

ISSN 1028-8546

Volume XXIX Number 3 Section: Az October 2023

Azerbaijan Journal of Physics





Institute of Physics Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan Published from 1995 Ministry of Press and Information of Azerbaijan Republic, Registration number 514, 20.02.1995 **ISSN 1028-8546** vol. XXIX, Number 03, 2023 Section: Az

Azerbaijan Journal of Physics



Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan Institute of Physics

HONORARY EDITORS

Arif PASHAYEV

EDITORS-IN-CHIEF

Arif HASHIMOV

INTERNATIONAL REVIEW BOARD

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

SENIOR EDITOR

Talat MEHDIYEV

TECHNICAL EDITORIAL BOARD

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

PUBLISHING OFFICE

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

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

 Fax:
 (99412) 537-22-92

 E-mail:
 jophphysics@gmail.com

 Internet:
 www.physics.gov.az

It is authorized for printing:

AQAROZA-SU SİSTEMİNDƏ GELƏMƏLƏGƏLMƏ PROSESİNƏ MÜXTƏLİF QEYRİ-ÜZVİ DUZLARIN TƏSİRİNİN OPTİK METODLA ÖYRƏNİLMƏSİ

E.Ə. MƏSİMOV, A.R. İMAMƏLİYEV, A.H. ƏSƏDOVA

Bakı Dövlət Universiteti Azərbaycan, Bakı 1148, Z.Xəlilov küç.23 aynurasadova19@gmail.com

Optik metodla bir sıra qələvi duzların (NaCl, KCl, CaCl₂ və KBr) aqarozanın geləmələgəlmə proseslərinə təsiri öyrənilmişdir. Ölçmələr göstərir ki, fərqli anionların gelə təsiri də fərqlidir. Anionun sabit qaldığı duzlardan geləmələgəlmə və ərimə temperaturuna ən az təsir edən KCl, kationun sabit qaldığı duzlar arasında isə ən az təsir edən duz KBr-dur. Bu təsirlər qeyd olunan duzların gelin yarandığı mühitin – suyun srtukturunda yaratdığı dəyişikliklərlə bağlıdır. Qeyri-üzvi duzların suyun strukturuna təsiri ionun suyu polyarizə etmə qabiliyyətindən, bu isə ionun ölçüsündən, yükündən və yükünün səthi sıxlığından asılı olması ilə izah olunur.

Açar sözlər: aqaroza, qələvi duzlar, geləmələgəlmə temperaturu, ərimə temperaturu, histerezis PACS: 77.22.Ej, 64.75 Bc, 31.70. Dk, 61.70 Og

Giriş

Aqaroza qırmızı dəniz yosunlarından alınan aqarın tərkib hissələrindən biridir və suda məhlulları nisbətən kiçik konsentrasiyalarda belə biotexnologiyada və tibbdə geniş tətbiq olunan güclü gel əmələ gətirir [1]. Bu baxımdan, onun öyrənilməsi və lazım olan xassələrin idarə oluna bilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Dünyanın bir sıra aparıcı elm mərkəzlərində gellərin, xüsusilə də elektroneytral olan aqarozanın öyrənilməsi istiqamətində vacib işlər görülmüşdür. Aqarozanın suda məhlulunda geləmələgəlmə kompleks proses olub, temperatur və onun spesifik quruluşu ilə müəyyən olunur. Aqarozanın geləmələgəlmə mexanizmi üçün geniş yayılmış və qəbul olunmuş modellərdən biri də Tako və Nakamura tərəfindən təklif edilmişdir [2-4]. Polisaxarid hidrogellərinin polisaxarid məhlullarında geləmələgəlməsi klassik geləmələgəlmə mexanizmi kimi götürülə bilər [5-7]. Gellərdə baş verən geləmələgəlmə və gelin ərimə prosesləri üst-üstdə düşmür, yəni güclü termal histerezis müşahidə olunur [8, 9]. Bu proseslər müxtəlif metodlarla, UV-vis spektroskopiyası, DSK (differensial skanedici kalorimetri) və.s metodlarla öyrənilir. Məsələn [9] işində aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə UV-vis spektroskopiyası metodu ilə, [10] işində isə bu proses aqaroza və karreginan geli üçün DSK metodu vasitəsi ilə həyata keçirilmişdir. [10-12] işlərində eyni zamanda geləmələgəlmə proseslərinə bir sıra duzların təsiri də öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, duzlar aqarozanın zol-gel keçidinə təsir edir və gelin möhkəmliyi və ya zəifləməsi duzun anionundan asılıdır.

Bu işlərin təhlili onu göstərir ki, gelin fiziki xassələrinin müxtəlif əlavələr vasitəsi ilə idarə olunması mümkündür və bu olduqca aktualdır. Bu işdə də müxtəlif təbiətli duzların və onların dissosiasiyası zamanı alınan ionların geləmələgəlmə və gelin ərimə temperaturuna təsiri spektrofotometrik metodla tədqiq edilmişdir.

Eksperiment

İşdə CONDA firmasının istehsalı olan aqarozanın suda məhlulunun əmələ gətirdiyi gelə bir sıra qeyri-

üzvi duzların (NaCl, KCl, KBr, CaCl₂) təsiri öyrənilmişdir. Əlavə olunan duzların konsentrasiyası 0.5 moldur. Agaroza gelinin hazırlanması aşağıdakı kimi yerinə yetirilmişdir. Aqaroza tozu ADAM PW 124 tərəzisində (dəqiqlik 0,1 mq) çəkilərək bidistillə suyuna əlavə edilir. Qarışıq 1 gün saxlanıldıqdan (şişmə) sonra 95°C-yə qədər qızdırılır. Alınan bircins və şəffaf məhlul otaq temperturuna qədər soyudulur.

Ölçmələr ikişüalı SPECORD 200 Plus spektrofotometrində 190-1100 nm dalğa uzunluğu intervalında 1nm addımıyla aparılmışdır. Nümunələr üzərində tədqiqat aparmaq üçün xüsusi kvars küvetlərə (10x10x 40mm³) tökülür, cihazın içərisindəki yuvalara yerləşdirilir, sonra isə işıqburaxma

$$T = \frac{I}{I_0}$$

ölçülür. I_0 – nümunəyə düşən, I – nümunədən keçən işiğin intensivliyidir. Alınmış nəticələrə əsasən optik sıxlıq

$$D = -lnT = ln\frac{I_0}{I}$$

hesablanır.

Kvars qabların qoyulduğu yuvalar termostatla (ALPHA LAUDA) təchiz olunmuşdur. Temperatur asılılığını qurarkən gelin çox gec tarazlığa gəldiyini nəzərə alaraq hər temperaturda termodinamik tarazlığın yaranması üçün təxminən 1 saata yaxın gözlənilir. Bu proses həm qızma, həm də soyuma rejimləri üçün aparılır. Gözlənildiyi kimi, D(T) asılılığında istilik histerezisləri müşahidə olunur. Seçilmiş duzlar (0,5 mol konsentrasiyada) aqarozanın güclü gel əmələ gətirən halına (1%-li aqaroza duzuna) əlavə olunmuşdur.

Nəticələr və müzakirə

Qeyd edək ki, geldən keçən işiğin intensivliyinin azalmasında əsas rolu udulma yox, səpilmə oynayır. Çünki gelin strukturunu təşkil edən hissəciklər və fəza torunun ölçüləri işiğin dalğa uzunluğu tərtibindədir (0,1mkm–1 mkm). Polimer məhlulu zol halından gel halına keçdikdən sonra fəza torunun formalaşması uzun müddət davam edir. Bu özünü gelin işıqburaxmasında (T%) göstərir. Temperaturun artması və azalması ilə aqaroza gelinin işıqburaxmasının dəyişməsi gelin fəza torunun parçalanması və əmələ gəlməsi haqqında müəyyən məlumat daşıyır [11]. Gelin qızdırılması və soyuması zamanı onun işıqburaxmasının temperatur asılılığında müşahidə olunan istilik histerezisləri şəkil 1də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Qələvi duzların aqarozanın güclü geləmələgətirən konsentrasiyasına (1%) təsirini əks etdirən istilik histerezisləri.

Qrafikdən oxunan nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1	

Gelin tərkibi	tg(°C)	tə (°C)
1%-li gel	36	75
1%-li gel +CaCl ₂	48	89
1%-li gel +NaCl	46	83
1%-li gel +KCl	43	80
1%-li gel +KBr	37	77

Cədvəldən göründüyü kimi geləmələgəlmə (t_{gl}) və ərimə (t_{a}) temperaturları duzların təsiri nəticəsində nəzərə çarpacaq dərəcədə artmışdır. Bu təsirlər, bizim fikrimizcə, duzların gelin yarandığı mühitin – suyun sıtukturunda yaratdığı dəyişikliklərlə bağlıdır. Qeyri-üzvi duzların suyun strukturuna göstərdiyi fərqli təsirlər ionun suyu polyarizə etmə qabiliyyətindən, bu isə ionun ölçüsündən, yükündən və yükünün səthi sıxlığından asılıdır. Yükünün səthi sıxlığı böyük olan ionlar ion ətrafi suya strukturlaşdırıcı, kiçik səthi sıxlığa malik olan

 Elena Varoni, Matilde Tschon, Barbara Palazzo, Paola Nitti, Lucia Martini, Lia Rimondini. Agarose Gel as Biomaterial or Scaffold for Implantation Surgery: Characterization, Histological and Histomorphometric Study on Soft. Connective Tissue Research, 2012; 53(6): 548–554 ionlar isə dağıdıcı təsir göstərir. Suyun strukturunun dəyişməsi, polimerin suda məhlulunda gelin əmələgəlməsi üçün zəruri olan müxtəlif növ rabitələrin (dipol-dipol, hidrogen rabitəsi və.s) sayının və gücünün dəyişməsinə səbəb olur.

Nəticə

Üzvi duzların aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə prosesinə təsiri isə bu duzların hidrofob və hidrofil funksional qruplarının suya təsirlərinin hansının üstün olması ilə əlaqədardır. Hidrofil əlavə ya gel fazada ionşəkilli assosiatların ölçüsünün böyüməsinə, ya da sərbəst su molekullarını öz ətrafına toplayaraq (hidratlar yaradaraq) sistemin özlülüyünün artmasına səbəb olur. Burada ikinci səbəb daha güclü görünür. Özlülüyün artması ilə də gelin möhkəmliyi beləliklə də t_g və t_a temperaturları yuxarıya doğru sürüşür. Anionu (Cl) eyni olan duzlar içərisində güclü geləmələ gətirən duz CaCl₂ olduğu halda, kationu (K) sabit qalan duzlardan güclü gel əmələ gətirəni KCl-dur.

- [2] M. Tako, S. Nakamura. Gelation mechanism of agarose, Carbohydrate Research, 1988, 180 (2), 277-284.
- [3] Arif Selcuk Ogrenci, Onder Pekcan, Selim Kara &Ayse Humeyra Bilge. Mathematical Characterization of Thermoreversible Phase Transitions of Agarose Gels. Journal of Macromolecular Science, Part B Physics 2018.

AQAROZA-SU SİSTEMİNDƏ GELƏMƏLƏGƏLMƏ PROSESİNƏ MÜXTƏLİF QEYRİ-ÜZVİ DUZLARIN TƏSİRİNİN...

- [4] Emiliano Fernandez, Daniel Lopez, Carmen Mijangos, Miroslava Duskova-Smrckova, Michal Ilavsky, Karel Dusek. Rheological and Thermal Properties of Agarose Aqueous Solutions and Hydrogels. Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, 2008, vol. 46, 322–328.
- [5] C. Viebke, L. Piculell, S. Nilssont. On the Mechanism of Gelation of Helix-Forming Biopolymers. Macromolecules 1994, 27, 4160– 4166.
- [6] M. Djabourov, J. Leblond, P. Papon. Gelation of acqueous gelatin solutions. II. Rheology of the sol-gel transition. J. Phys. Fr. 1988, 49, 333–343.
- [7] *E.Ə. Məsimov, A.R. İmaməliyev.* Polimer gellərin fiziki xassələri. Bakı-2014.
- [8] A.H. Asadova and E.A. Masimov. The solution gel phase transition in aqueous solutions of agarose Modern Physics Letters B, vol. 35, №. 8, 2021, 2150147 (7 pages)

- [9] P.L. Indovina, E. Tettamanti, M.S. Micciancio Giammarinaro and M.U. Palma. Thermal hysteresis and reversibility of gel–sol transition in agarose–water systems: The Journal of Chemical Physics 1979, 70, 2841.
- [10] M. Watase, K. Nishinari. The Effect of Sodium Thiocyanate on Thermal and Rheological Properties of kappa-Carrageenan and Agarose Gels. Carbohydrate Polymers 11, 1989, 55-66, 269-284
- [11] Struther Arnott, A. Fulmer, W. E. Scott. The Agarose Double Helix and Its Function in Agarose Gel Structure. J. Mol. Biol., 1974, 90.
- [12] Lennart Picdell and Svante Nilsson. Anion-Specific Salt Effects in Aqueous Agarose Systems. 1. Effects on the Coil-Helix Transition and Gelation of Agarose. J. Phys. Chem. 1989, 93, 5596-5601.

E.A. Masimov, A.R. Imamaliyev, A.H. Asadova

STUDY OF THE INFLUENCE OF SOME INORGANIC SALTS ON THE GELATION PROCESS IN THE AGAROSE – WATER SYSTEM BY THE OPTICAL METHOD

The influence of a number of alkaline salts (NaCl, KCl, CaCl₂ and KBr) on the gelation processes in aqueous agarose solution was studied by spectrophotometric method. The results of the study show that different anions have different effects on the gel. Among the salts where the anion is stable, KCl has the least effect on the gel formation and gel melting temperature, and among the salts where the cation remains stable, KBr has the least effect. The detected patterns are related to the influence of these salts on the structures of water, the medium where the gel is formed. The influence of inorganic salts on the structure of water is explained by the ability of ions to polarize water, which depends on the size, charge and charges surface density of the ion.

Э.А. Масимов, А.Р. Имамалиев, А.Г. Асадова

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АГАРОЗА-ВОДА ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Влияние ряда щелочных солей (NaCl, KCl, CaCl₂ и KBr) на процессы гелеобразоания в водном растворе агарозы изучено спектрофотометрическим методом. Результаты исследования показывают, что разные анионы поразному влияют на гель. Среди солей, в которых анион остается стабильным, наименьшее влияние на температуру гелеобразования и плавления гели оказывает KCl, а среди солей, в которых остается устойчивым катион, наименьшее влияние оказывает KBr. Обнаруженные закономерности связаны с влиянием эти солей на структуры воды – среды, где образуется гель. Влияние неорганических солей на структуру воды объясняется способностью ионов поляризовать воду, которая зависит от размера, заряда и поверхностной плотности заряда иона.

PÖŞL-TELLER POTENSİALLI YARIMKEÇİRİCİ KVANT ÇUXURUNDA FONON SÖVQÜNÜN TERMOELEKTRİK HƏRƏKƏT QÜVVƏSİNƏ TƏSİRİ

2023

M.M. BABAYEV, B.H. MEHDİYEV, X.B. SULTANOVA, S.İ. ZEYNALOVA

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu Bakı, 1143, Azərbaycan, H. Cavid pr. 131

m.babayev@physics.science.az

Elektronların fononlar tərəfindən sövqünü nəzərə almaqla modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensiallı yarımkeçirici kvant çuxurunda termoelektrik hərəkət qüvvəsi (termo-ehq) hesablanmışdır. Alınan nəzəri nəticələr əsasında aşağı temperaturlarda GaAs/Al_xGa_{1-x}As kvant çuxurunda yaranan termo ehq-nin temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Ədədi hesablamalar göstərir ki, aldığımız nəzəri nəticələr eksperimentin nəticələri ilə yaxşı uzlaşır. Bu, Pöşl-Teller potensialının yarımkeçirici kvant çuxurlarında məhdudlayıcı potensialı yaxşı təsvir etdiyini göstərir.

Açar sözlər: kvant çuxuru, Pöşl-Teller potensialı, termoelektrik hərəkət qüvvəsi. PACS: 73.50 Lw; 73.63 Hs

GİRİŞ

Yarımkeçirici kvant çuxurlarında termoehq-nin eksperimental tədqiqi uzun müddətdir ki, davam edir [1-3], son illərdə bu məsələyə maraq daha da artmışdır [4-6]. Kvant çuxurlarına aid eksperimental tədqiqatlarda, əsasən, aşağı temperaturlar oblastına baxılır ki, bu halda elektronların fononlar tərəfindən sövqü termoelektrik hadisələrdə əhəmiyyətli rol oynayır. Kvant çuxurlarında fonon sövqü şəraitində termo-ehq nəzəri olaraq [7-9] işlərində öyrənilmişdir. Nəzəri hesablamalarda kvant çuxurunda məhdudlayıcı potensialın formasının seçilməsi nəticələrə ciddi təsir edir. [7-8] işlərində məhdudlayıcı potensial olaraq düzbucaqlı potensial [9] işində isə parabolik potensial götürülmüşdür.

Modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensiallı [10] kvant çuxurunda termoelektrik hərəkət qüvvəsi ilk dəfə [11] işində hesablanmışdır; bu hesablamalarda qəbul edilir ki, nümunədə yaradılan temperatur qradiyenti fonon sistemini tarazlıqdan çıxarmır (Nümunənin hər bir nöqtəsində fononların N(q) paylanma funksiyasının yalnız həmin nöqtədəki temperaturdan asılı olduğu qəbul edilir). Əslində isə yarımkeçiricidə temperatur qradiyentinin olduğu şəraitdə fononların paylanma funksiyasının bu qradiyentdən asılı olan komponenti əmələ gəlir ki, bu da elektronların hərəkətinə təsir etməklə ("fonon sövqü") termoelektrik və termomaqnit effektlərin qiymətini (xüsusən aşağı temperaturlarda) xeyli dəyişdirir [12].

Biz bu işdə fonon sövqünün Pöşl-Teller potensiallı kvant çuxurunda termoehq-yə təsirini öyrənirik. Pöşl-Teller potensialı 2 parametrlə xarakterizə olunur [10] - λ və α . Hesablamalar göstərir ki, $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ kvant çuxurlarında təbəqənin eni \cong 100*A* olan halda temperaturun $T \leq 100 K$ və elektronların səth sıxlığının $n \leq 10^{16} m^{-2}$ qiymətlərində elektronlar ən aşağı enerjili N=0 səviyyəsində olur. Ona görə də biz Pöşl-Teller potensialının parametrini $\lambda = 1$ götürəcəyik. Elektronların hərəkətinin məhdudlaşdığı istiqamət olaraq (kvant təbəqəsinə perpendikulyar istiqamət) *z* oxunu seçək. Bu halda modifikasiya olunmuş Pöşl-Teller potensialını və elektronların dispersiya qanununu aşağıdakı şəkildə yazmaq olar [11]:

$$U(z) = \frac{\hbar^2 \alpha^2}{m} \tanh^2 \alpha z, \ \varepsilon = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\alpha^2 + k^2 \right)$$
(1)

Burada *m* - keçirici elektronların effektiv kütləsi, $\vec{k} = (k_x, k_y)$ – elektronların 2-ölçülü dalğa vektorudur. Temperatur qradiyentinin 2-ölçülü elektron qazı müstəvisində yaradıldığı hala baxırıq (Bu istiqaməti *x* ilə işarə edək: $\nabla T = \nabla T_x$). Aydındır ki, temperatur qradiyenti nəticəsində yaranan termoelektrik sahə (E_x) və elektrik cərəyanı (j_x) da x oxu istiqamətində olacaq.

FONON SÖVQÜ ŞƏRAİTİNDƏ ELEKTRON VƏ FONONLAR ÜÇÜN KİNETİK TƏNLİYİN HƏLLİ

Elektron və fononlar üçün kinetik tənliklər sistemi [12]:

$$\vec{v}(\vec{k}) \cdot \nabla_{\mathrm{r}} f(\vec{k}) - \frac{e}{\hbar} \vec{E}_0 \cdot \nabla_{\mathrm{k}} f(\vec{k}) = I[f(\vec{k}), N(\vec{q})] \quad , \tag{2}$$

$$\vec{s} \cdot \nabla_{\mathbf{r}} N(q) = \mathbf{J}[f(\vec{k}), N(\vec{q})]$$
(3)

Burada $\vec{v}(\vec{k})$ - elektronların, $\vec{s} = s \cdot \frac{\vec{q}}{q}$ - fononların sürət vektorları, $\vec{q} = (q_x, q_y, q_z)$ - fononların 3-ölçülü dalğa vektoru, $f(\vec{k})$ - elektronların, $N(\vec{q})$ - fononların paylanma funksiyaları, $I[f(\vec{k}), N(\vec{q})]$ elektronların,

 $J[f(k), N(\vec{q})]$ - fononların toqquşma hədləri, s- səsin kristalda sürətidir.

Həm elektronlar, həm də fononların tarazlıqdan kənaraçıxması zəifdirsə, onların paylanma funksiyalarını aşağıdakı kimi yaza bilərik:

^{131,} H.Javid ave, AZ-1143, Baku Institute of Physics

E-mail: jophphysics@gmail.com

PÖŞL-TELLER POTENSİALLI YARIMKEÇİRİCİ KVANT ÇUXURUNDA FONON SÖVQÜNÜN TERMOELEKTRİK...

$$f(\vec{k}) = f_0(k) + f_1(\vec{k}); \ N(\vec{q}) = N_0(q) + N_1(\vec{q}); \ |f_1| \ll f_0, |N_1| \ll N_0 \tag{4}$$

Burada

$$f_0(k) = \left[\exp\left(\frac{\varepsilon-\zeta}{k_0T}\right) + 1\right]^{-1}; \ N_0(q) = \left[\exp\left(\frac{\hbar\omega_q}{k_0T}\right) - 1\right]^{-1}$$
(5)

- uyğun olaraq, elektronların və fononların tarazlıq paylanma funksiyaları, ε və $\hbar \omega_q$ elektron və fononların enerjisi, k_0 - Bolsman sabiti, ζ -elektronların kimyəvi potensialıdır. Baxdığımız $\lambda = 1$ halında Pöşl-Teller potensiallı kvant çuxurunda elektron sisteminin kimyəvi potensialı aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir [13]:

$$\zeta = \frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m} + k_0 T \ln \left[\exp \left(\frac{\pi \hbar^2 n}{m k_0 T} \right) - 1 \right]$$
(6)

Biz hesab edirik ki, fononların elektronlardan səpilməsi fononların fononlardan səpilməsinə nisbətən çox zəifdir, onda fononların toqquşma həddi $f(\vec{k})$ -dan asılı olmur və relaksasiya müddəti yaxınlaşmasında $J[N(\vec{q})] = \frac{N_1(\vec{q})}{\tau_f(q)}$ kimi yazıla bilər [12]. $(\vec{q} \cdot \nabla T) = (\vec{q}_2 \cdot \nabla T)$ olduğunu nəzərə alsaq $(\vec{q}_2 = (q_x, q_y) -$ fononların dalğa vektorunun kvant təbəqəsində toplananlarıdır), (3) tənliyindən $N_1(\vec{q})$ üçün alırıq:

$$N_1(\vec{q}) = \frac{\mathbf{s} \cdot \tau_f(q)}{q} \cdot \frac{dN_0(q)}{dT} \left(\vec{q}_2 \cdot \nabla T \right) \tag{7}$$

Elektronların toqquşma həddi[12] :

$$I[f(\vec{k}), N(\vec{q})] = \sum_{\vec{k}', \sigma'} W(\vec{k}', \vec{k}) \{ f(\vec{k}') [1 - f(\vec{k})] - f(\vec{k}) [1 - f(\vec{k}')] \}$$
(8)

Burada $W(\vec{k}', \vec{k})$ – akustik, pyezoakustik fononlardan və ionlardan səpilmə nəticəsində elektronların vahid zamanda (\vec{k}', σ') halından (\vec{k}, σ) halına keçid ehtimalı, σ - spin kvant ədədidir. Toqquşma həddini aşağıdakı kimi yazaq:

$$I[f(\vec{k}), N(\vec{q})] = I_i[f_1(\vec{k})] + I_{ph}[f_1(\vec{k}), N_0(q)] + I_{dr}[f_0(k), N_1(\vec{q})]$$
(9)

Burada $I_i[f_1(\vec{k})]$ və $I_{ph}[f_1(\vec{k}), N_0(q)]$ - toqquşma həddinin elektronların, uyğun olaraq, ionlardan və fononlardan (akustik+pyezoakustik) səpilməsi ilə bağlı komponentləri, $I_{dr}[f_0(k), N_1(\vec{q})]$ - elektronların fononlar tərəfindən sövqu ilə bağlı komponentidir. (9) ifadəsində 1-ci və 2-ci hədlər relaksasiya müddəti yaxınlaşmasında tapılır:

$$I_{i}[f_{1}(\vec{k})] + I_{ph}[f_{1}(\vec{k}), N_{0}(q)] = -\frac{f_{1}(\vec{k})}{\tau_{e}(\varepsilon)}$$
(10)

Burada $\tau_e(\varepsilon) = 1/\nu_e$ - elektronların ümumi relaksasiya müddəti, $\nu_e = \nu_i + \nu_a + \nu_p$ – relaksasiya tezliyidir. Pöşl-Teller potensiallı kvant çuxurunda elektronların ionlardan (ν_i), akustik (ν_a) və pyezoakustik (ν_p) fononlardan səpilməsində relaksasiya tezlikləri [13] işində hesablanmışdır. Qeyd edək ki, relaksasiya tezlikləri hesablanarkən səpici potensialların ekranlaşması da nəzərə alınmışdır. Ekranlaşma dielektrik funksiya ilə ifadə edilir [13]:

$$\epsilon(q_2) = 1 + \frac{2me^2}{\hbar^2 \pi \chi q_2} \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{q_2}{\alpha} \right)^2 \Psi^{(1)} \left(-1 + \frac{q_2}{2\alpha} \right) - \frac{4 + \left(\frac{q_2}{\alpha} - 1 \right) \left(\frac{q_2}{\alpha} \right)^2}{\left(\frac{q_2}{\alpha} - 2 \right)^2} \right\} f_0 \left(\frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m} \right)$$
(11)

Burada $\Psi^{(1)}(z) = \frac{d^2}{dz^2} ln\Gamma(z)$ – triqamma-funksiya, $\Gamma(z)$ – qamma-funksiya, $f_0\left(\frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m}\right)$ – ən aşağı enerjili halın (k = 0) elektonlar tərəfindən tutulma ehtimalıdır. Cırlaşmış elektron qazı üçün $f_0\left(\frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m}\right) \approx 1$ və dielektrik funksiya elektronların səth sıxlığından asılı olmur. (9) tənliyində sövqetmə ilə bağlı olan sonuncu həddi hesablayaq:

$$I_{dr}[f_0(k), N_1(\vec{q})] = \sum_{\vec{k}', \sigma'} W_1(\vec{k}', \vec{k}) [f_0(k') - f_0(k)],$$
(12)

 $W_1(\vec{k}',\vec{k})$ – həm akustik, həm də pyezoakustik fononların tarazlıqdan çıxmasının elektronların keçid ehtimalında yaratdığı əlavədir:

M.M. BABAYEV, B.H. MEHDİYEV, X.B. SULTANOVA, S.İ. ZEYNALOVA

$$W_{1}(\vec{k}',\vec{k}) = \frac{\pi^{3}}{4\rho\alpha^{2}} \,\delta_{\sigma,\sigma'} \sum_{\vec{q}} \left[E_{1}^{2}q^{2} + \left(\frac{eE_{pz}}{\chi}\right)^{2} \right] \frac{q_{z}^{2}Csch^{2}\left(\frac{\pi q_{z}}{2\alpha}\right)}{\epsilon^{2}(q_{2})\omega_{q}} \times N_{1}(\vec{q}) \left[\delta\left(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_{k} - \hbar\omega_{q}\right)\delta_{\vec{k}',\vec{k}+\vec{q}_{2}} + \delta\left(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_{k} + \hbar\omega_{q}\right)\delta_{\vec{k}',\vec{k}-\vec{q}_{2}} \right]$$
(13)

Elektron-fonon səpilməsinin kvazi-elastiklik ($\hbar \omega_q \ll \varepsilon_k$) şərtindən istifadə etsək:

 $f_0(k') - f_0(k) \approx \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \left(\varepsilon_{\vec{k} \pm \vec{q}_2} - \varepsilon_k \right) = \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} (\pm \hbar \omega_q)$, burada $\omega_q = sq$. Bu münasibəti və (7), (13) ifadələrini (12)də nəzərə alsaq:

$$I_{dr}[f_{0}(k), N_{1}(\vec{q})] = \frac{\pi^{3}E_{1}^{2}}{4\rho\alpha^{2}} \sum_{\vec{k}', \sigma', \vec{q}} \frac{\partial f_{0}}{\partial \varepsilon} \delta_{\sigma, \sigma'} \left[1 + \left(\frac{eE_{pz}}{\chi E_{1}q}\right)^{2} \right] \frac{q_{z}^{2}Csch^{2}\left(\frac{\pi q_{z}}{2\alpha}\right)}{\epsilon^{2}(q_{2})} \tau_{f}(q) \frac{dN_{0}(q)}{dT} \times (\vec{q}_{2} \cdot \nabla T) \left[\delta(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_{k} - \hbar\omega_{q}) \delta_{\vec{k}', \vec{k} + \vec{q}_{2}} \hbar\omega_{q} - \delta(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_{k} + \hbar\omega_{q}) \delta_{\vec{k}', \vec{k} - \vec{q}_{2}} \hbar\omega_{q} \right]$$
(14)

İkinci cəmdə $\vec{q} \rightarrow (-\vec{q})$ əvəzləməsi etsək, delta-funksiyanın arqumentində kvazi-klassiklik şərtinə görə $\hbar \omega_q$ həddini atsaq və spinə görə cəmləsək, (14) ifadəsini belə yaza bilərik:

$$I_{dr}[f_0(k), N_1(\vec{q})] = \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} (\vec{\nu} \cdot \nabla T) k_0 A_f.$$
⁽¹⁵⁾

Burada

$$A_{f} = \frac{\pi^{3} E_{1}^{2}}{k_{0} \rho \alpha^{2}} \sum_{\vec{k}', \vec{q}} \left[1 + \left(\frac{e E_{pz}}{\chi E_{1} q} \right)^{2} \right] \frac{q_{z}^{2} C sch^{2} \left(\frac{\pi q_{z}}{2\alpha} \right)}{\epsilon^{2} (q_{2})} \tau_{f}(q) \hbar \omega_{q} \frac{d N_{0}(q)}{dT} \times \frac{(\vec{q}_{2} \cdot \nabla T)}{(\vec{v} \cdot \nabla T)} \delta(\varepsilon_{k'} - \varepsilon_{k}) \delta_{\vec{k}', \vec{k} + \vec{q}_{2}}$$
(16)

alsaq, δ -funksiyanın köməyi ilə k' üzrə inteqralı və -elektronların fononlar tərəfindən sövqü ilə bağlı kəmiyyətdir. (16) ifadəsində (5)-i nəzərən

$$\sum_{\vec{q}} \Phi(\vec{q}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \iiint \Phi(q_2, \varphi, q_z) q_2 \, dq_2 \, d\varphi dq_z \tag{17}$$

düsturundan istifadə etməklə (q_2 və φ – kvant təbəqəsində polyar koordinatlardır; polyar ox olaraq \vec{k} vektoru götürülmüşdür) φ üzrə inteqralı aparsaq, A_f -in ifadəsi aşağıdakı şəklə düşür:

$$A_{f} = -\frac{m^{2}s^{2}E_{1}^{2}}{16\rho\alpha^{2}\hbar(k_{0}T)^{2}k^{3}} \iint dq_{2}dq_{z} \left[1 + \left(\frac{eE_{pz}}{\chi E_{1}q}\right)^{2}\right] \frac{(qq_{2}q_{z})^{2}Csch^{2}\left(\frac{\pi q_{z}}{2\alpha}\right)}{\epsilon^{2}(q_{2})} \times \left[1 - \left(\frac{q_{2}}{2k}\right)^{2}\right]^{-\frac{1}{2}}\tau_{f}(q)\exp\left(\frac{\hbar sq}{k_{0}T}\right)\left[\exp\left(\frac{\hbar sq}{k_{0}T}\right) - 1\right]^{-2}$$
(18)
liyində

(2) tənliyində

$$\nabla_{\mathbf{k}} f(\vec{k}) \approx \nabla_{\mathbf{k}} f_0(\varepsilon) = \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \hbar \vec{v}; \ \nabla_{\mathbf{r}} f(\vec{k}) \approx \nabla_{\mathbf{r}} f_0(\varepsilon) = -\frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \left(\frac{\varepsilon - \zeta}{T} \nabla T + \nabla \zeta \right)$$
(19)

əvəz etsək və (4), (9), (10), (15) ifadələrini (2)-də nəzərə alsaq, elektronların qeyri-tarazlıq paylanma funksiyasına əlavəni tapa bilərik:

$$f_1(\vec{k}) = \tau_e(\varepsilon) \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \left[A_f k_0 \left(\vec{v} \cdot \nabla T \right) + e \left(\vec{v} \cdot \vec{E} \right) + \frac{\varepsilon - \zeta}{T} \left(\vec{v} \cdot \nabla T \right) \right]$$
(20)

Burada

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \frac{\nabla \zeta}{e} \tag{21}$$

TERMOELEKTRİK HƏRƏKƏT QÜVVƏSİNİN HESABLANMASI

Temperatur qradiyenti 2-ölçülü elektron qazı müstəvisi üzrə x oxu istiqamətində ($\nabla T = \nabla_x T$) yaradıldığı üçün elektrik cərəyanı da x oxu istiqamətində olacaq [12]: $j_x = -e \sum_{\vec{k} \sigma} f_1(\vec{k}) v_x$. (20)-ni bu ifadədə yerinə qoyub $\vec{k} = (k_x, k_y)$ üzrə cəmləmədən müstəvidə polyar koordinatlar üzrə inteqrallamaya keçsək, alırıq:

$$j_x = \sigma E_x - (\beta_e + \beta_f) \nabla_{\mathbf{x}} T \tag{22}$$

 σ – ikiölçülü elektron qazının elektrik keçiriciliyi, β_e və β_f isə, uyğun olaraq, vahid temperatur qradiyentinin yaratdığı elektrik cərəyanının elektron və fonon hissələridir:

l

$$\sigma = \frac{e^2 k_0 T}{\pi \hbar^2} \int_0^\infty \left(-\frac{df_0}{dx} \right) \tau_e(x) x dx \tag{23}$$

$$B_e = -\frac{e^2 k_0 T}{\pi \hbar^2} \frac{k_0}{e} \int_0^\infty \left(-\frac{df_0}{dx} \right) \tau_e(x) \, (x - \eta) x dx \,, \tag{24}$$

$$\beta_f = -\frac{e^2 k_0 T}{\pi \hbar^2} \frac{k_0}{e} \int_0^\infty \left(-\frac{df_0}{dx} \right) \tau_e(x) A_f(x) x dx$$
(25)

Burada aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$x = \frac{1}{k_0 T} \left(\varepsilon - \frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m} \right); \ \eta = \frac{1}{k_0 T} \left(\zeta - \frac{\hbar^2 \alpha^2}{2m} \right)$$
(26)

(6) ifadəsini nəzərə alsaq, gətirilmiş kimyəvi potensial üçün alırıq:

$$\eta = \ln\left[\exp\left(\frac{\pi\hbar^2 n}{mk_0 T}\right) - 1\right]$$
(27)

Termo-ehq ($\propto = E_x / \nabla_x T$) temperatur qradiyenti istiqamətində elektrik cərəyanının sıfırlıq şərtindən tapılır, buna əsasən (22)-dən tapırıq:

$$\propto = \propto_e + \propto_f; \quad \propto_e = \frac{\beta_e}{\sigma}, \quad \propto_f = \frac{\beta_f}{\sigma} \quad .$$
 (28)

Burada $\propto_e v \Rightarrow \propto_f -$ uyğun olaraq, termo-ehqnin elektron (diffuziya ilə bağlı) və fonon (elektronların fononlar tərəfindən sövqü ilə bağlı) hissələridir.

Termoehq üçün burada alınan nəzəri nəticələr elektronların istənilən cırlaşma dərəcəsində doğrudur. Aşağı temperaturlarda aparılmış təcrübələrdə [1-3] elektronların konsentrasiyalarının qiymətləri göstərir ki, onlar güclü cırlaşmış haldadır. Bundan istifadə edib (23) və (25) ifadələrində $\left(-\frac{df_0}{dx}\right) = \delta(x - \eta)$ əvəz etməklə hesablamaları sadələşdirmək və $k \approx k_F = \sqrt{2\pi n}$ yazmaq olar. Lakin (24) ifadəsini bu yolla hesablayanda $\beta_e = 0$ alınır, ona görə də (24)-ün hesablanmasında bu sadələşmədən istifadə etməyəcəyik.

NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Yuxarıda alınan nəzəri nəticələri GaAs/ Al_xGa_{1-x}As kvant çuxurlarına tətbiq edək. Ədədi hesablamalarda istifadə olunan parametrlərin qiymətləri [11] işində verilmişdir. Bundan əlavə, qeyd edək ki, biz $\alpha = 3 \cdot 10^8$ m⁻¹ götürəcəyik [11,13].

Termoehq-nin temperaturdan asılılığı üçün (23)-(28) ifadələri əsasında alınmış nəticələr şəkil 1-də verilmişdir.

Şəkildə cəm termoehq ilə yanaşı onun ayrılıqda götürülmüş elektron və fonon hissələrinin temperaturdan asılılıqları, həmçinin cəm termoehq üçün eksperimental nəticələr [1] də göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, Pöşl-Teller potensialı əsasında cəm termoehq üçün alınmış nəticələr eksperimentin nəticələri ilə yaxşı uzlaşır. Bu, Pöşl-Teller potensialının yarımkeçirici kvant çuxurlarında məhdudlayıcı potensialı yaxşı təsvir etdiyini göstərir.



Şəkil 1. Termoehq-nin temperaturdan asılılıq qrafikləri. 1- elektron hissə, 2-fonon hissə, 3- cəm termoehq. Açıq və tünd nöqtələr eksperimental nəticələrdir [1].



Şəkil 2. Termoehq-nin temperaturdan asılılıq qrafikləri. 1- fonon termoehq , 2-akustik, 3- pyezoakustik fononların termoehq-yə verdiyi pay.

Qeyd edək ki, elektronların əsas səpilmə mexanizmi ionlardan səpilmə olsa da, elektronların sövqünü yaradan akustik və pyezoakustik fononlardır. Bu iki tip fononların termoehq-yə verdiyi pay additivdir və hər iki hissə temperatur artdıqca artır (şəkil 2). Temperaturun artması ilə akustik fononların verdiyi pay daha sürətlə artır. Nəticədə 1.5K temperaturuna qədər

M.M. BABAYEV, B.H. MEHDİYEV, X.B. SULTANOVA, S.İ. ZEYNALOVA

pyezoakustik fononların termoehq-yə verdiyi pay akustik fononların verdiyi paydan böyük olduğu halda,

- R. Fletcher, J.C. Maan, G. Weimann. Experimental results on the high-field thermopower of a two-dimensional electron gas in a GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs heterojunction. Phys. Rev.B, 32, 1985, 8477-8479.
- [2] *R.Fletcher, J.C.Maan, K.Ploog, G.Weimann.* Thermoelectric properties of GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs heterojunctions at high magnetic fields. Phys.Rev.B, 33, 1986, 7122-7133.
- [3] R.Fletcher, J.J.Harris, C.T.Foxon, M.Tsaousidou, P.N.Butcher. Thermoelectric properties of a very low-mobility two-dimensional electron gas. Phys.Rev.B, 50, 1994, 14991-14998.
- [4] S. Goswami, C. Siegert, M. Baenninger, M.Pepper, I. Farrer, D. A. Ritchie, A. Ghosh. Highly enhanced thermopower in twodimensional electron systems at millikelvin temperatures. Phys. Rev.Lett. PRL 103, 2009, 026602 (1-4).
- [5] W.E. Chickering, J.P. Eisenstein, J.L. Reno. Hot-electron thermocouple and the diffusion thermopower of two-dimensional electrons in GaAs. Phys. Rev. Lett., 103, 2009, 046807 (1-4).
- [6] G.M.Gusev, E.B.Olshanetsky, Z.D.Kvon, L.I.Magarill, M.V. Entin, A. Levin, N.N.Mikhailov. Thermopower of a twodimensional semimetal in a HgTe quantum well. JETP Letters, 107, 2018, 789–793.

1.5K-dən böyük temperaturlarda akustik fononların payı daha üstün olur.

- [7] *S.K.Lyo.* Low-temperature phonon-drag thermoelectric power in heterojunctions. Phys.Rev.B, 38, 1988, 6345-6347.
- [8] B.Tieke, R. Fletcher, J.C. Maan, W.Dobrowolski A.Mycielski, A.Wittlin. Magnetothermoelectric properties of the degenerate semiconductor HgSe:Fe. Phys. Rev.B, 54, 1996, 10565-10574.
- [9] F.M.Hashimzade, M.M.Babayev, B.H.Mehdiyev and Kh.A.Hasanov. Magneto-thermoelectric effects of 2D electron gas in quantum well with parabolic confinement potential in-plane magnetic field. Journal of Physics: Conference Series, 245, 2010, 012015-012018.
- [10] S. Cruz y Cruz, S. Kuru, J. Negro. Classical motion and coherent states for Pöschl–Teller potentials. Phys. Lett. A, 372, 2008, 1391–1405.
- [11] M.M. Babayev, X.B.Sultanova. Kvant çuxurlarında ikiölçülü elektron qazının termoelektrik hərəkət qüvvəsi. Fizika, XXVII -Az, 2021, 23-26.
- [12] Б.М. Аскеров. Электронные явления переноса в полупроводниках. Москва, Наука, 1985, 318 стр.
- [13] M.M. Babayev, Kh.B. Sultanova, N.B.Mustafayev. Relaxation processes and mobility of electrons in a semiconductor quantum well with the modified Poschl-Teller confining potential. Chinese Journal of Physics, 56, 2018, 2977-2983.

M.M. Babayev, B.H. Mehdyev, Kh.B. Sultanova, S.I. Zeynalova

EFFECT OF ELECTRON DRAG BY PHONONS ON THE THERMOPOWER OF A SEMICONDUCTOR QUANTUM WELL WITH PÖSCHL-TELLER CONFINING POTENTIAL

The thermopower in a semiconductor quantum well with a confining Pöschl-Teller potential is calculated taking into account the drag of electrons by phonons. On the basis of the obtained theoretical results, the temperature dependence of thermopower in a $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ quantum well at low temperatures has been studied. Numerical calculations show that our theoretical results are in good agreement with experimental ones. This indicates that the Pöschl-Teller potential satisfactorily describes the confinement potential in semiconductor quantum wells.

М.М. Бабаев, Б.Г. Мехтиев, Х.Б. Султанова, С.И. Зейналова

ВЛИЯНИЕ УВЛЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ФОНОНА НА ТЕРМОЭДС ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНТОВОЙ ЯМЫ С ОГРАНИЧИВАЮЩИМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПЁШЛЯ-ТЕЛЛЕРА

Рассчитана термоэдс в полупроводниковой квантовой яме с ограничивающим потенциалом Пёшля-Теллера с учетом увлечения электронов фононами. На основе полученных теоретических результатов исследована температурная зависимость термоэдс в квантовой яме $GaAs/Al_xGa_{1-x}As$ при низких температурах. Численные расчеты показывают, что наши теоретические результаты хорошо согласуются с экспериментальными. Это показывает, что потенциал Пёшля-Теллера хорошо описывает потенциал конфайнмента в полупроводниковых квантовых ямах.

AgInSe2 MONOKRİSTALINDA SƏTH QURULUŞ POZULMALARININ FOTOVOLTAİK EFFEKTƏ TƏSİR MEXANİZMİ

İ. QASIMOĞU, Q.S. MEHDİYEV, Z.Q. MƏMMƏDOV

2023

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, H.M.Abdullayev adına Fizika İntitutu Az 1143 Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131 E-mail: <u>gasımoğlu@yahoo.com</u>

Təqdim olunan işdə biroxlu kristallar qrupundan olan AgInSe₂ monokristalında, texnoloji proses zamanı laylı periodik strukturların meydana gəlməsi bildirilir. Bu hallara məxsus səth quruluş pozulmalarının fotovoltaik effektə təsir mexanizmi öyrənilmişdir və mikrovolt tərtibli kiçik gərginlik rejimində işləməsi mümkün olan nümunələrin Volt – Amper xarakteristikası ölçülmüşdür.

Açar sözlər: Xalkopirit birləşmələr, periodik strukturlar, biroxlu kristal. **PACS:** 61.80.Ed.

AgInSe₂ monokristalı A'B^{III} C^{V1}₂ yarımkeçirici birləşmələr qrupuna daxildir və xalkopirit strukturunda kristallaşır, fəza simmetriya qrupu 42m-dir. Obyektin bağlı zonasının enerjisi günəş elementləri üçün optimal olan qiymətə yaxındır (E_g =1,24ev). Bu birləşmə yarımkeçirici cihazqayırmada, xüsusilə fotoelementlərin, işıqqeydedici cihazların hazırlanmasında böyük üstünlüyə malikdir. Texniki məqsədlər üçün istifadəyə yararlıdır [1]. Maddə Bricmen–Stokbarqer üsulu ilə alınmışdır. Tərəfimizdən keçiriciliyin işarəsi, elektrik hərəkət qüvvəsini ölçmək yolu ilə təyin olunmuşdur, müsbətdir yəni p-tipdir. Müqaviməti otaq temperaturunda R=2500m-dur. Rentgen analizi göstərdi ki, alınan maddə yarımkeçiricidir (şəkil 1)



Mövzunun aktuallığı

Məsələnin qoyuluşu

İkiqat analoqlarından fərqli olaraq, üçqat birləşmələrdə baş verən daşınma prosesləri hələ tam öyrənilməmişdir. Texnoloji proseslər zamanı meydana gələn laylı periodik strukturlar hesabına səthdə formalaşan harmonik dalğaların yeni xassələri perspektivlər vəd etdiyi üçün, mövzu aktualdır və kristal səthində yaranan nanoquruluşlara məxsus dalğaların formalaşmasının öyrənilməsi baxımından vacib hesab olunur [1]. Yeni xüsusi texnologiya ilə alınmış, mürəkkəb tərkibli maddə olan AgInSe₂ monokristalı, praktik tətbiq üçün yararlıdır [2]. Faydalı iş əmsalını artırmaq üçün yeni üsullara ehtiyac duyulur. Tədqiqatın obyekti xalkopirit strukturunda kristallaşdığı üçün, simmetriya mərkəzi olmayan kristallar sinfinə daxil olduğuna görə, bir çox üstün xüsusiyyətlərə malikdir. Texnoloji prosesin gedişatı zamanı meydana gələn, nazik laylı periodik strukturlarla elektromaqnit dalğalarının qarşılıqlı təsirindən ortaya çıxan yeni fərqli xassələrin ölçülməsi hesabına müasir nəticələr əldə edə bilərik. Bu tip quruluşlara xarici qüvvələr təsir etdikdə, fərqli xassələr ona görə meydana çıxır ki, nazik təbəqənin daxilində rəqslər dalğa formasında yayılır. Bu zaman əmələ gələn daxili sahə təkcə kristalın ölçüləri ilə bağlı deyil, onun xarici səthinə də yayılmış olur. Yəni, dalğa paketlərinin səth istiqamətində harmonik yayılması müşahidə olunur [3]. Digər bir məsələ kristalın səthindəki nanoobyektlərin elektrik və optik xassələrinin, monokristalın mövcud xassələri ilə kompleks şəkildə öyrənilməsidir. Təcrübi və nəzəri işlərin birgə işlənməsi baxımından fərqli nəticələr əldə edə bilərik.

Təcrübənin aparılamsı



Şəkil 2. AgInSe₂ monokristalında elektirik hərəkət qüvvəsinin dalğa uzunluğundan asılılığını göstərən qrafik. Gücləndiricinin 100mV rejimində.





Yarımkeçiricilərdə elektronların dispersiya qanununun kvadratik formada olmadığını, Volt-Amper xarakteristikasından müəyyənləşdirmək olar. Aparılan təcrübə zamanı qrafikin kəsilməz, və ya kəsilən (diskret) olması, kristalın daxilində, və ya onun səthində baş verən proseslərin gostəricisi kimi özünü aparır.



yəkil4. Ağınsez monokristalında elektirik nərəkət quvvəsinin dalğa uzunluğundan asılılığını göstərən qrafik. Gücləndiricinin 1V rejimində.



Şəkil 5. AgInSe₂ monokristalında lambda modulyasiyanın fotokeçiriciliyə təsiri. Gücləndiricinin 100mV rejimində.

Bunlara klassik fizika qanunları ilə baxsaq, o deməkdir ki, dalğalar kristalın səthində özünü sanki lokallaşmış kimi aparır. Belə hallarda təcrübə yolu ilə alınan nəticələr kvant nöqteyi-nəzərindən izah olunmalıdır. Süni qəfəsə məxsus xətti olmayan xassələrin yaranmasını sübut etmək üçün, elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrləri çəkərkən, səth quruluş pozulmasını müşahidə etdik (şəkil 2). Başqa bir təcrübədə laylı periodik quruluşlara məxsus olan döyünən rəqslərin birdən artaraq (1600nm) dalğa uzunluğunda maksimuma malik olmasını müşahidə edirik (şəkil 3). Sonra (1400nm) dalğa uzunluğunda intensivliyin kəskin dəyişməsi ilə bərabər, dalğaların periodunun qiymətinin də dəyişməsini müşahidə edirik (şəkil 4)).



Şəkil 6. AgInSe₂ monokristalında lambda modulyasiyanın Fotokeçiriciliyə təsiri. Gücləndiricinin 300mV rejimində .



Şəkil 7. AgInSe₂ monokristalında lambda modulyasiyanın Fotokeçiriciliyə təsiri. Gücləndiricinin 1V rejimində.

Bu isə onu deməyə əsas verir ki, süni qəfəsə malik monokristallar özlərini aktiv element kimi aparır. Yəni potensial çəpərin daxilində olan yüklü hissəcikləri ifadə edən dalğa paketi xüsusi enerjiyə malikdir və diskret xarakter daşıyır [4]. Kənardan gələn cüzi təsirin hesabına kəskin dəyişir ki, bu mənzərəni fotokeçiriciliyi ölçəndə də müşahidə edirik. Nümunələrdə fotoelektirik xassələrini ölçərkən süni qəfəsə malik xüsusiyyətlərdən biri də mənfi diferensial müqavimətin müşahidə olunmasıdır ki, biz bunu qrafiklərdə müşahidə edirik (şəkil 5, 6, 7).



Şəkil 8. AgInSe₂ monokritalının Volt-amper xarakteristikası.



Şəkil 9. AgInSe₂monokristalında tunel diodunun xarakteristikası.

Volt amper xarakteristikasının xətti olmaması yuxarıda deyildiyi kimi layli periodik süni qəfəsə malik kristallar üçün xarakterikdir ki, bu fərqi spektrdən də aydın görmək olur. Pillə şəklində olan spektr onu göstərir ki, səth quruluş pozulmaları və aşqar atomları spiral dislokasdiyalar hesabına kristalın səthinə qalxmışdır. Cərəyanın qiymətinin mərhələli şəkildə arması isə keçiriciliyin ion xarakterli olduğundan xəbər verir (şəkil 8).



Şəkil 10. AgInSe₂ Monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 10mV rejimində.



Şəkil 11. AgInSe₂ Monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 30mV rejimində.

Volt-Amper xarakteristikasında tunel dioduna məxsus əlamətlərin görünməsi isə məşğul olduğumuz obyektlərin tətbiqi üçün nə qədər yararlı olduğunu göstərir. Bu xassəli kristallardan düzəldilən diodlar, detektorlar güclü xarıci sahələrə, o cümlədən radiasiyaya davamlı olurlar (şəkil 9). Modulyasiya olunmuş işıq şüalarının kristal səthindən əks olunması polyarizasiya olunmuş şüalar kimi qəbul olunur [5]. Bu tip şüaların təsirindən sonra mikrozərrəcikləri ifadə edən dalğalar kvantlanmış olduqları çuxurun içərisində konkret enerjiyə malik olmaqla, özlərini həssas və aktiv element kimi aparırlar. Yuxarıda deyilənləri qayıtma rejimində çəkdiyimiz spektrlərdən də görə bilirik. Təkrarlanan periodik dalğalardan sonra isə rezonans maksimumun müşahidə edirik (şəkil 10). Layli periodik quruluşlara məxsus dalğa paketi sonra səth quruluş pozulmasını ifadə edən fərqli ölçüyə malik maksimumla ifadə olunur (şəkil 11). Laylı periodik quruluşları ifadə edən qrafiklərdə dalğa paketini, kompensasiyanı ifadə edən oblastı və rezonans maksimumunu görürük (şəkil 12).









Laylı periodik quruluşa aid başqa bir təcrübədə cərəyanın kəskin artmasını ifadə edən maksimumla rastlaşırıq (şəkil 13). Cərəyanın mərhələli sürətdə artımını göstərən spektr. Birinci qapalı opobitə məxsus dalğa paketi, sonra bir zərrəciyin orbitdən kənara çıxışını ifadə edərək ikinci və üçüncü orbitlərə yüksələn zərrəcikləri ifadə edən dalğa paketi (şəkil 14). Bunlar hamısı süni qəfəsə malik monokristalları ifadə edən əsas parametrlərdir. Süni qəfəsə malik olan kristalların tətbiqi üçün yararlı olduğunu ifadə edən çoxlu faktlar mövcuddur.



Şəkil 14. AgInSe₂ monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 1V rejimində.

Alınan nəticələrin müzakirəsi

Bərk cisimlər nəzəriyyəsinin əsas problemlərindən biri müxtəlif dalğalar arasındakı garsılıqlı təsir mexanizmlərinin öyrənilməsidir. Bunun üçün qeyrixətti proseslərin öyrənilməsinə daha çox diqqət ayrılır. Belə üsullardan biri sabit elektirik sahəsi ilə kristal daxilində tarazlığın pozulmasıdır. Sahə effektindən istifadə edərək müxtəlif dalğalar üçün sındırma əmsalının ölçülməsidir. Dispersiyanın ölçülməsi zamanı aydın oldu ki, nanoquruluşlardakı sınma əmsalının qiyməti, əsas maddələrinkindən kəskin fərqlənir. Belə xassələrə malik kristallar isə kiçik ölçülü elektron sənayesi üçün vacib şərtlərdən biri sayılır. Periodik strukturlarda laylar arasındakı məsafə, və ya layların ölçüləri De-Broyl dalğasına uyğun olduğu üçün onların xassələrini əsas maddənin xassələrindən fərqli edir. Ona görə parametrik simmetriya pozulmaları yeni yaranan sistemlərin xassələrinin kəskin dəyişməsinə səbəb olur [4]. Kənar təsirlər zamanı sərbəst dalğaların rəqsini paketlər şəklində müşahidə etmiş oluruq. Bu dalğavari rəqslər laylar istiqamətində yayılır, nümunəyə verilən sahənin artmasına uyğun olaraq monoton artan bir intensivlik müşahidə edirik. Bu oblastlar elektronun kristaldakı ke-

çirici və bağlı zonaları ilə analogiya təşkil edir [6]. Hər layın sərhəddində adi düzünə dalğa və əks olunaraq, bir period yubanmış dalğaları müşahidə edirik. Bunlar eyni fazada hərəkət etmiş olur. Bağlı zonada isə düzünə və qayıdan dalğalar əks fazalarda olduğundan, dalğaların sönməsi hadisəsi baş verir. Periodik strukturlarda dalğaların yayılması altlığın dielektrik nufuzluğundan çox asılıdır. Bizim apardığımız təcrübədə altlıq rolunu AgInSe₂ monokristalı oynayır. Bu xassələrdən çoxkomponentli modulyasiya qurğularının yaradılmasında istifadə etmək olar, bir şərtlə ki, altlıq materialı elektrooptik effektə malik olsun. Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, dalğalar nazik lövhələrin kənarından əks olunaraq eksponensial azalır. Yarımkeçiricilərdə elektronların dispersiya qanununun kvadratik olmaması Volt-Amper xarakteristikasından müəyyənləşdirilir. Yəni, ayrı-ayrı rəqslər paketindən ibarətdir. Bu kəsilən keçidlər səthdə mövcüd olan minizonaların içərisində baş verir bunlar qrafik olaraq pillə formasında özünü göstərir [7]. Periodik struktura malik olan sistemləri qeyri-xətti mühit adlandırmaq olar. Bu o deməkdir ki, bu növ sistemlərdə dalğalar bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olur. Bu cür qarşılıqlı təsir ona gətirib çıxarır ki, mini zonaya məxsus bir dalğa digər bir dalğanın yaranmasına və hərəkətə gəlməsinə səbəb olur. Yəni parametrik gücləndirici rolunu oynayır. Periodik quruluşa malik olan materiallarda, bircinsli maddələrə nisbətən daha çox döyünən rəqslər və rezonanslar müşahidə olunur. Dalğaların tezlikləri zəif öyrənilmiş mm-lik və sm-lik diapazona düşə bilər. Deyilənlər periodik quruluşa malik olan materialların elektronika üçün çox böyük əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir. Laylı periodik sistem bütövlükdə rəqsi spektrin formalaşmasında iştirak edir. Əgər dalğa uzunluğu layların qalınlığı ilə müqayisə olunandırsa, onda sərbəst rəqslərin kollektiv forması meydana gəlir. Bu, o deməkdir ki, periodik strukturda dalğaları buraxan və buraxmayan zolaqlar əmələ gəlir. Bunlar mühitdən keçən və qayıdan dalğalar hesabına olur. Bağlı zolaqda isə düzünə və qayıdan dalğa əks fazalarda olurlar. Ona görə dalğaların sönməsini görürük. Belə hallar adətən süni qəfəsə malik kristallarda müşahidə olunur ki, AgInSe2 bu tip kristallar sinfinə aiddir. Yuxarıda deyilənlər göstərir ki, dalğaların periodik strukturlarda yayılması ilə elektronun kristalın potensial sahəsindəki xassələri oxşarlıq təşkil edir. Sahənin nümunədə yayılması altlığın dielektrik nüfuzluğundan asılıdır. Bu cür dalğa ötürənlərdən elektrik modulyatorlarının hazırlanmasında istifadə etmək olar.

Yekun nəticə

Süni qəfəsli monokristallarda müşahidə olunan xassələr yenidir bircinsli kristallarda müşahidə olunmur və laylı periodik strukturlarda alınan nəticələri, elektronun potensial sahədəki xassələrinə tətbiq etmək mümkündür. Təcrübələri santimetrlik millimetirlik dalğa diapazonlarında aparmaq və düzgün dəqiq nəticələr əldə etmək daha asandır, nəinki maddə quruluşunun dərin qatlarındakı potensial sahələri araşdırmaqla. Yuxarıda göstərilən halda alınan nəticələrdən istifadə etməklə çoxkanallı modulyatorların, zəif siqnallarla işləyən gücləndiricilərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

İ. QASIMOĞU, Q.S. MEHDİYEV, Z.Q. MƏMMƏDOV

- [1] Л.А. Головань, В.Ю. Тимошенко, П.К.Каш каров. Оптические свойства нанокомпозитов на основе пористых систем. УФН, 2007, т.177, номер 6, ст. 619-638.
- [2] İ. Qasımoğlu. Y-şüasının təsirindən sonra CuGaSe₂ monokristalında mənfi fotovoltaik effektin yaranması. Fizika volume XIX, N1, section: Az. s.19-21, 2013.
- [3] Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов. Высокочастотные свойство полупроводников со сверхрешетками. М.1989 ст. 286.
- [4] Р. Фуйнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановский лекции по физике. М.1978, ст.523.
- [5] А.И. Губанов и Ф.М. Гашимзаде. Исследование симметрии энэргэтических зон электронов в криссталлах типа CdIn₂Se₄, АН.ССР, ФТТ, том 1, вып 9, ст.1411-1416, 1959.
- [6] С.М. Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.1963. ст.495.
- [7] В.И.Ляшенко, В.Г. Литовченко, И.И.Стенко, В.И.Стриха, Л.В.Ляшенко. Электронные явления на поверхности полупроводников. Киев 1968, ст.399.

I. Gasymoglu, G.S.Mehdiev, Z.G.Mammadov

THE MECHANISM OF ACTION ON THE PHOTOVOLTAIC EFFECT OF AgInSe₂ SINGLE CRYSTALS, SURFACE STRUCTURAL DEFECTS

Attached to the work revealed, layered periodic structures of uniaxial AgInSe₂ single crystals after technological processes. The mechanism of action on the photovoltaic effect, structural surface defects are determined. The volt-ampere characteristics of these objects were measured in the microvolt range.

И. Гасымоглу, Г.С. Мехдиев, З.Г. Маммадов

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕНИЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ НА ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МОНОКРИСТАЛЛЕ AginSe₂

В представленной работе допускается образование слоистых периодических структур в монокристалле AgInSe₂ из группы одноосных кристаллов в ходе технологического процесса. В этих случаях был изучен механизм влияния структурных нарушений на фотовольтаический эффект и измерены вольт-амперные характеристики образцов в микровольтовом диапазоне.

RbNO3 KRİSTALLARINDA ATOM DİNAMİKASININ RAMAN SPEKTROSKOPİYASI METODU İLƏ TƏYİNİ

2023

A.F. KAZIMOVA¹, V.İ. NƏSİROV²

¹Elm və Təhsil Nazirliyi H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Az-1143, Bakı, H.Cavid prospekti 131 ² Azərbaycan Ali Hərbi Dənizçilik məktəbi E-mail: <u>aygun-kazimova-1981@mail.ru</u>

Təqdim olunmuş işdə RbNO₃ və onun bərk məhlul kristallarında rentgenoqrafik üsulla quruluş faza keçidləri öyrənilmiş, bununla yanaşı tədqiqatlarımızı daha da zənginləşdirmək məqsədi ilə Raman spektroskopiyası üsulu vasitəsilə kristalların atom dinamikası öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $v_1 = 106 \text{ sm}^{-1}$, $v_2 = 64 \text{ sm}^{-1}$, $v_3 = 724 \text{ sm}^{-1} v_4 = 1369 \text{ sm}^{-1}$ tezliklərdə spektrdə maksimumlar alınır. Raman spektroskopiya üsulu ilə alınmış nəticələr və müqayisə olunan ədəbiyyat materialları onu deməyə əsas verir ki, müxtəlif tezliklərdə təyin olunan maksimumlar qələvi metal nitratlara və onların bərk məhlul kristallarına xas olan xüsusiyyətdir.

Açar sözlər: polimorf çevrilmə, rentgenoqrafik, modifikasiya, izotermik, Raman spektroskopiyası PACS: 61.50.Ks

Ədəbiyyat məlumatlarına [1-4] əsasən demək olar ki, RbNO₃ kristallarında müxtəlif temperaturlarda morfoloji və rentgenoqrafik üsullarla tədqiqatlar aparılmış və maraqlı nəticələr alınmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, RbNO₃ otaq temperaturundan ərimə temperaturuna kimi dörd polimorf modifikasiyaya malikdir.

Tədqiq olunan kristallar "X4" markalı RbNO3-ün suda məhlulundan izotermik kristallaşma, yəni həlledicinin sabit temperaturda buxarlandırılması yolu ilə alınmışdır. Həmin üsulu tətbiq etməklə müxtəlif ölçülü lövhəvari və böyüməsi [001] kristalların c oxu istiqamətində olan iynəvari kristallar alınmışdır. Tədqiqat aparmaq üçün 1×0,5×15mm ölçülü prizmatik kristallardan istifadə olunmuşdur. Şəkil 1-də tədqiq olunan məhlul kristallarından x=0.05 at.%-ə uyğun olanlar göstərilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində RbNO3 və onun bərk məhlul kristallarının morfologiyası öyrənilmişdir [5-8]. Ədəbiyyat materialları ilə yanaşı, tədqiqatlarımızın nüfuzunu artırmaq məqsədi ilə RbNO3 və onun bərk məhlul kristallarında quruluş faza keçidləri rentgenoqrafik üsulla da tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuş tədqiqat üçün monokristallar alınmış və onların monokristallığı rentgenografik olaraq sübut olunmuşdur. Tədqiqatın bu hissəsi "Bruker" firmasının D8 ADVANCE markalı ovuntu rentgendifraktometrində aparıldığından aldığımız monokristallar ovuntu şəklinə salınmışdır.



Şəkil 1. RbNO3 monokristallarının vizual görünüşü.

Tədqiqatlar difraktometrin 40kV. 40mA, $CuK_{\alpha}(\lambda=1.54051\text{\AA})$ süalanma reiimində 300K<T<723K temperatur intervalında işləyən TTK450 yüksək temperatur kamerasında aparılmışdır. Tədqiqatın nəticələri cədvəl 1-də verilmişdir. RbNO3 birləşməsinin kristalları üçün alınan nəticələr ədəbiyyat materialları ilə müqaiyisə edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, ana kristal olan üçün alınan kristalloqrafik nəticələrlər ədəbiyyat materiallarından fərqlənir [9-10].

RbNO₃ və onun bərk məhlul kristallarında quruluş faza keçidlərinin xarakterini həm mikroskopik, həm də rentgenoqrafik üsulla müəyyən etdikdən sonra quruluş faza keçidlərinin mötəbərliyini artırmaq məqsədi ilə Raman spektroskopiyası üsulundan da istifadə edilmişdir. Bərk cisimlərin atom dinamikasını təcrübi metodlarla, Raman spektroskopiyası və infraqırmızı spektroskopiya ilə tədqiq etmək mümkündür. Bu metodlar arasında ən geniş istifadə ediləni Raman spektroskopiya metodudur. FT-IR texnologiyasının tamamlayıcısı olan Raman Spektroskopiyası-kimyəvi maddə molekullarının garşılıglı hərəkətinin düsən lazer süalarını müxtəlif tezlikdə yaymasını qeyd edərək, naməlum kimyəvi maddələri təyin edən bir texnikadır. Hər bir metodda olduğu kimi, Raman spektroskopiyası metodunda da üstün və çatışmayan cəhətləri vardır. Bu metodun əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, tədqiqat obyektinin formasından (monokristal, polikristal, bərk, maye və s.) asılı olmayaraq normal şəraitdə, temperatur və təzyiqin təsiri ilə atom dinamikasını və quruluş faza keçidlərini tədqiq etməyə imkan verir. Çatışmayan cəhət ondan ibarətdir ki, Raman spektri ilə kristal quruluşda mövcud olan bütün rəqsləri müşahidə etmək mümkün olmur. Kristal quruluşun simmetriyası yüksəldikcə müşahidə edilən maksimumların sayı da azalır. Bu metodun əsas üstünlüklərindən biri də odur ki, tədqiqat obyektinin formasından asılı olmayaraq həm kristal, həm ovuntu halında obyektləri, hətta mayeləri də tədqiq etmək mümkündür. Bizim apardığımız metod tədqiqat obyektinin kristal halıdır.

A.F. KAZIMOVA, V.İ. NƏSİROV

Cədvəl 1.

	Modifi- kasiya Simmetriya	Qəfəs parametrləri			Eerro	Mövcudolma	
Maddə		Simmetriya	a, Å	b, Å	c, Å	Fəza qrupu	temperatur intervalı, K
RbNO ₃	Ι	Kubik	7,37			Fm3m	564-587
	II	Tetraqonal	3,94		8,76	I4	492-564
	III	Kubik	4,37			Pm3m	437-492
	IV	Romboedrik	10,48		7,45	P31	aşağı 437

RbNO₃-də polimorf modifikasiyaların qəfəs parametrləri və onların mövcudolma temperatur intervalı





RbNO₃ kristallarının atom dinamikası Raman spektroskopiyası metodu ilə otaq temperaturunda "Nanofinder 30" Raman spektrometrində 0–850 sm⁻¹ tezlik intervalında yerinə yetirilmişdir. Bu Raman spektrometrində həyəcanlandırma mənbəyi kimi λ =532nm, maksimal gücü 10mVt parametrlərə malik olan Nd:YAG lazerindən istifadə edilmişdir. Spektral ayırdetmə 0,5 sm⁻¹-dir. Tədqiq olunan kristalların Raman spektri şəkil 3-də verilmişdir.

RbNO₃ kristalları üçün onların atom dinamikasının nəzəri və təcrübi tədqiqatları aparılmamışdır. Ona görə də alınmış nəticələr qələvi metal nitratlarının bərk məhlulları üçün alınmış nəticələrlə müqayisə edilmişdir. RbNO₃ kristalları üçün alınmış Raman spektrindəki maksimumlar analiz edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $v_1=106 \text{ sm}^{-1}$, $v_2=64 \text{ sm}^{-1}$, $v_3=724 \text{ sm}^{-1}$ $v_4=1369 \text{ sm}^{-1}$ tezliklərdə spektrdə maxsimumlar verir. Raman spektroskopiya üsulu ilə alınmış nəticələr və müqayisə olunan ədəbiyyat materialları onu deməyə əsas verir ki, müxtəlif tezliklərdə təyin olunan maxsimumlar qələvi metal nitratlara və onların bərk məhlul kristallarına xas olan xüsusiyyətdir. Aparılan təcrübi nəiticələr qələvi metal nitratların bərk məhlul kristalları üçün alınmış ədəbiyyat məlumatları ilə uyğundur [7, 8].

- [1] *R.N. Brown, A.C. Mclaren.* The thermal transformation in solid rubidium nitrate and tallium nitrate Acta Gryst., 15 p.977, 1962.
- [2] *R.N. Brown, A.C.Mclaren.* On the mechanism of the thermal transformation in solid rubidium. Proc. Roy. Sos. A266, p. 329, 1962.
- [3] *U.Korhonen.* On the crystal structure of the high temperature form of rubidium nitrate. Ann. Acad. Sci. Fennical., A1 p.37, 1951.
- [4] *J. Pohl, D. Pohl, G. Adiwidjaja.* Phase transition in RbNO₃ at 346K and structure at 296, 372, 413 and 437K. Acta.Cryst.,1992, B48, p.160-166.
- [5] В.И. Насиров, А.Ф. Хазиева, Ю.Г. Асадов, А.С.Амиров, Ю.И.Алыев. «Получение кристаллов Rb_{0.90}Cs_{0.10}NO₃ и их рентгенографические исследования». Кристаллография, 2012, Т.57, №6, с. 964-967.
- [6] А.Ф. Хазиева, Ю.Г. Асадов, В.И. Насиров, Ю.И. Алыев., А.О. Дашдемиров., С.Г. Джабаров. Rb_{1-x}Cs_xNO₃(x=0,025;0,05;0,1) монокристаллы и их исследование методом высокотемпературной рентгенографии. Физика и техника полупроводников, 2018, том 52, вып.6, стр.565-571.
- [7] *Kangcheng Xu*. Raman spectroscopic studies of phase equilibria in binary monovalent metal nitrates. Bibliography, 1997, Canada, 238-246.
- [8] Kangcheng Xu. Application of Raman in phase equilibrium studies: the structures of substitutional solid solutions of KNO₃ by RbNO₃. Journal of Materials Science, 1999, v.34, pp. 3447 -3453.

A.F. Kazymova, V.I. Nasirov

DETERMINATION OF ATOMIC DYNAMICS IN RbNO₃ CRYSTALS BY RAMAN SPECTROSCOPY

In the present work, the structural-phase transitions in RbNO₃ and its crystals of solid solutions were studied by the X-ray method, and to further enrich our studies, the atomic dynamics of the crystals was studied by the Raman spectroscopy method. It was established that the maxima in the spectrum were obtained at frequencies v_1 = 106 cm⁻¹, v_2 = 64 cm⁻¹, v_3 = 724 cm⁻¹, v_4 =1369 cm⁻¹. The results obtained by the method of Raman spectroscopy and comparable literature data indicate that the maxima determined at different frequencies are characteristic of alkali metal nitrates and their crystals of solid solutions.

А.Ф. Казымова, В.И. Насиров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМНОЙ ДИНАМИКИ В КРИСТАЛЛАХ RbNO3 МЕТОДОМ КОМБИНАЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В представленной работе структурно-фазовые переходы в RbNO₃ и его кристаллах твердых растворов изучались рентгеновским методом, а для дальнейшего обогащения наших исследований атомная динамика кристаллов изучалась методом Рамановской спектроскопии. Установлено, что максимумы в спектре получены на частотах v_1 = 106 см⁻¹, v_2 = 64 см⁻¹, v_3 = 724 см⁻¹, v_4 = 1369 см⁻¹. Результаты, полученые методом Рамановской спектроскопии, и сопоставимые литературные материалы свидетельствуют о том, что максимумы, определяемые на разных частотах, характерны для нитратов щелочных металлов и их кристаллов твердых растворов.

Qəbul olunma tarixi: 04.09.2023

ZƏLZƏLƏNİN BAŞ VERMƏSİNİ DAHA ÖNCƏDƏN MÜƏYYƏN ETMƏK ÜÇÜN METOD

Y.H. HÜSEYNƏLİYEV^{1,2}, A.S. SƏLİMZADƏ¹

2023

1 -Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti, Bakı, Azərbaycan 2 -Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan yashartur@yahoo.com

Təbii fəlakət olan zəlzələnin baş verməsini daha öncədən müəyyən etmək hal-hazırda seysmologiya elminin ən aktual problemlərindən hesab olunur. Problemin həlli üçün tam fərqli metod təklif olunur. Bu metodda göstərilir ki, zəlzələni, radioaktiv γ -şüalanmalardan istifadə etməklə qabaqcadan ən azı 1-2 gün qabaq müəyyən etmək mümkündür.

Açar sözlər: zəlzələ, radiasiya, qamma spektrometr, γ -şüalanma

Giriş

Orta sıxlığı 5,515 q/sm³ [1] olan yaşadığımız Yer planeti daxili quruluşu və kimyəvi tərkibinə görə 3 əsas geoloji təbəqədən ibarətdir, Yer qabığı, Yerin mantiyası və Yer nüvəsi [2]. Bu təbəqələrin müxtəlif dərinliklərində təbii hadisələr: zəlzələ, vulkan püskürməsi və s. baş verir. Yer kürəsinin formalaşmasının ilk zamanlarından onun təkində təbii radioaktiv mənbələr (elementlər) yaranmışdır.

Məqalənin yazılmasında əsas məqsəd

Təbii radioaktiv mənbələrin buraxdığı radioaktiv şüalanmaların (α , β və γ) zəlzələ ilə korrelyasiyasını müəyyən etməkdir.

Məqalənin yazılmasına təkan verən səbəb

2000-ci ilin noyabrın 25-də Bakı və Sumqayıt şəhərlərində baş vermiş zəlzələ olmuşdur. Hadisədən 1 gün qabaq, axşam saatlarında, laboratoriyada (Milli Aerokosmik Agentliynin Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutu) Sintilyasiyalı Qamma Spektrometrindən istifadə edərək əlimizdə olan etalon preparatlarla kalibrovka (cihazın köklənməsi və ya dərəcələnməsi) edir, müxtəlif radioaktiv maddələrin, qarışıqların radioaktiv analizini aparırdıq. Xatırlayıram ki, kalibrovka zamanı cihazın (analizator) şkalası normal ölçmələrdən ciddi kənaraçıxma verirdi. Sonradan başımız günlərlə zəlzələ barədə ümumi söhbətlərə qarışdığından, iş yoldaslarımla bu mövzunu bölüsməyi unutdum. 2023 -cü il fevralın 6 -da Türkiyənin bir çox şəhərlərində baş verən zəlzələdən sonra fikirlərimi paylaşmaq qərarına gəldim. İt, pişik, ilan və s. kimi heyvan və sürünənlər zəlzələni bir neçə saat öncə hiss edirsə, tələbəmlə apardığım müzakirələrdən sonra düşündük ki, təklif edəcəyimiz üsulla ən azı 1 gün qabaq zəlzələnin başlanması barədə məlumat ala bilərik. Məntiqi cəhətdən məsələnin izahı aydındır. Əsasən xarici nüvədə toplanmış təbii radioaktiv maddə və onların qarışıqlarının (U, Ra, Th və s.) şüalanmaları Yerdaxili tektonik plitələrin qırılması zamanı sərbəstləşərək Yer səthindəki radiometrik cihazların (dozimetr, radiometr və qamma spektrometr) ölçmələrini dəyişə bilərlər. İlk öncə Yerin daxili quruluşuna nəzər yetirək.

Yerin daxili quruluşu haqqında nə bilirik?

Bir az detallarına baxmalı olsaq, Yeri, qabıq, üst mantiya, alt mantiya, xarici və daxili nüvələrə bölmək olar [3] (şəkil 1).



Şəkil 1. Yerin daxili quruluşu.

Yer qabığı

Yer qabığı insanların yaşadığı ən xarici, nazik təbəqədir, maddəsi bərk haldadır, bazalt, qranit və çökmə təbəqədən ibarətdir, qalınlığı 35km -dir [3] (bəzi mənbələrə görə 5-70 km də götürülür, Yer həcminin təxminən 1%-ni, Yer kütləsinin 0,5%-ni təşkil edir, materialların orta sıxlığı 3 q/sm³-dir və əsasən silikon, oksigen, alüminium, dəmir və maqneziumdan ibarətdir [4, 5, 6].

Yer qabığının iki növü var: sıxlığı nisbətən az olan və tərkibi qranitlə oxşar olan kontinental (qitə) qabığı və nisbətən yüksək sıxlığa malik və bazaltla oxşar tərkibə malik okean qabığı. Kontinental qabıq təxminən 50 kilometr qalınlığa malikdir, əksər qitələri təmsil edir və aşağı sıxlıqlı magmatik və çöküntü süxurlarından ibarətdir. Okean qabığının qalınlığı təxminən 10 kilometrdir, okean dibinin böyük hissəsini təşkil edir və planetin təxminən 70 faizini əhatə edir. Okean qabığı yüksək sıxlıqlı maqmatik bazalt tipli süxurlardır. Hərəkət edən tektonik plitələr yer qabığından və mantiyanın yuxarı qatlarından ibarətdir. Yer qabığı və yuxarı mantiyanın bu hissəsi sərtdir və litosfer adlanır və tektonik plitələri təşkil edir. Yer qabığının aşağı hissəsində süxurlar əlavə istilik səbəbindən daha çevik və daha az kövrək olmağa başlayır. Buna görə də zəlzələlər ümumiyyətlə yer qabığının yuxarı hissəsində baş verir [7].

Okeanın dərinliyindəki qabıq (əsasən dəmirmaqnezium silikat mineralı və vulkan mənşəli qayadır [8]. Alexandria, Virginia: American Geological Institute. ISBN 0922152349.), qitə qabığının altındakından (turşularla zəngin feldspar və kvars [9]) nazik və sıxdır. Yer qabığı 2 əsas kateqoriyaya bölünür: sial (alüminium silikat) və sima (magnezium silikat). Hesablanmışdır ki, sima, Conrad kəsiyindən təxminən 11 km aşağıdan başlayır, baxmayaraq ki, bu kəsik fərqli deyil, qitənin digər bölgələrində olmaya bilər [10].

Yerin litosferi

Yerin litosferi qabıq və ən yuxarı mantiyadan təşkil olunmuşdur. Qabıq-mantiya sərhədi iki müxtəlif fiziki hadisədir. Yer qabığı plitə adlanan əzəmətli hissələrə bölünür. Bu plitələr, növbəti qatın üst hissəsində "üzür".

Mantiya

Mantiya Yer qabığının altındakı, nüvənin üstündəki təbəqədir, dərinliyi 2890 km-ə çatır [11]. Bu, planetimizin ən sıx təbəqəsi olub Yer radiusunun 45%-ni, onun həcminin 83,7%-ni, kütləsinin 67% -ni təşkil edir. Yerin mantiyası 3,3-5,4 q/sm³ aralığındakı sıxlığa malikdir, əsasən Mg, O, FeO, SiO₂ (silikat)- dən təşkil olunmuşdur [12]. Daha dərində yerləşən alt mantiyada təzyiq (≈140 GPa) və temperatur üst mantiyaya nisbətən daha yüksəkdir. Möhkəm olmasına baxmayaraq, mantiyanın həddindən artıq isti silikat materialı çox uzun müddət ərzində axa bilər [13]. Mantiyanın konveksiyası yer qabığındakı tektonik plitələrin hərəkətinə təkan verir. Bu hərəkətə səbəb olan istilik mənbəyi yer qabığında və mantiyada radioaktiv izotopların parçalanmasıdır. [14]. Mantiyanın dərinliklərində artan təzyiq səbəbindən aşağı hissə daha çətin axır. Mantiyanın özlülüyü 1021 ilə 1024 Pa·s arasında dəyişir və dərinlik artdıqca artır. [15]. Yer səthinə, orada baş verən proseslərə daha çox təsir göstərən, əsasən zəlzələ və vulkanik ocaqlardır [16]. Mantiyanın ən yuxarı bərk hissəsi və bütün yer qabığı Litosferi təşkil edir. Astenosfer (80-200 km arasında) litosferin bir az altında yerləşən yuxarı mantiyanın yüksək özlü, mexaniki cəhətdən zəif və çevik, deformasiyaya uğrayan bölgəsidir.

Üst mantiyadakı qayalar çox istidir və demək olar ki, ərinmiş haldadır. Konveksiya cərəyanları qayaların yavaşca çalxalanmasına səbəb olur. Bu cərəyanlar həmçinin kristal plitələri hərəkət etdirir. Alt mantiya üst mantiyaya nisbətən daha bərkdir və çox istidir. Aşağı mantiya üst mantiyadan daha möhkəmdir və çox istidir [4].

Yerin nüvəsi

Yerin nüvəsi (və ya özəyi) əsasən dəmir (Fe) və nikel (Ni) elementlərindən təşkil olunmuşdur, bəzən ona NİFE də deyilir, Yerin həcminin təxminən 15%, kütləsinin isə 32,5% -ni təşkil edir. Nüvə, Yerin ən sıx qatıdır və sıxlıq (9.5-14.5) q/sm³ intervalında dəyişir. Yerin nüvəsi daxili və xarici olmaqla iki alt qatdan ibarətdir.

Yerin xarici nüvəsi

Yerin xarici nüvəsi Yerin səthindən 2890 km dərinlikdən başlayır və 5150 km qədər uzanır, təxminən 2300 km qalınlığındadır. Belə yüksək temperatur və təzyiqlərdə mantiyadan aşağıda yerləşən xarici nüvə ərinmiş haldadır, Yerin yeganə maye təbəqəsidir. Düşünülür ki, Yerin maqnit sahəsi bu təbəqənin hərəkətindən qaynaqlanır. 1220 km radiuslu daxili nüvə isə bərk haldadır. Bu, yuxarı təbəqələrin və qravitasiyanın yaratdığı həddindən artıq təzyiqə görədir. Düşünülür ki, daxili nüvədə radioaktiv elementlərin parçalanması böyük miqdarda istiliyin yaranmasına gətirir. Müasir məlumata görə xarici nüvə əsasən dəmir və müəyyən qədər nikeldən ibarətdir [17, 18].



Şəkil 2. Sərhədlərin növləri və onların hərəkəti.

Tektonik plitələr, Yer qabığının kələ-kötür parçaları olaraq, səthin dərinliklərində olan qüvvələr nəticəsində hərəkət edir. Yerin bərk təbəqəsi olan qabıq üst mantiyanın yarımbərk təbəqəsi üzərində hərəkət edir. Tektonik plitələr astenosfer adlanan altındakı mobil təbəqədə üzdükcə toqquşur, bir-birinin yanından sürüşərək və parçalanır. Plitələrin birləşdiyi bölgələr sərhədlər adlanır. Nəticədə, bu plitə sərhədlərində əhəmiyyətli relyef formaları yaranır və tektonik plitələri təşkil edən süxurlar süxur dövrü ilə hərəkət edirlər [7]. Bu plitələrin sürəti çox kiçikdir, ildə 4-11 sm -dir. Plitə sərhədləri özünəməxsus xüsusiyyətlərinə görə 3 yerə ayrılır: divergent (plitələr bir-birindən uzaqlaşır) konvergent və çevrilmiş (transformasiya olunmuş). Bəzi sərhədlərdə hərəkət zəlzələ və vulkanlar yaradır [11] (şəkil 2).

Divergent sərhədlərdə plitələr uzaqlaşdığı üçün arada yarıq yaranır və bu yarıqdan külli miqdarda qaynar lava yuxarı təbəqələrə doğru hərəkət edir [11]. Konvergent sərhədlərdə plitələr bir-birinə doğru yaxınlaşırlar. Kontinental və okean plitələri toqquşanda daha sıx okean plitəsi az sıxlıqlı kontinental plitəninn altına girir və bu zaman çox güclü vulkanlar yaranır. Bəzən eyni sıxlıqlı iki qitə və ya iki okean plitələri bir-biri lə toqquşur. Bu zaman bükülmüş və ya qıvrım dağlar yaranır [11].

Çevrilmiş sərhədlər

Çevrilmiş sərhədlər daha çox su altında tapılmışdır. Çevrilmə kəsikləri üç şəkildə hərəkət edə bilər: bir tərəf yuxarı sürüşə bilər, bir tərəfi aşağı sürüşməklə bir qədər kənara çəkilə bilər və ya tərəflər bir-birinin yanından üfüqi şəkildə sürüşməyə cəhd edə bilər. Transformasiya sərhədləri əsasən zəlzələlərə səbəb olur [11]. Zəlzələlər, əsasən plitələrin sərhədləri boyunca baş verir. Tektonik plitələr, yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, həmişə kiçik sürətlə hərəkət edir, plitənin kənarları kələkötürdür. Plitələrin sərhədləri də belədir. Plitələr hərəkətə başlayan zaman, bir-birinin içərisindən keçir və problem yaranır. Plitələrin kələ-kötür kənarları bağlanaraq, hərəkət etmələrinə mane olurlar. Plitələr qəfil silkələnmə yaranana qədər hərəkətə müqavimət göstərdikcə təzyiq artır. Bu, zəlzələdir. Təzyiq nə qədər uzunmüddətli olarsa, zəlzələnin böyüklüyü və verdiyi zərərin ehtimalı bir o qədər çox olar. Biz zəlzələlərin gücünü 1-dən 10-a qədər olan Rixter şkalası ilə ölçürük [11].

Yer daxilində temperatur, təzyiq və sıxlıq necə paylanmışdır?

Mədənlərdə və dərin quyularda dərinliyin artması ilə temperaturun yüksəlməsi müşahidə olunur. Yerin daxilindən püskürən ərimiş lava ilə birlikdə bu dəlillər temperaturun yerin mərkəzinə doğru artdığını təsdiqləyir. Müxtəlif müşahidələr göstərir ki, temperaturun yüksəlmə sürəti səthdən yerin mərkəzinə doğru bərabər deyil. Bəzi yerlərdə daha sürətli, digər yerlərdə isə daha yavaşdır. Başlanğıcda temperaturun bu artım sürəti dərinliyin hər 32 m artması üçün orta hesabla 1ºS səviyyəsindədir. Yuxarı 100 km-də temperaturun artması hər km -də 12°S, sonrakı 300 km -də isə 20°S/km-ə bərabərdir. Lakin daha dərinə getdikdə, bu sürət hər km üçün sadəcə 10°S-ə qədər azalır. Mərkəzdəki temperaturun 3000°S ilə 5000°S arasında olduğu təxmin edilir, yüksək təzyiq şəraitində kimyəvi reaksiyalar səbəbindən bu qədər yüksək ola bilər. Belə yüksək temperaturda belə, Yerin mərkəzindəki qat, üzərindəki güclü təzyiqi səbəbindən bərk vəziyyətdədir. [19, 20]. Temperatur kimi təzyiq də səthdən yerin mərkəzinə doğru artır. Bu, süxurlar kimi üst-üstə düşən maddələrin böyük çəkisi ilə əlaqədardır. Daha dərin qatlarda təzyiqin olduqca yüksək olduğu təxmin edilir ki, bu da atmosferin dəniz səviyyəsindəki təzyiqindən təxminən 3-4 milyon dəfə çox olacaqdır. Yüksək temperaturda maddələr Yerin mərkəzi hissəsinə doğru əriyəcək, lakin yüksək təzyiqə görə bu ərimiş maddələr bərk cisim xassələrinə malik olur və çox güman ki, plastik vəziyyətdədir. [19, 21].

Mərkəzə doğru təzyiqin artması və Nikel və Dəmir kimi daha ağır maddələrin olması səbəbindən Yerin qatlarının sıxlığı da mərkəzə doğru artmağa başlayır. Qatların orta sıxlığı Yer qabığından nüvəyə doğru getdikcə artır və tam mərkəzdə təxminən 14,5 q/sm³ təşkil edir [19, 22].

Müzakirə və nəticə

Cədvəl 1.

İyulda SOEKS dozimetri ilə havada və torpaqda ölçülən	
radiasiya fonu	

Ayın tarixi	radiasiya fonu (havada)	radiasiya fonu (torpaqda)
	mkR/saat	mkR/saat
14.07.2023	12.0	10.0
15.07.2023	13.0	10.0
17.07.2023	15.0	17.0
21.07.2023	17.0	7.0 Qəbələ, 3,3 bal
22.07.2023	8.0	18.0
23.07.2023	11.0	12.0
26.07.2023	10.0	15.0 Lənkəran, 4,3 bal
27.07.2023	10.0	7.0
28.07.2023	12.0	6.0
29.07.2023	15.0	6.0
30.07.2023	22.0	17.0 Oğuz, 3,0 bal
31.07.2023	8.0	7.0

ZƏLZƏLƏNİN BAŞ VERMƏSİNİ DAHA ÖNCƏDƏN MÜƏYYƏN ETMƏK ÜÇÜN METOD

2023 -cü il iyul ayının ortalarından başlayaraq sonuna kimi əlimizdə olan SOEKS dozimetri ilə havada və torpaqda radiasiya fonunun ölçmələri mkR/saat vahidlərində cədvəl 1-də verilmişdir. Dozimetrlər, bildiyimiz kimi, radiometr və qamma spektrometrlərlə (nəzərə alaq ki, bütün təbii radioaktiv α və β emitterlər böyük uçuş məsafəsinə malik γ -şüalanmaların buraxılması ilə müşayiət olunur və deməli, qamma spektrometrlər bu tip ölçmələrdə daha effektlidir, α və β şüalanmaları isə kiçik məsafələrdə, hətta hava mühitində udulduğundan bu tip spektrometrlərdən belə ölçmələrdə istifadəsi mənasızdır) müqayisədə çox kobud cihazdır.

- [1] "Planetary Fact Sheet". Lunar and Planetary Science. NASA. Archived from the original on 24 March 2016. Retrieved 2 January, 2009.
- [2] <u>https://en.wikipedia.org/wiki/Internal_structure_of_Earth</u>
- [3] Montagner, Jean-Paul. 2011. "Earth's structure, global". In Gupta, Harsh (ed.). Encyclopedia of solid earth geophysics. Springer Science & Business Media. ISBN 9789048187010. Page 149.
- [4] <u>https://geologyscience.com/geology/structure-of-earth/</u>
- [5] <u>Andrei, Mihai</u> (21 August 2018). "What are the layers of the Earth?". ZME Science. Archived from the original on 12 May 2020. Retrieved 28 June 2019.
- [6] Chinn, Lisa (25 April 2017). "Earth's Structure From the Crust to the Inner Core". Sciencing. Leaf Group Media. Archived from the original on 30 July 2020. Retrieved 28 June 2019.
- [7] <u>https://slcc.pressbooks.pub/physicalgeography/ch</u> apter/3-4/
- [8] Jackson, A. Julia, ed. 1997. "mafic". Glossary of geology (Fourth ed.)
- [9] Schmidt, A. Victor, Harbert, William, 1998. "The Living Machine: Plate Tectonics". Planet Earth and the New Geosciences (3rd ed.). p. 442. ISBN 978-0-7872-4296-1. Archived from the original on 2010-01-24. Retrieved 2008-01-28. "Unit 3: The Living Machine: Plate Tectonics". Archived from the original on 2010-03-28.
- [10] P. Kearey, K.A. Klepeis, F.J. Vine. (2009). Global Tectonics (3 ed.). John Wiley & Sons. pp. 19–21. ISBN 9781405107778. Retrieved 30 June 2012.
- [11] *Nace, Trevor* (16 January 2016). "Layers Of The Earth: What Lies Beneath Earth's Crust". Forbes. Archived from the original on 5 March 2020. Retrieved 28 June 2019.
- [12] *Cain, Fraser* (26 March 2016). "What is the Earth's Mantle Made Of?". Universe Today. Archived from the original on 6 November 2010. Retrieved 28 June 2019.
- [13] *Shaw, Ethan* (22 October 2018). "The Different Properties of the Asthenosphere & the

Qəbul olunma tarixi: 01.08.2023

Bütün bunlara baxmayaraq, ölçmələrimizdə, ancaq torpağın üzərində ölçülən radiasiya fonu, kiçik maqnitudalı olsa da, Oğuz zəlzələsi öncəsi kiçik qiymətlərlə müşayiət olunur. Təəssüf ki, iyul ayında baş verən Qəbələ və Lənkəran zəlzələləri öncəsi davamlı ölçmələr aparılmadı. Radioaktiv qamma şüalanmaların köməyilə zəlzələni öncədən xəbərdar etmə məsələsinə gəldikdə, təəssüf ki, bu mövzuda heç bir məqalə tapmaq mümkün olmadı.

Lithosphere". Sciencing. Leaf Group Media. Archived from the original on 30 July 2020. Retrieved 28 June 2019.

- [14] Preuss, Paul. (July 17, 2011). "What Keeps the Earth Cooking?". Lawrence Berkeley National Laboratory. University of California, Berkeley. University of California. Archived from the original on 21 January 2022. Retrieved 28 June 2019.
- [15] Walzer Uwe, Hendel Roland, Baumgardner John. "Mantle Viscosity and the Thickness of the Convective Downwellings". Los Alamos National Laboratory. Universität Heidelberg. Archived from the original on 26 August 2006. Retrieved 28 June 2019.
- [16] "Planetary Fact Sheet". Lunar and Planetary Science. NASA. Archived from the original on 24 March 2016. Retrieved 2 January 2009.
- [17] Monnereau Marc, Calvet Marie, Margerin Ludovic, Souriau Annie. (21 May 2010). "Lopsided growth of Earth's inner core". Science. 328 (5981): 1014–1017. Bibcode: 2010Sci... 328.1014M. doi:10.1126/science.1186212. PMID 20395477. S2CID 10557604.
- [18] E.R. Engdahl, E.A. Flinn, R.P. Massé. 1974.
 "Differential PKiKP travel times and the radius of the inner core". Geophysical Journal International. 39 (3): 457–463.
 Bibcode:1974 GeoJ...39..457E. doi:10.1111/j.1365-246x.1974.tb05467.x.
- [19] <u>https://geologyscience.com/geology/structure-of-earth/</u>
- [20] <u>https://simple.wikipedia.org/wiki/Structure of th</u> <u>e Earth</u>
- [21] <u>https://slcc.pressbooks.pub/physicalgeography/ch</u> apter/3-3/
- [22] https://www.google.com/search?q=internal+struc ture+of+the+earth&oq=internal+structure&gs_lc rp=EgZjaHJvbWUqBwgBEAAYgAQyBggAEE UYOTIHCAEQABiABDIHCAIQABiABDIHC AMQABiABDIHCAQQABiABDIHCAUQABi ABDIHCAYQABiABDIGCAcQRRg80gEJMT U3NzJqMGo0qAIAsAIA&sourceid=chrome&ie =UTF-8

R.R. HÜSEYNOV, V.A. TANRIVERDİYEV, V.S. TAĞIYEV, E.M. AXUNDOVA, İ.N. İBRAGİMOV

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu, Bakı Az-1143, Bakı, H.Cavid pr. 131, E-mail: v_tagiyev@yahoo.com

Qrin funksiyası metodu ilə iki müxtəlif ferromaqnit yarımkeçirici atom laylarının növbələşməsindən alınan nanoməftillərdə yayılan spin dalğaları üçün dispersiya tənliyi müəyyən edilir. Bu nanoməftil heksaqonal en kəsiyə malikdir. Nəticələr parametrlərin seçilmiş qiymətində kəmiyyətcə təsvir edilir.

Aşar sözlər: nanoməftil, ferromaqnit yarımkeçirici, spindalğa. **PACS:** 75.70. A.k.

GİRİŞ

Son dövrlərdə nüfuzlu nəşrlərdə dərc edilmiş bir sıra məqalələr tərkibində maqnit atomları olan nanoölçülü materialların maqnit xüsusiyyətlərinə həsr edilmisdir. Nanoməftillər, nanoborular və nanohissəciklər kimi nanostrukturlar mikroçiplərin, müxtəlif tipli sensorların və biotibbi avadanlıqların yaradılması ilə məşğul olan tədqiqatçıların fəal tədqiqat obyektinə çevrilib [1-3]. Həmçinin onların əsasında prinsipcə yeni, daha qənaətcil, sürətli və kiçik ölçülü cihazlar yaradıla bilər [4-6]. Belə sistemlərdə maqnitləşmə, həssaslıq, faza keçidləri, istilik tutumu, eləcə də elementar maqnit həyəcanlamalarının spektri proseslərin öyrənilməsi kimi fiziki maqnit nanosistemlərinin fizikasında həlledici əhəmiyyət kəsb edir [7,8].

Bu işdə tədqiq olunan model yuxarıda qeyd olunan sistemlərə, xüsusən də ferromaqnit yarımkeçirici ifratqəfəs nanoməftillərə aiddir (şəkil 1). Şəkildən göründüyü kimi, bu sistem Z oxuna perpendikulyar şəkildə yerləşən ferromaqnit yarımkecirici materialların növbələşən atom təbəqələrindən ibarətdir. Belə sistemi xarakterizə edən Hamiltonian üç hissədən ibarətdir:

$$H_{M} = -\frac{1}{2} \sum_{i,j} J_{i,j} S_{i} S_{j} - \sum_{i} g_{i} \mu_{B} H_{0} S_{i}^{z},$$

$$H_{e} = \sum_{i,j,\sigma} t_{i,j} a_{i\sigma}^{+} a_{j\sigma} - g_{e} \mu_{B} H_{0} \sum_{i} s_{i}^{z} , \quad (1)$$
$$H_{I\sigma d(f)} = -\sum_{i} I_{i} S_{i} \sigma_{i}$$

burada H_M -d(f) tipli lokallaşmış spinlərin mübadilə qarşılıqlı təsirini və lokallaşmış spinlərin Zeeman enerjisini təsvir edən Hamiltoniandır, H_e keçirici elektronların kinetik və Zeeman enerjisini, H_I - isə keçirici və lokallaşmış elektronların spinləri arasında *s*-*d* (*s*-*f*) mübadilə qarşılıqlı əlaqəni təsvir edir. J_{ij} , I_i - yuxarı qeyd edilə qarşılıqlı təsirlərin sabitləridir. $S_{i(j)}$ və S_i^z müvafiq olaraq lokallaşmış və keçirici elektronların spin operatorlarıdır. Burada, H_0 nanoməftilin oxu boyunca yönəlmiş xarici maqnit sahəsidir.

Bu işdə spin həyəcanlanmalarının spektri Qrin funksiyası (QF) üsulu ilə hesablanmışdır. Bu məqsədlə $G_{i,j}(t) = \langle \langle S_i^+(t) | S_j^-(0) \rangle \rangle$ və $G_{i,j}'(t) = \langle \langle s_i^+(t) | S_j^-(0) \rangle \rangle$ kimi iki növ gecikmiş temperatur Qrin funksiyaları tətbiq edilmişdir. QF üçün hərəkət tənliyini $T < T_c$ kritik temperaturdan aşağı temperatur diapazonunda yazaraq və təsadüfi faza yaxınlaşmasında Furye çevrilməsindən istifadə edərək, aşağıdakı birləşmiş tənliyi əldə edirik [9-10]:

(2)

$$\left\{\omega - g_{i}\mu_{B}H_{0} - I_{i}\langle s_{i}^{z}\rangle - \frac{I_{i}^{2}\langle S_{i}^{z}\rangle\langle s_{i}^{z}\rangle}{\omega - g_{e}\mu_{B}H_{0} - I_{i}\langle S_{i}^{z}\rangle} - \sum_{\delta}J_{i,i+\delta}\langle S_{i+\delta}^{z}\rangle\right\}G_{i,j}(\omega) + \langle S_{i}^{z}\rangle\sum_{\delta}J_{i,i+\delta}G_{i,i+\delta}(\omega) = 2\langle S_{i}^{z}\rangle\delta_{ij}$$

Şəkil 1-dən göründüyü kimi, ifratqəfəs nanoməftilin n- ci təbəqəsi "a" materialından, (n+1)-ci təbəqə isə "b" tipli materialdan ibarətdir, burada ifratqəfəs sabiti d = 2a olur. (2) tənliyini ifratqəfəsin bir elementar özəyinə aid bütün spinlər üçün yazaraq, bir-biri ilə əlaqəli 14 tənlikdən ibarət sistemi əldə etmək olar:

$$\begin{cases} \left(\omega - \lambda_{a}\right)G_{n,m}^{1,r'} + J_{a}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{2,r'} + 2G_{n,m}^{3,r'} + 2G_{n,m}^{4,r'} + G_{n,m}^{5,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{1,r} + G_{n+1,m}^{1,r'}\right) = 2\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n,m}^{1,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{as}\right)G_{n,m}^{2,r'} + J_{a}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle G_{n,m}^{1,r'} + J_{as}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{2,r'} + G_{n,m}^{1,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{2,r'} + G_{n+1,m}^{2,r'}\right) = \left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n,m}^{3,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{as}\right)G_{n,m}^{3,r'} + J_{a}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle G_{n,m}^{1,r'} + J_{as}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{2,r'} + G_{n,m}^{5,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{3,r'} + G_{n+1,m}^{3,r'}\right) = \left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n,m}^{3,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{as}\right)G_{n,m}^{4,r'} + J_{a}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle G_{n,m}^{1,r'} + J_{as}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{3,r'} + G_{n,m}^{5,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{4,r'} + G_{n+1,m}^{4,r'}\right) = \left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n,m}^{3,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{as}\right)G_{n,m}^{5,r'} + J_{a}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle G_{n,m}^{1,r'} + J_{as}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{5,r'} + G_{n,m}^{5,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{5,r'} + G_{n+1,m}^{5,r'}\right) = \left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n,m}^{5,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{as}\right)G_{n,m}^{6,r'} + J_{a}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle G_{n,m}^{1,r'} + J_{as}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{5,r'} + G_{n,m}^{5,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{5,r'} + G_{n+1,m}^{5,r'}\right) = \left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n,m}^{5,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{as}\right)G_{n,m}^{7,r'} + J_{a}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle G_{n,m}^{1,r'} + J_{as}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{2,r'} + G_{n,m}^{6,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{2,r'} + G_{n+1,m}^{6,r'}\right) = \left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n,m}^{5,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{b}\right)G_{n+1,m}^{1,r'} + J_{b}\left\langle S_{b}^{z}\right\rangle \left(G_{n+1,m}^{2,r'} + G_{n+1,m}^{5,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \left(G_{n-1,m}^{2,r'} + G_{n+1,m}^{3,r'}\right) = \left\langle S_{a}^{z}\right\rangle \delta_{n+1,m}^{2,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{b}\right)G_{n+1,m}^{2,r'} + J_{b}\left\langle S_{b}^{z}\right\rangle G_{n+1,m}^{1,r'} + J_{bs}\left\langle S_{b}^{z}\right\rangle \left(G_{n+1,m}^{2,r'} + G_{n+1,m}^{5,r'}\right) + J_{s}\left\langle S_{b}^{z}\right\rangle \left(G_{n,m}^{2,r'} + G_{n+2,m}^{2,r'}\right) = \left\langle S_{b}^{z}\right\rangle \delta_{n+1,m}^{2,r'} \\ \left(\omega - \lambda_{b}\right)G_{n+1,m}^{2,r'} + J_{b}\left\langle S_{b}^{z}\right\rangle G_{n+1,m}^{1,r'} + J_{bs}\left\langle$$

burada,

$$\lambda_{a(b)} = g\mu \Big(H_0 + H_{a(b)}^{(A)} \Big) + 6J_{a(b)} \langle S_{a(b)}^z \rangle + 2J \langle S_{b(a)}^z \rangle + I_{a(b)} \langle s^z \rangle + \frac{I_{a(b)}^2 \langle S_{a(b)}^z \rangle \langle s^z \rangle}{\omega - g_e \mu H_0 - I_{a(b)} \langle S_{a(b)}^z \rangle},$$

$$\lambda_{a(b)s} = g\mu \Big(H_0 + H_{a(b)}^{(A)}\Big) + J_{a(b)} \langle S_{a(b)}^z \rangle + 2J_{a(b)s} \langle S_{a(b)}^z \rangle + 2J_s \langle S_{b(a)}^z \rangle + I_{a(b)} \langle s^z \rangle + \frac{I_{a(b)}^2 \langle S_{a(b)}^z \rangle \langle s^z \rangle}{\omega - g_e \mu H_0 - I_{a(b)} \langle S_{a(b)}^z \rangle} \Big)$$

İki qonşu elementar özəyin spinlərinə uyğun Qrin funksiyalarını əlaqələndirmək üçün Blox teoremindən istifadə edək [11,12]

$$G_{n+2,(n+1)} = \exp[ikd]G_{n,(n-1)}$$
(4)

Onda (3) tənliklər sistemini əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirmək və QF-nın qütblərindən spin dalğaları üçün dispersiya tənliyini əldə etmək olar:

$$\begin{bmatrix} \cos k \, d = q_1 + q_2 - 0.5 + \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + q_3} \\ \cos k \, d = q_1 + q_2 - 0.5 - \sqrt{(q_1 - q_2)^2 + q_3} \\ \cos k \, d = \frac{(\omega - \lambda_{as})(\omega - \lambda_{bs}) + J_{as}\langle S_a^z\rangle(\omega - \lambda_{bs} + J_{bs}\langle S_b^z\rangle) + J_{bs}\langle S_b^z\rangle(\omega - \lambda_{as})}{2J_s^2\langle S_a^z\rangle\langle S_b^z\rangle} - 1 \\ \cos k \, d = \frac{(\omega - \lambda_{as})(\omega - \lambda_{bs}) - J_{as}\langle S_a^z\rangle(\omega - \lambda_{bs} - J_{bs}\langle S_b^z\rangle) - J_{bs}\langle S_b^z\rangle(\omega - \lambda_{as})}{2J_s^2\langle S_a^z\rangle\langle S_b^z\rangle} - 1 \\ \cos k \, d = \frac{(\omega - \lambda_{as})(\omega - \lambda_{bs}) - 2J_{as}\langle S_a^z\rangle(\omega - \lambda_{bs} - 2J_{bs}\langle S_b^z\rangle) - 2J_{bs}\langle S_b^z\rangle(\omega - \lambda_{as})}{2J_s^2\langle S_a^z\rangle\langle S_b^z\rangle} - 1 \end{bmatrix}$$
(5)

 $q_1, \; q_2$ və q_3 aşağıdakı ifadələrlə verilir

$$q_1 = \frac{3J_a J_b}{2J J_s} + \frac{(\omega - \lambda_a)(\omega - \lambda_b)}{4J^2 \langle S_a^z \rangle \langle S_b^z \rangle} - \frac{1}{4},$$
(5.1)

$$q_2 = \frac{3J_a J_b}{2JJ_s} + \frac{(\omega - \lambda_{as} + 2J_{as} \langle S_a^z \rangle)(\omega - \lambda_{bs} + 2J_{bs} \langle S_b^z \rangle)}{4J^2 \langle S_a^z \rangle \langle S_b^z \rangle} - \frac{1}{4},$$
(5.2)

R.R. HÜSEYNOV, V.A. TANRIVERDİYEV, V.S. TAĞIYEV, E.M. AXUNDOVA, İ.N. İBRAGİMOV

$$q_{3} = \frac{3\left(JJ_{b}\langle S_{b}^{z}\rangle\left(\omega-\lambda_{as}+2J_{as}\langle S_{a}^{z}\rangle\right)+J_{a}J_{s}\langle S_{a}^{z}\rangle\left(\omega-\lambda_{b}\right)\right)\left(JJ_{a}\langle S_{a}^{z}\rangle\left(\omega-\lambda_{bs}+2J_{bs}\langle S_{b}^{z}\rangle\right)+J_{b}J_{s}\langle S_{b}^{z}\rangle\left(\omega-\lambda_{a}\right)\right)}{2J^{3}J_{s}^{3}\langle S_{a}^{z}\rangle^{2}\langle S_{b}^{z}\rangle^{2}}$$

(5.3)



Şəkil 1. İki müxtəlif *a* və *b* materialın atom təbəqələrinin alternativ olaraq növbələşdiyi heksaqonal ferromaqnit yarımkeçirici ifratqəfəs nanoməftil modeli. Nanoməftil z oxu istiqamətində sonsuzdur.



Şəkil 2. Tədqiq edilən ifratqəfəs nanoməftil və kompozit materiallardan hazırlanmış nanoməftillər üçün spin dalğa əyriləri. Parametrlər $g\mu H_0/J = 0.2$, $g_e\mu H_0/J = 0.01$, $g_a = g_b$, $g_a\mu_B H_a^{(A)}/J = 0.01$, $g_b\mu_B H_b^{(A)}/J = 0.03$, $J_s/J = 0.9$, $J_a/J = 0.4$, $J_{as}/J = 0.6$, $J_b/J = 0.8$, $J_{bs}/J = 0.6$, $I_a/J = 15$, $I_b/J = 10$, $\langle S_a \rangle = \langle S_b \rangle = 0.5$, $\langle s \rangle = 0.5$.

(5) tənlikləri bu işin əsas nəticəsidir. Bu tənliklərdən ferroma göstərmək olar ki, hər iki mühit eyni olduqda, dispersiy

ferromaqnit yarımkecirici ifratqəfəs nanoməftil üçün dispersiya tənlikləri xeyli sadələşir. Şəkil 2-də parametrlərin seçilmiş qymətlərində nəticələrin kəmiyyətcə təsviri verilmişdir. Şəkil 2(a)-da *a* və *b* komponentləri (materialları) üçün spin dalğa budaqları ayrı-ayrılıqda göstərilir və 2(b)-də bütün ifratqqəfəs nanoməftil sistemi üçün spin dalğa budaqları göstərilir. Göründüyü kimi, ifratqqəfəs nanoməftil spin dalğasının budaqlarının sayı adi nanoməftildən iki dəfə çoxdur. Belə ki, ferromaqnit yarımkecirici nanoməftildə spin dalğa budaqlarının sayı on olduğu halda yarımkecirici ifratqəfəs nanoməftildə iyirmi budaq mövcuddur.

- G. Gubbiotti, H.T. Nguyen, R. Hiramatsu, S.Tacchi, M. Madami, M.G. Cottam and T. Ono. Journal of Physics D: Applied Physics Volume 47 Number 36, 2014.
- [2] Lixin Yuan, Zhenxing Yue, Siqin Meng, Longtu Li. Physica Status Solidi (a), v.211, Issue 8, 1828, 2014.
- [3] Azadeh Akhtari-Zavareh, L.P. Carignan, A.Yelon, D. Menard, T. Kasama, R. Herring, R.E. Dunin-Borkowski, M.R. McCartney and K.L. Kavanagh. Journal of Applied Physics 116, 023902, 2014.
- [4] T. Shimizu, K. Aoki, Y. Tanaka, T. Terui, and S. Shingubara. Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 50, 06GE01, 2011.
- [5] A. Fert and L. Piraux. J. Magn. Magn. Mater. 200, 338, 1999.

Bundan başqa tədqiq olunan sistemlərdə spin dalğa budaqları həm aşağı, həm də yüksək tezlik oblastlarında görünür. Amma eyni zamanda, aşağı və yüksək tezlikli oblastlarda əyrilərin sayı eynidir. Aşağı tezlikli oblastdan fərqli olaraq yüksək tezlikli oblastda dispersiyanın zəif olduğunu da qeyd etmək olar. Digər tərəfdən dalğa vektorunun artması ilə aşağı tezlik oblastının yuxarı hissəsində yerləşən budaqlar üçün tezlik bir qədər azalır, aşağı hissəsindəki budaqlarda isə tezliyin bir qədər artımı nəzərə çarpır.

- [6] D.H. Reich, M. Tanase, A. Hultgren, L.A. Bauer, C.S. Chen, G.J. Meyer. J. Appl. Phys. 93, 7275, 2003.
- [7] *K.S. Ryu, L. Thomas, S.H. Yang, and S.S. Parkin.* Appl. Phys. Exp. 5, 093006, 2012.
- [8] *S. Parkin et al.* Magnetic domain-wall racetrack memory. Science 320, 2008, 190–194.
- [9] Sudha Gopalan and M.G. Cottam. Phys. Rev. B42, 16, 10311, 1990.
- [10] J.M. Wesselinova, E.Kroumova, N. Teofilov, W. Nolting. Phys. Rev. B57, 11, 1998.
- [11] 11. H.T.Diep. Phys.Lett. A 138, 69 (1989).
- [12] V.A. Tanriverdiyev, V.S. Tagiyev, S.M. Seyid-Rzayeva. FNT 12, 1321, 2003.

Р.Р. Гусейнов, В.А.Танривердиев, В.С. Тагиев, Э.М. Ахундова, И.Н. Ибрагимов

К ТЕОРИИ СПИНОВЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЕРХРЕШЁТОЧНЫХ НАНОПРОВОЛОКАХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Методом функций Грина получены уравнения дисперсии для спиновых волн, распространяющихся в ферромагнитных полупроводниковых сверхрешеточных нанопроволоках. Нанопроволоки имеют гексагональное сечение. Результаты проиллюстрированы численно для конкретного выбора параметров.

R.R. Guseinov, V.A. Tanriverdiev, V.S. Tagiev, E.M. Akhundova, I.N. Ibragimov

ON THE THEORY OF SPIN EXCITATIONS IN SEMICONDUCTORS SUPERLATTICE NANOWIRES AT LOW TEMPERATURES

Using the Green's function method, dispersion equations are obtained for spin waves propagating in ferromagnetic semiconductor superlattice nanowires. Nanowires have a hexagonal cross-section. The results are illustrated numerically for a specific choice of parameters.

Qəbul olunma tarixi: 13.09.2023

ÇOXDİVARLI KARBON NANOBORUNUN EPOKSİ POLİMERDƏ DİSPERSİYASININ SEM ANALİZİ VƏ HAZIRLANAN KOMPOZİTİN SABİT CƏRƏYAN KEÇIRİCİLİYİNİN TƏYİNİ

TƏRANƏ ORUCOVA¹, GÜLNAZ QƏHRƏMANOVA², RASİM CABBAROV¹

 ¹Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu, Hüseyn Cavid pr. 131 Bakı, Azərbaycan
 ²Fransız-Azərbaycan Universiteti, Nizami küçəsi 183, Bakı, Azərbaycan

Ümumi olaraq, karbon nanoboru (KNB)-polimer kompozitin xüsusiyyətləri dolğu şəbəkəsinin strukturundan güclü şəkildə asılıdır. Bu məqalədə çox divarlı karbon nanoborunun (ÇDKN) epoksidə dispersiyası, emal şərtləri və KNB-epoksi kompozitinin elektrik keçiriciliyinə təsir edən amilləri araşdırılmışdır. Epoksi polimerinə 4% KNB daxil edilərək onun elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmişdir. Əldə olunan kompozitin SEM görüntüləri əldə edilmiş və KNB-epoksi kompoziti daxilində yaranmış müxtəlif şəbəkələrin onların elektrik keçiriciliyinə təsiri araşdırılmışdır.

Açar sözlər: Karbon nanoboru, epoksi, epoksi kompozit, elektrik xüsusiyyətləri PACS: 72.80.Tm; 72.80.Tm, 64.60.ah, 82.35.Np

GİRİŞ

Son zamanlar karbon nanoboru (KNB) əsaslı nanokompozitlər çoxfunksiyalı tətbiqlərdəki istifadə imkanına görə böyük maraq kəsb edir[1]. Polimer və ya keramika materiallarına kiçik miqdarda KNB-ların əlavə edilməsi ilə elektrik keçiriciliyində əhəmiyyətli yaxşılaşma baş vermişdir [2, 3]. Həmçinin materialın tərkibinə KNB-ların əlavə etməklə onun elektrik, mexaniki və istilik xassələrini yaxşılaşdırmaq olar. KNB-lar bir matris materialına səpələndikdə matris daxilində KNB -nin keçirici şəbəkələri formalaşır. Bu şəbəkənin yaranması polimer matrisin növündən, emal texnologiyasından və istifadə olunan KNB materiallarının növündən asılı olacaq. Epoksi unikal mexaniki, istilik və elektrik xüsusiyyətlərinə malik olduğu üçün fiberlə gücləndirilmiş kompozitlərdə, yapışdırıcı və örtüklər kimi müxtəlif tətbiqlər üçün cəlbedicidir [4-7]. Bundan əlavə bərkidilmiş epoksi kövrək, sərtdir və çatlaqların yayılmasına qarşı aşağı müqavimət və zəif təsir gücünə malikdir [8, 9]. Tədqiqatçılar epoksi-KNB kompozitlərinin mexaniki, istilik və elektrik xassələrini ətraflı araşdırıblar [10-13]. KNB dispersiyasını polimer matrisə tənzimləmək nanokompozitlərlə əlaqəli tətbiqlərdə vacibdir [16]. KNB-ların polimer matrisə effektiv şəkildə daxil edilməsi polimerlə qarşılıqlı təsirindən asılıdır [17,18]. KNB-nin səthində funksional qrupların tətbiqi polimerə səmərəli yapışmağa və daha yaxşı dispersiyaya kömək edir. Nanoborular və nanoboruların qovşağının təmas nöqtələrində nazik izolyasiya təbəqələri əmələ gələ bilər. Bu yazının məqsədi matrisin daxilidə yaranan şəbəkəni və karbon nanoboru- epoksi kompozitinin elektrik keçiriciliyinə təsir edən amilləri araşdırmaqdır. Karbon nanoboruların aglomerasiyaya meylliyinə görə kompozitin sintezi zamanı polimer içində vahid dispersiya əsas məslələrdən biri hesab olunur [19-22].

EKSPERİMENT

Bu tədqiqatda müəlliflərin əvvəlki tədqiqatına [21, 22, 23] əsaslanaraq və həmin tədqiqatın davamı olaraq kütlə faizi 4% və ümumi həcmi 1,1mL olan kompozit hazırlanmışdır. İstifadə olunan ÇDKNB A-CVD üsulu ilə sintez edilmişdir və sintez prosesi haqqında müəlliflərin əvvəlki 21, 22 və 23 nömrəli məqalələrində ətraflı qeyd edilmişdir. ÇDKNB-nun epoksidə dispersiyasını təmin etmək üçün maqnit qarışdırıcı vasitəsilə 30°C temperaturda 4 saat qarışdırılmışdır. Daha sonra qarışığa 1% bərkidici/epoksi nisbətində bərkləşdirici əlavə edilmişdir və alınan kompozit 2,5:7,5 (sm) ölçülü mikroskop şüşəsi üzərinə mexaniki yayılma üsulu ilə çəkilərək 50 mkm qalınlığında kompozit təbəqə formasına salınmışdır və 10 gün otaq temperaturunda qurudulmuşdur (Şəkil 1). Tədqiqatda istifadə olunan epoksi məişətdə istifadə üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Qurudulduqdan sonra kompoziti xarakterizə etmək üçün Skanedici Elektron Mikroskopundan (SEM) istifadə edilmişdir (şəkil 2). SEM analizləri nümunənin səht boyu bütün hissələrində aparılmış və nəticələrindən ÇDKNB-ların epoksi daxilində tam dispersiya olunması müşahidə olunmuşdur. SEM nəticələri ÇDKBN-nun qeyri-kovelent polimerləşməsinə uyğundur. Belə ki, ÇDKNB-lar tam olaraq polimerlə örtülməmişdir və KNB-lar bir-birinə toxunaraq epoksi daxilində şəbəkə yaratmışdırlar. Belə polimerləşmə kompozitdə keçiriciliyi təmin edir.

Kompozitin səth müqaviməti Keithley 6715B elektrometri vasitəsilə ölcülmüşdür. Səth müqavimətinin ölçülməsi üçün iki elektrod üsulundan istifadə edilmişdir. Kompozitin elektrik keçiriciliyi üçün volt-amper xarakteristikası (VAX) ölçülmüşdür (şəkil 3). Sabit gərginlik mənbəyindən istifadə olunaraq 1-30 V aralığında hər addımı 1V olmaqla nümunəyə gərginlik verilmiş və nümunədən keçən cərəyan təyin edilmişdir. VAX-1 nümunənin səhtində kontaktlar arasındakı məsafə 1 sm olmaqla müxtəlif hissələrdə dəfələrlə ölçülmüşdür və alınan nəticələr 99% dəqiqliklə bir-birini təkrarlamışdır. Bütün ölçülərin nəticələrinin orta statistik xətası hesablanaraq VAX qrafiki şəkil 3-də göstərilmişdir. VAX-nın xətti olmasından görünür ki, hazırlanan nümunə metallik xassəyə malikdir. ÇDKNBnun kiçik faizi dielektrik xassəli epoksi polimerdə yüksək bircins keçiricilik yaratmışdır. VAX-nın xətti asılılığından səht müqavimətinin $1,7 \cdot 10^4$ Om və səth keçiriciliyinin 3,4·10⁶Om sm olması təyin edilmişdir. Bu nəticələri təmiz ÇDKNB/Epoksi kompozitlərinin ədəbiyyatlarda verilmiş keçiricilikləri ilə müqayisəsi aparılmışdır.



Şəkil 1. Məişətdə istifadə üçün nəzərdə tutulmuş epoksi və bərkidici (a), ÇDKNB-sintezdən və termik təmizlənmədən sonra və

şüşə üzərində ÇDKNB/Epoksi kompozit təbəqəsinin foto şəkilləri (b, c).



Şəkil 2. ÇDKNB/Epoksi kompozit təbəqəsinin səthinin müxtəlif hissələrindən SEM analizi.



Şəkil 3. Volt-amper xarakteristikası üçün iki kontakt metodunun sxematik təsviri (a), hazırlanmış kompozitin VAX-ının statistik analizi (b).

NƏTİCƏ

A-CVD üsulu ilə sintez olunmuş və 450°C dərəcədə hava mühitində 30 dəq müddətində termik təmizlənmiş ÇDKNB-ların məişətdə kley kimi istifadə olunan, tam dielektrik xassələrinə malik epoksi ilə 4%lik kompozit təbəqəsi hazırlanmışdır. Hazırlanmış 50 mkm qalınlıqlı nümu-

- [1] *E.T. Thostenson and T.W. Chou.* Adv. Mater. (Weinheim, Ger) 18, 2837, 2006.
- [2] K. Ahmad, W. Pan and S. L. Shi. Appl. Phys. Lett. 89, 133122, 2006.
- [3] J.K. W. Sandler, J.E. Kirk, I.A. Kinloch, M.S.P.Shaffer and A.H. Windle. Polymer 44, 5893, 2003; J.C. Grunlan, A.R. Mehrabi, M.V. Bannon and J.L. Bahr. Adv. Mater. (Weinheim, Ger.) 16, 150, 2004.
- [4] J.W. Muskopf, S.B. McCollister. Epoxy resins. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, 1987.
- [5] J.P.Pascault, R.J. Williams. Epoxy Polymers: New Materials and Innovations, John Wiley & Sons: New York, 2009.
- [6] J. Karger-Kocsis. Epoxy polymers: new materials and innovations. Macromol. Chem. Phys. 2010, 211, 1836.
- [7] C. Tan, H. Sun, B. M. Fung, B.P. Grady. Properties of liquid crystal epoxy thermosets cured in a magnetic field. Macromolecules 2000, 33, 6249–6254.
- [8] H.Lee, H.Neville. Epoxy Resins: Their Applications and Technology. New York, USA, 1957. 978.
- [9] S. Roy, K. Mitra, C. Desai, R. Petrova, S. Mitra. Detonation nanodiamonds and carbon nanotubes as reinforcements in epoxy composites – a comparative study. J. Nanotechnol. Eng. Med. 2013, 4, 011008.
- [10] C. Ma, H-Y Liu, X. Du, L. Mach, F. Xu, Y-W Mai. Fracture resistance, thermal and electrical properties of epoxy composites containing aligned carbon nanotubes by low magnetic field. Compos. Sci. Technol. 2015, 114, 126– 135.
- [11] F.Vahedi, H. Shahverdi, M.Shokrieh, M.Esmkhani. Effects of carbon nanotube content on the mechanical and electrical properties of epoxy-based composites. New Carbon Mater. 2014, 29, 419–425.
- [12] V.Mahesh, B.Muralidhara, R.George. Studies of influence on multiwalled carbon nanotubes (MWCNT's) reinforced epoxy basedcomposites. IJMER 2014, 4, 58–63.
- [13] B.P.Grady. Recent developments concerning the dispersion of carbon nanotubes in polymers. Macromol. Rapid Commun. 2010, 31, 247–257.

nələr hava mühitində və otaq şəraitində 10 gün müddətində qurudulduqdan sonra SEM analizləri aparılmış və VAX-1 ölçülmüşdir. SEM analizlərindən görünür ki, ÇDKNB-lar Epoksi daxilində bircins dispersiya kompozitin səhtində bircins elektrik keçiriciliyini təmin edir və bu dispersiya qeyri-kovalent polimerləşməyə uyğundur.

- [14] *E.T. Thostenson, T.W. Chou.* Processingstructure-multi-functional property relationship in carbon nanotube/epoxy composites. Carbon 2006, 44, 3022–3029.
- [15] L.Ci, J.Bai. The reinforcement role of carbon nanotubes in epoxy composites with different matrix stiffness. Compos. Sci. Technol. 2006, 66, 599–603.
- [16] *H.Miyagawa, L.T Drzal.* Thermo-physical and impact properties of epoxy nanocomposites reinforced by single-wall carbon nanotubes. Polymer, 2004, 45, 5163–5170.
- [17] Y.H Liao, O. Marietta Tondin, Z. Liang, C. Zhang, C.Wang. Investigation of the dispersion process of SWNTs/SC-15 epoxy resin nanocomposites. Materi. Sci. Eng. A 2004, 385, 175–181.
- [18] D.Tasis, N.Tagmatarchis, A.Bianco, M. Prato. Chemistry of carbon nanotubes. Chem. Rev. 2006, 106, 1105–1136.
- [19] F.H. Gojny, M.H. Wichmann, B. Fiedler, K.Schulte. Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of epoxy matrix composites–a comparative study. Compos. Sci. Technol. 2005, 65, 2300– 2313.
- [20] C. Carpenter, P. Shipway, Y. Zhu, D. Weston. Effective dispersal of CNTs in the fabrication of electrodeposited nanocomposites. Surf. Coat. Technol. 2011, 205, 4832–4837.
- [21] S.S Abdullayeva, N.N Musayeva, C.Frigeri, A.B. Huseynov, R.B. Jabbarov, R.B. Abdullayev, C.A. Sultanov and R.F. Hasanov. 2015, Characterization of High Quality Carbon Nanotubes Synthesized via Aerosol—CVD. Journal of Advances in Physics, 11, 3229-3240.
- [22] Gülnaz Qəhrəmanova, Fəridə Aliyeva, Rasim Cabbarov. Çox divarlı karbon nanoboru/polimer (Epoksi, Polipropilen, Xitosan) Kompozitlərinin hazırlanması və elektrik xassələri// Azerbaijan Journal of Physics. 2021 volume XXVII No2, section:AZ, p-19-25
- [23] S.H. Abdullayeva, G.K. Gahramanova, F.A.Aliyeva, R.B. Jabbarov. Fabrication of multi-walled carbon nanotubes thin films"Sumgayit State University and Kazan State Power Engineering University the II International Scientific Conference on Topical Issues of Applied Physics and Energy, page 160-161 Sumgayıt – 2020

Tarana Orujova, Gulnaz Gahramanova, Rasim Jabbarov

SEM-ANALYSIS OF MULTIWALLED CARBON NANOTUBE DISPERSION IN EPOXY POLYMER AND DETERMINATION OF THE CONSTANT CURRENT CONDUCTIVITY OF THE PREPARED COMPOSITE

In general, the properties of carbon nanotube (CNT)-polymer composite strongly depend on the structure of the filler network. This paper deals with the epoxy dispersion of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs), processing conditions and factors affecting the electrical conductivity of the epoxy CNT composite. By introducing 4% CNTs into the epoxy polymer, its electrical conductivity was investigated. SEM images of the resulting composite were obtained and the effect of different networks created inside the CNT-epoxy composite on their electrical conductivity was studied.

Тарана Оруджова, Гульназ Гахраманова, Расим Джаббаров

SEM-АНАЛИЗ ДИСПЕРСИИ МНОГОСТЕННОЙ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ В ЭПОКСИДНОМ ПОЛИМЕРЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ТОКА ГОТОВОГО КОМПОЗИТА

В общем свойства композита углеродной нанотрубки (УНТ)-полимер сильно зависит от структуры сети наполнителя. В данной статье рассматривается дисперсия многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) в эпоксидной смоле, условия обработки и факторы, влияющие на электропроводность эпоксидного композита УНТ. Была исследована электропроводность композита при введении 4% УНТ в эпоксидный полимер. Были получены СЭМ-изображения полученного композита и изучено влияние различных сетей, созданных внутри композита УНТ-эпоксидная смола, на их электропроводность.

Qəbul olunma tarixi:21.09.2023

S.Z. Dəmirova , V.İ. Eminova

Zn(0.01%at) İLƏ AŞQARLANMIŞ InGaSb EKVİMOLYAR TƏRKİBİNİN ELEKTRİKKEÇİRMƏSİNƏ TƏSİRİ

Zn (0.00at%Zn) ilə aşqarlanmış InGaSb- ekvimolyar tərkibində *T*=100-500 K temperatur intervalında Hall əmsalı və termoe.h.q. tədqiq edilmişdir. Ekvimolyar tərkibdə *T*>350 K temperaturlarda Hall əmsalında və termo e.h.q. qüvvəsində yüksək yürüklüklü elektronların əhəmiyyətli payının olduğu müəyyən olunmuşdur. Ekvimolyar tərkibdə Zn miqdarı artdıqca, yüksək yürüklü elektronların payı azalır və keçiricilik sırf deşik xarakter daşıyır. Termo e.h.q. nəticələri əsasında deşiklərin effektiv kütləsi qiymətləndirilmişdir.

A.M. Məmmədzadə, B.U. Qasımlı

İPƏK NANOZƏRƏCƏLƏRİNİN STRUKTUR MƏNŞƏLƏRİ VƏ ONLARIN STABİLLƏŞMƏSİ

Dərman və müxtəlif terapevtik vasitələrini ideal vasitə halına gətirən, İpək fibroin (SF) kimi tanınan, təbii olaraq yaranan biopolimer bir sıra fərqli keyfiyyətlərə malikdir. Dərmanların və biomolekulların SF matrisləri vasitəsilə uğurla çatdırıla biləcəyi nümayiş etdirildi. Bu işdə homogen SF nanohissəcikləri (SFNP) 171-207 nm arasında dəyişən ölçüdə əldə edilmişdir. SFNP-lər GA (qlutaraldehid) ilə stabilləşdirildi, bu da SFNP-ləri sabitləşdirmək üçün çapraz bağlayan agent kimi istifadə edildi. Stabilləşdirilmiş SFNP-lər 4 gün ərzində ardıcıl idi. Dairəvi dikroizm (CD) və Furye transformasiyalı infraqırmızı spektroskopiya (FTIR) tədqiqatları, beta strukturunun 59%-ə çatan təsadüfi sarğıdan beta strukturuna keçidini aşkar etdi. Qütblü mikroskopda Konqo qırmızı rənginin müşahidə edilən iki qırılması beta amiloid əmələ gəlməsini göstərir. Beləliklə, SFNP amiloid nanohissəciklərdəri.

M.Ə. Cəfərov, V.M. Salmanov, Ə.H. Hüseynov, H.B. İbrahimov, R.M. Məmmədov, T.A. Məmmədova, F.Ş. Əhmədova

YENİ ÜSULLA LAZER ŞÜALARININ TƏSİRİ İLƏ CdTe NANOZƏRRƏCİKLƏRİNİN SİNTEZİ

Lazer şüalarının təsiri ilə CdCl₂ və TeO₂ məhlulları əsasında CdTe nanohissəciklərinin sintezi eksperimental olaraq tədqiq edilmişdir. Şüalanma mənbəyi olaraq 2-ci və 3-cü harmonika tezliyində, 1064, 532 və 335 nm dalğa uzunluğuna malik impulslu Nd:YAG lazerindən istifadə olunmuşdur. Lazer impulsunun müddəti 10 ns, enerjisi isə 135 mJ-a bərabərdir. CdTe kolloid məhlulunda ölçüləri 10-50nm intervalında olan nanozərrəciklər müşahidə edilmişdir. Rentgenstruktur analizi vasitəsilə alınmış nanozərrəciklərin quruluşunun CdTe kristallarının quruluşu ilə (heksoqanal) eyni olduğu müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, nanohissəciklərin fotolüminessensiya emissiyası yaşıl rəngə malikdir (~510 nm) və sərbəst eksitonların radiativ rekombinasiyası ilə bağlıdır.

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

InSb ƏSASINDA ELEKTROHİDRODİNAMİK İON MƏNBƏLƏRİNİN ƏSAS ELEMENTLƏRİ VƏ XARAKTERİSTİKALARI

İlk dəfə olaraq InSb və InSb0.98Bi0.02 əsasında yüksək cərəyan sıxlığına malik olan ion dəstələrinin alınması üçün istifadə olunan ion mənbəyinin əsas struktur elementlərinin hazırlanması metodikası işlənilmiş və onun ion cərəyanının volt-amper xarakteristikası ölçülmüşdür. Mənbənin əsas elementi olan iynənin materialı işçi maddəyə (InSb və InSb0.98Bi0.02) uyğun seçilmiş, iynə mexaniki və kimyəvi üsulla itilənmiş, sonra vakuumda işçi maddənin ərintisində 550°C-də isladılmışdır. İtilənmiş və isladılmış iynələr iti ucu emissiya zonasına çıxarılması şərti ilə daxilinə işçi maddə qoyulmuş ion mənbəyinin digər elementi olan qapalı qrafit konteynerə yerləşdirilmişdir. Hazırlanmış ion mənbəyində müxtəlif kütləyə və yükə malik InSb və InSb0.98Bi0.02 ionlarının dəstələri alınmışdır.

G.M. Ahmadov, G.B. İbragımov, M.A. Jafarov

Si - Bi2Te3 FOTOÇEVİRİCİ DETEKTORLARI

Si monokristal əsaslı vismut telluridin (Bi2Te3) fotoçevirici detektorunun alınma imkanları təqdim olunur. Alınmış fotodetektorların otaq temperaturunda 1064 nm və 1550 nm dalga uzunluqlu infraqırmızı şüalanmada foto reaksiyaları tədqiq olunmuşdur. Foto cərəyanın həm düşən işiğin gücündən, həm də tətbiq olunan gərginlikdən xətti asılılıqları müşahidə edilmişdir. Əsas cihaz parametrləri, o cümlədən fotohəssaslıq və kvant effektivliyi hesablanmışdır.

A.S. Hüseynova

HfO2 NANODOLDURUCU PE/HfO2 POLİMER NANOKOMPOZİTİNİN ELEKTRET XÜSUSİYYƏTİNƏ VƏQURULUŞUNA TƏSİRİ

Elektrotermopolyarlaşmanın (ETP) HDPE və hafnium oksid nanohissəcikləri əsasında alınan polimer nanokompozitlərin quruluşuna və elektret xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, PE matrisinə HfO₂ nanohissəciklərinin 3-10%lik kütlə tərkibinin daxil edilməsi ilə PE/HfO₂ nanokompozitində fiziki - mexaniki xassələr yaxşılaşır. PE/HfO₂-də uzun müddətli elektret effektinin yaranması nanokompozitin quruluşunun qeyri-homogenliyi və fazalararası sərhəddə böyük miqdarda elektrik yüklərinin yığılması ilə bağlıdır. Polimer və nanohissəciklərin qarşılıqlı təsirləri öyrənilib. Həmçinin PE/HfO₂ polimer nanokompozitində fazalararası zonada baş verən quruluş dəyişikliklərin nəticələri də təqdim olunub.

A.S. Hüseynova, M.N. Bayramov, F.F. Yəhyayev

Ta2O5 NANOHİSSƏCİKLİ POLİETİLEN ƏSASLI POLİMER NANOKOMPOZİTİNDƏ ELEKTRET VƏZİYYƏTİNİN SABİTLİYİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

YSPE və tantal oksidi nanohissəciklərin əsaslanan polimer nanokompozitlərinin elektret xassələri tədqiq edilmişdir. Konsentrasiyasının 7-10%-də olan nanohissəciklərin PE/Ta₂O₅ polimer nanokompozitlərində elektret xassələrində əhəmiyyətli dərəcədə dəyişiklik müşahidə olunur. Həmçinin PE/Ta₂O₅ polimer nanokompozitinin kütlə və fazalararası zonasında quruluş dəyişikliklərinin nəticələri təqdim olunub.

S.N. Qəribova

Se-As ŞÜŞƏVARİ YARIMKEÇİRİCİ SİSTEMİN LOKAL QURULUŞUNUN VƏ AI-Se95As5<EuF3>-Te QURULUŞUNDAN YÜKLƏRİN ÖTÜRÜLMƏ MEXANİZMİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

EuF₃ nadir torpaq elementli birləşmə ilə aşqarlanmış Se₉₅As₅ xalkogenid şüşəvari yarımkeçiricinin lokal quruluşunun xüsusiyyətləri və Al–Se₉₅As₅<EuF₃>–Te quruluşundan yüklərin ötürülmə mexanizmi rentgen şüalarının difraksiyası, Raman mikro-spektroskopiyası və volt-amper xarakteristikası ilə tədqiq edilmişdir. Amorf matrisi əmələ gətirən əsas quruluş elementləri və kimyəvi rabitələr, Al–Se₉₅As₅<EuF₃>-Te quruluşuna tətbiq olunan elektrik sahəsinin iki istiqamətində güclü elektrik sahələrində cərəyan axınının xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir.

Q.İ. İsaqov, A.Ə. İsmayılov, Ə.Ə. İsmayılov

γ-ŞÜALANMANIN In_{0.999}Ag_{0.001}Se MONOKRİSTALLARININ ELEKTRİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ

Müəyyən edilmişdir ki, In_{0.999}Ag_{0.001}Se kristalları 50 krad dozalı γ-kvantlarla şüalandıqda qadağan olunmuş zolaqda 0,17 eV dərinlikdə mərkəzlər əmələ gəlir. Tədqiqatlar göstərir ki, şüalanmadan əvvəl qadağan zolağında yerləşmə dərinliyi Ev + 0,1 eV olan idarə olunmayan mərkəzlər olur. Şüalanma nəticəsində yaranan mərkəzlər nəzarətsiz Ev +0.1eV mərkəzlərini kompensasiya edir. Bununla yük daşıyıcılarının konsentrasiyası və elektrik keçiriciliyi azalır. Radiasiya dozası artdıqca yeni mərkəzlər əmələ gəlmir, əvvəlki mərkəzlərin konsentrasiyası artır.

Şüalanmamış və şüalanmış kristalların elektrik keçiriciliyi arasındakı fərq də temperaturun azalması ilə artır.

Ş.Ş. Əmirov, N.V. Kərimli, N.H. Qurbanova, H.Ə. Əbiyev

FABRİ-PERO REZONATORUNDA ÜÇÜNCÜ HARMONİKANIN GENERASİYASININ NƏZƏRİYYƏSİNƏ DAİR

Üçüncü tərtib qeyri-xəttiliyə malik mühitlə doldurulmiş Fabri-Pero rezonatorunda üçüncü harmonikaya çevrilmə effektivliyi üçün sabit intensivlik yaxınlaşmasında analitik ifadə alınmışdır. Bu yaxınlaşma yaranan üçüncü harmonika dalğasının əsas dalğanın fazasına göstərdiyi əks təsiri nəzərə almağa imkan verir. Göstərilmişdir ki, yüksək effektivliyə malik tezlik çevrilməsini əldə etmək üçün məsələnin parametrlərinin, məsələn qaytarma əmsalının, mühitin qeyri-xətti uzunluğunun və s. optimal qiymətləri seçilməlidir.



MÜNDƏRİCAT

1.	Aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə prosesinə müxtəlif qeyri-üzvi duzların təsirinin optik metodla öyrənilməsi	
	E.Ə. Məsimov, A.R. İmaməliyev, A.H. Əsədova	3
2.	Pöşl-Teller potensiallı yarımkeçirici kvant çuxurunda fonon sövqünün termoelektrik hərəkət	
	M.M. Babavev, B.H. Mehdivev, X.B. Sultanova, S.I. Zevnalova	6
3.	$AgInSe_2$ monokristalında səth quruluş pozulmalarının fotovoltaik effektə təsir mexanizmi	Ũ
0.	İ. Oasımoğu, O.S. Mehdiyev, Z.O. Məmmədov	11
4.	RbNO ₃ kristallarında atom dinamikasının Raman spektroskopiyası metodu ilə təyini	
	A.F. Kazımova, V.İ. Nəsirov	17
5.	Zəlzələnin baş verməsini daha öncədən müəyyən etmək üçün metod	
	Y.H. Hüseynəliyev, A.S. Səlimzadə	20
6.	Aşağı temperaturda yarımkeçirici ifratqəfəs nanoməftildə spin həyəcanlanmalarının	
	nəzəriyyəsinə	
	R.R. Hüseynov, V.A. Tanrıverdiyev, V.S. Tağıyev, E.M. Axundova, İ.N. İbragimov	24
7.	Çoxdivarlı karbon nanoborunun epoksi polimerdə dispersiyasının SEM analizi və hazırlanan	
	kompozitin sabit cərəyan keçiriciliyinin təyini	
	Təranə Orucova, Gülnaz Qəhrəmanova, Rasim Cabbarov	28
8.	FİZİKA, vol. XXIX, №3, 2023, section: En buraxılışında dərc olunan məqalələrin qısa	32
	xülasəsi	



www.physics.gov.az