизации акцепторных уровней (0,17-1,35eV).

Qəbul olunma tarixi: 08.12.2017

Ge_{1-x}-Si_x BƏRK MƏHLULLARININ MONOKRİSTALLARININ QAZ FAZADAN ALINMASI

NADİR FƏRRUX oğlu QƏHRƏMANOV
Bakı Dövlət Universiteti, Azərbaycan,AZ-1148, Z.Xəlilov küç., 23.

AYNUR İXTİYAR qızı HƏŞİMOVA
Sumqayıt Dövlət Universiteti
AZ-5008, Sumqayıt şəh., Bakı küç., 1.
e-mail: hasimovaaynur@gmail.com

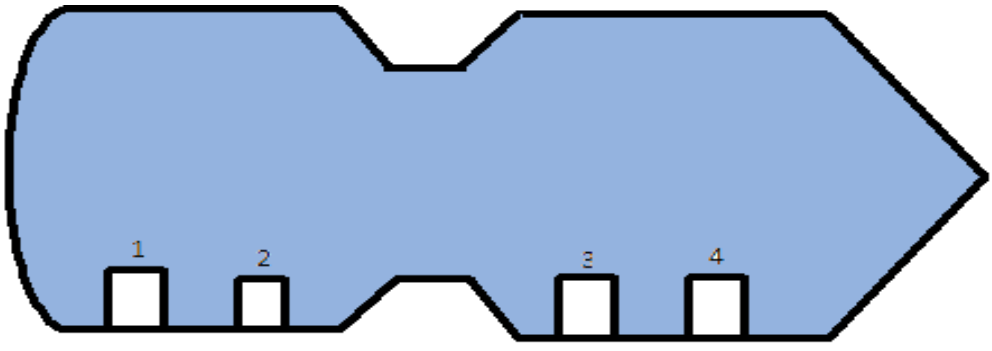
İşdə $Ge_{1-x}Si_x$ bərk məhlullarının monokristallarının qaz fazadan alınması bir-birindən fərqlənən iki variantda həyata keçirilir. Burada buxar faza qapalı həcmdə yaradılır. Bunun üçün xüsusi ampula düzəldilir. Ampulanın bir ucunun yaxınlığında Ge-Si yerləşdilir. Ampula boyunca temperatur qradiyenti yaradılır. İsti zonanın temperaturu 1050°C, soyuq zonanın temperaturu 355°C-ə bərabər seçilir. Müəyyən edilmişdir ki, monokristallar təkcə polikristal təbəqənin üzərində deyil, ampulanın divarlarında ayrı-ayrı mərkəzlərdən də yarana bilər.

Açar sözlər: Ge-Si monokristalı, ampula, bərk məhlul, isti zona.
PACS: 81.05.-t, 78.20.-e 81.05.Hd

Ge_{1-x}-Si_x bərk məhullarının monokristallarının ərintidən alınmasında qarşıya çıxan çətinlikləri nəzərə alaraq, onları qaz fazadan yetişdirməyə üstünlük verilmiş və bu sahədə müəyyən uğurlar da əldə edilmişdir.

Bu işlərdə Ge_{1-x}-Si_x bərk məhullarının alınması bir-birindən fərqlənən iki variantda həyata keçirilir. Burada buxar faza qapalı həcmdə yaradılır. Bunun üçün xüsusi ampula düzəldilir. Onun uzunluğu 140 mm, diametri isə 16 mm-ə bərabər götürülür. Ampulanın bir ucunun yaxınlığında Ge, Si və Br mənbəyi yerləşdirilir. Onların miqdarı uyğun olaraq belə seçilir: 2q Ge, 1q Si və 140mq Br. Ampula boyunca temperatur qradiyenti yaradılır. Ampulanın temperaturu çox olan hissəsi "isti zona", temperaturu az olan hissəsi isə "soyuq zona" adlandırılır. İsti zonanın temperaturu 1050°S, soyuq zonanın temperaturu 355°S-ə bərabər seçilir. Bu şərait 18,2 saat müddətində dəyişməz saxlanılır. Bu müddət sona çatdıqda sistemdə qızdırıcı söndürülür.

İsti zonada Ge, Si və Br buxarlanır. Onlardan ən çox buxar təzyiqi olan Br-dur. Buxar fazada germanium bromid və silisium bromid birləşmələri yaranır. Onlar diffuziya nəticəsində soyuq oblasta köçür və soyuq zonada parçalanaraq ampulanın divarlarında çökürlər. Bunun nəticəsində soyuq zonada Ge_{1-x}-Si_x bərk məhullarının iynə və sap şəkilli monokristalları yaranır [1]. Onların uzunluğu 1÷10 mm, diametri isə 30÷500 mkm intervalında dəyişir. Monokristallar boyunca tərkibin dəyişməsi optik spektroskopiya üsulu ilə təyin edilir və 0,01at.%-i dəqiqliyi ilə sabit qalır. Ancaq bu cür bircins monokristallar yalnız yuxarıda verilmiş temperatur rejimində əldə edilə bilir. Başqa rejimlərdə bu bircinslilik dərəcəsi pozulur. Məsələn, isti zonanın temperaturu 1000°S, soyuq zonanın temperaturu 450°S seçildikdə kristal boyunca bircinsliyin dəqiqliyi 2 at.%-inə qədər pisləşir. O da müəyyən edilmişdir ki, soyuq zonanın temperaturu 300°S, isti zonanın temperaturu 1400°S olarsa, ampulanın daxilində heç bir monokristal alınmır. Ancaq bunun səbəbi haqda işdə heç bir fikir irəli sürülmür. Ge-Si bərk məhullarının qaz fazadan alınmasına dair digər qrup işlərdə təmiz komponentlərin (Ge, Si) əvəzinə mənbə kimi Ge_{1-x}-Si_x bərk məhlulundan istifadə edilir. Burada başqa kiçik dəyişikliklər də var. Hər iki qrup işlərin oxşar cəhəti prosesin qapalı ampulada aparılmasıdır. Şəkil 1-də ikinci qrup işlərdə istifadə olunan ampulanın quruluşu və prosesin bəzi detalları göstərilmişdir.



Şəkil 1. Ge-Si bərk məhulları monokristallarının qaz fazadan alınma sxemi.

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

$$\left.\begin{matrix} 1-Ge-Si \\ 2-Br \end{matrix}\right\} \text{mənbə,} \qquad \begin{matrix} 3-Ge-Si(\text{polikristal}) \\ 4-Ge-Si(\text{monolkristal}) \end{matrix}$$

Ge_{1-x}-Si_x mənbəyi və buxarlandırıcı üfüqi vəziyyətdəki ampulada öz yerlərində yerləşdirildikdən sonra qızdırıcının köməkliyi ilə ampula boyunca temperatur qradiyenti yaradılır. Buxarlanma zonasının temperaturu 950÷1250°S, kristallaşma zonasının temperaturu isə 800-1000°S intervalında seçilir. Adətən, Ge_{1-x}-Si_x bərk məhlulunun (mənbəyin) ilkin kütləsi 3-4 q intervalında götürülür. Onun tamamilə buxar fazaya çevrilməsi üçün 30-40 saat gözləmək tələb olunur. Mənbə tamamilə ərinti buxara çevrildikdən sonra təcrübə sona yetir. İşdə müəyyən edilmişdir ki, yalnız brom və ya yodun buxar təzyiqi 4 atmosferdən kiçik olduqda, kristallaşma zonasında monokristal alına bilir. Belə şərait yaradıldıqda brom və ya yodun atomları Ge_{1-x}-Si_x buxar atomları ilə qarşılıqlı təsirə girir. Zonalar arasında temperatur qradiyenti olduğu üçün Ge_{1-x}-Si_x maddələrinin buxarı daha soyuq zonaya keçir, orada ifrat-soyumuş hala gəlir, müxtəlif mərkəzlərdə çökərək kristallaşmağa başayır. Bu proses Ge_{1-x}-Si_x-un buxar fazası tükənənə qədər davam edir. Mənbə buxarlanıb qurtardıqdan sonra proses sona yetir, apmula soyudulur və ehtiyatla sındırılaraq onun daxilindəki kristallar istifadə edilir. Bir qayda olaraq, bu proses zamanı iki cür Ge_{1-x}-Si_x məhsulu alınır: polikristal təbəqə şəklində maddə, yaxud iynə və ya sap şəklində monokristallar [2].

Müəyyən edilmişdir ki, monokristallar təkcə polikristal təbəqənin üzərində deyil, ampulanın divarlarında ayrı-ayrı mərkəzlərdən də yarana bilir.

Ampulada yaranmış rejimdən asılı olaraq, ya sap şəkilli, ya da iynəşəkilli monokristallar yaranır, onların miqdarı isti və soyuq zonalar arasındakı temperatur fərqindən və həlledicinin buxar təzyiqindən asılı olur. Məsələn, buxar təzyiqinin 1,2-2 atm. qiymətlərində, isti və soyuq zonalar arasında temperatur fərqi 100-150°S olduqda alınan monokristalların əksəriyyəti iynə şəklində olur, buxar təzyiqinin 2,8-4 atm., tempuratur fərqinin 100-150°S qiymətlərində əksər kristallar sap şəklində alınır [3]. Alınan kristalların həndəsi quruluşu və ölçüləri ampulanın daraldılmış orta hissəsinin ölçülərindən də asılıdır. Daha nazik sap şəkilli monokristalların güclü tenzohəssaslığa və bu baxımdan böyük tətbiq perspektivinə malik olduğu müəyyən edilmişdir [4].

[1] *Sh. Abbasov, G.T. Agaverdiyeva, Sh.İ. Abbasov.* Infuluonce of low-temperature irradiation on lifetime of mayoritry carriers in solid solutions of $Ge_{1-x}Si_x$ Eurasion conference on nucber science and its application, Izmir-Turkey, Oktober-2000, p.501.

[2] *Sh.M. Abbasov, G.T. Agaverdiyeva, Z.A. Ibrahimov, R.A. Ibrahimova, U.F. Faradzhova, Heyder Mehdevi*. İnfluence of electron irradiation on spectra of light electroreflection from the surface of $Ge/Ge_{1-x}Si_x$ heterostructure. Semiconductor Physics, Quantum Electronics, Optoelectronics, 2009.

[3] *Sh.M. Abbasov*. J. Fizika, 2001, v. 7, № 3, p. 16-18

[4] *S.M. Abbasov, T.İ. Kərimova, Ü.F. Fərəcova, H.M. Məhdəvi*. Nazik təbəqəli materiallara ionlaşdırıcı şüaların təsiri. Nüvə enerjisinin gələcəyin enerji təminatında rolu. Beynəlxalq konfrans. Bakı, dekabr-2008, 30-32 s.

N. F. Kakhramanov, A.I. Gashimova

PRODUCTION OF $Ge_{1-x}Si_x$ SOLID SOLUTION SINGLE CRYSTALS FROM GAS PHASE

There has been carried out $Ge_{1-x}Si_x$ solid solution single crystal production by two varions methods. For this purpose gas phase is set up in closed volume. Special ampoule is fabricated and $Ge_{1-x}Si_x$ source is placed near the one end of the ampoule.Temperature gradient is established along the ampoule.Hot zone temperature is 1050°C, cold zone temperature is 355°C. It is established that single crystals can be formed not only on the polycrystalline layer but on the individual walls of the ampoule.

Н.Ф. Кахраманов, А.И. Гашимова

ПОЛУЧЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Ge_{1-x}Si_x$ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

В работе, получения твердых растворов Ge_{1-x} Si_x осуществляется (реализуется) двумя различными способами. Для этого создается газовая фаза в замкнутом объеме. Изготавливается специальная ампула, и источник $Ge_{1-x}Si_x$ помещается около одного конца ампулы. Градиент температуры создается вдоль ампулы. Температура горячей зоны составляет 1050°C, температура холодной зоны 355°C. Установлено, что монокристаллы могут образовываться не только на поликристаллическом слое, но и на отдельных стенках ампулы.

Qəbul olunma tarixi: 08.12.2017

MAQNİT SİSTEMLƏRI SÜRÜŞDÜRÜLMÜŞ İKİ MAQNETRONDAN TOZLANDIRILMA ÜSULU İLƏ NAZİK TƏBƏQƏLİ GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİ ÜÇÜN $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ TƏBƏQƏLƏRİNİN ALINMASI VƏ TƏDQİQİ

N.N. ABDULZADƏ, S.T. AĞALİYEVA, K.Ə. ƏSGƏROVA, D.A. ƏHMƏDOVA, Ç. E. SƏBZƏLİYEVA, A.K. ZAMANOVA, N.N. MURSAKULOV

AMEA-nın Fizika institutu, AZ-1143, Bakı, H.Cavid pr., 33

nabdulzade@inbox.ru

Maqnit sistemleri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetrondan eyni zamanda tozlandırılma üsulu ilə nazik təbəqəli günəş elementlərində (GE) uducu təbəqə kimi tərkibi tələb olunan (Ga/(Ga+In)) nisbətinə malik $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ (CIGSe) nazik təbəqələrin alınması imkanları tədqiq edilmişdir. Bu üsuldan istifadə etməklə, texnoloji rejimin seçilməsindən asılı olaraq, $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialından ibarət təbəqənin qalınlaşması istiqamətində qadağan zonası böyüyən və ya kiçilən $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ (CIGSe) təbəqələrinin alınması imkanları araşdırılmışdır.

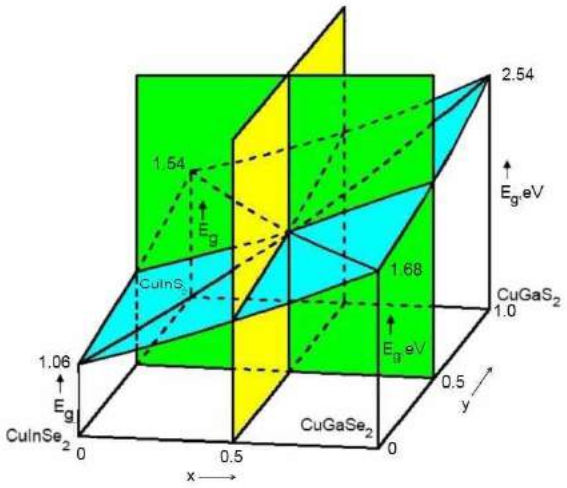
Açar sözlər: CIGS, halkopiritlər, nazik təbəqələr, fotovoltaika, günəş elementləri, $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ (CIGSe) uducu təbəqə.
PACS: 81.05.Hd, 84.60.Jt, 88.40.fc, 88.40.jn

GİRİŞ.

Günəş elementləri (GE) üçün ən perspektivli materiallar kimi, yüksək optik uduculuq keyfiyyətlərinə malik, radiasiyaya davamlı, qadağanolma oblastı (şəkil 1 və şəkil 2) tərkibdən (*x* və *y*-in qiymətlərindən) asılı olaraq geniş diapazonda, yəni 1.0 eV-dan 2.4 eV-a qədər dəyişən $CuIn_{1-x}Ga_x(Se_{1-y}S_y)_2$ (CIGSS) materialları istehsal dəyəri ucuz başa gələn III nəsil günəş çeviricilərinin istehsalında geniş tətbiq olunur.

Bu sahədə elmi ədəbiyyatın tədqiqatından görünür ki, $CuIn_{1-x}Ga_x(Se_{1-y}S_y)_2$ (CİGSS) nazik təbəqələrinin sənaye üsulu ilə alınmasının ən müasir üsulu müxtəlif altlıqlar üzərində əvvəlcədən çəkilmiş Cu-In-Ga nazik təbəqələrinin halkogen (selen, kükürd) atmosferində dəmlənməyə qoyulmasıdır [1-7]. CIGSS materialları əsasında ən yüksək effektivliyə malik günəş elementləri halkopirit strukturlu $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ dördqat mis birləşmələrinə əsaslanan uducu təbəqələri olan günəş elementləri əsasında alınmışdır (21.7%) [7]. Bu metodun əsas problemlərindən biri birləşməyə daxil olan elementlərin reaksiya sürətlərinin müxtəlifliyindən irəli gələn Ga elementinin arxa tərəfdəki kontakt funksiyasını daşıyan Mo-təbəqəyə tərəf diffuziyasının yüksək olması və eyni zamanda daha böyük seqreqasiya əmsalına malik olmasıdır. Bu hadisənin nəticəsində ikiqat təbəqənin, yəni $CuGaSe_2$ fazası üzərində $CuInSe_2$ təbəqəsinin formalaşmasına səbəb olur. Ga ilə zənginləşmiş oblastın mikrostrukturunun In ilə zənginləşmiş oblastındakından fərqi kiçik kristalcıqlı (kristalcıqların ölçüsü 0,2 mkm-i aşmır) və daha məsaməli olmasıdır. Bu xüsusiyyət kristallik zərrəciklərin ayrılma sərhədlərinin aktivliyinin yüksək olmasına gətirib çıxarır ki, bu da yaradılan fotoçeviricilərin effektivliyinin azalmasına səbəb olur. Bundan başqa, galliumun arxa kontakt oblastında toplanması təbəqənin qalınlığı boyu əvvəlcədən nəzərdə tutulmuş zona quruluşuna (qadağan olma zolağının eni, sürətləndirici elektrik sahəsi və s.) malik yarımkeçirici materialın alınmasına çətinlik yaradır və həmin materialın optik xassələrinin variasiya edilməsini imkansız edir.

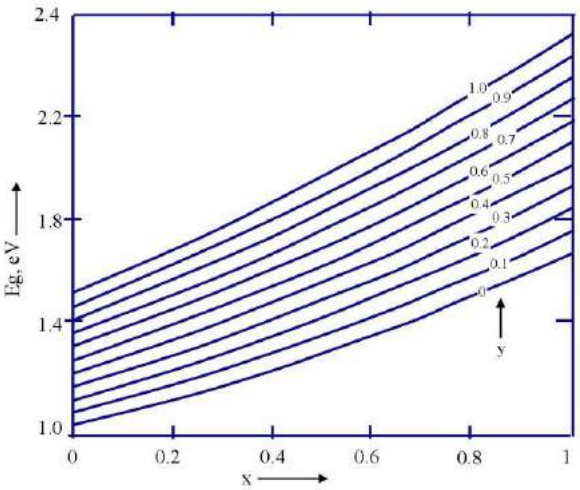
CIGSS materiallarının mikrostruktur, elektrik və optik xassələrinin onların alınma şəraitlərindən asılılığının tədqiqi əvvəlcədən verilmiş xassələrə malik materialların alınma texnologiyalarının optimallaşdırılmasına gətirə bilər. Təcrübə zamanı Mo kontakt materialı üzərində Ga ilə zəngin CIGSS təbəqənin deyil, daha kiçik E_g-yə malik, In ilə zəngin materialın alınması texnologiyası işlənilmişdir. İşdə maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetrondan eyni zamanda tozlandırma üsulu ilə nazik təbəqələrin alınma texnologiyasının işlənməsini qarşımıza məqsəd qoymuşuq və yuxarıda [7] və digər işlərdə [2-6] Ga elementinin diffuziyası ilə qarşıya çıxan çatışmamazlıqları aradan götürməyə çalışmışıq. Metal folqadan düzəldilmiş maskalardan istifadə etməklə, daitə şəklində alınan günəş elementlərinin səthinin sahəsi ~28 mm^2 təşkil etmişdir.



Şəkil 1. Mürəkkəb $CuIn_{1-x}Ga_x(Se_{1-y}S_y)_2$ materiallarında qadağanolma oblastının materialın tərkibindən (*x*, *y*) asılılığı.

Texnologiyanın təkmilləşdirilməsi ilə $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialının böyüməsi istiqamətində materialın qadağanolma zonasının dəyişgən olması üçün texnoloji rejimlər araşdırılmış və təkmilləşdirilmişdir. Belə ki, texnoloji rejimin seçilməsindən asılı olaraq, təbəqənin qalınlaşması istiqamətində qadağan zonasının böyüməsi və ya kiçilməsi, yəni varizon strukturun alınması imkanları araşdırılmışdır. Alınmış təbəqələrin və onlar əsasında yaradılmış strukturların optik və fotoelektrik xassələri tədqiq olunmuşdur.

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com



Şəkil 2. $CuIn_{1-x}Ga_x(Se_{1-y}S_y)_2$ materiallarında qadağanolma oblastının materialın tərkibindən (*x, y*) asılılığı.

TƏCRÜBƏNİN TEXNİKİ ÜSULLARI.

$CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialının alınması üsullarına, quruluşunun, fiziki xassələrinin tədqiqatına böyük miqdarda elmi işlər həsr olunmuşdur [1]. Eyni zamanda, belə bir mürəkkəb dördqat yarımkeçiricinin lazımi struktur və fiziki xassələri ilə yaradılması məsələsi adi bir məsələ deyildir. Buna görə, müxtəlif tədqiqat qrupları günəş elementləri üçün halkopirit təbəqələrinin sintezi üçün molibden, paslanmayan poladdan və ya şəffaf keçirici oksid təbəqələrin səthində və şüşə oturacaqlar üzərində sintez üsullarını geniş şəkildə inkişaf etdirir. Fiziki metodlar arasında halkopiritlərə daxil olan metalların prekursorlarının vakuumda termik buxarlandırma ilə və ya maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınması və sonradan həmin metal təbəqələrin selen buxarı mühitində selenizasiyası metodu daha geniş tətbiq olunur [2-7].

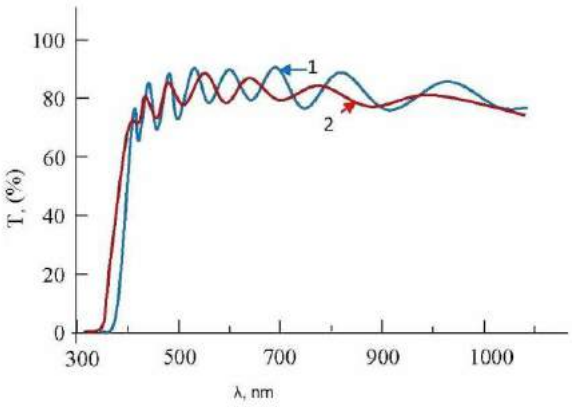
$Cu(InGa)Se_2$ nazik təbəqələri maqnit sistemleri birbirinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetrondan $CuInSe_2$ və $CuGaSe_2$ hədəflərinin eyni zamanda tozlandırılması üsulu ilə alınmışdır. Qalınlığı ~3mm, diametrlərləri isə 50 mm-ə bərabər olan $CuInSe_2$ və $CuGaSe_2$ materiallarından ibarət hədəflər materialların nanotozunun 16 t təzyiq altında pressləməklə alınıb. $CuInSe_2$ və $CuGaSe_2$ materiallarından ibarət hədəflərdən maqnetron tozlandırılması arqon mühitində aparılmışdır. Nazik $Cu(InGa)Se_2$ təbəqələrinin tərkibindəki gallium və indiumun miqdarlarının (Ga/(Ga+In)) nisbəti $CuInSe_2$ və $CuGaSe_2$ materiallarından təşkil edilmiş hədəflərdən eyni zamanda maqnetron tozlandırılması zamanı cərəyan boşalmalarının gücləri nisbəti ilə müəyyən edilir. Təbəqənin qalınlığı maqnetron tozlandırması prosesinin müddəti ilə təyin olunur. Nazik $CuInSe_2$ təbəqələrinin qalınlığının maqnetron tozlandırılması zamanı qaz boşalmasındakı cərəyandan və tozlandırma müddətindən asılılığı

$$h_{CuInSe2}(\text{nm}) = 0.28 \cdot I_1(\text{mA}) \cdot t(\text{dəq}) \qquad (1)$$

$$h_{CuGaSe2}(\text{nm}) = 0.25 \cdot I_2(\text{mA}) \cdot t(\text{dəq}) \qquad (2)$$

düsturları ilə müəyyən edilir. Burada, effektiv maqnetron tozlandırılması alışma cərəyanlarının I_1~ (120-160) mA, I_2~ (100-130) mA qiymətlərində baş verir.

Molibden həm alt $Cu(InGa)Se_2$ təbəqəsi, həm də üst ZnO:Al təbəqəsi ilə omik kontakt əmələ gətirdiyindən, bu kontakt maqnetron tozlandırılması üsulu ilə molibden hədəfdən tozlandırma üsulu ilə alınmışdır. İşdə GE-nin yaradılması üçün bufer layı qismində ZnO istifadə edilmişdir. Zənnimizcə, bu material toksik texnologiyaya malik CdS və ZnCdS materiallarının alternativi ola bilər. Şəffaflaşdırıcı və yüksək elektrik keçiriciliyinə malik üst qat kimi isə alüminiumla aşqarlanmış ZnO:Al materialından istifadə edilmişdir. Nazik ZnO təbəqələri metallik Zn hədəfindən $Ar+O_2$ mühitində maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmışdır. Üst ZnO:Al təbəqəsi isə iki maqnetrondan eyni zamanda Zn və Al hədəflərinin $Ar+O_2$ qaz mühitində maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmışdır. Bu zaman ZnO:Al təbəqəsində alüminiumun konsentrasiyası Zn və Al materiallarından təşkil edilmiş hədəflərdən eyni zamanda maqnetron tozlandırılması zamanı cərəyan boşalmalarının gücləri nisbəti ilə müəyyən edilir. Təbəqənin qalınlığı maqnetron tozlandırması prosesinin müddəti ilə təyin olunur. ZnO və ZnO:Al nazik təbəqələrinin optik buraxmasının elektromaqnit şüalanmasının dalğa uzunluğundan asılılığı şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. Müxtəlif katod potensiallarında çökdürülmüş ZnO (1) və ZnO: Al (2) nazik təbəqələrinin optik buraxma spektrləri

EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ.

Şüşə oturacaqlar üzərinə çəkilmiş etalon $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ nazik təbəqələrinin optik xassələri təbəqələrin işığı buraxma (*T*) və əksetmə (*R*) spektrlərinin ölçülməsi vasitəsi ilə öyrənilmişdir. Otaq temperaturunda $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ nazik təbəqəsinin buraxma (*T*) spektrindən nümunələrin *T* əmsalının yaxın infra qırmızı (İQ) oblastdakı buraxılma əmsalı ~35-40% təşkil edir, və məxsusi udulma kandarında udulma qısa dalğalar istiqamətində kəskin artır. $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialında Ga/(In+Ga) nisbəti artdıqca, udulma kandarı qısa dalğalar oblastına sürüşür. $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ nazik təbəqələrində udulma əmsalı materialdan keçən və ondan əks olunan şüaların spektrlərindən istifadə etməklə (3) ifadəsinin vasitəsi ilə hesablanmışdır [8-10]:

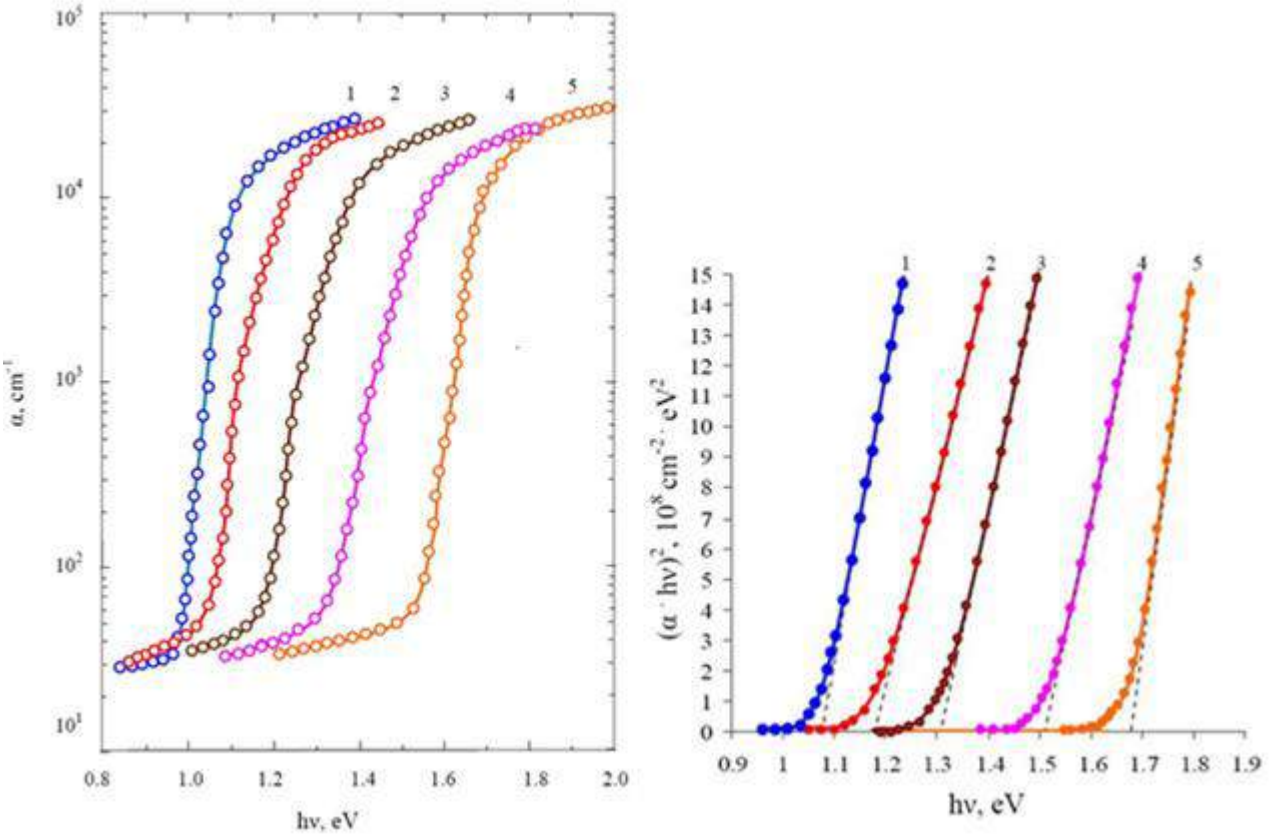
$$\alpha = -\frac{1}{d} ln \frac{\sqrt{(1-R)^4 + 4T^2R^2} + (1-R)^2}{2T}, \quad (3)$$

burada α – udulma əmsalı, d – təbəqənin qalınlığı, T və R – şüanın uyğun olaraq materialdan keçmə və əksolunma əmsallarıdır. Əksetmə spektri fotonların 1-2 eV diapazonunda aparılmışdır və R əksetmə əmsalının qiyməti bu oblastda Ga/(Ga+In) ~0.2 tərkibə malik təbəqə üçün 0.2 ətrafındadır. Yarımkeçirici materialın energetik zonasında keçid düzünə baş verirsə, işığın udulma əmsalı düşən fotonun $h\nu$ enerjisininin funksiyasıdır və aşağıdakı tənliklə ifadə olunur. [8]:

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (4)$$

Burada E_g - optik qadağan zonasının eni, A – sabitdir. $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ təbəqəsinə məxsus optik qadağanolma zonası $(\alpha\ (h\nu))^2$ spektral asılılığın xətti hissəsinin fotonluq enerjisini xarakterizə edən ($h\nu$, (eV)) oxuna ekstrapolyasiyası vasitəsi ilə təyin edilmişdir. Tərkibi x=0 olan təbəqələr üçün buraxma spektri vasitəsi ilə təyin edilən E_g~1,08eV təşkil edir. E_g - nin bu qiyməti nümunələrin (3-4 dəfə) nazik olması ilə əlaqədardır. Şəkil 4-də şüşə altlıq üzərində tərkibi x= 0 (1), 0.2 (2), 0.4 (3), 0.7(4), 1.0 (5) olan $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ təbəqələrinə aid $(ahv)^2$ kəmiyyətlərinin $h\nu$-dən asılılığı verilmişdir. Şəkildən müşahidə etmək olur ki, x-in artması ilə E_g-artır və bu artma (5) ifadəsindəki kimi xətti qanunla baş verir:

$$E_g(CuIn_{1-x}Ga_xSe_2)=1.08+0.6x \quad (5)$$



Şəkil 4. Şüşə oturacaqlar üzərində alınmış nazik $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ təbəqələrində udulma əmsalı (a) və $(\alpha \cdot h\nu)^2$–nın (b) fotonun $h\nu$ enerıisindən asılılıqları. Burada təbəqədə komponentlərin nisbəti: Ga/(Ga+In)=0 (1), 0,2 (2), 0.4 (3), 0,7 (4) və 1.0 (5) təşkil edir.

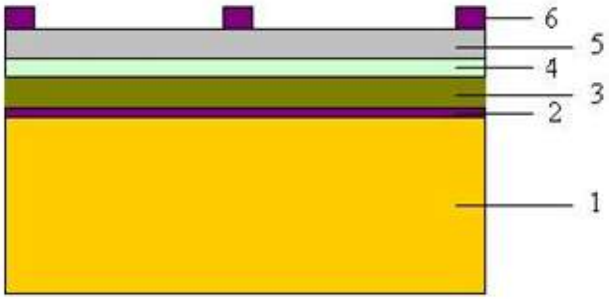
İki maqnetrondan eyni zamanda maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmış nazik $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ təbəqələrinin optik xassələrinin tədqiqinin nəticələrinə əsasən o qənaətə gəlmək olar ki, tətbiq olunan metodla keyfiyyətcə tələb olunan xassələrə malik təbəqələr almaq olar və Ga elementinin diffuziyası ilə qarşıya çıxan çatışmazlıqları aradan qaldırmaq mümkündür. Ayrıca CuİnGa prekursorlarının alınmasına və onların Se və S mühitində yüksək temperaturlarda uzunmüddətli temperatur işlənməsinə ehtiyac yoxdur.

Təqdim etdiyimiz bu iş maqnit sistemleri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetrondan eyni zamanda maqnetron tozlandırılılması üsulu ilə $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ (CIGS) təbəqələrin alınması imkanları tədqiq edilmişdir. Texnologiyanın təkmilləşdirilməsi ilə $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialının böyüməsi istiqamətində materialın qadağanolma zonasının dəyişgən olması üçün texnoloji rejimlər araşdırılmış və təkmilləşdirilmişdir. Belə ki, texnoloji rejimin seçilməsindən asılı olaraq, təbəqənin böyümə istiqamətində qadağanolma zonasının böyüməsinin və ya kiçildilməsinin, yəni varizon strukturun alınması imkanları araşdırılmışdır. Alınmış təbəqələrin və onlar əsasında yaradılmış strukturların optik və fotoelektrik xassələri tədqiq olunmuşdur.

GÜNƏŞ ELEMENTİNİN (GE) QURULUŞU.

Uducu layı $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialından ibarət GE-nin tipik quruluşu şəkil 5-də verilmişdir. GE-ləri ən çox

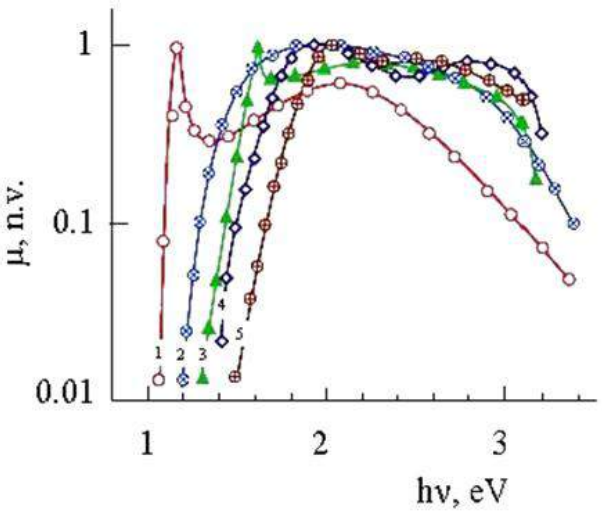
şüşə, paslanmayan poladdan olan metallik folqa və polimid plyonkalardan ibarət oturacaqlar üzərində yaradılmışdır. Günəş elementində alt kontakt qismində molibden təbəqəsindən istifadə edilmişdir. Molibden təbəqəsinin üzərinə aktiv təbəqə, yəni əsas uducu təbəqə qismində $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ təbəqəsi çəkilir. Növbəti,~100 nm qalınlığa malik ZnO-dan ibarət bufer təbəqə hopdurulur. Bufer təbəqənin üzərində isə 50-100 nm qalınlıqlı Al-un konsentrasiyası az olan ZnO:Al təbəqəsi çəkilir. Omik kontaktın formalaşdırılması üçün, tərkibində Al-un konsentrasiyası yüksək, qalınlığı 200-500 nm olan üst ZnO:Al təbəqəsi çəkilir. Ən sonuncu, molibdendən ibarət tor şəkilli omik kontakt təbəqə çəkilir.



Şəkil 5. Nazik təbəqəli günəş elementinin quruluşu. Burada 1- oturacaq (şüşə, paslanmayan dəmirdən folqa və ya poliamid plyonka) 2-omik alt kontakt (Mo), 3- uducu lay $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$, 4- bufer təbəqə (ZnO), 5- üst ZnO:Al kontakt təbəqə, 6- nazik təbəqəli molibdendən ibarət şəbəkəşəkilli üst kontakt.

Heteroquruluşlu GE-də bufer təbəqəsi qismində ədəbiyyatdan göründüyü kimi, adətən CdS və ya CdZnS təbəqəsindən istifadə edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, Cd və onun birləşmələri çox zəhərlidir. Bu işdə biz çalışmışıq ki, GE-ri üçün bufer layı qismində onlara alternativ kimi ZnO nazik təbəqələrindən istifadə edək və bunun əsas səbəbi kimi ZnO nazik təbəqələrinin kimyəvi cəhətdən dayanıqlı olması ilə bərabər, istehsal texnologiyasının ucuz və zəhərli olmamasını göstərə bilərik. ZnO-un üstün cəhətlərindən biri onlarda eksiton rabitə enerjisinin (60meV) böyük olmasıdır [6]. Eksiton rabitə enerjisinin bu cür böyük qiymətə malik olması ZnO nazik təbəqələrinin emissiya qabiliyyətini artırır ki, bu da onların optoelektronikada tətbiq imkanlarını mümkün edir. Alınma texnologiyalarının təkmilləşdirilməsinə baxmayaraq, ZnO nazik təbəqələrinin zəruri keçiriciliyə malik nümunələrinin alınması problem olaraq qalmaqdadır. *N*-tip keçiriciliyə malik ZnO-da III qrup elementlərinin valent elektronlarının sayının Zn atomundakılardan çox olması səbəbindən Al, Ga və In ZnO-da donordurlar. Biz donor kimi alüminiumdan istifadə etmişik. Bəzi işlərdə, müxtəlif metallarla aşqarlanmasına baxmayaraq [9], zəruri parametrlərə malik nazik təbəqələr alınmamışdır. Biz ZnO və alüminiumla aşqarlanmış ZnO:Al təbəqələrinin reaktiv maqnetron tozlandırma üsulu ilə alınmasına əvvəlki işlərimizdə nail olmuşuq [6]. Qeyd edilən üsulla alınan təbəqələrdə tələb olunan elektrik keçiriciliyini təmin etmək üçün nümunələrin hava mühitində 570 K temperaturda uzun müddətli (10-12 saat) temperatur işlənməsi tələb olunur.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialının E_g qadağanolma oblastı *x*-in qiymətindən asılı olaraq 1,04-1,68 eV aralığında dəyişir və (6) qanununa uyğun olaraq təyin edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, E_g -nin qiymətini materialın tərkibinə digər III qrup elementlərini (məsələn, Al) və ya VI qrup elementlərini (məsələn, S və Te) əlavə etməklə dəyişmək olar. Nazik təbəqəli $Cu(In,Ga)Se_2$ (CIGSe) əsaslı günəş elementlərinin effektivliyinin artırılması yollarından biri (CIGSe) materialın qadağanolma oblastının enini dəyişməklə onun optimal qiymətini təyin etməkdir ki, E_g-nin bu qiymətində GE-nin effektivliyi GE-nin bu quruluşu üçün maksimal qiymət alır. Alınmış, $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ əsaslı günəş elementlərinin nisbi vahidlərlə kvant effektivlyi müxtəlif *x*=Ga/(In+Ga) üçün şəkil 6.-də göstərilmişdir.



Şəkil 6. Müxtəlif *x*=Ga/(In+Ga) üçün $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ əsaslı günəş elementlərinin nisbi vahidlərlə kvant effektivlyinin spektral asılılığı

Bizim bu işdə tətbiq etdiyimiz $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ materialında E_g (1,04-1,68) eV aralığında dəyişir. İlkin təcrübələr göstərdi ki, tətbiq olunan metodla varizon $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ əsaslı nazik rəbəqələr almaq olar.

Bu işi genişləndirməklə CİGSSe nazik təbəqələrində galliumun və ya kükürdün təbəqənin qalınlaşması ilə tədricən konsentrasiyalarının dəyişməsilə qadağanolma zolağı dəyişən profilə malik aktiv oblast yaratmaq olar ki, GE-nə düşən şüaların təsiri nəticəsində generasiya edən fotocütlərin p-n heterosərhəddində effektiv ayrılmalarına qadağan olma zonasının varizon olmasından irəli gələn "dartıcı sahə" effekti də əlavə olunsun və bunun nəticəsində, bu materiallar əsasında daha effektiv günəş elementlərinin alınmasına imkan yaratsın.

NƏTİCƏ.

İşdə maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetrondan maqnetron tozlandırılması üsulu ilə $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ nazik təbəqələrinin alınma texnologiyası işlənmiş, nazik təbəqələrin optik xassələri tədqiq olunmuşdur. Günəş elementi üçün bufer layı qismində həmin metodla alınmış nazik ZnO təbəqəsindən istifadə edilməsi imkanları araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, ZnO nazik təbəqəsi büfer layı, ZnO:Al üst layı isə kontakt materialı, həmçinin anti əksetdirici material kimi istifadə etmək olar.

MİNNƏTDARLIQ

hissi ilə bildiririk ki, iş Ukrayna Elm və Texnologiya Mərkəzinin (UETM) maliyyə dəstəyi ilə #6148 saylı layihə çərçivəsində yerinə yetirilmişdir.

[1] *В.Ф. Гременок, В.Б. Залесский, Н.Н. Мурсакулов, М.С. Тиванов.* Тонкопленочные солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов Cu(In,Ga)(Se,S)$_2$ со структурой халькопирита. Баку "ЭЛМ", 2013.

[2] *P. Zaretskaya, V.F. Gremenok, I.A. Ivanov, V.B.Zalesski, N.N. Mursakulov, N.N. Abdulzade, Ch.E. Sabzaliyeva.* AJP "Fizika", 2010, vol. XVI, N2, Series: En, 2010, p. 403-407.

[3] *A.V. Mudryi, A.V. Korotki, V.F. Gremenok, E.P. Zaretskaya, V.B. Zalesski, N.N. Mursakulov, N.N. Abdulzade, Ch.E. Sabzaliyeva.* AJP "Fizika", 2010, vol. XVI, N2, Series: En, p.408-413.

[4] *V.F. Gremenok, A.V. Mudryi, A.V. Korotki, E.P. Zaretskaya, I.A. Ivanov, N.N. Abdulzade, N.N. Mursakulov, Ch.E. Sabzaliyeva.* Characterization of CuİnSe$_2$ thin films from nanoparticle precursors. The First International Scientific Conference "Nano-technology and its use in Technique". ATU, 15-16 December, 2010 Baku, p. 132-137.

[5] *E.P. Zaretskaya. V.F. Gremenok, A.P. Odrinsky, N.N. Abdulzade, N.N. Mursakulov, Ch.E. Sabzaliyeva*. Structure AJP "Fizika", 2012, vol. XVIII, N2, Series: En, p. 20-23.

[6] *E.P. Zaretskaya, I.A. Victorov, O.V. Goncharova, T.R. Leonova, M. Gartner, N.N. Mursakulov, N.N. Abdulzade, Ch.E. Sabzaliyeva.* AJP, 2012, vol. XVIII, N4, p. 26-30.

[7] *P. Jackson, D. Hariskos, R. Wuerz, O. Kiowski, A. Bauer, T.M. Friedlmeier and M. Powalla*. Properties of Cu(In,Ga)Se2 solar cells with new record efficiencies up to 21.7%. Phys. Status Solidi RRL, 2015, 9, N. 1, p. 28-31.

[8] *D.K. Schroder.* Semiconductor Material and Device Characterisation, Wiley, New York, 1990.

[9] *J.I. Pankove.* Optical Processes in Semiconductors, Prentice Hall, Englewood, New York, 1971.

[10] *Su. Xueqiong, W. Li, Ch. Jiangbo, W. Xiaojing, Zh. Xin Ping.* J.Phys.D:Appl.Phys.,2011, vol. 44, p. 265-267.

.

N.N. Abdulzade, S.T. Agaliyeva, K.A. Askerova, D.A. Ahmedova, C.H. Sabzalieva, N.N. Mursakulov

OBTAINING AND INVESTIGATION OF Cu(InGa)Se$_2$ FILMS, FOR THIN FILM SC^s, BY MAGNETRON SPUTTERING METHOD FROM TWO MAGNETRONS WITH MOVED MAGNETIC SYSTEMS

The possibility of obtaining $Cu(In_{1-x}Ga_x)Se_2$ thin absorbing layers with the required ratios of gallium and indium x=Ga/(Ga+In) for solar cells (SE) by the method of simultaneous magnetron sputtering from two magnetrons with displaced magnetic systems is shown. This method makes it possible to obtain thin varizone semiconductor films in the direction of film growth both with a decrease in the width of the forbidden band and with increasing.

Н.Н. Абдулзаде, К.А. Аскерова, С.Т. Агалиева, Д.А. Ахмедова, Ч.Э. Сабзалиева, Н.Н. Мурсакулов

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК Cu(InGa)Se$_2$, ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СЭ, МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ИЗ ДВУХ МАГНЕТРОНОВ СО СМЕЩЁННЫМИ МАГНИТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Показана возможность получения тонких поглощающих слоев Cu(InGa)Se$_2$ **(**CIGS) с требуемыми соотношениями содержания галлия и индия (Ga/(Ga+In)) для солнечных элементов (СЭ) методом одновременного магнетронного распыления из двух магнетронов со смещенными магнитными системами. Этот метод позволяет получить варизонные пленки в направлении роста пленки как с уменьшением ширины запрещенной зоны, так и с возрастанием.

Qəbul olunma tarixi: 21.12.2017

$(GaSb)_{0.866}$-$(CrSb)_{0.134}$ EVTEKTİK SİSTEMİNİN ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNƏ FAZALARARASI ZONALARIN TƏSİRİ

M.V. KAZIMOV, R.N. RƏHİMOV, D.H. ARASLI, A.Ə. XƏLİLOVA
Azərbaycan MEA Fizika İnstitutu, AZ 1143, H. Cavid prospekti, 131.
mobilkazimov@gmail.com

İ.X. MƏMMƏDOV
Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası, AZ 1045, Bakı, Binə, 25-km

GaSb-CrSb evtektik sisteminin SEM elektron mikroskopunda mikrostrukturu tədqiq olunmuş və fazalararası qeyri-bircins zonaların yarandığı müəyyən olunmuşdur. Evtektik kompozitin elektrik keçiriciliyinin effektiv qiymətini təyin edərkən fazalararası sərhəd bölgəsində yaranan qeyri-bircins zonanın rolu nəzərə alınmışdır.

Açar sözlər: evtektik kompozit, SEM, elektrik keçiriciliyi, fazalararası zona
PACS: 537.622

GİRİŞ.

Hal-hazırda eyni zamanda yarımkeçirici-metal və maqnit xassələrinə malik olan materialların yaradılması istiqamətində intensiv tədqiqatlar aparılır. III-V qrup elementləri və 3d-keçid metal əsaslı evtektik kompozitlərdə metal qatmaların iynələr şəklində matrisdə paralel düzülərək bərabər paylanması, kinetik parametrlərində anizotropluğun yaranması, həm yarımkeçirici, həm də metal xassələrinin özündə cəmləşdirməsi bu kompozitlərin önəmli xüsusiyyətidir. Belə evtektik sistemlərin fiziki xassələri 3d-keçid metalların elektron konfiqurasiyasından, qatmaların həndəsi formasından və fazalararası zonaların yaranmasından asılıdır. III-V qrup birləşmələri və 3d-elementləri əsasında evtektik kompozitlərin yaranması ilk dəfə Müllerin işlərində göstərilmiş, Umehara, Koda və başqaları GaSb-CrSb evtektik kompozitin hal diaqramını vermişlər [1].

GaSb-CrSb sisteminə daxil olan CrSb birləşməsində *c* oxuna perpendikulyar istiqamətdə düzülmüş ferromaqnit müstəvilər arasındakı əlaqənin antiferromaqnit xarakter daşıması səbəbindən, belə sistemin az qatılıqlı maqnit material kimi öyrənilməsi əhəmiyyət kəsb edir [2-5]. İlkin işlərimizdə GaSb-CrSb evtektik kompozitinin mikrostrukturu, morfologiyası, elektron-fonon prosesləri öyrənilib [6,7], diferensial termik analizləri aparılıb [8], elektrik və istilik xassələrinin xüsusiyyətləri göstərilmişdir [7,9,10].

Təqdim olunan işdə müxtəlif kristallaşma sürətləri ilə alınmış GaSb-CrSb evtektik kompozitinin kinetik parametrləri tədqiq olunmuş, effektiv mühit yaxınlaşması çərçivəsində effektiv elektrik keçiriciliyi hesablanmış və metal fazanın həcmi fraksiyasında fazalararası zonaların payının nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir.

TƏDQİQATLARIN APARILMASI VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ.

Yarımkeçirici-metal tipli GaSb-CrSb evtektik kompozitin elektrik keçiriciliyi, termoelektrik hərəkət qüvvəsi kompensasiya metodu ilə ölçülmüşdür. Müxtəlif kristallaşma sürəti ilə alınmış kompozitlərin termoelektrik hərəkət qüvvəsinin və elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları 1-ci şəkildə verilib.

Şəkildən göründüyü kimi evtektik kompozitlər sintez olunarkən kristallaşma sürəti 0.3mm/dəq, 0.6 mm/dəq və 1mm/dəq olduqda, iynələrin ölçülərinin dəyişməsi elektrik keçiriciliyinin və elektrik hərəkət qüvvəsinin dəyişməsinə səbəb olur. Müxtəlif kristallaşma sürətləri ilə alınmış GaSb-CrSb evtektik kompozitin 80÷300K temperatur aralığında elektrik hərəkət qüvvəsinin asılılığında elektrik keçiriciliyindən fərqli olaraq daha çox dəyişmə müşahidə olunur. Kristallaşma sürəti 0.3mm/dəq və 1mm/dəq olduqda, bu dəyişmə 80 K temperaturda 18%, 300K temperaturda isə 10% olur.

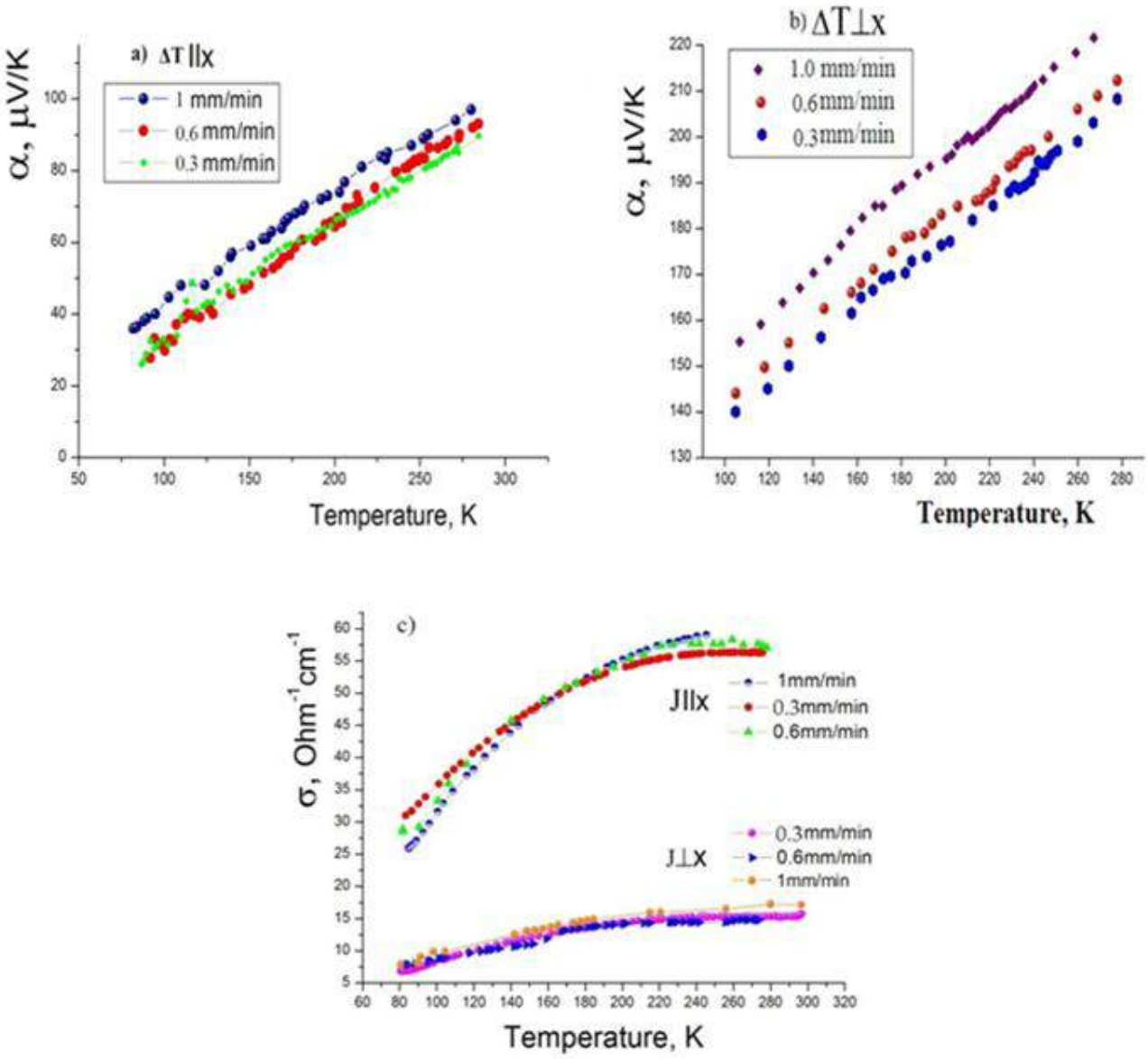
EDX analizi ilə müəyyən olunub ki, matris Ga və Sb, metal çubuqlar Cr və Sb elementlərdən və bəzi hissələrdə cüzi miqdarda (3÷5%) Ga elementindən ibarətdir. Matris və metal çubuqlar arasında görünən fazalararası zonada isə 3÷5% Cr elementi müşahidə olunur. Fazalararası zonalar (bu bölgələri üçüncü faza da adlandırmaq olar) kələ-kötür quruluşa malik olmaqla yanaşı, onların ölçüləri iynələr boyunca bir-neçə dəfə fərqlənir [7] . 2-ci şəkildə GaSb-CrSb evtektik kompoziti üçün kristallaşma oxuna perpendikulyar istiqamətdə SEM görüntüləri verilmişdir.

Son zamanlar bu tip evtektikaların elektron mikroskopunda tədqiqi ilə onların mikrostrukturunda bir sıra xüsusiyyətlər müəyyən olunmuş və bu xüsusiyyətlər əsasında müəyyən fərziyyələr inkişaf etdirilmiş, sərhəd bölgələrdə yaranan qeyri-bircins zonaların elektrik keciriciliyində əhəmiyyətli rol oynadığı göstərilmişdir [11-14].

Məlumdur ki, qeyri bircins sistemlərdə, xüsusən kompozit materiallarda, qatqıların konsentrasiyası az olduqda, başqa sözlə, komponentlərdən biri özünü matrisa kimi, digəri isə kiçik miqdarda onun içərisində izolə olunmuş qatmalar şəklində olarsa, belə sistem üçün Maksvel-Qarnet modeli [13] doğrudur.

Kompozit mühiti matris və qatmalara ayırmaq mümkün olmadıqda (statistik mühit halında), daha çox Bruqqeman modeli istifadə olunur. Bu modeldə fərz olunur ki, hər bir zərrəcik matrisada deyil, parametrləri hər bir komponentin parametrindən fərqlənən effektiv mühitdə yerləşir.

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com



Şəkil 1. Kristallaşma sürəti 0.3 mm/dəq, 0.6 mm/dəq və 1mm/dəq olduqda, GaSb-CrSb evtektik kompozitinin termoelektrik hərəkət qüvvəsi (a,b) və elektrik keçiriciliyinin (c) temperaturdan asılılığı

Real kompozitdə qatmaların konfiqurasiyası müxtəlif formada olur və effektiv muhit modeli istifadə olunarkən onların forma və ölcülərinin nəzərə alınması mühüm şərtdir. Effektiv keciriciliyin hesablanmasına həsr olunmuş külli miqdarda tədqiqat işlərində bu modellər daha cox ikinci fazası kürə və ya ellipsoid şəklində olan kompozitlər üçün işlənərək inkişaf etdirilmişdir. Balaqurovun [15] təklif etdiyi metodda isə effektiv keciriciliyi hesablayarkən ikinci faza müstəvi halında götürülür. Onun son işlərində isə qatqılar iynəyəbənzər formada götürülür. [16] işində müəlliflər yarımkecirici və yarımmetal kompozitlər üçün məsələni həll edərkən sirkulyasiya cərəyanlarının keçiriciliyi təsirini nəzərə alan model vermişlər. Metal fazası silindrik şəkildə olan və anizotrop xassəyə malik heterogen sistemlərin effektiv keciriciliyinə həsr olunmuş işlərin sayı çox deyildir.

Yarımkecirici matrisdən və onun içərisində paralel düzülmüş metal qatmalardan ibarət heterogen sistemlərin ümumiləşdirilmiş keçiriciliyini hesablamaq ucun Odelevskiyin təklif etdiyi model daha əlverişlidir. Odelevskiy [17] sadə matrisdən ibarət struktura baxmış və qatmaların böyük konsentrasiyalarında sistemin ümumiləşdirilmiş keçiriciliyini hesablamaq üçün ifadələr vermişdir. Onun modelinə görə fazanın müqavimətindən və cərəyanın istiqamətindən asılı olaraq, hər bir fazanın keçiriciliyi və ya müqaviməti toplanılır. Liebman və Müller [18], həmçinin Leonov və b. görə cərəyan iynələrə paralel $I\|x$ olduqda evtektik struktura iki paralel keçirici kimi, cərəyan iynələrə perpendikulyar $I\perp x$ olduqda isə ardıcıl və paralel birləşmiş keçiricilərin kombinasiyası kimi baxmaq olar. Kristallaşma istiqamətində ($\sigma_{\|}$) və ona perpendikulyar istiqamətdə ($\sigma_{\perp}$) elektrik keciriciliyinin effektiv qiymətləri üçün aşağıdakı ifadələr verilmişdir [17].

$$\sigma_{\perp} = \frac{(\sigma_1-\sigma_2)\left(1-\sqrt{\frac{c}{1+c}}\right)+\sigma_1\sqrt{\frac{1+c}{c}}}{1+\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)\sqrt{\frac{1+c}{c-1}}} \quad (1)$$

$$\sigma_{\|} = \sigma_1\frac{1}{1+c} + \sigma_2\frac{c}{1+c} \quad (2)$$

burada σ_1 və σ_2- matrisin və metal fazanın elektrik keçiriciliyi, c-metal iynələrin ümumi həcminin matrisin həcminə nisbətidir.

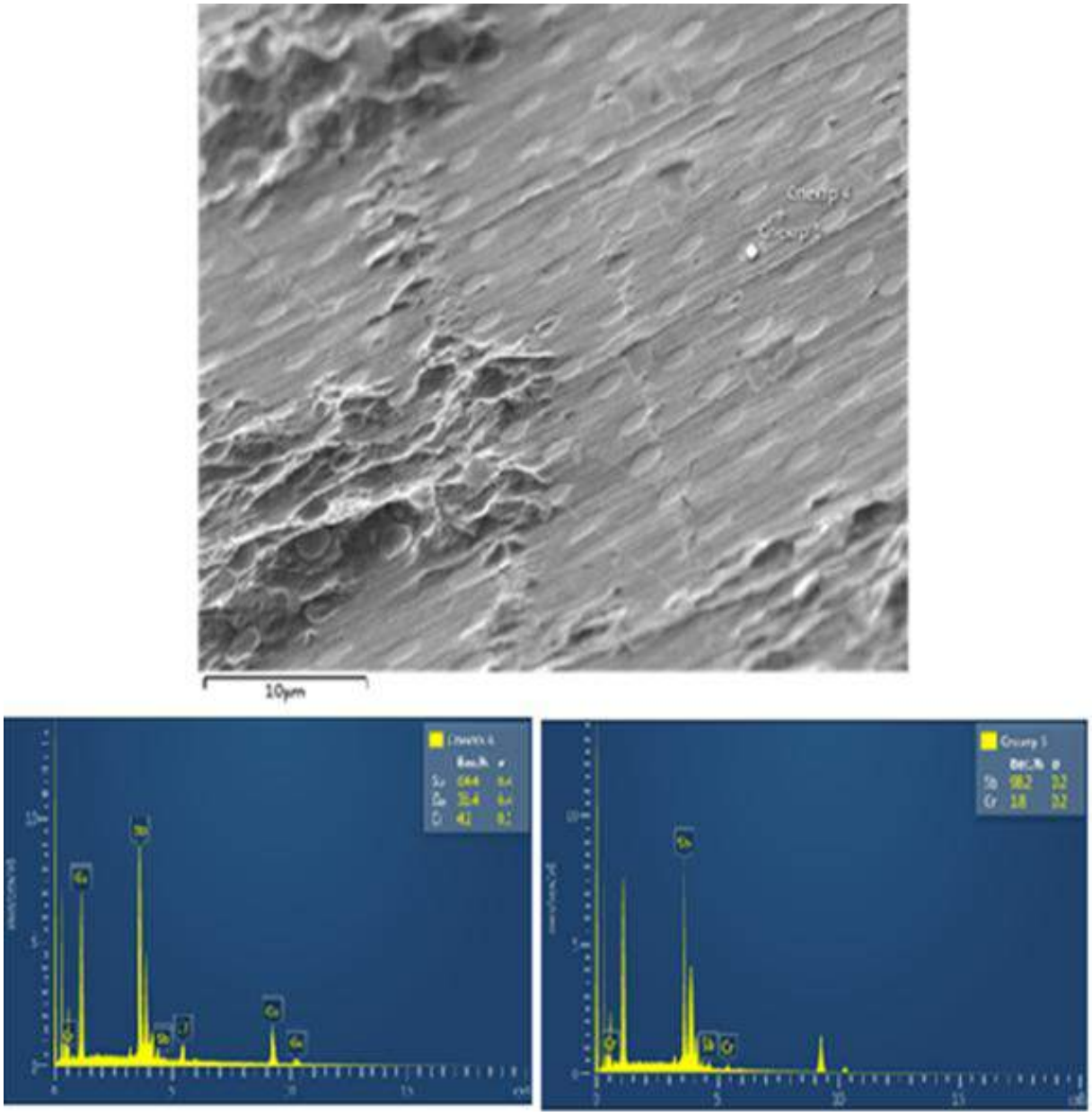
$$c = \frac{V_i N_i}{1 - V_i N_i} \quad (3)$$

burada N_i- metal fazanın sıxlığı, V_i - bir metal iynənin həcmidir.

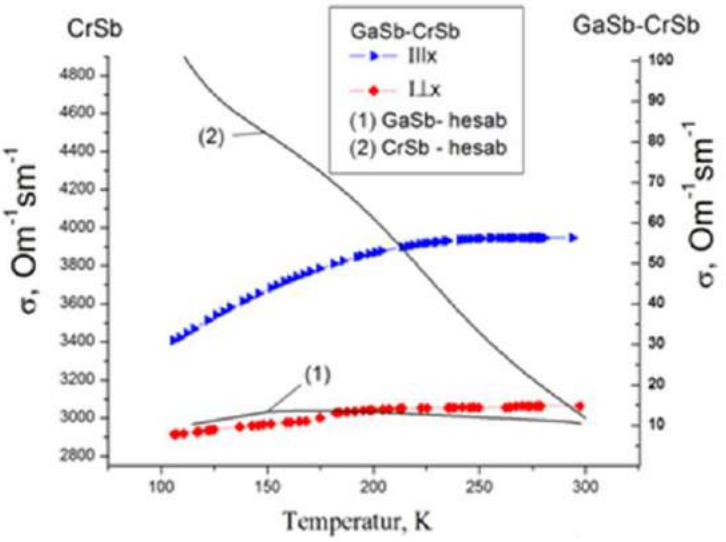
Mikrostrukturda müşahidə olunmuş xüsusiyyətləri nəzərə almaq üçün fazalararası qeyri-bircins bölgənin həcmcə pay nisbəti nəzərə alınmalıdır. Fazalararası zonanın həcmi V_{FAZ} olarsa, elektrik cərəyanın qısa qapanma prosesində iştirak edən metal iynələrin və fazalararası zonaların birlikdə ümumi həcmi $N(V_i+V_{FAZ})$ olacaqdır. V_i həcmini mikroskopdan alınan görünüşlərə görə təxmini hesablamaq mümkün olsa da ($V_i=\pi a^2 L$), fazalararası qeyri-bircins zonanın həcmini hesablamaq mümkün deyildir. Ona görə də, V_i+V_{FAZ} həcmli zona $V_{ef} = \pi b^2 L$ (b=a+h) həcmli effektiv zona ilə əvəz olunmuşdur . Bu isə (1) və (2) ifadələrinə daxil olan c – metal fazanın həcmcə pay nisbətinin $c_{ef}=NV_{ef}/V_m$ ilə əvəz olunmasına ekvivalentdir:

$$c_{ef}=\varphi c \quad (4)$$

Burada φ - hesablama zamanı aproksimasiya yolu ilə tapılan ədədi vuruqdur.



Şəkil 2. Kristallaşma oxuna perpendikulyar istiqamətdə GaSb-CrSb evtektik kompozitin səthində element tərkibi.



Şəkil 3. GaSb-CrSb üçün elektrik keçiriciliyin temperaturasılılığı. GaSb və CrSb üçün effektiv keçiricilik (1 və 2) formulları ilə hesablanmışdır.

GaSb-CrSb evtektik kompoziti üçün elektron mikroskopundan aldığımız mikroqrafika təsvirləri əsasında metal iynələr ətrafında matrisa və metal fazanın elementlərindən təşkil olunmuş örtüyün yarandığı aşqar görünür. Parametrlərin effektiv qiyməti hesablanarkən, fazalararası qarşılıqlı təsir fazalararası zonaların həcmi fraksiyasının daxil edilməsi ilə nəzərə alına bilər. Hesablamalarda fazalararası zonaların rolunu nəzərə almaq üçün, metal iynələr və onun ətrafındakı örtüklər (fazalararası zonalar) bir-birinin içərisinə yerləşdirilmiş *a* və *b* radiuslu silindirlər şəklində təsvir olunaraq, (3) ifadəsində V_i həcmi V_{ef} effektiv həcmi ilə əvəz edilmişdir.

(1) və (2) tənlikləri birgə həll edilərək, həmçinin, iynələrin və cərəyanın müxtəlif istiqamətlərində GaSb-CrSb evtektik kompozitin elektrik keciriciliyinin $\sigma_{\perp}$ və $\sigma_{\parallel}$ eksperimental qiymətlərindən, metal fazanın və fazalararası zonanın həcmi payları nisbətindən istifadə olunaraq, matrisanın və metal fazanın elektrik keçiriciliyi ϕ=1.5 qiyməti üçün hesablanmış və nəticələr 3-cü şəkildə verilib. Hesablamalar göstərir ki, anizotropluğa səbəb olan qısa qapama prosesində metal iynələrlə yanaşı fazalararası zonalar da mühüm rol oynayır.

YEKUN.

GaSb-CrSb evtektik kompoziti sintez olunarkən, kristallaşma sürəti 0.3mm/dəq, 0.6 mm/dəq və 1mm/dəq seçilmişdir. Müəyyənləşdirilmişdir ki, evtektik kompozitlər müxtəlif kristallaşma sürətləri sintez olunarkən, iynələrin ölçülərinin dəyişməsi kinetik parametrlərin dəyişməsinə səbəb olur.

GaSb-CrSb evtektik kompozitin SEM elektron mikroskopunda mikrostrukturuna baxılmış və fazalararası qeyri-bircins zonaların yarandığı müəyyən olunmuşdur. Elektrik keçiriciliyinin effektiv qiymətini təyin edərkən, fazalararası sərhəd bölgəsində yaranan qeyri-bircins zonanın rolu nəzərə alınmışdır.

[1] *Y. Umehara, S. Koda.* J.Japan İnst. Metals, 1986, v.50, pp. 666-670.

[2] *M. Shirai*. Journal of Applied Physics, 2003, v.93, No 10, pp.6844-6846.

[3] *S. Polesya, G. Kuhn, S. Mankovsky, H. Ebert, M.Regus, W. Bensch.* J Phys Condens Matter. 2012 Jan 25, 24, 3.

[4] *J.H. Zhao, F. Matsukura, K. Takamura, E. Abe, D. Chiba and H. Ohno.* Appl. Phys. Lett., 2001, v.79, pp. 2676-2778.

[5] *M. Regusa, G. Kuhnb, S. Mankovsky, H. Ebert, W. Benscha*. Journal of Solid State Chemistry, vol.196, 2012, pp. 100-109.

[6] *R.N. Rəhimov, İ.X. Məmmədov, M.V. Kazımov, D.H. Araslı, A.Ə. Xəlilova*. Journal of Qafqaz University-Physics, 2013, vol.1, №2, s.166-168.

[7] *R.N. Rahimov, M.V. Kazimov, D.H. Arasly, A.A. Khalilova, I.Kh. Mammadov.* Journal Ovonic Research, 2017, vol. 13, No 3, pp. 113-118 123.

[8] *R.N. Rəhimov, I.X. Məmmədov, M. V. Kazımov, D.H. Araslı, A.Ə Xəlilova.* AMEA-nın Xəbərləri, Fizika-Riyaziyyat və Texnika Elmləri Seriyası, Fizika və Astronomiya, 2015, c.35, №5, 9, s.104-107.

[9] *R.N. Rəhimov, İ.X. Məmmədov, D.H. Araslı, A.Ə. Xəlilova, M.V. Kazımov.* AMEA-nın Xəbərləri, Fizika-Riyaziyyat və Texnika Elmləri Seriyası, Fizika və Astronomiya, 2016, c.36, №2, s.56-61.

[10] *R.N. Rahimov, I.Kh. Mammadov, M.V. Kazimov, D.H. Arasly, A.A. Khalilova*. Moldavian Journal of the Physical Sciences, 2015, v.14, No 2, pp.44-50

[11] *G.İ. İsakov.* İnorganic materials, Springer, 2003, No 11, pp.1117-1121.

[12] *S.F. Marenkin, A.V. Kochura, I.V. Fedorchenko, A.D. Izotov, M.G. Vasilev, V.M. Trukhan, T.V. Shelkovaya, O.A. Novodvorsky and A.L.Zheludkevich.* Inorganic Materials, 2016, v.52, N 3, pp. 268-273.

[13] *J.R. Kalnin, E. Kotomin.* J.Phys. A: Math. Gem., 1998, v.31, pp.7227-7234
[14] *M.I. Aliyev, A.A. Khalilova, D.H. Arasly, R.N.Rahimov, M. Tanoglu and L. Ozyuzer*. J. Phys. D: Appl. Phys., 2003, 36, 2627–2633.
[15] *B.Ya. Balagurov*. Journal of Experimental and Theoretical Physics, 2016, v.123, No. 2, pp. 348–356.
[16] *В.В. Крюк, А.А. Повзнер, Д.А. Молодцев, А.В.Пилюгин.* ЖЭТФ, 2003, т.73, в.8, с. 78-84.
[17] *В.И. Оделевский.* Журн.Техн.Физики, 1951, т.21, №6, с.667-677.
[18] W.K. Liebmann and E.A. Miller. J. Appl. Phys. 1963, 34, 2653.

M.V. Kazymov, R.N. Rahimov, D.H. Arasly, A.Ə. Khalilova, I.Kh. Mammadov

INFLUENCE OF INTERFACE ZONES ON ELECTRICAL CONDUCTION OF $(GaSb)_{0.866}$-$(CrSb)_{0.134}$ EUTECTIC SYSTEM

By investigation of microstructure of GaSb-CrSb eutectic composite by electron microscope it has been established that the interface zones between the semiconductor matrix and metallic inclusions generate. The role of these interface zones at calculation of effective electrical conduction value of the composite is taken into account.

М.В. Кязимов., Р.Н. Рагимов., Д.Г. Араслы, А.А. Халилова, И.Х. Мамедов

ВЛИЯНИЕ МЕЖФАЗНЫХ ЗОН НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ $(GaSb)_{0.866}$-$(CrSb)_{0.134}$

Исследованием микроструктуры эвтектического композита GaSb-CrSb на электронном микроскопе (SEM) установлено, что между полупроводниковой матрицей и металлическими включениями образуются межфазные зоны. При вычислении эффективного значения электропроводности композита учитывается роль этих межфазных зон.

Qəbul olunma tarixi: 15.01.2018

ŞOTTKİ ÇƏPƏRLİ FOTOQƏBULEDİCİLƏRİN KÜYLƏRİ

E.Ə. KƏRİMOV
Milli Aerokosmik Agentliyi, Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutu,
S.S. Axundov küç. 1, Az 1115

S.N. MUSAYEVA
Azərbaycan Texniki Universiteti, H. Cavid pros. 25, AZ 1073
E-mail: E_Kerimov.fizik@mail.ru

Eksperimentlər göstərir ki, Şottki-qəbuledicilərin işlək temperaturunun ədədi qiymətləndirilməsi zamanı atmosferin şəffaflıq pəncərəsində həssaslığın ən yaxşı qiymətini almaq üçün onların həssaslığının uzun dalğalı sərhədi adi fotodiodun uyğun parametrindən böyük olmalıdır.

Açar sözlər: Şottki diodları, fluktasiya, həndəsi küy, fotohəssaslıq, buraxma zolağı, emissiya, diod strukturları.
UOT: 535.317
PACS: 72.10.-d

Şottki-qəbuledicilər üçün küyün iki mexanizmi əsasdır: çəpərdən keçən termoelektron emissiyası cərəyanının fluktuasiyaları ilə yaranan kəsr küyü və qəbuledicyə düşən fon şüalanmasının təsiri ilə həyəcanlanan fotoelektronların fluktuasiyaları nəticəsində yaranan fon küyü [1].

Diod üçün aşağıdakı bərabərliyi yazmaq olar:

$$J = J_0\left[\exp\left(\frac{qV}{\kappa T}\right)-1\right] \qquad (1)$$

burada, J_0 – əks sürüşmə zamanı doyma cərəyanı, q – elektronun yükü, V – tətbiq olunmuş gərginlik, k – Bolsman sabiti, T – mütləq temperaturdur. Qısa qapanmanın küy cərəyanı:

$$J_N = \left[\left(2qJ + 4qJ_0\right)B\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2)$$

burada, B – ölçmə traktının buraxma zolağının enidir. Sıfır sürüşmə zamanı diodun müqaviməti yəni, volt-amper xarakteristikasının mailliyi

$$R = \frac{KT}{qI_0} \qquad (3)$$

olacaq. Onda, sıfır sürüşmədə cərəyan $I=0$ və (2) ifadəsi aşağıdakı şəklə düşəcək:

$$i_N = \left(\frac{4\kappa TB}{R}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (4)$$

Bu isə tamamilə Conson küyü üçün ifadə ilə üst-üstə düşür. Kifayət qədər böyük əks sürüşmədə $J = -J_0$ (2) ifadəsi belə yazıla bilir:

$$i_N = \left(2qI_0B\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (5)$$

Qısa qapanmanın küy cərəyanı üçün bu ifadə kəsr küyündə daha tez-tez istifadə edilir. I_m – termoelektron emissiyanın qaranlıq cərəyanı temperaturdan asılıdır. Bu asılılıq Riçardson formulu ilə ifadə olunur:

$$J_m = AA^*T^2\exp\left(-\frac{e\Phi_0}{\kappa T}\right) \qquad (6)$$

burada, T – detektorun Kelvinlərdə temperaturu, e – elektronun yükü, k – Bolsman sabiti, A^* - Riçardson sabiti (onun silisiumda deşiklərin emissiyası üçün olan nəzəri qiyməti 32 $A\cdot sm^{-2}K^{-2}$-dir), A – detektorun sahəsidir. Temperaturun azalması ilə termoelektron emissiyası cərəyanının orta qiyməti və onun fluktuasiyaları azalır. Ona görə də, hər hansı kifayət qədər kiçik temperaturda fon küyü üstünlük təşkil edəcəkdir. İşdə göstərilir ki, fon küyünün fotovoltaik qəbuledicilərdə (F_V), o cümlədən də Şottki – fotodiodlarında bütün digər küy mənbələrindən üstün olması şərti aşağıdakı bərabərsizliyin ödənilməsidir:

$$R_0\cdot A >> \frac{2kT}{e^2Y(\lambda)Q_F(\lambda)} \qquad (7)$$

burada, R_0(Om) – detektorun qaranlıq müqaviməti, A(sm^2) – detektorun sahəsi, $Q_F(\lambda)$ – dalğa uzunluğu $\lambda<\lambda_0$($sm^{-2}\cdot c^{-1}$) olduqda fotonların fon selinin sıxlığı və $Y(\lambda)$ - isə bu dalğa uzunluğunda detektorun kvant çıxışıdır. Şottki -qəbuledicisində

$$R_0 = \left.\frac{\partial J}{\partial U}\right|_{U=0} = \frac{kT}{eA^*T^2}\exp\left(-\frac{e\Phi_0}{kT}\right) \qquad (8)$$

olduğundan, bu şərt bütün dalğa uzunluqlarına görə inteqrallama aparıldıqda aşağıdakı şəklə düşür:

$$\frac{kT}{eA^*T^2}\exp\left(-\frac{e\Phi_0}{kT}\right) >> \frac{2kT}{e^2\int_0^{\lambda_0}Y(\lambda)Q_F(\lambda)d\lambda} \qquad (9)$$

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

(9) ifadəsi Şottki-qəbuledicisinin fotohəssaslığın uzun dalğalı sərhədindən asılı olaraq OF – rejiminə daxil olması temperaturunu təyin edir. Şottki-qəbuledicilərin işlək temperaturlarının ədədi qiymətləndirilməsində nəzərə almaq lazımdır ki, atmosferin şəffaflıq pəncərəsində ən yaxşı həssaslıq almaq üçün onların həssaslığının uzun dalğalı sərhədi adi diodun uyğun parametrindən böyük olmalıdır. Ona görə də, Şottki - qəbuledicisinin işlək temperaturu qismində 3÷5 mkm buraxma pəncərəsində 80°K, 8÷14 mkm pəncərə üçün isə $T \le 40°$ K götürülməlidir.

OF – rejimində Şottki-qəbuledicisinin işlədiyi zaman onun küyü, adi fotorezistor və ya fotodiodlarda olduğu kimi, fon şüalanmasının intensivliyi ilə təyin olunur [2]. Fon küyünün orta kvadratik qiyməti qəbuledicisiyə düşən fon şüalanmasının orta intensivliyindən asılıdır:

$$\sqrt{\overline{\Delta n_{ш}^2}} = \int_{\nu_0}^{\infty} Y(\nu)\overline{Q_F(\nu)}d\nu \quad (10)$$

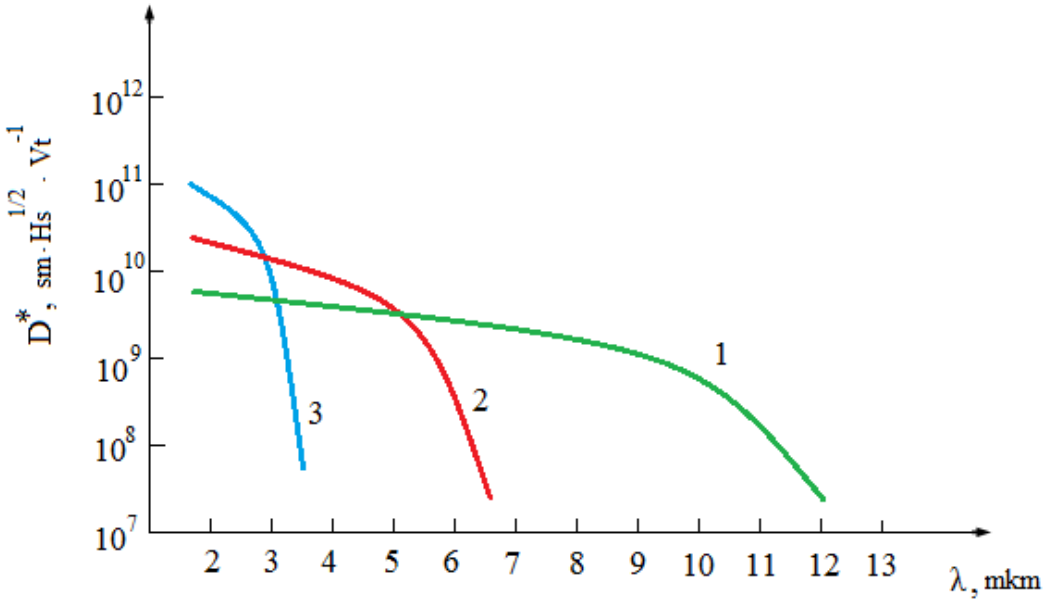
burada, $\sqrt{\overline{\Delta n_k^2}}$ - fotoelektronların (fotodeşiklərin) konsentrasiyasının fluktuasiyalarının orta kvadratik qiyməti, $\overline{Q_Ф(\nu)}$ - isə fon şüalanmasının həssas elementə düşən ν – tezlikli foton selinin orta sıxlığıdır:

$$\nu_0 = \frac{\Phi_0}{h} \quad (11)$$

Məlum metodikadan istifadə etsək, OF – rejimində Şottki-qəbuledicisinin spektral aşkaretmə qabiliyyəti üçün aşağıdakı ifadəni ala bilərik:

$$D^*(\lambda) = c\left(\frac{h\nu - h\nu_0}{h\nu}\right)^2 \cdot \left[\int_{\nu_0}^{\infty} c\frac{(h\nu - h\nu_0)^2}{h\nu}\cdot\overline{Q_Ф(\nu)}d\nu\right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Şottki – çəpərinin hündürlüyünün müəyyən qiymətləri üçün (12) ifadəsindən hesablanmış asılılıq şəkil 1-də verilmişdir (c = 10% eV и T_F = 290^0 K). Elə bu qrafikdə müqayisə olaraq kvant effektivliyi vahidə bərabər olan və uzun dalğalı sərhədin eyni qiymətləri şərtində adi foton şüalanması qəbuledicisi üçün analoji asılılıqlar göstərilmişdir.

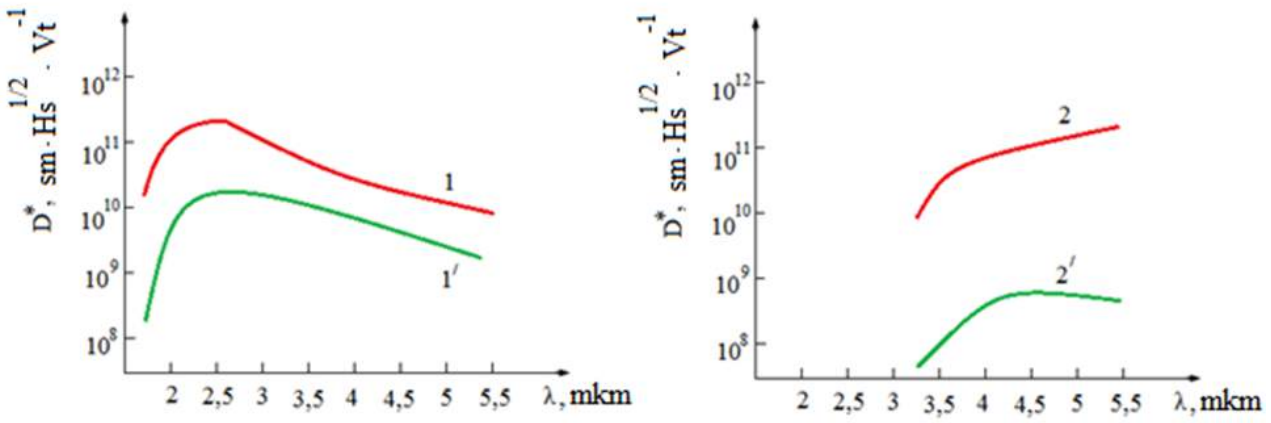


Şəkil 1. Φ_0 = 0,1 eV (əyri - 1); 0,2 eV (əyri - 2) и 0,3 eV (əyri - 3) olduqda Şottki fotodiodunun gətirilmiş aşkaretmə qabiliyyətinin spektral asılılıqları.

Şəkildən görünür ki, adi qəbuledicilərlə müqayisədə uzun dalğa sərhədinə yaxın – uzun dalğalarda Şottki qəbuledicilər kifayət qədər kiçik $D^*(\lambda)$ – qiymətini alırlar.

OF – rejimində işləyən Şottki-qəbuledicilərin aşkaretmə qabiliyyətini artırmaq üçün adi foton qəbuledicilər ilə işləyərkən olduğu kimi fon şüalanmasının intensivliyini soyudulan diafraqma və ya lazım olan işlək spektral interval süzgəcləri vasitəsi ilə azaldırlar (şəkil 2).

Şəkil 2-də göstərilmiş asılılıqların hesablandığı analitik ifadələr (12) bərabərliyində inteqralın uyğun dalğa uzunluqları intervalına görə açılması ilə də alına bilər. Aydındır ki, Şottki-qəbuledicilərində inteqral aşkaretmə qabiliyyəti, spektral aşkaretmə qabiliyyəti kimi mütləq qiymətinə görə, adi foton qəbuledicilərində olduğundan kifayət qədər kiçikdir. Onların həm də fotohəssaslığın uzun dalğalı sərhədinin vəziyyətindən asılılığı da fərqlənir: əgər adi qəbuledicilər üçün şüalanma siqnalının buraxma pəncərəsinin uzun dalğalı sərhəddən λ_0 – sürüşməsi ən yaxşı halda aşkaretmə qabiliyyətini azaltmırsa, inteqral aşkaretmə qabiliyyətinin maksimal qiyməti yalnız λ_0 –ın uyğun buraxma pəncərəsinin uzun dalğalı sərhədindən böyük olduğu zaman əldə olunur.



Şəkil 2. $D^*(\lambda)$ – inteqral kəmiyyətinin $\Delta\lambda$ = 3-5 mkm (əyrilər 1 və $1^{/}$) и $\Delta\lambda$ = 8-14 mkm (əyrilər 2 və $2^{/}$) şəffaflıq pəncərəsində Şottki-diodların həssaslığının uzun dalğalı sərhədinin vəziyyətindən asılılıqları.

Beləliklə, 3÷5 mkm pəncərə üçün inteqral aşkaretmə qabiliyyətinin maksimal qiyməti fon şüalanmasının həssas elementə 0–dan λ_0 mkm-a qədər bütün spektral oblastda düşdüyü zaman λ_0=7 mkm-ya və fon şüalanmasının siqnal şüalanması ilə eyni spektral oblastda düşdüyü λ>20 mkm-ya uyğun gəlir. Şottki-qəbuledicilərin bu xüsusiyyəti daxili fotoemissiyanın kvant çıxışının xüsusi növ spektral asılılığı ilə təyin olunur:

$$R = c_1\left(1-\frac{\varphi_0\lambda}{1,24}\right)\frac{A}{Vt} \qquad (13)$$

Uzun dalğalı sərhədin artması verilmiş dalğa uzunluqları intervalında kvant effektivliyinin artmasına gətirir ki, bu hadisə adi qəbuledicilərdə müşahidə olunmur. Beləliklə, Şottki-qəbuledicilərdə atmosferin şəffaflıq pəncərəsində aşkaretmə qabiliyyətini nəzəri olaraq potensial çəpərin hündürlüyünün kiçikqiymətlərini təmin edən materiallardan istifadə etməklə artırmaq mümkündür. Lakin, bu zaman həssas elementin soyudulma temperaturunu aşağı salmaq lazımdır.

İlk baxışdan elə gəlir ki, ənənəvi foton qəbuledicilər həssaslıqlarına görə Şottki-qəbuledicilərinə nisbətən üstündürlər. Lakin, bu yalnız "yüngül" təsir qəbuledicilər üçün düzgün olub siqnal toplanan qurğulara aid deyildir. Siqnal toplanması olan qəbuledici qurğular OF rejimində işləyərkən, siqnal/küy nisbəti siqnalın toplanması T_T – zamanı və η – kvant effektivliyinin (Şottki- qəbuledicilər üçün Y – kvant çıxışı) hasilinin kvadrat kökündən təyin olunur. Ona görə də, yükün toplanması rejimində Şottki-qəbuledicilər üçün kvant çıxışının kiçik qiyməti siqnalın toplanması zamanının artması ilə kompensasiya oluna bilir.

[1] *С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев, М.А.Ременный и др.* ФТП. 2007, т. 41, В. 11, с. 412-417.

[2] *В.В.Шерстнев, Д.Старостенко, И.А.Андреев и др.* Письма в ЖТФ. 2011, т. 37, В. 1, с. 11-17.

Э.А. Керимов, С.Н. Мусаева

ШУМЫ ФОТОПРИЕМНИКОВ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

Выявлено, что при понижении температуры уменьшаются средняя величина тока термоэлектронной эмиссии и его флуктуации. Поэтому, при некоторой достаточно низкой температуре, преобладающим механизмом шума будет фоновой шум.

E.A. Kerimov, S.N. Musayeva

NOISE OF PHOTO RECEIVERS WITH SHOTTKY - BARRIER

It is detected, that average value of current of thermionic emission and its fluctuations decreases at temperature decreasing. That`s why dominant mechanism of noise will be ambient noise at some sufficiently low temperature

Qəbul olunma tarixi: 19.01.2018

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ FERRİT NANOTOZLARININ İQ SPEKTRLƏRİ

A.Ə. SADIQOVA, Ş.Ə. ƏHMƏDOVA, Ş.N. ƏLİYEVA, T.R. MEHDİYEV
Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnsitutu
AZ-1143, Azərbaycan, Bakı,H.Cavid pr.131

Zn (və ya Ni)-in müxtəlif miqdarlarında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit nanotozlarının $4000sm^{-1}$-$50sm^{-1}$ infraqırmızı aralığında diffuz əksolunma spektrlərinin təcrübi tədqiqatlarının nəticələri göstərilmişdir. Bu ferritlərin İQ spektrlərinin intensivliklərinin müxtəlif tərkibli ferritlərdə Fe^{2+} və Fe^{3+} kationlarının miqdarından asılılığı qurulmuşdur. Ferritlərin tərkibindən asılı olaraq əks olunma spektrlərinin dəyişmə xüsusiyyətləri interpretasiya edilmişdir.

Bu iş Qrant № EİF-BGM-3-BRFTF-2+/2017-15/04/1 Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun maliyyə dəstəyi ilə həyata keçirilmişdir.

Açar sözlər: İR spektroskopiya, altqəfəs, ferrit, simmetriya
DOİ: 10.21883/FTT.2017.03.44164.468
PACS: 41.20 Gz; 42.72 Ai

1. GİRİŞ

Keçən əsrdən geniş praktiki əhəmiyyətə malik olan $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri bugünkü gündə də böyük elmi maraq kəsb edir. Bunu da nəşr edilən elmi məqalələrin çoxluğu ilə görmək olar. 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, simmmetriya dəyişmədən çevrilmiş şpinel quruluşdan ($NiFe_2O_4$) normal şpinel quruluşa ($ZnFe_2O_4$) tədricən keçməsidir və bu zaman ferromaqnit düzülüşdən antiferromaqnit düzülüşə keçid müşahidə olunur.

Cədvəl 1.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$-ferrit nanotozlarının infraqırmızı spektrləri

Infraqırmızı spektrdə $50sm^{-1}$-$700sm^{-1}$ aralığında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ fononların tezlikləri												
	[23], [20]	Təcrübə		[20]	Təcrübə		[20]	Təc.	[20], [11]	Təc.		[9], [20]
x / simmetriya	0	0	0.25	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.75	1.0	1.0
F_{1u}^1	604 [20]	604	592	590 [20]	584	578	578 [20]	582	571[20] 582[11]	570	-	569[9]
		-	-		-	544		544		550	542	542[20]
		533	538		522			535		-	-	
		529	528		512	529		525		516	519	
		-	524		508	-		518		506	507	
	460 [20]	-	456		497	454		-		500	471	463[20]
		443	442		437	436		-		-	-	
		432	433			429		430		-	-	
F_{1u}^2	426 [20]	425	426	426 [20]	426	424	426 [20]	-	426[20]	421	426	420[9]
		-	403		401	-		403	401[11]	394	398	
		392	391		389	389		388		391	388	
	373 [23]	-	367		363	356		-		330	332	
		349	345		346	343		324		-	-	
		306	306		304	300		299		308	313	
	273 [23]	273	275		270	266		284		287	294	
F_{1u}^3	250 [23]	249	247		-	248		236		-	247	
		-	204		204	206		195		206	206	206[20]
		169	169		171	173		163		177	183	
		96	93		95	95		128		81	84	
		95	90		89	88		55		77	80	
		-	85		84	83		52		73	76	
		74	76		71	72		43		58	69	

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

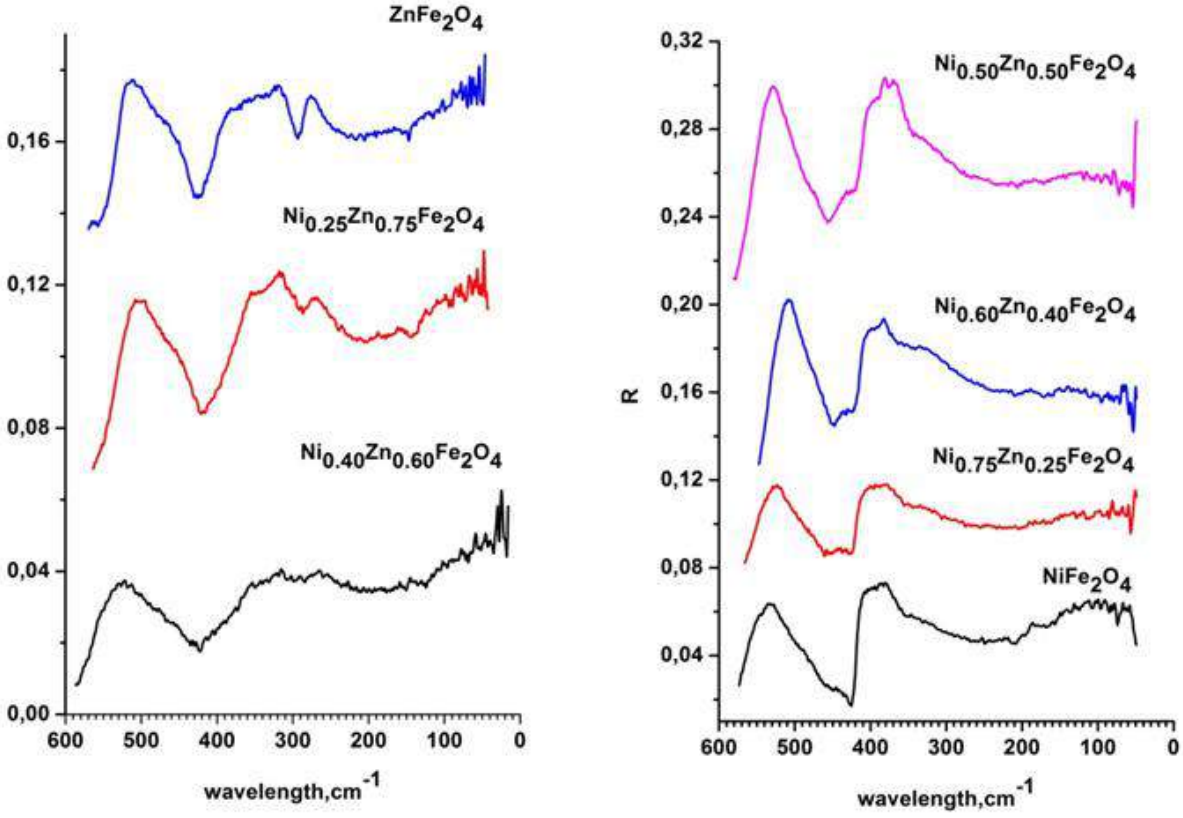
Qeyd edək ki, sinkin miqdarı artdıqca, ferritlərin başlanğıc maqnit nüfuzluğu artır ($NiFe_2O_4$ üçün μ_H=55), $Ni_{0.28}Zn_{0.72}Fe_2O_4$ tərkibində maksimuma çatır (μ_H=4200) və sonra kəskin azalır [2]. Polikristal $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nümunələrinin kiçik bucaqlı neyton səpilməsinə dair aparılan tədqiqatlara həsr olunmuş məqalələrdə [3,4] adi keramika texnologiyası ilə sintez edilmiş bu ferritlərin x(Zn)=0.60, 0.68, 0.75 konsentrasiyalarında aşağı temperaturlarda qeyri-kollinear maqnit struktur üçün xarakterik olan yüksək sahə qavrayıcılığı qeydə alınır. 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. [4] işdə göstərilmişdir ki, $Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ ferritləri Küri temperaturundan aşağı bütün temperaturlarda qəfəslər arası və qəfəslər daxili 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, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$-ferritlərinin struktur analoqu olan maqnetit nanotozlarında (dənəciklərin ölçüsü ~15-45 nm) zəif maqnit faza mövcuddur. Uyğun piklərin intensivlikləri zəif olduğundan, onları A və B alt qəfəsindəkı dəmir ionlarının intensiv maksimumlarından ayırd etmək mümkün olmamışdır. Bu səbəbdən də, zəif maqnit fazanın parametrləri təyin edilməmişdir. Məqalənin müəlliflərinin də qeyd etdiyi kimi bu faza superparamaqnitizmi xatırladır. Zn və Ni-nin müxtəlif miqdarlarında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$-in nazik təbəqələrinin (~100nm tərtibli) 300K temperaturda atom qüvvə mikroskopunda tədqiqi zamanı, bu ferritlərdə maqnit domen struktur müşahidə olundu [6]. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində domenlərin ölçüsü Fe kationlarının miqdarının dəyişməsi ilə dəyişir.

Məlum olduğu kimi [7], maqnit spektrlərini qeyri-elastik neytron səpilməsi, infraqırmızı və Raman səpilmə təcrübələrindən və, eyni zamanda, maqnit rezonansa aid təcrübələrdən əldə etmək olar. Qeyri-elastik səpilmə və Raman səpilmənin təsviri, fononların iştirakı ilə baş verən analoji proseslərin təsvirinə oxşardır.

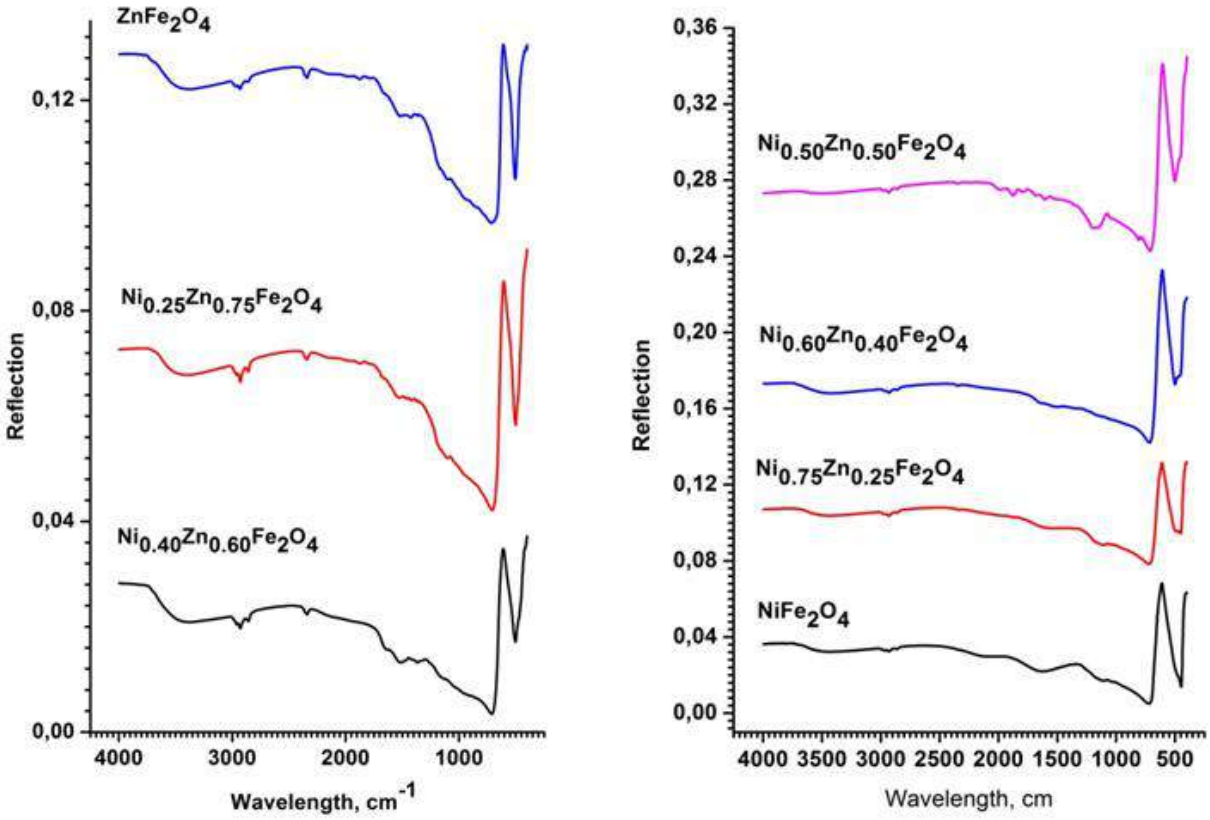
Məqalədə Ni və Zn-in müxtəlif miqdarlarında maqnit qeyri-bircinsliyinin $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit nanotozlarının infraqırmızı spektrlərinə təsirinin təcrübi olaraq tədqiqinin nəticələri göstərilmişdir.

2. NÜMUNƏLƏRİN HAZIRLANMASI.

Ferritlərin bütün tərkibləri ifrat təmiz ZnO, NiO, Fe_2O_3 tozlarının yüksək temperaturlu sintezi ilə əldə edilmişdir [2,7]**.** Ətraflı olaraq, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərin sintezi texnologiyası [2] işində dərc edilmişdir. [2] işindən məlum olduğu kimi $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində NiO və ZnO-in artıq qalan miqdarı həll olmur. Fe_2O_3 artıq qalan miqdarı tərkibində Fe_3O_4 maqnetitin olduğu bərk məhlulu əmələ gətirir. [2] işində göstərildiyi kimi şpinel strukturlarda dayanıqlı hal yaranana qədər nöqtəvi deffektlər və vakansiyalar şəklində nizamsızlığın müxtəlif formaları yaranır.Termodinamik tarazlıq pozulmayana qədər bu nizamsızlıqlar və onların konsentrasiyası praktiki olaraq dəyişməyəcək. Ferritlərin sintezi prosesində reaksiyanın tam getməsi üçün oksidlərdən ibarət qarışıq qızma mərhələsində 900°C-dən 1000°C-ə qədər bişirilməlidir.



Şəkil 1. 700-50 sm^{-1} İQ diapazonda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin diffuz əksolunma spektrləri.



Şəkil 2. 4000-700 sm^{-1} İQ diapazonda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin diffuz əksolunma spektrləri.

Bizim işdə $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ (= 0, 0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75,1) ferritlərin sintez olunmuş bütün tərkibləri 960°C temperaturda bişirilmişdir. Əldə olunmuş nümunələr üyüdülərək dənəciklərinin ölçüsü ~20 nm olan nanotoz halına salınmışdır.

Sintez olunmuş ferrit nanotozlarının keyfiyyətinə XRDD8 ADVANCE (Bruker,Almaniya) rentgen difraktrometri və Raman spektrometri ilə nəzarət olunmuşdu. Əldə olunmuş bütün ferritlərin *Fd3m* [1] fəza simmetriya qruplu şpinel quruluşa ($Fd\bar{3}m - O_h^7$ fəza simmetriya quruluşuna) malik olması müəyyən edilmişdir və bu nəticələr [8] işində dərc edilmişdir. Elementar qəfəs parametrləri təyin edilmişdir və müəyyən edilmişdir ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritləri 1100°C temperaturuna kimi öz quruluş və simmetriyalarını saxlayırlar.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ (x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 1) nanotozlarının infraqırmızı spektrləri vakuum kamerasında, standart spektral ayırdetməsi 0,5sm^{-1} olan, 4000-50sm^{-1} spektral diapazonunda, Easi DiffTM diffuz əksetmə əlavəli (PIKETechnologies, USA) infraqırmızı Furye Vertex70 spektrometrində (Bruker, Germany) tədqiq olunmuşdur və əldə olunmuş İQ spektrlər şəkil 1 və 2-də göstərilmişdir. Tədqiqatlar 300K temperaturunda aparılmışdır. İnfraqırmızı spektrlərinin maksimumları Furye spektrometrinin OPUS proqramında Kubelka-Munk tənliyi ilə analiz edilmişdir ki, burada da qalınlığı bir neçə millimetr olan kiçik tozun qalın,qeyri-şəffaf təbəqəsi $F(R) \equiv \frac{(1-R)}{2R} = \frac{k}{s}$ şəklində olur. Burada $R = \phi_1 / \phi_2$; ϕ_1 -toz təbəqəsinin diffuz əksetməsi, ϕ_2 -udulmayan etalonun diffuz əksetməsi ; k -udulmanın molyar əmsalıdır və Lambert qanunu ilə təyin olunur : $\phi = \phi_0 \exp(-kd)$; s -dalğa uzunluğundan asılı olmayan səpilmə əmsalıdır. Etalon kimi standart etalon olan təmiz silisium karbidindən (PIKE Technologies) istifadə olunmuşdu. Çoxsaylı təcrübələr və onların nəticələri sayəsində tədqiq olunan $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ (x=0; 0.25; 0.4; 0.5; 0.6; 0.75; 1) ferritlərin İQ spektirində müşahidə olunan incə quruluş və udma maksimumlarının vəziyyəti (Kubelka-Munk tənliyindən müəyyən edilir) müəyyən edilmişdir və bu nəticələr [9–13] işləri ilə uyğunluq təşkil edir. Cədvəldə bizim təcrübələrdən əldə etdiyimiz və [9–13] işlərindən götürülmüş nəticələr müqayisə olunmuşdur. Kramers-Kroninq metodu ilə infraqırmızı spektrlər daha ətraflı işlənilmişdir (bu proses Furye spektrometrinin proqramına daxil edilir və dielektrik keçiriciliyin xəyali və həqiqi hissələri, itki funksiyası, sınma spektrləri və həmçinin udma və əksetmə spektrləri arasında əlaqəni müəyyən edir).

Alınmış infraqırmızı spektrlərin analizi bu spektrlərin mürəkkəb struktura malik olmasını və x-in qiymətinin dəyişməsi ilə spektrlərin nəinki yerdəyişməsi, həmçinin spektral komponentlərə parçalanmasını göstərdi.

3. TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

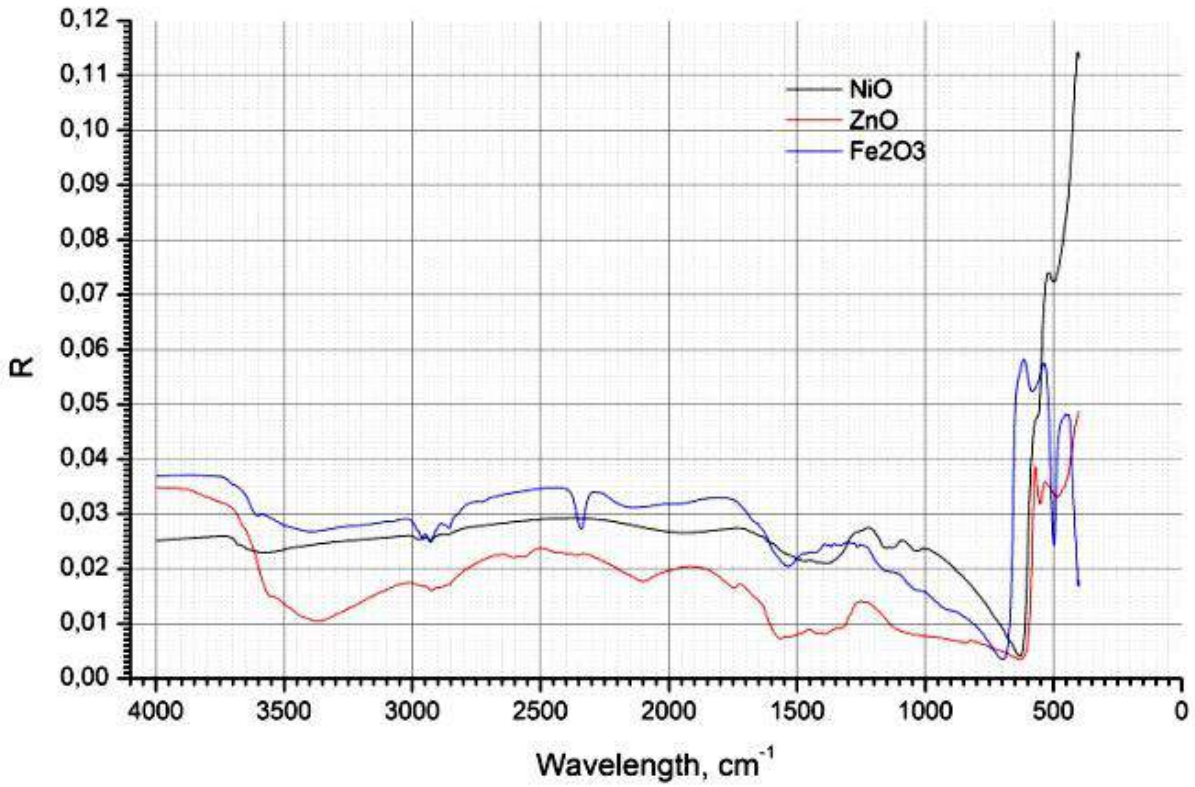
Məlumdur ki, $Fd\bar{3}m$ fəza simmetriya qrupuna aid olan şpinellərin infraqırmızı əksetmə spektrlərində F_{1u} tipli simmetriyanın infraqırmızı aktiv modaları, yəni inversiya mərkəzinə asimmetrik olan və ikinci tərtib oxa və ya

əks olunmanın şaquli müstəvisinə nəzərən simmetrik olan üçqat cırlaşmış rəqslər müşahidə olunmalıdır [14]. Belə ki, tədqiq olunan ferritlərin tərkibinə daxil olan Fe (55.847), Ni (58.69) və Zn (65.39) ionlarının kütləsi oksigen ionun (15.999) kütləsindən xeyli böyük olduğuna görə, ağır metal ionlarına nisbətən oksigen ionunun rəqsi, praktiki olaraq, ağır ionların vəziyyətinə təsir etmir. Eyni zamanda, ağır ionların rəqsləri oksigen ionlarının rəqslərinə təsir göstərir. Oksigen ionunun yerdəyişməsi ya üçüncü tərtib C_3 oxu boyunca, ya da ona perpendikulyar istiqamətdə baş verə bilər [12]. Birinci halda Me^{2+}-O-3Me^{3+} əlaqəsinin F_{1u}^1 rəqsləri müşahidə olunur (burada Me^{2+} - oktaedrik kation, Me^{3+} - üç teraedrik kationdur). Oksigen C_3 oxuna perpendikulyar yerdəyişmə etdikdə, Me^{2+}-O-3Me^{3+} əlaqəsinin F_{1u}^2 rəqsləri müşahidə olunur. Ümumi halda bu rəqslərə spektrin müvafiq olaraq yüksək tezlikli və aşağı tezlikli zolaqları uyğundur. Kationların bir-birinə nəzərən F_{1u}^3 (Me^{3+} - Me^{3+} əlaqəsi) simmetriya rəqsləri daha aşağı tezliklərdə baş verir və zəif intensivliyə malikdirlər [12].

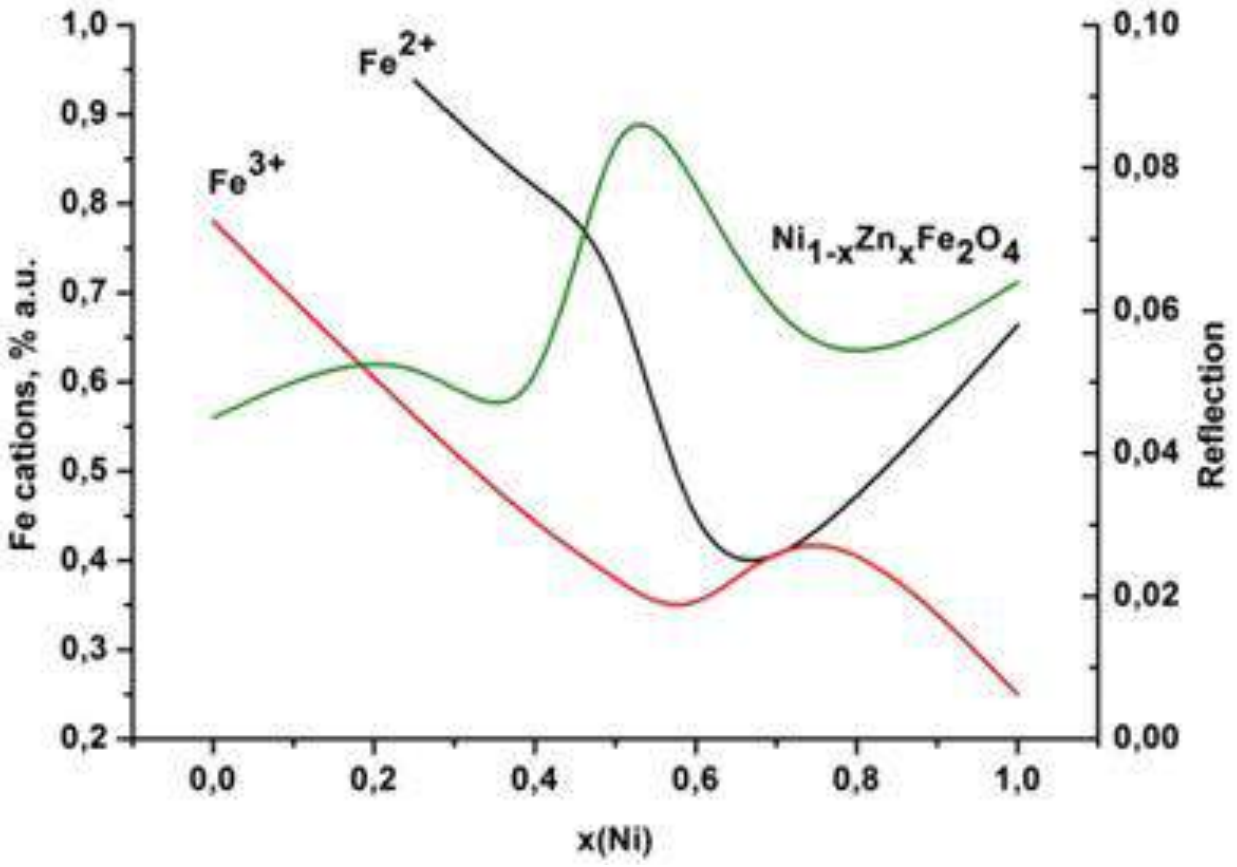
Məlumdur ki, 3627−3500 sm^{-1} (şəkil 2) oblastda zəif intensivlikli geniş udma zolağı (OH) ionlarının spektrə verdiyi qatqıya uyğundur [15]. Bu zolaq qırılmış rabitələr sayəsində ferrit nanozərrəciklərinin səthlərinin aktivliyi və böyük ehtimalla aktiv OH-qruplarının $(OH)^-$ və H^+ ionlarının adsorbsiyası nəticəsində yaranır. [16] işində göstərildiyi kimi, OH-qrupunun mövcudluğu maqnetit nanohissəciklərinin möhkəm qoruyucu təbəqə əmələ gətirərək polimer birləşmələrə asanlıqla nüfuz etməsinə imkan yaradır.

1630 sm^{-1}-də udulma zolağı δ(HOH) deformasiya rəqsləri ilə bağlıdır və 823 sm^{-1} və 1045 sm^{-1} udma zolağı isə Zn−O−H və Fe−O−H əlaqələrinin deformasiya rəqslərinə uyğundur (şəkil 2). Ferritlərin bütün tərkibləri üçün 50-1000 sm^{-1} spektral aralıqda Fe−O, Ni−O və Zn−O əlaqələrinin qəfəs rəqslərinə uyğun geniş udulma zolağı müşahidə olunu. Alınmış nəticələrin izahı üçün $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin sintezində istifadə olunan ZnO, NiO və Fe_2O_3 (şəkil 3) komponentlərinin infraqırmızı spektrləri haqqında məlumat böyük maraq kəsb edir. Müqayisə üçün şəkil 3-də $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$-ün infraqırmızı spektri göstərilmişdir.

Fe_2O_3 spektrində Fe-O əlaqəsi F_{1u}^1 və F_{1u}^2 tipli simmetriyalara uyğun 545 sm^{-1} və 470 sm^{-1} zolağında xarakterik dublet təsvir olunmuşdur. Fe_3O_4 -də analoji dubletlər spektrin 590 (və ya 595) sm^{-1} və 415 sm^{-1} tezlik zolağında müşahidə olunur [17]. Dublet quruluş həmçinin (590 sm^{-1} və 413 sm^{-1}) ZnO nanotozlarında da müşahidə olunur. NiO nanotozlarında 530−430 sm^{-1} spektral zolağı Ni-O əlaqəsinə uyğundur.



Şəkil 3. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin sintezi prosesində istifadə olunmuş Fe_2O_3, NiO və ZnO tozlarının nümunəsinin İQ spektrləri.



Şəkil 4. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritinin müxtəlif tərkiblərində Fe^{2+} [16] və Fe^{3+}[9] kationlarının konsentrasiyasından asılı olaraq İQ əksolunma spektrlərinin intensivliklərinin dəyişməsi.

Beləliklə, ZnO, NiO və Fe_2O_3-ün infraqırmızı spektrlərinin $NiFe_2O_4$–ün infraqırmızı spektri ilə müqayisəsi (604 sm^{-1} və 425 sm^{-1}) dubletini, uyğun olaraq, Ni-O və Fe-O əlaqələrinin rəqsi kimi şərh etməyə imkan verir. Cədvəldən də görünür ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ tərkiblərində x-in artması ilə 604 sm^{-1}spektral xətti yerini 504 sm^{-1} vəziyyətinə dəyişir. Belə ki, x-in 0.5-ə yaxın qiymətlərində Zn-O əlaqəsinin rəqslərinə uyğun yeni 544 sm^{-1} komponentin yaranması müşahidə olunur və bu komponent $ZnFe_2O_4$ ferritində 542 sm^{-1} [9] və ya 569 sm^{-1} [10] tezliyində qeydə alınmışdır. Qeyd edək ki, təqribən 430 və 545sm^{-1} maksimumlu tezlik oblastında udma zolaqları Fe–O–Zn yaxın koordinasiya ətrafında Zn^{2+} ionlu oktaedrik pozisiyalarda Fe–O valent əlaqəli rəqslərinin kombinə edilmiş zolaqlarıdır. F_{1u}^2 tipli simmetriya rəqsləri kimi interpretasiya edilən 425 sm^{-1} xəttin vəziyyəti tərkibdə x-in qiymətinin dəyişməsindən praktiki olaraq asılı deyil (cədvələ bax). Bu, Fe-O əlaqəsinin (Fe^{3+}-O^{-2}-Fe^{3+}) rəqsləri kimi şərh etməyə imkan verir.

İnfraqırmızı spektrlərin intensivliyinin $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$-də x-in qiymətindən asılılığı (şəkil 4) bu ferritlərin tərkiblərində Fe^{2+} [18] və Fe^{3+} [9] kationlarının konsentrasiyasının dəyişməsinin nəzərə alındığı model çərçivəsində interpretasiya edilmişdir. Alınmış nəticələrdən görünür ki, Fe^{2+} və Fe^{3+} kationların konsentrasiyasının x-in qiymətindən asılı olaraq dəyişməsi diffuz əksolunma spektrlərin intensivliklərinin (maksimum x=0.6 ətrafında müşahidə olunur) dəyişməsinə səbəb olur. Bu tərkib ətrafında Fe^{2+} kationlarının konsentrasiyası kəskin azalır və x=0.7 qiymətində Fe^{3+} kationlarının konsentrasiyasına bərabər olur. Çox güman ki, ferritin bu tərkibində maqnit nüfuzluğunun kəskin artmasının səbəbi bu faktdır [2]. Digər tərəfdən, müxtəlif tərkibli ferritlərdə Fe^{2+} və Fe^{3+} kationların miqdarının dəyişməsi dolayı mübadilənin dəyişməsi nəticəsində "sıçrayışlı" elektronların sayının dəyişməsini təsdiq edir [19]. Belə ki, [19] modelinə uyğun olaraq "sıçrayışlı" elektronlar struktura malik "öz" maqnit sahələrini yaradırlar və onların konsentrasiyasının dəyişməsi ferritdə ümumi maqnit sahəsinin paylanmasına təsir göstərir ki, bunu da $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərin EPR (elektroparamaqnit rezonans) tədqiqatları təsdiq edir [6].

[20] işində 300K temperaturunda infraqırmızı udulma spektrində iki maqnonlu səpilmə zonasının vəziyyəti ilə üst-üstə düşən 1600 sm^{-1} maksimumu müəyyən olunmuşdur ki, bu da əvvəlki işlərdə əldə olunmuş Raman səpilmə spektrlərində də müşahidə edilmişdir. [20] işində bu maksimumun qarışıq xarakter daşıdığı fərz edilir. Bizim tədqiqatlarımızda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində bu maksimum 1550-1400 sm^{-1} spektral zolağında müşahidə olunur və bu maksimumun intensivliyinin dəyişməsi Fe^{2+} və Fe^{3+} kationlarının konsentrasiyasının dəyişməsinə uyğundur (şəkil 4).

Cədvəldə göstərildiyi kimi, uzaq infraqırmızı spektrin 300 ilə 50 sm^{-1} tezlik oblastında eyniadlı kationlar arasında yaranan F_{1u}^3 tipli rəqslər müşahidə olunur. Onlara 249 sm^{-1} ($NiFe_2O_4$) və 206 sm^{-1} ($ZnFe_2O_4$) spektral xətləri uyğundur (şəkil 1). $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ tərkibli bütün ferritlərdə 249 sm^{-1} tezliyi ətrafında xəttin mövcud olması

onun (Fe^{3+}-Fe^{3+}) əlaqəli rəqslərə aid olduğunu təsdiq edir. Uyğun olaraq, 206 sm^{-1} spektral xətti yalnız tərkibində Zn olan ferritlərdə müşahidə olunur. $ZnFe_2O_4$ ferritində 206sm^{-1}-də udma maksimumu [21] işində də müşahidə olunmuşdur. [18] işinin nəticələrindən görünür ki, "sıçrayışlı" elektronların [17] yaratdığı maqnit sahəsi $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində ~2-3 THs (70-100 sm^{-1}) oblastında antiferromaqnit rezonansının yaranmasına səbəb olur. Bu oblastda NiO-nun (36 sm^{-1}) [12] və Fe_2O_3-ün [22] antiferromaqnit rezonans xətləri yerləşir.

Qeyd edək ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$-də müşahidə olunan infraqırmızı spektrlərin intensivliklərinin x-in qiymətindən asılı olması və bu spektrlərin formalaşması, uyğun olaraq, qeyri-aşkar formalı fonon qarşılıqlı təsirinin ("sıçrayışlı" elektron) mövcudluğu və həmçinin aşqar atomların təsiri ilə (yuxarıda göstərildiyi kimi vakansiyaların mövcudluğu şpinellərin xarakterik xüsusiyyətidir) baş verdiyi fərz edilir [23]. Nəzəri tədqiqatlar göstərir ki, ZnO kristal qəfəsinə nisbətən Ni^{3+} aşqarının yükü daha böyükdür. Bu aşqarın yaxın ətraf ionlar ilə qarşılıqlı təsiri aralarında rezonans və 8.3THs (273 sm^{-1}) və 11.2THs (373 sm^{-1}) tezlikli yarıq rəqslərinin olduğu zəif intensivlikli 3.2THs (460 sm^{-1}); 7.5THs (250 sm^{-1}); 8.3THs (273sm^{-1}); 9.9THs (330 sm^{-1}); 11.2THs (373 sm^{-1}); 12.3THs (410 sm^{-1}); 13.8THs (460sm^{-1}); 15THs (500sm^{-1}) maksimumların yaranmasına səbəb olur. Bu rəqslərə uyğun tezliklər cədvəldə göstərilmişdir. Gözlənildiyi kimi, bu rəqslərin intensivliyi çox kiçikdir [13]. Lakin çoxsaylı tədqiqatlar vasitəsi ilə infraqırmızı spektrdə diffuz əksolunmanın eyni tərkibli müxtəlif mikrotozlar üçün defektlərin mövcudluğundan zəif asılılığı aşkar olunmuşdur.

4. NƏTİCƏ

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ (x=0, 0.25, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75, 1.0) mikrotozlarının 4000-50 sm^{-1} spektral diapazonda diffuz əksolunmasının infraqırmızı spektrləri tədqiq edilmişdir və hər bir tərkib üçün fononların tezliyi müəyyən olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, müxtəlif tərkiblərin spektrlərində müşahidə edilən fərqliliklər Fe^{2+} və Fe^{3+} (hətta Ni^{2+}, Ni^{3+}, Zn^{2+}) ionlarının konsentrasiya nisbətinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Bu isə, müşahidə olunan fərqlərin səbəbinin "sıçrayışlı" elektronlar tərəfindən formalaşan "zəif" maqnit alt qəfəsinin olduğunu fərz etməyə imkan verir.

[1] *E.W. Gorter*. Philips Res. Rep., 1954, 9, 4, 295, 5, 321, 6, 403.
[2] *Н.Н. Шольц, К.А. Пискарев.* Ферриты для радиочастот. Энергия, М., 1966, 258 с.
[3] *Ю.Г. Чекалкин, А.Е. Теплых.* ФТТ 40, 1998, 1503.
[4] *Ю.Н. Михайлов, В.А. Казанцев.* ФТТ, 2010, 52, 894.
[5] *В.Г. Костишин, Б.К. Остафийчук, В.В. Мокляк, А.В. Нуриев.* Материалы электрон. Техники, 2013, 4, 22.
[6] *Sh.N.Aliyeva, Y.N.Aliyeva, A.I.Nadjafov, I.S. Hasanov,E.K. Huseynov, T.R. Mehdiyev*. Phys. Status Solidi C 12, 615, 2015.
[7] *В.Н. Глазков.* Магнетизм. Свойства магнитноупорядоченных кристаллов,МФТИ, М. 2016. 41 с.https://mipt.ru/upload/medialibrary/f4e/13-magnets-2016_apr25.pdf
[8] *Ш.Н. Алиева, А. Наджафов, Т.Р. Мехтиев.* AJP Fizika XIX,, 2013, s. 107.
[9] *F. Sh. Tehrani, V. Daadmehr, A.T. Rezakhani, R.H. Akbarnejad, S. Gholipour. J. Supercond.* Novel Magnetism, 2012, 25, 2443.
[10] *J. Wan, X. Jiang, H. Li, K.Ch. Facile*. J. Mater. Chem., 2012, 22, 13500.
[11] *M.K. Raju.* Chem. Sci. Transact. , 2015, 4, 137.
[12] *Sh.G. Chou, P.E. Stutzman, Sh. Wang, E.J. Garboczi, W.F. Egelhoff, D.F. Plusquellic.* J. Phys. Chem. C., 2012, 116, 16161.
[13] *V.C. Farmer*. The Infrared Spectra of Minerals. Mineral.Soc., London, 1974, 539 p.
[14] *J.T. Keiser, C.W. Brown, R.H. Heidersbach*. J. Electrochem. Soc., 1982, 129, 2686.
[15] *M. Ma, Yu. Zhang, Yu. Wei, Hao-ying Shen, Haiqian Zhang, N. Gu*. Colloids and Surfaces: Physicochemical and Enginering Aspects, 2003, 212, 219.
[16] *Z.R. Marand, M.R. Farimani, N. Shahtahmasebi.* Nanomedicine J. 1, 2014, 238.
[17] *S.J. Santosh, E.Sh. Sagar, B.G. Toksha, S.J. Shukla, K.M. Jadhav. Chin*. J. Chem. Phys, 2008, 21, 381.
[18] *К.П. Белов.* УФН, 1996, 166, 669.
[19] *J.L.M.Vidales, A.L. Delgado, E. Vila, F.A. Lopez.* J. Alloys Comp., 1999, 287, 276.
[20] *J. Nishitani, K.Kozuki, T.Nagashima, M.Hangyo.* Appl. Phys. Lett. 2010, 96, 221906-1.
[21] *A. Kozlowski, Z. Kakol, Z. Tarnawski.* Acta Phys. Pol. A 111, 2007, 537.
[22] *А.Н. Кислов, В.Г. Мазуренко, А.Н. Вараксин.* 1999, ФТТ 41, 618.

A.A. Sadigova, S.A. Ahmadova, Sh.N. Aliyeva, T.R. Mehdiyev

IR DIFFUSE REFLECTANCE SPECTRA OF NANOPOWDERS Of $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ FERRITES

The results of experimental studies of the IR diffuse reflectance spectra in the range from 4000 to 50 cm^{-1} of $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrite nanopowders with different concentrations of Zn (or Ni) are presented. The dependence of the intensities of the IR spectra of these ferrites on the changing concentrations of Fe^{2+} and Fe^{3+} cations in ferrites of different compositions is found. The features of change of the reflectance spectra were interpreted depending on the ferrite compositions.

А.А. Садыхова, Ш.А. Ахмедова, Ш.Н. Алиева, Т.Р. Мехтиев

ИК СПЕКТРЫ ДИФФУЗНОГО ОТРАЖЕНИЯ НАНОПОРОШКОВ $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$-ФЕРРИТОВ

Представлены результаты экспериментальных исследований спектров диффузного отражения в ИК диапазоне от 4000 до 50 $см^{-1}$ нанопорошков $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ферритов с различным содержанием Zn (или Ni). Установлены зависимости интенсивностей ИК спектров этих ферритов от изменения концентраций катионов Fe^{2+} и Fe^{3+} в разных составах ферритов. Дана интерпретация особенностей спектров отражения в зависимости от составов ферритов.

Qəbul olunma tarixi: 29.01.2018

YÜKSƏK TƏZYİQLƏRDƏ $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ BİRLƏŞMƏSİNDƏ QURULUŞ FAZA KEÇİDLƏRİ

S.H. CABAROV

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnsitutu
AZ-1143, Azərbaycan, Bakı,H.Cavid pr.131

Ovuntu halında hazlrlanmış $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin quruluş xassələri P = 0-3.6 GPa təzyiq intervalında neytron difraksiyası, P = 4-30.3 GPa təzyiq intervalında rentgen difraksiyası və P = 0-36.46 GPa təzyiq intervalında Raman spektroskopiyası metodu ilə kompleks şəkildə tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $BaTiO_3$ normal şəraitdə, P4mm fəza qruplu tetraqonal simmetriyaya malikdir. Yüksək təzyiqin təsiri ilə $P \approx 19$ GPa-da tetraqonal-kubik faza keçidi baş verir və Pm-3m fəza quruluşlu kubik faza formalaşır.

Açar sözlər: Neytron difraksiyası, rentgen difraksiyası, Raman spektroskopiyası, yüksək təzyiq.
PACS: 81.40.Vw, 61.05.C-, 77.80.B-

1. GİRİŞ.

Perovskit kristal quruluşa malik olan $BaTiO_3$ və onun əsasında alınmış bərk məhlullar seqnetoelektrik materiallar arasında ən çox öyrənilən birləşmədir [1,2]. Barium titanat əsasında alınmış multiferroik birləşmələr daha çox tədqiq edilməyə başlamışdır. Ti atomlarını Fe, Co, Mn kimi maqnit xassələrinə malik olan element atomları ilə qismən əvəzləmələr aparıldığı zaman, seqnetoelektrikliklə yanaşı həm də maqnit xassələr meydana çıxır ki, bu tip birləşmələr müasir elektronikada və spintronikada mühüm materiallar hesab olunurlar [3]. $BaTi_{1-x}Mn_xO_3$ bərk məhlullarının polikristal nümunələrinin neytron difraksiyası tədqiqatları göstərir ki, Mn atomlarının konsentrasiyasından asılı olaraq bu birləşmələrdə aşağı temperaturlar oblastında uzaq maqnit nizamlılığı yaranır və antiferromaqnit xassələri müşahidə edilir [4].

Son zamanlarda ovuntu halında olan Ti atomlarının Fe atomları ilə qismən əvəzlənməsi yolu ilə $BaTi_{1-x}Fe_xO_3$ bərk məhlulları sintez edilmiş, onların kristal quruluşları və səth morfologiyaları öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrdə x konsentrasiyanın 0.08 qiymətindən başlayaraq kristal quruluşda əsaslı dəyişmələr müşahidə edilir. Lakin, səth morfologiyasında və ovuntu dənələrinin ölçülərində əsaslı dəyişikliklər x = 0.1 qiymətindən sonra baş verir [5]. Bu kristalların kristal quruluşları və ölçü effektləri kifayət qədər ətraflı öyrənilməsinə baxmayaraq, temperatur və təzyirin təsiri ilə kristal quruluşda baş verən dəyişikliklər kifayət qədər dəqiq öyrənilməmişdir.

Təqdim edilən işdə, $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin kristal quruluşuna və atom dinamikasına yüksək təzyiqin təsiri öyrənilmişdir. Quruluş xassələri P = 0-3.6 GPa təzyiq intervalında neytron difraksiyası və P = 4-30.3 GPa təzyiq intervalında rentgen difraksiyası, atom dinamikası isə P = 0-36.46 GPa təzyiq intervalında Raman spektroskopiyası ilə öyrənilmişdir.

2. TƏCRÜBƏ.

$BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$birləşməsi standart metodla 24 saat ərzində 1050^{o}C temperaturda $BaCO_3$, TiO_2 və Fe_2O_3 oksidlərindən sintez edilmişdir. Alınmış nümunələr 5 saat ərzində 1300^{o}C temperaturda saxlanılmışdır.

Sintez edilmiş birləşmələrin toz nümunələri otaq temperaturunda P = 0-3.6 GPa təzyiq intervalında neytron difraksiyası metodu ilə tədqiq edilmişdir. Neytron tədqiqatları IBR-2 impuls reaktorunun (Neytron Fizikası Laboratoriyası, Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutu, Dubna, Rusiya) DN-12 difraktometrində aparılmışdır. Bu difraktometrdə neytron dəstəsi, xüsusi güzgülərdən hazırlanmış neytron kanalı vasitəsilə nümunənin üzərinə salınır. Quruluş məlumatları, alınmış difraksiya xəttlərinin dəyişikliyi ilə təyin olunur. Nümunə neytron dəstəsi vasitəsilə şüalandırılır. Nümunədən səpilən şüa heliumdan hazırlanmış qaz detektoru vasitəsilə qeyd edilir. Qeydedici detektorun Breq bucağı α = 90^o, $\Delta d/d$ = 0.015-dir. Yüksək təzyiqlər almaq üçün sapfir zindanlarından istifadə edilmişdir. Spektrlər, 2 saat ərzində qeydə alınmışdır. Alınmış spektrlər çoxkanallı analizatorda saxlanılmış və sonradan Full-Prof proqramı vasitəsilə Ritveld metodu ilə analiz olunmuşdur [6].

Şinxrotron şüalandırma metodu ilə P = 4-30.3 GPa təzyiq intervalında rentgen difraksiyası eksperimentləri, PETRA-III mənbəyinin P02.2 kanalında (DESY, Hamburg, Almaniya) yerinə yetirilmişdir. PETRA-III mənbəyində aparılan tədqiqatlar zamanı yüksək təzyiqlərin alınması üçün 250 mkm-lik almaz zindanlardan istifadə edilmişdir. Almaz zindanların arasında nümunələrin yerləşdirilməsi üçün Re qasketdən istifadə edilmişdir. Qasketin 125 mkm-lik hissəsində 30 mkm-lik nümunə yerləşdirilmişdir. Təzyiqin qiymətini təyin etmək üçün, nümunənin yanında 10 mkm-lik yaqut kristalı yerləşdirilmişdir. Təzyiqin qiyməti yaqutun lüminessensiya xətlərinə nəzərən 0.005 GPa dəqiqliyi ilə təyin edilmişdir. Almaz zindanlardan ibarət olan təzyiq kamerasında hidrostatikanı təmin etmək üçün, Ne qazından istifadə edilmişdir.

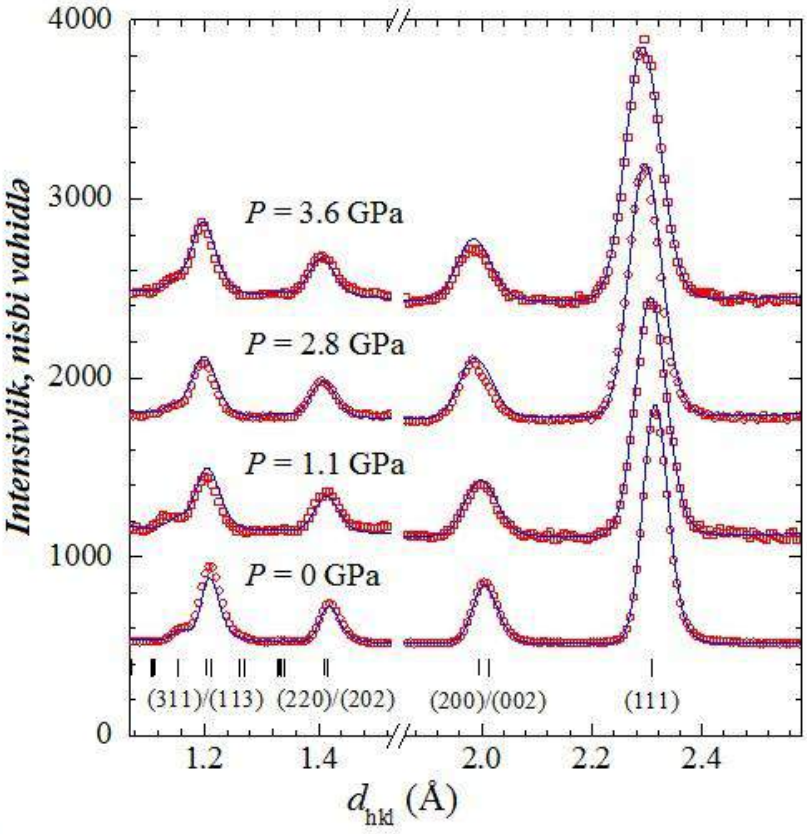
Raman spektrləri P = 0-36.46 GPa təzyiq intervalında LabRam spektrometrində (632 nm dalğa uzunluqlu NeHe lazeri) ölçülmüşdür. Raman tədqiqatları zamanı yüksək təzyiqlərin alınması üçün almaz zindanlardan istifadə edilmişdir.

3. NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ.

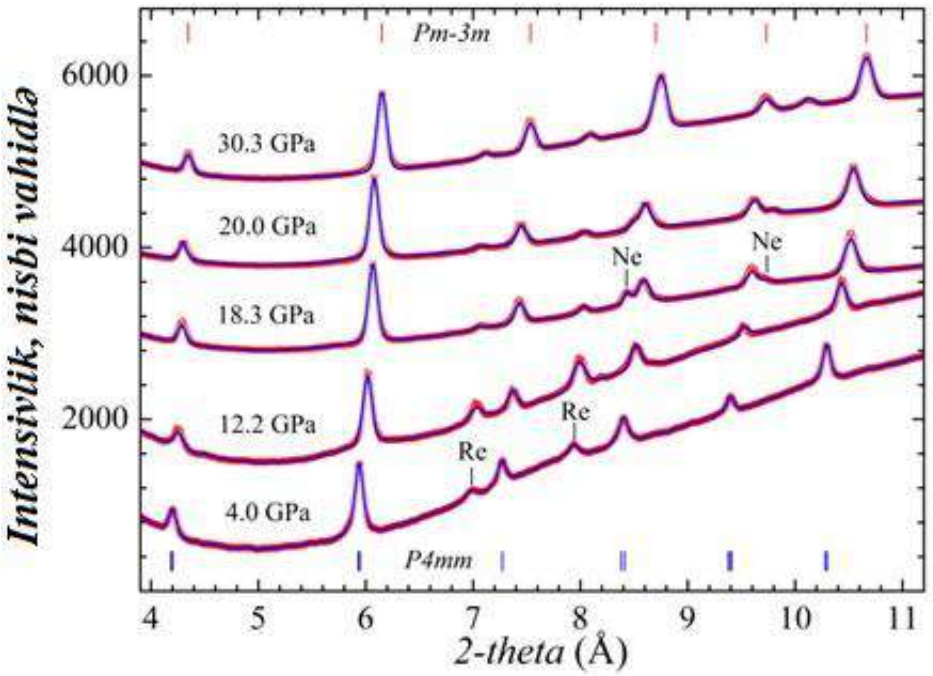
Şəkil 1-də $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ polikristallarının sapfir zindanlar vasitəsilə alınmış yüksək təzyiqlər oblastında tədqiq edilmiş neytron difraksiyası spektrləri göstərilmişdir. Alınmış spektrlərin Ritveld metodu ilə analiz edilməsi

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Insttute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

göstərmişdir ki, normal şəraitdə bu birləşmənin kristal quruluşu P4mm fəza qruplu tetraqonal simmetriyaya uyğun gəlir. 0 - 3.6 GPa təzyiq intervalında heç bir faza keçidi baş verməmişdir. Bu nəticə, digər oxşar birləşmələr üçün olan nəticələrdən kəskin şəkildə fərqlənir. $BaTiO_3$ klassik perovskit birləşməsində $P \approx 2$ GPa təzyiqdə tetraqonal-kubik faza keçidi müşahidə edilmişdir [7]. Göründüyü kimi, $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ kristallarında tetraqonal-kubik faza keçidini müşahidə etmək üçün $P = 3.6$ GPa-dan daha yüksək təzyiqlərdə quruluş tədqiqatlarına ehtiyac vardır. Ona görə də, almaz zindanlar vasitəsilə sinxrotron şüalandirma metodu ilə yüksək intensivlikli rentgen difraksiyası tədqiqatları yerinə yetirilmişdir.

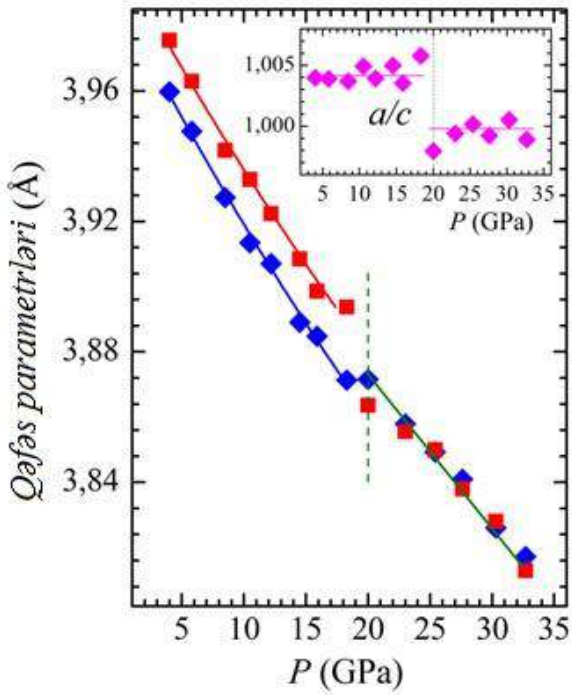


Şəkil 1. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin yüksək təzyiqlər oblastında neytron difraksiyası spektrləri.

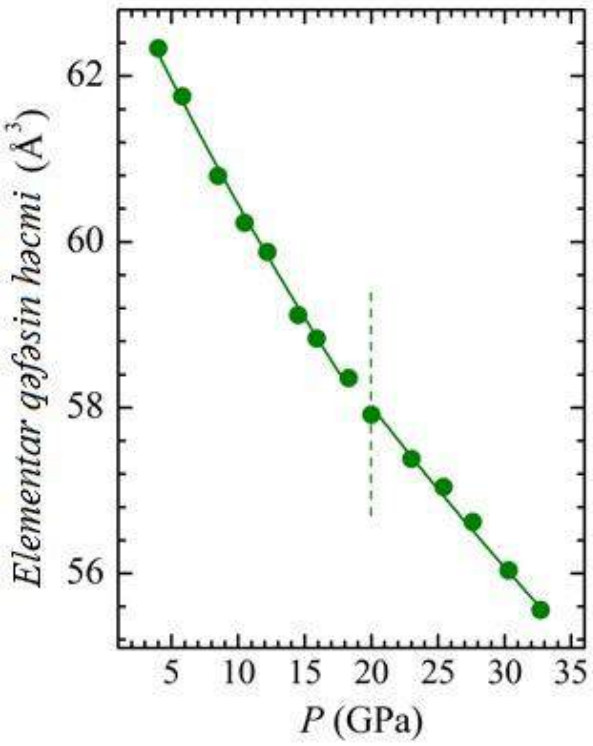


Şəkil 2. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin yüksək təzyiqlər oblastında rentgen difraksiyası metodu ilə alınmış spektrləri.

$BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin P = 4-32.7 GPa təzyiqlər oblastında alınmış rentgen difraksiyası spektrləri şəkil 2-də göstərilmişdir. Rentgen quruluş analizlərindən məlumdur ki, kubik quruluşlarda müşahidə edilən maksimumlar, tetraqonal quruluşa faza keçidi zamanı qoşalaşırlar. Yüksək təzyiqlər oblastında quruluş tədqiqatları zamanı bəzən maksimumlar birləşərək genişlənmiş piklər əmələ gətirirlər. Belə quruluşları analiz etmək üçün bir neçə metoddan istifadə edirlər. Ən çox istifadə edilən metod, difraksiya mənzərələrində alınmış maksimumların yarım hündürlükdə eninin təzyiq asılılığının analiz edilməsidir. Digər metod isə, bütün spektrləri aşağı simmetriyalı quruluş fazasına uyğun analiz edib, alınmış qəfəs parametrlərin təzyiqdən asılı olaraq dəyişmə mexanizmidir. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin yüksək təzyiqlərdə alınmış rentgen spektrlərinin maksimumlarının yarımhündürlükdə enlərinin kifayət qədər fərqlənmədiklərinə görə (şəkil 2), faza keçidləri ikinci metodla araşdırılmışdır.



Şəkil 3. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin qəfəs parametrlərinin və tetraqonal təhrif olunmanın təzyiq asılılıqları.



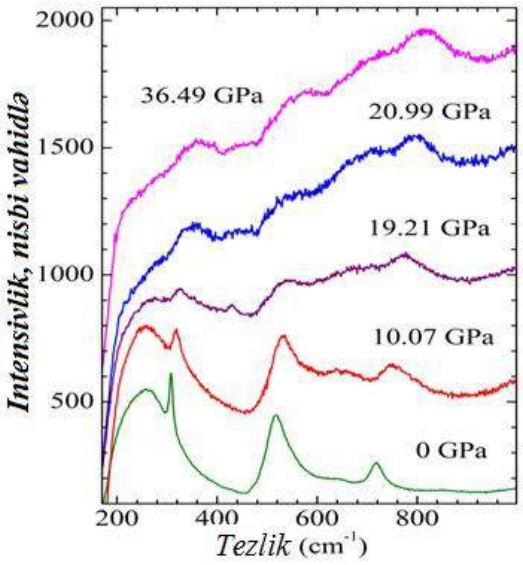
Şəkil 4. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin elementar qəfəsinin həcminin təzyiq asılılıqları.

Difraksiya spektrlərinin hamısı P4mm tetraqonal fazaya uyğun analiz edilmiş, qəfəs parametrlərinin və *c*/*a* tetraqonal təhrif olunmanın təzyiq asılılıqları alınmışdır. Şəkil 3-dən görünür ki, $P \approx 19$ GPa təzyiqdə *c*/*a* tetraqonal təhrif olunmanın qiyməti vahidə yaxınlaşmışdır. *a* və *c* qəfəs parametrlərinin qiymətlərində də yaxınlaşma baş vermişdir. Bu faktlar bizə deməyə imkan verir ki, $P_{cr} \approx 19$ GPa yüksək təzyiqdə P4mm tetraqonal simmetriyalı kristal quruluşdan, Pm-3m kubik simmetriyalı kristal quruluşa faza keçidi baş vermişdir.

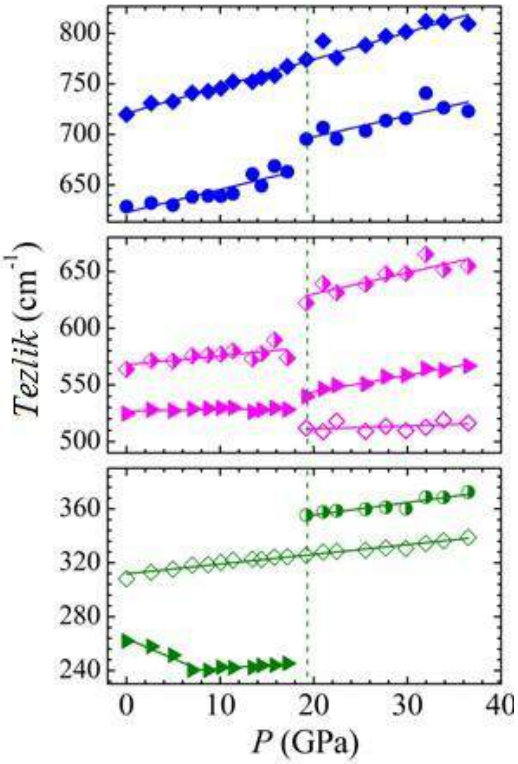
Otaq temperaturunda $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin qəfəs parametrlərinin və elementar qəfəsin nisbi həcminin təzyiqdən asılılıqları şəkil 4-də verilmişdir. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ polikristallarının həcmi sıxılması Berç-Murnaqan tənliyi ilə öyrənilmişdir:

$$P = \frac{3}{2}B_0(x^{-7/3} - x^{-5/3})[1+\frac{3}{4}(B' - 4)(x^{-2/3} - 1)],$$

burada $x = (V/V_0)$ – nisbi həcmin dəyişməsi, V_0 – elementar qəfəsin $P = 0$ GPa təzyiqdə qiyməti, B_0 və B' – empirik parametrlərdir, fiziki mənaları: $B_0 = V(dP/dV)_T$ hərtərəfli sıxılma modulu və $B' = (dB_0/dP)_T$ onun təzyiqə görə birinci tərtib törəməsidir. Təcrübədən alınmış nəticələrə görə (şəkil 3.18) tetraqonal faza üçün: $B_0 = 121(3)$ GPa və $B' = 4.0(5)$ qiymətlərinə, kubik faza üçün: $B_0 = 147(8)$ GPa və $B' = 4.0(5)$ qiymətlərinə uyğundur.



Şəkil 5. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin yüksək təzyiqlər oblastında Raman spektrləri.



Şəkil 6. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin rəqs modalarının təzyiq asılılıqları.

Yerdəyişmə tip seqnetoelektriklərin atom dinamikasını öyrənmək üçün çox zaman infraqırmızı spektroskopiyadan və ya Raman spektroskopiyasından istifadə edilir. Yüksək təzyiqlərdə atom dinamikası tədqiqatları aparmaq üçün Raman spektroskopiyası daha uyğundur. $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsində $P \approx 19$ GPa təzyiqdə alınmış tetraqonal-kubik faza keçidini dəqiqləşdirmək məqsədiylə, almaz zindanlarda Raman spektroskopiyası metodu ilə P = 0-36.49 GPa təzyiq oblastında atom dinamikası tədqiqatları aparılmışdır. Otaq temperaturunda yüksək tezliklərdə alınmış Raman spektrləri şəkil 5-də verilmişdir.

Normal şəraitdə alınmış Raman spektrlərində altı müxtəlif tezlik modası müşahidə edilmişdir: ν_1 = 261, ν_2=309, ν_3 = 524, ν_4 = 565, ν_5 = 629 və ν_6 = 723 sm^{-1}. Şəkil 6-da rəqs modalarının tezliklərinin təzyiq asılılıqları verilmişdir. Asılılıqlardan görünür ki, ν_3 =524 sm^{-1} tezliklərdə baş verən rəqslər P = 19 GPa təzyiqdə iki fərqli tezliklərdə davam etmişdir. ν_2 =309 və ν_6 =723 sm^{-1} tezlik modalarından başqa, digər bütün rəqs modalarında bu faza keçidi öz təsirini göstərir. Faza keçidindən sonra $\nu_{2'}$=352 və $\nu_{3'}$ =511 sm^{-1} tezliklərində iki yeni rəqs modası müşahidə edilmişdir.

Göründüyü kimi, $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsi üçün Raman spektroskopiyası ilə aparılmış atom dinamikası tədqiqatlarının nəticələri də rentgen difraksiyası ilə aparılmış quruluş tədqiqatlarının nəticələrini təsdiq etmişdir. Kompleks şəkildə yerinə yetirilmiş Raman spektroskopiyası, neytron və rentgen difraksiyası tədqiqatlarının nəticələri, bizə deməyə imkan verir ki, $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ perovskit birləşməsində $P \approx 19$ GPa təzyiqdə P4 mm fəza qruplu tetraqonal fazadan, Pm-3m fəza qruplu kubik fazaya quruluş faza keçidi baş verir.

4. NƏTİCƏ.

Yüksək təzyiqlər oblastında, ovuntu halında olan $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsinin quruluş xassələri atom dinamikası tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, yüksək təzyiqin təsiri ilə $P \approx 19$ GPa-da tetraqonal-kubik faza keçidi baş verir. Qəfəs parametrlərinin, elementar qəfəsin həcminin və atomların rəqs modalarının tezliklərinin təzyiqdən asılılıqları alınmışdır. Berç-Murnaqan tənliyi həll edilmiş, hərtərəfli sıxılma modulu təyin edilmişdir.

[1] *М. Лайнс, А. Гласс*. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.:Мир, 1981. 736 с.

[2] *Ф. Иона, Д. Ширане.* Сегнетоэлектрические кристаллы. М.:Мир, 1965. 556 с.

[3] *D.P. Kozlenko, N.T. Dang, S.H. Jabarov, A.A.Belik, S.E. Kichanov, E.V. Lukin, C. Lathe, L.S. Dubrovinsky, V.Yu. Kazimirov, M.B. Smirnov, B.N. Savenko, A.I. Mammadov, E. Takayama-Muromachi, L.H. Khiem*. J. of All. and Comp., 2014, v.585, p.741-747.

[4] N.*T. Dang, D.P. Kozlenko, T.L. Phan, S.F. Kichanov, N.V. Dang, T.D. Thanh, L.H. Khiem, S.H. Jabarov, T.A. Tran, B. VoD, B.N. Savenko*. J. of. Elec. Mat., 2016, v.45, p.2477-2483.

[5] *S.H. Cabarov, Ə.İ. Məmmədov, R.Z. Mehdiyeva, R.E. Hüseynov, B. Baykulovİ.* AJP Fizika, 2017, v.XXIII, №4, p.20-23.

[6] *D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov, S. Lee, J.G. Park, V.P. Glazkov, B.N. Savenko*. JETP letters, 2005, v.82, p.193-197.

[7] *S.H. Jabarov, A.I. Mammadov, A.V. Trukhanov*. Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 11, 2017, p.223-225.

S.H. Jabarov

STRUCTURAL PHASE TRANSITIONS OF THE COMPOUND $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ at HIGH PRESSURES

The structural properties of the compound prepared in the powdery $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ are studied by neutron diffraction in the pressure range P = 0-3.6 GPa, X-ray diffraction in the pressure range P = 4-30.3 GPa and Raman spectroscopy in the pressure range P = 0-36.46 GPa.It is established that $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ has a tetragonal symmetry with the spatial group P4mm in ambient conditions. The tetragonal cubic phase transition takes place under high pressure at $P \approx 19$ GPa and cubic phase with a spatial group Pm-3m forms.

С.Г. Джабаров

СТРУКТУРНЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В СОЕДИНЕНИЕ $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Структурные свойства соединения приготовленные в порошкообразном виде $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ исследовались нейтронной дифракции в интервале давления P = 0-3.6 ГПа, рентгеновский дифракции в интервале давления P = 4-30.3 ГПа и рамановской спектроскопии в интервале давления P = 0-36.46 ГПа.Установлено, что при нормальных условиях $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ имеет тетрагональную симметрию с пространственной группой P4mm. Под воздействием высокого давления при $P \approx 19$ГПа происходит тетрагональный-кубическийфазовый переход, и образуется кубическая фаза с пространственный группой Pm-3m.

Qəbul olunma tarixi: 09.03.2018

FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR

A.İ. MUXTAROV
BDU, Z. Xəlilov, 23

M.A. MUXTAROV
AMEA-nın Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu
Baki şəh., F. Ağayev küç, 9.

T.R. MEHDİYEV, K.B. QURBANOV, E.A. AXUNDOVA, N.A. AXUNDOVA, N.İ. HÜSEYNOVA, S.İ. ƏLİYEVA, E.Ə. ƏLƏSGƏROVA
AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu
Az-1143, Bakı şəhəri, H. Cavid pr.,131.

O

o0002	oberton	overtone	обертон
o0003	oblast, sahə	region	область
o0004	oblastın dozimetrik nəzarəti	area monitoring	дозиметрический контроль местности
o0005	obskur kamera	pinhole camera	камера-обскура
o0006	obyekt kodu	object code	объектный код
o0007	obyekt modulu	object module	объектный модуль
o0008	obyekt proqramı	object program	объектная программа
o0009	obyekt, hədəf,, əşya	object	объект, предмет
o0010	obyektiv	objective	объектив, объективный
o0011	obyektiv analiz	objective analysis	объективный анализ
o0012	obyektiv fotometriya	objective photometry	объективная фотометрия
o0013	obyektiv linza	objective lens	обьективная линза
o0014	obyektiv metod	objective method	объективный метод
o0015	obyektiv mikrometr	objective micrometer	микрометр объективный
o0016	obyektiv prizma	objective prism	объективная призма
o0017	obyektiv qəfəs	objective grating	объективная решётка
o0018	obyektivin işıq qüvvəsi	lens aperture	светосила объектива
o0019	oda davam	refractory	огнеупор
o0020	odadavamlı	fire-resisting	огнеупорный, огнестойкий
o0021	odadavamlılıq	fire resistance	огнеупорность, огнестойкость
o0022	odadavamlı maddə	flame-retardant material	огнестойкое вещество
o0023	ödənilən itgilər	insertion loss	вносимые потери
o0024	ödənişin molyar əmsalı	molar extinction coefficient	молярный коэффициент погашения
o0025	Oje effekti	Auge effect	эффект Оже
o0026	Oje elektronlarının çıxışı	Auge yield	выход электронов Оже, выход оже-электронов
o0027	Oje elektronu	Auge electron	электрон Оже, оже-электрон
o0028	Oje leysanları	Auger showers	ливни Оже

o0029	okeanlıq (dəryalıq)	oceanity	океаничность
o0030	okeanşünaslıq	oceanography	океанография
o0031	okklüdirə olunmuş qaz	occluded gas	окклюдированный газ
o0032	okklüdirə olunmuş siklon	occluded cyclone	окклюдированный циклон
o0033	okklüziya	occlusion	окклюзия
o0034	oklüziya cəbhəsi	occluded front	фронт окклюзии
o0035	oksid	oxide	окись, окисел
o0036	oksidimetriya	oxidimetry	оксидиметрия
o0037	oksidləşmə (turşuma) dalğası	oxidation wave	волна окисления
o0038	oksidləşmə alovu	oxidizing flame	окислительное пламя
o0039	oksidləşmə ədədi	oxidation number	окислительное число
o0040	oksidləşmə fosforlanması	oxidative phosphorylation	окислительное фосфорилирование
o0041	oksidləşmə potensialı	oxidation potential	окислительный потенциал
o0042	oksidləşmə təsiri	oxidizing action	окислительное (окисляющее) действие
o0043	oksidləşmə, turşuma	oxidation	окисление
o0044	oksidləşməyə (turşulmaya) görə dayanıqlıq	oxidation stability	устойчивость (стойкость) к окислению
o0045	oksidləşmiş atmosfera	oxidizing atmosphere	окислительная атмосфера
o0046	oksidləşmiş əritmə	oxidizing melting	окислительная плавка
o0047	oksidləşmiş polimerizasiya	oxidation polymerization	окислительная полимеризация
o0048	oksidli katod	oxide-coated cathode	оксидный катод
o0049	oksidli maqnit	oxide magnet	оксидный магнит
o0050	oksidli təbəqə	oxide film	окисная (оксидная) плёнка
o0051	oksidli yarımkeçirici	oxide semiconductor	оксидный полупроводник
o0052	oksidriduktaza	oxydoreductase	оксидоредуктаза, окислительно-восстановительный фермент
o0053	oksigen	oxygen	кислород
o0054	oksigeni çıxartma, turşunu təmizləmə	deoxidation, deacidofication	удаление кислорода, удаление кислоты
o0055	oksigenli elektrod	oxygen electrode	кислородный электрод
o0056	oksigenli konsentrasiya elementi	oxygen concentration cell	кислородный концентрационный элемент
o0057	okta sokolu	octal base	октальный цоколь
o0058	oktaedr	octahedron	октаэдр
o0059	oktaedrik qrup	octahedral group	октаэдрическая группа
o0060	oktaedrik normal gərginlik	octahedral normal stress	октаэдрическое нормальное напряжение
o0061	oktaedrik quruluş	octahedron structure	октаэдрическая структура
o0062	oktaedrit	octahedrite	октаэдрит
o0063	oktant	octant	октант
o0064	oktan ədədi	octal number	октановое число
o0065	oktava	octave	октава
o0066	oktet	octet	октет
o0067	oktod	oktode	октод
o0068	oktupol	octupole	октуполь

o0069	oktupol şüalanma	octupole radiation	октупольное излучение
o0070	okulyar	ocular	окуляр
o0071	okulyar mikrometr	eyepiece micrometer	окулярный микрометр
o0072	okulyar teli	eyepiece filament	нить окулярная
o0073	okulyarlı spektroskop	eyepiece spectroscope	окулярный спектроскоп
o0074	Olbers paradoksu	Olbers paradox	парадокс Ольберса
o0075	oliqomer	oligomer	олигомер
o0076	oliqomerləşdirmə	oligomerization	олигомеризация
o0077	om	ohm	ом
o0078	Om qanunu	Ohm's law	закон Ома
o0079	om-santimetr	ohm-cm	ом-сантиметр
o0080	ombroqraf	ombrograph	омброграф
o0081	omeqa zərrəcik	omega particle	омега частица
o0082	omeqatron	omegatron	омегатрон
o0083	omik keçid	ohmic junction	омический переход
o0084	omik kontakt	ohmic contact	омический контакт
o0085	omik müqavimət	ohmic resistance	омическое сопротивление
o0086	omik qızma	ohmic heating	омический нагрев
o0087	ommetr	ohmmeter	омметр
o0088	Omun akustika qanunu	Ohm's acoustic law	акустический закон Ома
o0089	onikilik hesablama (sayma) sistemi	duodecimal notation	двенадцатеричная система счисления
o0090	onaltılıq ədəd	sexadecimal number	шестнадцатеричное число
o0091	onaltılıq hesablama sistemi	hexadecimal notation	шестнадцатеричная система счисления
o0092	onaltılıq sabit	hexadecimal constant	шестнадцатеричная константа
o0093	ondoqraf	ondograph	ондограф
o0094	ondulyator	undulator	ондулятор
o0095	onluq ədəd (rəqəm)	decimal number	десятичное число
o0096	onluq sayğac	decimal counter	десятичный счётчик
o0097	onluq kod	decimal code	десятичный код
o0098	onluq loqarifm	common logarithm	десятичный логарифм
o0099	onluq operator	decimal operator	десятичный оператор
o0100	onluq şam	decimal candle-power	десятичная свеча
o0101	onluq tərəzi	decimal balance	десятичные весы
o0102	onluq cəmləyən (summator)	decimal adder	десятичный сумматор
o0103	opalessensiya	opalescence	опалесценция
o0104	opdalit	opdalite	опдалит
o0105	operand	operand	операнд
o0106	operandlar sahəsi	operand field	поле операндов
o0107	operator	operator	оператор
o0108	operator D'alambera, dalamberian	d'Alembert's operator	оператор Д'Аламбера, даламбериан
o0109	operator homomorfizmi	operator homomorphism	операторный гомоморфизм
o0110	operator izomorfizmi	operator isomorphism	операторный изоморфизм
o0111	nabla operator	inverted delta	набла оператор
o0112	operatorlar halqasi	operator ring	кольцо операторов
o0113	operon	operon	оперон

o0114	optik açılma	optical scanning	оптическая развёртка
o0115	optik aktivlik (fəallıq)	optical activity	оптическая активность
o0116	optik aldanma	optical illusion	оптический обман
o0117	optik anizotrop maddə	optically anisotropic substance	оптически-анизотропное вещество
o0118	optik anizotropiya	optical anisotropy	оптическая анизотропия
o0119	optik anomaliya	optical anomaly	оптическая аномалия
o0120	optik antipod	optical antipode	оптический антипод
o0121	optik aparat	optical apparatus	оптический аппарат
o0122	optik attenyüator	optical attenuator	оптический аттенюатор
o0123	optik bircinslilik	optical homogeneity	оптическая однородность
o0124	optik biroxlu	optically uniaxial	оптически одноосный
o0125	"optik boş" maye	optical empty liquid	жидкость "оптически пустая"
o0126	optik budaq	optical branch	оптическая ветвь
o0127	optik cihaz	optical instrument	оптический прибор
o0128	Optik tıxac	optical shutter	оптический затвор
o0129	optik deflektor	optical deflector	оптический дефлектор
o0130	optik dərinlik	optical depth	оптическая глубина
o0131	optik deşikaçan	optical breakdown	оптический пробой
o0132	optik detektor	optical detector	оптический детектор
o0133	optik doldurma (çəkmə)	optical pumping	оптическая накачка
o0134	optik doldurma prosesi	optical excitation process	процесс оптической накачки
o0135	optik doldurmalı qaz lazeri	optically excited gas laser	газовый лазер с оптической накачкой
o0136	optik doldurmalı yarımkeçirici lazer	optically excited semiconductor laser	полупроводниковый лазер с оптической накачкой
o0137	optik düzləndirmə	optical rectification	оптическое выпрямление
o0138	optik effekt	optical effect	оптический эффект
o0139	optik element	optical element	оптический элемент
o0140	optik eninə kəsik	optical cross-section	оптическое поперечное сечение
o0141	optik fəal cisim	optical active body	тело оптически деятельное
o0142	optik fəallığın additivliyi	addition of opticity	аддитивность оптической активности
o0143	optik fırlanma dispersiyası	optical rotatory dispersion	дисперсия оптического вращения
o0144	optik fonon	optical phonon	оптический фонон
o0145	optik giroskop	optical gyroscope	оптический гироскоп
o0146	optik harmonika	optical harmonic	оптическая гармоника
o0147	optik hesablama maşını	optical computer	оптическая вычислительная машина
o0148	optik həyəcanlanma prosesi	light excitation process	процесс оптического возбуждения
o0149	optik həyəcanlanma	optical excitation	оптическое возбуждение
o0150	optik ikioxlu	optically biaxial	оптически двуосный
o0151	optik ikiqat ulduz	optical binary star	оптическая двойная звезда
o0152	optik illüziya	optical illusion	оптическая иллюзия, оптический обман, обман зрения

o0153	optik inaktivasiya	optical inactivation	оптическая инактивация
o0154	optik inteqral sxem	optical integrated circuit	оптическая интегральная схема
o0155	optik işləmə	optical processing	оптическая обработка
o0156	optik izomer	optical isomer	оптический изомер
o0157	optik izomeriya	optical isomerism	оптическая изомерия
o0158	optik izometriya	optical isometry	оптическая изометрия
o0159	optik izotrop kristal	optically isotropic crystal	оптически изотропный кристалл
o0160	optik izotropiya	optical isotropy	оптическая изотропия
o0161	optik kabel	optical cable	оптический кабель
o0162	optik kamera	optical chamber	оптическая камера
o0163	optik keçid	optical transition	оптический переход
o0164	optik kölgə	optic shadow	оптическая тень
o0165	optik komparator	optical comparator	оптический компаратор
o0166	optik kompensasiya	optical compensation	оптическая компенсация
o0167	optik kontakt (toxunma)	optical contact	оптический контакт
o0168	optik librasiya	optical libration	оптическая либрация
o0169	optik linza	optical lens	оптическая линза
o0170	optik mazer	optical maser	оптический мазер
o0171	optik mərkəz	optical center	оптический центр
o0172	optik mikroskop	optical microscope	оптический микроскоп
o0173	optik moda	optical mode	оптическая мода
o0174	optik model	optical model	оптическая модель
o0175	optik mühit	optical medium	оптическая среда
o0176	optik ölçmə	optical measurement	оптическое измерение
o0177	optik ox	optic axis, optical axis	оптическая ось
o0178	optik olxar müstəvisi	optic axial plane	плоскость оптических осей
o0179	optik oxlar bucağı	optic axial angle	угол оптических осей
o0180	optik oxlar dispersiyası	optic axis dispersion	дисперсия оптических осей
o0181	optik oxşarlıq	optical analogy	аналогия оптическая
o0182	optik parıldatma	optical polishing	оптическое полирование
o0183	optik pirometr	optical pyrometer	оптический пирометр
o0184	optik pirometriya	optical pyrometry	пирометрия оптическая
o0185	optik polyarizasiya	optical polarization	оптическая поляризация
o0186	optik potensial	optical potential	оптический потенциал
o0187	optik prizma	optical prism	оптическая призма
o0188	optik qalınlıq	optical thickness	оптическая толщина, оптическая толща
o0189	optik qəfəs	optical grating	оптическая решётка
o0190	optik qeyri- bircins maddə	optical heterogeneous material	вещество оптически неоднородное
o0191	optik qeyri xəttilik	optical nonlinearity	оптическая нелинейность
o0192	optik qiqrometr	optical hygrometer	оптический гигрометр
o0193	optik qüvvə	focal power	оптическая сила
o0194	optik qurğu	optical equipment	оптическое устройство
o0195	optik rabitə (əlaqə)	optical coupling	оптическая связь
o0196	optik rəsədxana	optical observations, optical observatory	оптические наблюдения, оптическая обсерватория
o0197	optik rezonans	optical resonance	оптический резонанс

o0198	optik rezonator	optical resonator	оптический резонатор
o0199	optik sabit	optical constant	оптическая постоянная
o0200	optik şəffaflıq	optical transmittancy	сила оптическая сила
o0201	optik sensibilizasiya	optical sensitization	оптическая сенсибилизация
o0202	optik sensibilizator	color sensitizer, optical sensitizing agent	оптический сенсибилизатор
o0203	optik siqnallama	optical warning	оптическая сигнализация
o0204	optik sistem	optical system	оптическая система
o0205	optik sıx cisim	optical dense body	оптически плотное тело
o0206	optik sıxlıq	optical density, absorbance	оптическая плотность
o0207	optik skamya	optical bench	оптическая скамья
o0208	optik sonrakı təsir	optical aftereffect	последействие оптическое
o0209	optik spektr	optical spectrum	оптический спектр
o0210	optik spektroskop	optical spectroscope	оптический спектроскоп
o0211	optik şüşə	optical glass, flint glass	оптическое стекло
o0212	optik süzgəc	optical filter	оптический фильтр
o0213	optik telefon	optical telephone	оптический телефон
o0214	optik teleqraf, işıqlı teleqraf	optical/luminous telegraph	телеграф оптический, световой телеграф
o0215	optik təmizlik	optical purity	оптическая чистота
o0216	optik teorem	optical theorem	оптическая теорема
o0217	optik termometr	optical thermometer	оптический термометр
o0218	optik uzunluq	optical length	оптическая длина
o0219	optik vibrator	optical vibrometer	оптический виброметр
o0220	optik xarakteristika	optical characteristic	оптическая характеристика
o0221	optik xassə	optical properties	оптические свойства
o0222	optik xəyal	optical image	оптическое изображение
o0223	optik yaddaş	optical memory	оптическая память
o0224	optik yarıq	optical slit	оптическая щель
o0225	optik yol	optical path	оптический путь
o0226	optik yolun uzunluğu	optical path length	длина оптического пути
o0227	optik zədələnmə	optical damage	оптическое повреждение
o0228	optika	optics	оптика
o0229	optika qanunları	laws of optics	законы оптики
o0230	optikada diafraqma	diaphragm in optics	диафрагма в оптике
o0231	optik-fəal	optically active	оптически-активный
o0232	optik-fəal kristal	optically active crystal	оптически-активный кристалл
o0233	optik-fəal maddə	optically active substance	оптически-активное вещество
o0234	optik-fəal molekul	optically active molecule	оптически-активная молекула
o0235	optik-fəal polimer	optically active polymer	оптически-активный полимер
o0236	optik doldurmalı lazer	optically excited laser	лазер с оптической накачкой
o0237	optik hadisələr	opticals, optical phenomena	оптические явления
o0238	optik kondensator	optical capacitor	конденсатор оптический
o0239	optik lif	optical fiber	оптическое волокно
o0240	optimal tənzimləmə	optimal control	оптимальное регулирование, оптимальное управление
o0241	optimal hal	optimum state	оптимальное состояние
o0242	optimal həll	optimum solution	оптимальное решение

o0243	optimal həssaslıq	optimum sensitivity	оптимальная чувствительность
o0244	optimal kod	optimum code	оптимальный код
o0245	optimal kodlaşdırma	optimum coding	оптимальное кодирование
o0246	optimal maqnit sahəsi	optimum magnetic field	оптимальное магнитное поле
o0247	optimal qiymət	optimum value	оптимальное значение, оптимальная величина
o0248	optimal şərait (şərt)	optimum conditions	оптимальное условие, оптимальный режим
o0249	optimal strategiya	optimal strategy	оптимальная стратегия
o0250	optimal temperatur	optimum temperature	оптимальная температура
o0251	optimal	optimal	оптимальный
o0252	optimallaşdırma	optimization	оптимизация
o0253	optimallıq prinsipi	principle of optimality	принцип оптимальности
o0254	optimetr	optical lever	оптиметр
o0255	optimum	optimum	оптимум
o0256	optoelektronika	optoelectronics	оптоэлектроника
o0257	optotexnika	optotechnics	оптотехника
o0258	orbit	orbit	орбита
o0259	orbit elementləri	orbital elements	элементы орбиты
o0260	orbit müstəvisi	orbital plane	плоскость орбиты
o0261	orbit üzrə dövretmə periodu	orbital period	период обращения по орбите
o0262	orbital	orbital	орбиталь
o0263	orbital cırlaşma	orbital degeneracy	орбитальное вырождение
o0264	orbital diamaqnetizm	orbital diamagnetism	орбитальный диамагнетизм
o0265	orbital elektron	planetary electron	орбитальный электрон
o0266	orbital enerji	orbital energy	орбитальная энергия
o0267	orbital əyri	orbital curve	орбитальная кривая
o0268	orbital hərəkət miqdarı momenti	orbital angular momentum	орбитальный момент количества движения
o0269	orbital kvant ədədi	orbital quantum number	орбитальное квантовое число
o0270	orbital maqnit momenti	orbital magnetic moment	орбитальный магнитный момент
o0271	orbital moment	orbital moment	орбитальный момент
o0272	orbital raket	orbital rocket	орбитальная ракета
o0273	orbital paramaqnetizm	orbital paramagnetism	орбитальный парамагнетизм
o0274	orbital stansiya	orbiting station	орбитальная станция
o0275	orbital sürət	orbital velocity	орбитальная скорость
o0276	orbital uçuş	orbital flight	орбитальный полёт
o0277	orbital elektronun zəbti	orbital electron capture	захват орбитального электрона
o0278	orbitin eksentrisiteti	orbital eccentricity	эксцентриситет орбиты
o0279	orbitin meyl bucağı	orbit inclination angle	угол наклона орбиты
o0280	orbitin meyli	inclination of orbit	наклон орбиты
o0281	orbitin radiusu	orbital radius	радиус орбиты
o0282	orbitin tənliyi	orbital equation	уравнение орбиты
o0283	ordinat	ordinate	ордината
o0284	ordinat oxu	axis of ordinates	ось ординат
o0285	Orionidlər	Orionids	Ориониды
o0286	Orionun böyük dumanlığı	Orion Nebula	Большая туманность Ориона

o0287	orisikl	horocycle	орицикл
o0288	oroqrafik antisiklon	orographic anticyclone	орографический антициклон
o0289	oroqrafik bulud	orographic cloud	орографическое облако
o0290	oroqrafik siklon	orographic cyclone	орографический циклон
o0291	oroqrafik yağıntı (çöküntü)	orographic rainfall	орографические осадки
o0292	orqanik örtük	organic coating	органическое покрытие
o0293	orqanik boya	organic dye	органический краситель
o0294	orqanik şüşə	organic glass	органическое стекло
o0295	orqanik yarımkeçirici	organic semiconductor	органический полупроводник
o0296	orta anomaliya	mean anomaly	средняя аномалия
o0297	orta atmosfer	middle atmosphere	средняя атмосфера
o0298	orta aylıq temperatur	monthly mean temperature	средняя месячная температура
o0299	orta dalğa	mean wave	средняя волна
o0300	orta dalğalı antenna	medium-wave antenna	средневолновая антенна
o0301	orta dalğalı diapazon, orta dalğalar diapazonu	medium-wave band	средневолновой диапазон, диапазон средних волн
o0302	orta dəyişmə	mean change	изменение среднее
o0303	orta ədədli molekulyar kütlə	number-average molecular weight	среднечисловая молекулярная масса, среднечисловой молекулярный вес
o0304	orta əmsal	mean coefficient	коэффициент средний
o0305	orta en dairəsi	middle latitude	средняя широта
o0306	orta əyrilik	mean curvature	средняя кривизна
o0307	orta fəallıq	mean activity	средняя активность
o0308	orta gecə-gündüz bərabərliyi	mean equinox	среднее равноденствие
o0309	orta Günəş sutkası	mean solar day	средние солнечные сутки
o0310	orta Günəş vaxtı	mean solar time	среднее солнечное время
o0311	orta həndəsi xorda	standard mean chord	средняя геометрическая хорда
o0312	orta illik temperatur	annual mean temperature	средняя годовая температура
o0313	orta istilik tutumu	mean specific heat	теплоемость средняя
o0314	orta kaloriya	mean calorie	средняя калория
o0315	orta kənara çıxma	mean deviation	среднее отклонение
o0316	orta kütləli molekulyar kütlə	weight-average molecular weight	среднемассовая молекулярная масса, среднемассовый молекулярный вес
o0317	orta kvadratik məsafə	mean-square distance	среднеквадратичное расстояние
o0318	orta kvadratik sürət	mean square velocity	среднеквадратичная скорость
o0319	orta kvadratik xəta	mean square error	средняя квадратичная ошибка
o0320	orta letal vaxt	median lethal time	среднелетальное время
o0321	orta molekulyar kütlə	mean molecular weight	средняя молекулярная масса
o0322	orta öldürücü (letal) doza	median lethal dose	среднелетальная доза
o0323	orta parallaks	mean parallax	средний параллакс
o0324	orta qaçış yolu	mean range	средний пробег
o0325	orta qatdakı buludlar	middle clouds	облака среднего яруса
o0326	orta qiymət	central tendency , mean	среднее значение
o0327	orta qiymət funksiyası	mean value function	функция среднего значения
o0328	orta qiymət haqda teorem	mean value theorem	теорема о среднем значении
o0329	orta Grinviç vaxtı	Greenwich mean time	среднее гринвическое время

o0330	orta qulaq	middle ear	среднее ухо
o0331	orta səhv (xəta)	average error	средняя ошибка
o0332	orta səviyyə	mean level	средний уровень
o0333	orta sıxlıq	average density	средняя плотность
o0334	orta sürət	average speed, mean speed, mean velocity	скорость средняя
o0335	orta qat, lay, təbəqə	intermediate layer	средний слой
o0336	orta təcil	average acceleration	среднее ускорение
o0337	orta tezlik	medium frequency	средняя частота
o0338	orta tezlik, mərkəzi tezlik	center frequency	средняя частота, центральная частота
o0339	orta ulduz vaxtı	mean sidereal time	среднее звёздное время
o0340	orta xəta	average error, mean error	средняя ошибка, средняя погрешность
o0341	orta yaşama müddəti	mean life	среднее время жизни
o0342	ortaya çıxan hissə	integral pilot	часть выступающая
o0343	ortikon	orthicon	ортикон
o0344	örtmə (qapanma) inteqralı	overlap integral	интеграл перекрывания, интеграл перекрытия
o0345	ortmə bucağı	overlapping angle	угол перекрытия
o0346	ortoferrit	orthoferrite	ортоферрит
o0347	ortohal	orthostate	ортосостояние
o0348	ortoheksaqonal oxlar	ortohexagonal axes	ортогексагональные оси
o0349	ortoheksaqonal qəfəs	orthohexagonal lattice	ортогексагональная решётка
o0350	ortohelium	orthohelium	ортогелий
o0351	ortohidrogen	orthohydrogen	ортоводород
o0352	ortomərkəz	orthocenter	ортоцентр
o0353	ortometrik düzəliş	orthometric correction data	ортометрическая поправка
o0354	ortometrik hal	orthometric state	ортометрическое состояние
o0355	ortometrik həcm	orthometric volume	ортометрический объем
o0356	ortometrik hündürlük	orthometric height	ортометрическая высота
o0357	ortometrik nöqtə	orthometric point	ортометрическая точка
o0358	ortometrik sistem	orthonormal system	ортонормальная система
o0359	ortometrik sıxlıq	orthometric density	плотность ортометрическая
o0360	ortoqonal	orthogonal	ортогональный
o0361	ortoqonal çevrilmə	orthogonal transformation	ортогональное преобразование
o0362	ortoqonal çoxhədli sistemi	system of orthogonal polynomial	система ортогональных многочленов
o0363	ortoqonal çoxhədlilər	orthogonal polynomials	ортогональные многочлены
o0364	ortoqonal qrup cütü	orthogonal group-pair	ортогональная пара групп
o0365	ortoqonal funksiya	orthogonal function	ортогональная функция
o0366	ortoqonal funksiyalar sistemi	system of orthogonal functions	система ортогональных функций
o0367	ortoqonal matrisa	orthogonal matrix	ортогональная матрица
o0368	ortoqonal proyeksiya	orthogonal projection	ортогональная проекция
o0369	ortoqonal qrup	orthogonal group	ортогональная группа
o0370	ortoqonal sıra	orthogonal series	ортогональный ряд
o0371	ortoqonal sistem	orthogonal system	ортогональная система
o0372	ortoqonal trayektoriya	orthogonal trajectories	ортогональная траектория

o0373	ortoqonal vektor	orthogonal vector	ортогональный вектор
o0374	ortoqonallaşdırılmış müstəvi dalğa	orthogonalized plane wave	ортогонализированная плоская волна
o0375	ortoqonallaşdırma	orthogonalization	ортогонализация
o0376	ortoqonallıq	orthogonality	ортогональность
o0377	ortoqonallıq şərti	condition of orthogonality	условие ортогональности
o0378	ortoskop	orthoscope	ортоскоп
o0379	ortoskopik okulyar	orthoscopic eyepiece	ортоскопический окуляр
o0380	ortoskopik əks	distortion-free image	ортоскопическое изображение
o0381	ortotropizm	orthotropism	ортотропизм
o0382	ortoxromatik lövhələr	orthochromatic plates	ортохроматические пластинки
o0383	ortoxromatik	orthochromatic	ортохроматический
o0384	ortoxromatik süzgəc	orthochromatic filter	ортохроматический фильтр
o0385	osmium	osmium	осмий
o0386	osmometr	osmometer	осмометр
o0387	osmos	osmose	осмос
o0388	osmotik əmsal	osmotic coefficient	осмотический коэффициент
o0389	osmotik nəzəriyyə	osmotic theory	осмотическая теория
o0390	osmotik tarazlıq	osmotic equilibrium	осмотическое равновесие
o0391	osmotik təzyiq	osmotic pressure, osmolality	осмотическое давление
o0392	ossillometr	oscillometer	осциллометр
o0393	ossilloqrafik polyaroqrafiya	oscillographic polarography	осциллографическая полярография
o0394	ossilloqram	osciliogram	осциллограмма
o0395	ossilloskop	oscilloscope	осциллоскоп
o0396	ossillyator, vibrator	oscillator, vibrator	осциллятор, вибратор
o0397	ossiloqraf	oscillograph	осциллограф
o0398	ossilyasiya edən kainat (aləm)	oscillating universe	осциллирующая вселенная
o0399	ossilyator qüvvəsi	oscillator strength	сила осциллятора
o0400	Ostvald piknometri	Ostwald's pycnometer	пикнометр Оствальда
o0401	Ostvald viskozimetri	Ostwald's viscometer	вискозиметр Оствальда
o0402	Ostvaldın qarışdırma qanunu	Ostwald's dilution law	закон разбавления Оствальда
o0403	Ostvaldın rəng sistemi	Ostwald's color system	цветовая система Оствальда
o0404	otaq temperaturu	room temperature	комнатная температура
o0405	otologiya	otology	отология
o0406	otoplastik	otoplasty	отопластика
o0407	Otto tsikli	Otto cycle	цикл Отто
o0408	oturucu dislokasiya	sessile dislocation	сидячая дислокация
o0409	Ouensin tozölçəni	Owens dust counter	пылемер Оуэнса
o0410	oval (yumurta şəkilli çevrə)	oval	овал
o0411	ovaloid	ovaloid	овалоид
o0412	Overhauzer effekti	Overhauser effect	эффект Овергаузера
o0413	ox axını	axial flow	осевое течение
o0414	ox gərginliyi	axial stress	осевое напряжение
o0415	ox istiqaməti	axial direction	осевое направление
o0416	ox kəsiyi	axial section	осевое сечение
o0417	ox kompressoru	axial-flow compressor	осевой компрессор
o0418	ox qüvvəsi	axial force	осевая сила

o0419	ox rəqsləri	axial vibration	осевые колебания
o0420	ox simmetrik axını	axisymmetric flow	осесимметричное течение
o0421	ox simmetrik cisim	axisymmetric body	осесимметричное тело
o0422	ox simmetrik sahə	axially symmetric field	осесимметричное поле
o0423	ox simmetriyası, aksial simmetriya	axial symmetry	осевая симметрия, аксиальная симметрия
o0424	ox sıxılması	axial compression	осевое сжатие
o0425	ox sürəti	axial velocity	осевая скорость
o0426	ox turbini	air-flow turbine	осевая турбина
o0427	ox vektoru	axial vector	осевой вектор
o0428	ox yerdəyişməsi	axial displacement	осевое смещение
o0429	ox yükü	axial load	осевая нагрузка
o0430	ox, val	axis, shaft	ось, вал
o0431	oxlar (kristalloqrafik) nisbəti	axial ratio	отношение (кристаллографических) осей
o0432	oxşar bölən, oxşar bölücü qurğu	analog divider	аналоговый делитель, аналоговое делительное устройство
o0433	oxşar çoxaldıcı, oxşar soxaldıcı qurğusu	analog multiplier	аналоговый умножитель, аналоговое умножительное устройство
o0434	oxşar giriş məlumatlar	analog input	аналоговые входные данные
o0435	oxşar deflektor	analog deflector	аналоговый дефлектор
o0436	oxşar əksetmə	identity mapping	тождественное отображение
o0437	oxşar formadan rəqəm formasına dəyişmə	analog-to-digital conversion	преобразование из аналоговой формы в цифровую
o0438	oxşar hadisə	kissing cousin	родственное явление
o0439	oxşar hal	analog state	аналоговое состояние
o0440	oxşar hədlər	similar terms	подобные члены
o0441	oxşar hesablayıcı maşın	analog computer	аналоговая вычислительная машина
o0442	oxşar inteqral mikrosxem	analog integrated circuit	аналоговая интегральная микросхема
o0443	oxşar kanal	analog channel	аналоговый канал
o0444	oxşar kəmiyyət	analog quantity	аналоговая величина
o0445	oxşar çıxış məlumatları	analog output	аналоговые выходные данные
o0446	oxşar kənara çıxma	analog deflection	аналоговое отклонение
o0447	oxşar məlumat	analog information	аналоговая информация
o0448	oxşar modelləşdirmə	analog simulation	аналоговое моделирование
o0449	oxşar modulyasiya	analog modulation	аналоговая модуляция
o0450	oxşar tənzimləmə	analog control	аналоговое регулирование
o0451	oxşar ölçü cihazı	analog instrument	аналоговый измерительный прибор
o0452	oxşar qeydiyyat	analog recording	аналоговая запись
o0453	oxşar qütb	analogical pole	аналогический полюс
o0454	oxşar servomexanizm	analog servomechanism	аналоговый сервомеханизм
o0455	oxşar siqnal	analog signal	аналоговый сигнал
o0456	oxşar sistem	analog system	аналоговая система
o0457	oxşar summator	analog adder	аналоговый сумматор
o0458	oxşar sxem	analog circuit	аналоговая схема

o0459	oxşar təsəvvür	analog representation	аналоговое представление
o0460	oxşar texnika	analog technique	аналоговая техника
o0461	oxşar yaddaş	analog memory	аналоговая память
o0462	oxşarlıq	similarity	подобие, подобный
o0463	oxşarlıq mərkəzi	center of similarity	центр подобия
o0464	oxşarlıq nəzəriyyəsi	similarity theory	теория подобия
o0465	oxşarlıq prinsipi	similarity principle	принцип подобия
o0466	oxşarlıq qanunu	scaling law	закон подобия
o0467	oxşarlıq, yaxınlıq	affinity	сродство
o0468	ox bucağı	axial angle	осевой угол
o0469	oxuyan qövs	singing arc	поющая дуга
o0470	oyadıcı cərəyan	exciting current, field current	ток возбуждения (двигателя)
o0471	oynaq çərçivəli qalvanometr	galvanometer with moving frame	гальванометр с подвижной рамкой
o0472	oynaq makaralı loqometr	moving-coil ratiometer	логометр с подвижными катушками
o0473	oynaq maqnitli qalvanometr	moving-magnet galvanometer	гальванометр с подвижным магнитом
o0474	oyun	game	игра
o0475	oyunlar nəzəriyyəsi	theory of games	теория игр
o0476	oyuq katod	hollow cathode	полый катод
o0477	oyuq keçirici	hollow conductor	полый проводник
o0478	ozon	ozone	озон
o0479	ozonosfera	ozonosphere	озоносфера
o0480	ozon qocalması	ozone cracking	озонное старение
o0481	ozon zondu	ozonesonde	озонный зонд
o0482	ozonator	ozonizer	озонатор
o0483	ozonlaşdırma	ozonization	озонирование
o0484	ozonmetr	ozonometer	озонометр

O.B. Tağıyev, H.B. Qənbərova, F.A. Kazımova, T.Ş. İbrahimova, K.O. Tağıyeva, S.O. Hüseynova

$(Ga_2S_3)_{0.94}$:$(Eu_2O_3)_{0,05}(Tb_2O_3)_{0,01}$ KRİSTALININ FOTOLÜMİNESSENSİYASI

Təqdim olunan iş $(Ga_2S_3)_{0.94}$:$(Eu_2O_3)_{0,05}(Tb_2O_3)_{0,01}$ kristalının 10-300K temperatur intervalında lüminessensiya spektrlərinin, lüminessensiyanın intensivliyinin həyəcanlanma mənbəyinin gücündən asılılığının, həmçinin lüminessensiyanın kinetikasının tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Stoks sürüşməsi (ΔS=0,6 eV), Huan-Rays parametri (S=12±2), optik fononların enerjisi ($\hbar\omega = 23$ meV) və temperaturun 400ns-dən 200 ns-ə qədər azalmasında Eu^{2+} ionunun yaşama müddəti təyin edilmişdir.

F.T. Xəlil-zadə

XƏTTİ ELEKTON-POZİTRON KOLLAYDERLƏRİNDƏ HİQQS BOZONLARIN YARANMASI

Qarşılaşan elektron-pozitron dəstələrinin polyarizasiyasını nəzərə almaqla $e^+e^- \to Hf\bar{f}$ prosesinin diferensial, tam kəsikləri və fermionların enerji-bucaq paylanması hesablanmışdır. Prosesin en kəsiklərinin xarakteristik xüsusiyyətləri və polyarizasiya effektləri ILC xətti kollayder üçün öyrənilmişdir.

F.N. Tatardar, M.Ə. Qurbanov, N.Ə. Səfərov, Ş.Ş. Əmirov, O.A. Əliyev

PYEZOELEKTRİK NANOKOMPOZİTLƏRİN POLİMER MATRİSLƏRİNİN NANOSTRUKTURTURLAŞDIRILMASININ PLAZMA METODLARI.

Polimer məhluldakı dielektrik sistem-dielektrik-hava boşluğu-dielektrik silindr sistemində qaz plazma boşalması üsulu ilə nanokompozitləşmə kimi aktual bir problemə baxılmışdır. Elektrik qaz boşalması plazmasının və temperaturun birgə təsiri şəraitində nanohissəciklərin polimer məhluluna daxil edilməsi nəticəsində onların immobilizasiya prosesi öyrənilmişdir.

G.S. Hacıyeva, F.A. Kazımova, T.Ş. İbrahimova, K.O. Tağıyev, E.Q. Əsədov

GÜMÜŞ SELENİD MONOKRİSTALLARININ GÖYƏRDİLMƏSİ VƏ ONUN ƏSASINDA HAZIRLANMIŞ QURĞULAR

Bərk fazadan yenidən izotermik kristallaşma üsulu ilə göyərdilmiş gümüş selenid (Ag_2Se), monokristalları əsasında metal-yarımkeçirici-metal (MYM) və metal-oksid-yarımkeçirici (MOY) strukturları hazırlanmış və 77-410K temperatur intervalında onların VAX -ı tədqiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, *W*- Ag_2Se-W strukturu özünü varistor kimi, Ag-Ag_2Se-Ag strukturu 346-400K temperatur oblastında diod kimi aparır. Al-Al_2O_3-Ag_2Se-Ag MOY- strukturunda isə aşırma və yaddaş effektləri müşahidə olunur.

S.Q. Abdullayev, M.Ş. Qocayev, N.Ə. Nəsibova, G.A. Soltanova

POLYARİZƏ OLUNMUŞ e^-e^+-DƏSTƏLƏRİNDƏ HİQQS BOZONUN VƏ $t\bar{t}$-KVARK CÜTÜNÜN YARANMASI

Standart (Minimal Supersimmetrik Standart) Model çərçivəsində ixtiyari polyarizə olunmuş elektron-pozitron toqquşmasında Hiqqs bozonun və $t\bar{t}$-kvark cütünün yaranması prosesinə baxılmışdır $e^-e^+ \to H_{SM}t\bar{t}$ ($e^-e^+ \to Ht\bar{t}$, $e^-e^+ \to ht\bar{t}$). Effektiv kəsiyin və polyarizasiya xarakteristikalarının (sol-sağ spin asimmetriyası, eninə spin asimmetriyası) Hiqqs bozonun enerjisindən və kvarkların invariant kütləsindən asılılıq xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

A.Ş. Qəhrəmanov, N.M. Abdullayev, K.Ş. Qəhrəmanov

İKİQAT ENİNƏ SÜRÜŞMƏ PROSESİNDƏ NANODEFEKTLİ QURULUŞUN FORMALAŞMASI

Həcmi defektlərin və sürüşmə zolaqlarının ikiqat eninə sürüşmə sayəsində formalaşması göstərilir.

Aşağı gərginliklər zamanı plastik deformasiya yerdəyişmə zolağının önündə baş verir, dalğa önünün arxasında deformasiya sabit qalır. Kristalların AFM- şəkillərinin təhlilinə əsasən göstərilmişdir, ki NO (nano obyektlərin) formalaşması İES (ikiqat eninə sürüşmə) konsepsiyasına əsasən nəzərdən keçirilə bilər. Kristal deformasiyasının başlanğıc mərhələsində xəttlər və sürüşmə zolaqları

şəklində deformasiyanın lokallaşdırılması kimi dislokasiya ansamblında inkişaf edən xüsusi hadisələrin təhlili üçün sinergetik yanaşmanın mümkünlüyü göstərilir.

T.H. Kərimova, İ.Ə. Məmmədova, İ.Q. Nəsibov, S.Q. Əsədullayeva, Z. Qədiroğlu

$ZnGa_2S_4$ –də FOTOLÜMINESSENSİYANIN TEMPERATUR ASILILIĞI

$ZnGa_2S_4$-də fotolüminessensiyanın temperatur asılılığı 10-300K temperatur oblastında tədqiq edilmişdir. Lüminessensiya spektrindəki 440 və 540 nm-dəki zolaqların aktivləşmə enerjisi təyin edilmişdir. Qadağan zonasındakı şüalanma keçidlərinin sxemi qurulmuşdur.

F.T. Xəlil-zadə

HİQQS BOSONLARIN QARŞILAŞAN POLYARİZƏLƏNMİŞ $e^+ e^-$ XƏTTİ KOLLAYDERLƏRDƏ HİQQS BOSONLARIN YARANMASI VƏ SUPERSİMMETRİYA

Qarşılaşan elektron-pozitron dəstələrinin polarizasiyasını nəzərə almaqla $e^+ + e^- \to \tilde{\mu}_a + \overline{\tilde{\mu}}_b + H$ prosesinin diferensial kəsikləri hesablanmışdır. Prosesin diferensial en kəsiyinin xarakteristik xüsusiyyətləri və polyarizasiya effektləri ILC xətti kollayder üçün öyrənilmişdir.

N.Z. Cəlilov

Bi_2Te_3 NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN OPTİK PARAMETRLƏRİNİN SPEKTRİ

İşdə *n* və *p* tipli Bi_2Te_3 nazik təbəqələrinin əksolunma R(E) spektrləri və onun nazik təbəqələrinin 1÷6 eV enerji intervalında səthə normal düşən şüaları ölçülmüşdür.

G.K. Qəhrəmanova, R.B. Cabbarov

InGaN/GaN(In) ÇKÇ HETEROKEÇİDLƏRİN MORFOLOGİYASI VƏ FOTOLÜMİNESSENSİYASININ TƏDQİQİ

MOVPE (Metal Orqanik Buxar Faz Epitaksi) üsulu ilə yetişdirilən yarımpolyar {11-22} InGaN çoxqat kvant çuxurlarının (ÇKÇ) xarakteristikası göstərilmişdir və həyəcanlaşdırıcı mənbəyin gücündən asılı olaraq InGaN/GaN(In) ÇKÇ-lu heterokeçidlərin fotolüminessent xassələri tədqiq edilmişdir.

ISSN 1028-8546

2018, volume XXIV, №1
Section: Az

MÜNDƏRİCAT

1. Nanokristallik silisium karbid (3C-SiC) hissəciklərində neytron zəbtinin tədqiqi
E.M. Hüseynov 3
2. Yönəldici sahənin, sərt elektromaqnit şüalanmasının, təzyiqin və işığın intensivliyinin ZnSe monokristalının elektrik keçiriciliyinə təsiri
İ. Qasımoğlu, Ş.Q. Qasımov, H.M. Əsgərov, Ə.M. Ələsgərov, N.V. Mahmudova 8
3. Ge_{1-x}-Si_x bərk məhlullarının monokristallarının qaz fazadan alınması
Nadir Fərrux oğlu Qəhrəmanov, Aynur İxtiyar qızı Həşimova 11
4. Maqnit sistemləri sürüşdürülmüş iki maqnetrondan tozlandırılma üsulu ilə nazik təbəqəli günəş elementləri üçün $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ təbəqələri
N.N. Abdulzadə, S.T. Ağaliyeva, K.Ə. Əsgərova, D.A. Əhmədova, Ç. E. Səbzəliyeva, N.N. Mursakulov 13
5. **(**$GaSb)_{0.866}$-$(CrSb)_{0.134}$ evtektik sisteminin elektrik keçiriciliyinə fazalararası zonaların təsiri
M.V. Kazımov, R.N. Rəhimov, D.H. Araslı, A.Ə. Xəlilova, İ.X. Məmmədov 18
6. Şottki çəpərli fotoqəbuledicilərin küyləri
E.Ə. Kərimov, S.N. Musayeva 23
7. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit nanotozlarının İQ spektrləri
A.Ə. Sadıqova, Ş.Ə. Əhmədova, Ş.N. Əliyeva, T.R. Mehdiyev 26
8. Yüksək təzyiqlərdə $BaTi_{0.99}Fe_{0.01}O_3$ birləşməsində quruluş faza keçidləri
S.H. Cabarov 33
9. Fiziki terminlər və ifadələr
A.İ. Muxtarov, M.A. Muxtarov, T.R. Mehdiyev, K.B. Qurbanov, E.A. Axundova, N.A. Axundova, N.İ. Hüseynova, S.İ. Əliyeva, E.Ə. Ələsgərova 38
10. **FİZİKA, 2018, vol. XXIV №1, section: En** buraxılışında dərc olunan məqalələrin qısa xülasəsi 50