

CuGaS₂ MONOKRİSTALINDA KİÇİK ÖLÇÜLÜ ATOM KLASTERLƏRİNİN DİSKRET SPEKTRLƏRİ

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

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi,

H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu

Az1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131

E-mail: gasimoğlu@yahoo.com

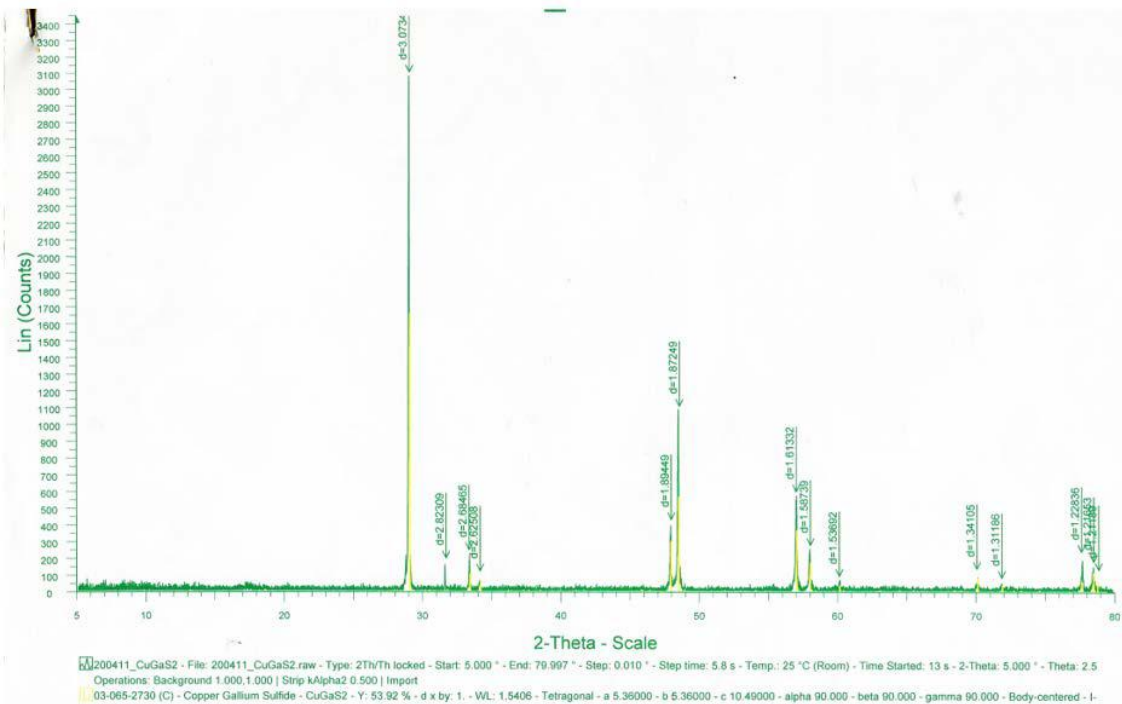
CuGaS₂ monokristalının səthində texnoloji proses zamanı formalaşan atom klasterləri ilə, massiv maddə sərhəddində yaranan, kvantlanmış elektron dalğalarının diskret spektrləri tədqiq olunmuşdur. Alınan nəticələrin tətbiqi üçün perspektivli olduğu qeyd olunmuşdur.

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

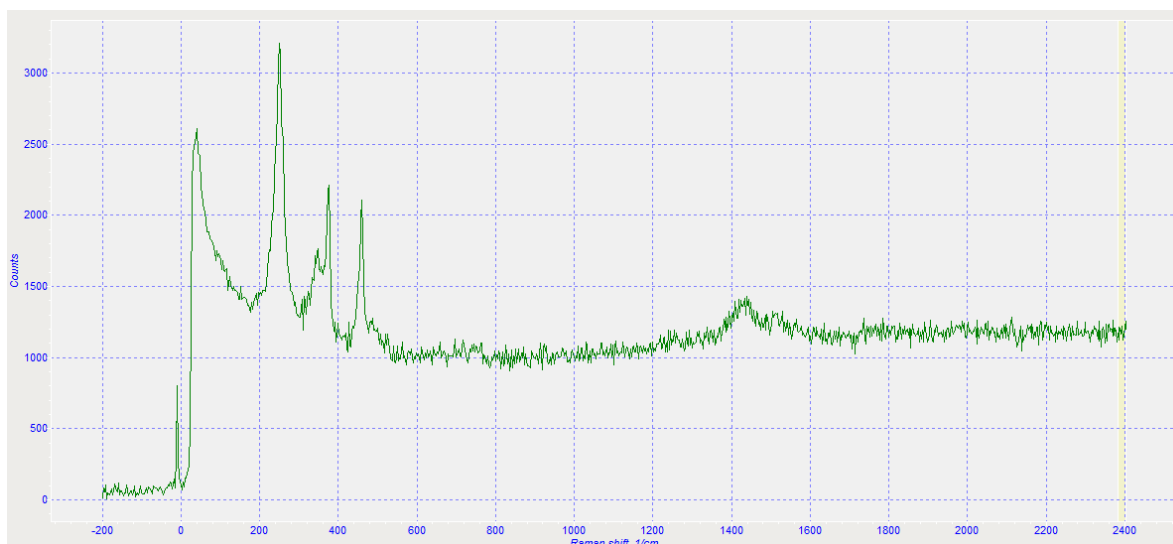
Pacs: 61.80.Ed

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi A^IB^{III}C₂^{VI} ümumi formulu ilə ifadə olunur, burada A^I(Cu,Ag), B^{III}(Ga,In), C^{VI}(S,Se,Te) təmsil edir. Bu tərkibə daxil olan birləşmələrdən biri də CuGaS₂-dir. A^{II}B^{VI} birləşmələrindən olan ZnS-in üçqat elektron analoqudur. İlk dəfə Xan və əməkdaşları tərəfindən birləşmələrin əksəriyyətinin xalkopirit strukturunda kristallaşdığı aydınlaşdırılmışdır. CuGaS₂ *p*-tip keçiriciliyə malikdir. Düzgün kimyəvi quruluşdan kənara çıxmalar keçiriciliyin tipini dəyişmir. İstisna olaraq birləşmələrin bəziləri həm *p*-tip həm də *n*-tip ola bilər [2]. Monokristallarda güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur ki, bu fiziki xassə qeyri xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Materialların üstün cəhətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və aktiv re-

kombinasiya mərkəzləridir. Bu birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir, mütləq ekstremumları Brillüen zonasının Γ nöqtəsində yerləşir. A^IB^{III}C₂^{VI} birləşmələrində iki mis atomu iki gallium atomu ilə tetraedr əmələ gətirir, mərkəzdə isə kükürd atomu yerləşir. Birləşmələrin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi F.Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur [3]. CuGaS₂ monokristalı xüsusi üsulla sintez olunmuş, sonra isə Bricmen üsulu ilə yetişdirilmişdir. Birləşməyə daxil olan maddələrin təmizlik dərəcəsi aşağıdakı kimidir. Cu-99,999%, Ga-99,9999%, S-99,9999%-dir. Yuxarı temperatur 1423K, aşağı temperatur 973K olmuşdur. Nümunənin otaq temperaturundakı müqaviməti $R=10\Omega$, ölçüləri $1 \times 0,5 \times 2 \text{mm}^3$ tərtibindədir. Rentgen analizinin nəticələri (şəkil 1) və Raman spektirinin təhlili (şəkil 2) göstərir ki, aldığımız kristalların parametrləri elmi ədəbiyyatda olanlarla uyğunluq təşkil edir. Qəfəs parametrləri belədir: $a=b=5,36\text{\AA}$, $c=10,49\text{\AA}$, fəza simmetriya qrupu (42m)-dir.



Şəkil 1. CuGaS₂ monokristalının Rentgen şualarının difraksiyası spektri. $T=300\text{K}$. (Diffractometr d8 Advance).



Şəkil 2. Monokristal CuGaS₂. Işığın Raman səpilməsi spektri.

Mövzunun aktuallığı

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

Məsələnin qoyuluşu

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

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

Təcrübənin aparılması

Tədqiqatlar aparmaq üçün istifadə olunan kompleks qurğu aşağıdakı cihazlardan təşkil olunmuşdur. MDR-23, üç güzgü qəfəsdən ibarət olmaqla geniş bir dalğa uzunluğu oblastını əhatə edir. I-güzgü qəfəs (200-500nm), II-güzgü qəfəs (350-1000nm), III-güzgü qəfəs (700-2000nm), IV cüzgü qəfəs(1400-4000nm). Güclü işıq mənbəyindən düşən şüalar linzalar sistemi vasitəsi ilə nümunənin üzərinə yönəldilir. Kristala düşən şüalar

gücləndiriciyə düşür, oradan detektora, sonda isə Digital Multimeter adlı müasir cihaza daxil olur, sonra siqnal şəklində qeyd olunur. Volt-Amper xarakteristikasını ölçərkən intensivliyi ifadə edən spektrin kvadratik olmaması, spektrin diskret xarakter daşması, yeni xassələrə malik yarımkeçiricinin alındığından xəbər verir. Volt-Amper xarakteristikasının spektrində Klon pillələrinin, klon məhdudiyəti effektinin, Klon patlaması effektlərinin alınması tərəfimizdən ilk dəfədir ki, müşahidə olunur. Alınan nəticələrin Fotokeçiriciliyin spektrində və Elektrik hərəkət qüvvəsinin spektrində müşahidə olunması bir daha sübut edir ki, tədqiqat apardığımız obyektlər nanotexnologiya üçün gələcəyi olan maddələr hesab olunmalıdır.

Təcrübədən alınan nəticələr

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

I-sistemə termodinamik nəzərdən baxılması;

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

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

1. Klon pilləkənləri;
2. Klon məhdudiyəti;
3. Klon patlaması;
4. Dislokasiyalar.

Fotokeçiriciliyin spektrində:

1. Rezonans pikləri;
2. Təkrarlanan dalğa paketləri;
3. Müşahidə olunan mənfi müqavimət.

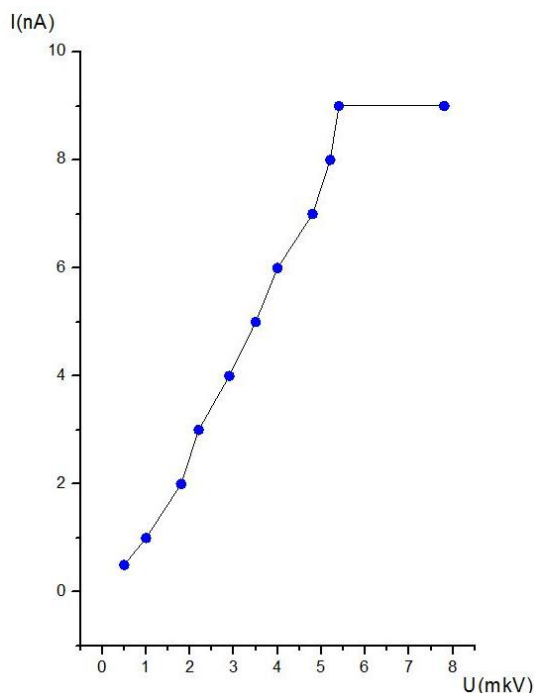
Elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işıq dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrində:

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

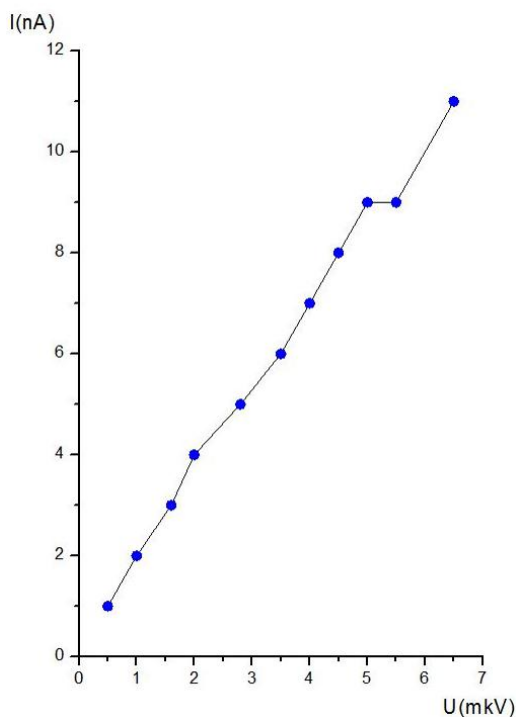
3. Müşahidə olunan diferensial mənfi müqavimət.

Alınan nəticələrin izahı

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



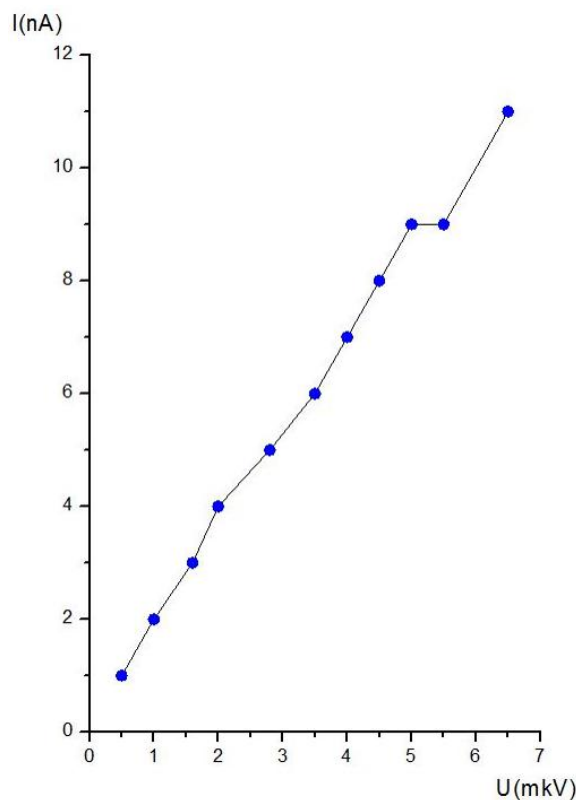
Şəkil 3. CuGaS₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kontaktların kristaloqrafik oxlara nəzərən istiqaməti (001)



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

Birləşmə 1423K temperatürə qədər qızdırılır və qəfil soyudulur. Texnoloji olaraq alınma prosesində

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

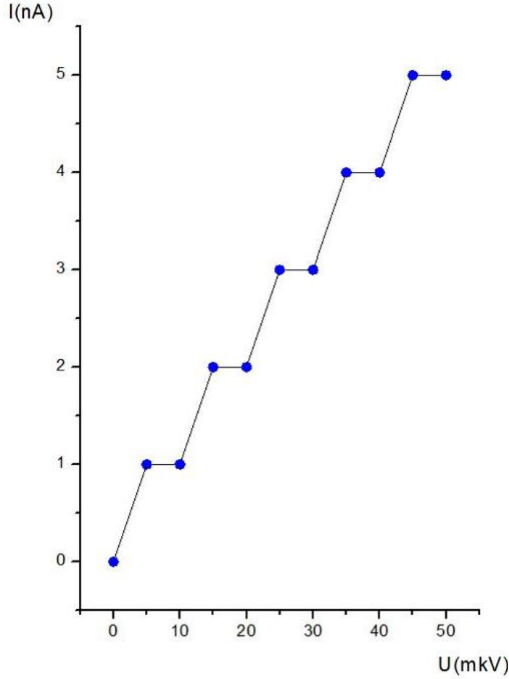


Şəkil 5. CuGaS₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kontaktların kristaloqrafik oxlara nəzərən istiqaməti.(100)

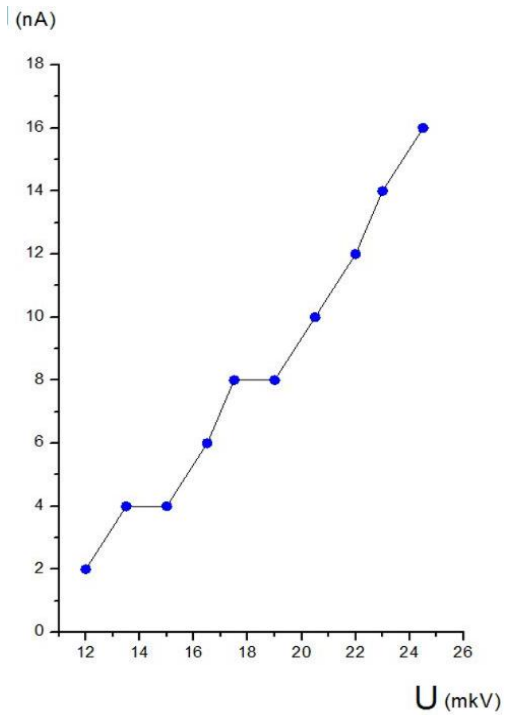
Kristalın müxtəlif səthlərinə kontaktlar qoymaqla ölçü apardığımız istiqamətlərdə anizotrop luq daha açıq şəkildə özünü göstərir. (010) istiqamətində aşqar səviyyələrin görüntüsü bir qədər də aydınlaşır (şəkil 4). Başqa bir istiqamətdə (100) isə əyri xətlərin sayına görə, səviyyələr haqqında fikir demək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

Bundan əvvəl çap etdirdiyimiz məqalədə CuAlS₂ monokristalının səthində meydana gələn nanoquruluşlardan danışmışdıq [7]. Cu($T=1083^{\circ}\text{C}$), Al(660°C .) hər iki metalın ərimə temperaturu yüksək olduğu üçün termodinamik sabit və dayanıqlı quruluşların əldə olduğunu qeyd etmişdik. CuGaS₂ onlarla eyni quruluşa malik maddələr olduğundan deyilənləri axırıncı maddəyə də aid etmək olar. Amma burada bir fərq vardır Ga metalının ərimə temperaturu aşağıdır ($T=29,8^{\circ}\text{C}$). Bu isə formalaşma zamanı qüvvələr nisbətinin pozulmasına

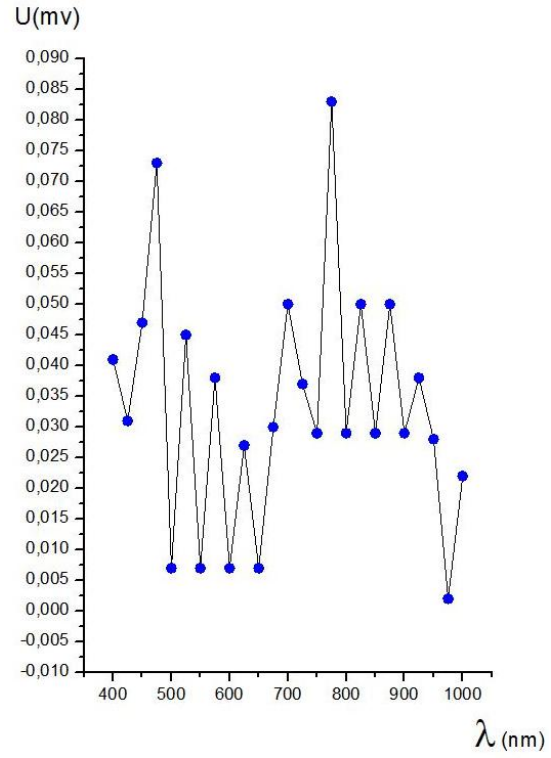
gətirib çıxarır. Ona görə də, CuGaS₂ kristalında nano-
boru deyil, nanoquruluşlar alınmışdır. Yeni texnolo-
giya tətbiq etməklə alınan kristalları kimyəvi reaktiv-
lərlə işlədikdə, dislokasiyaların hərəkətini izləmək
mümkündür. Bütün bunları nəzərdən keçirdikdə aydın
olur ki, biroxlu kristalların səthində nanoquruluşların
müxtəlif formada təzahür etməsi, birləşmələri təşkil
edən maddələrin sıxlığından, ərimə temperaturundan,
birdə düzgün seçilmiş temperatur qradientindən asılı-
dır (şəkil 6).



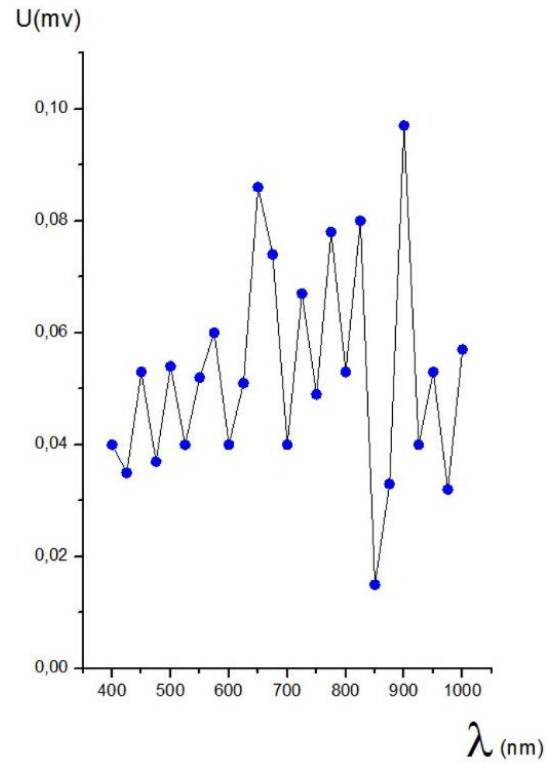
Şəkil 6. Yeni alınmış maddənin CuGaS₂ səthinin kimyəvi üsulla təmizləndikdən sonra Volt-Amper xarakteristikası.



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



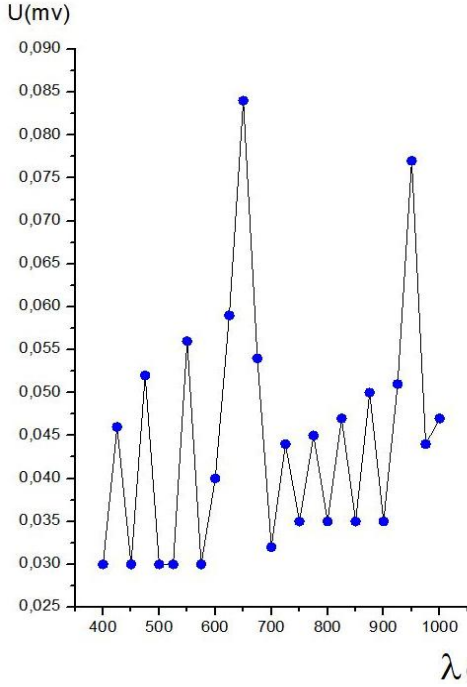
Şəkil 8. CuGaS₂ monokristalında fotoelektrik keçiriciliyi gücləndiricinin 100 mV rejimində.



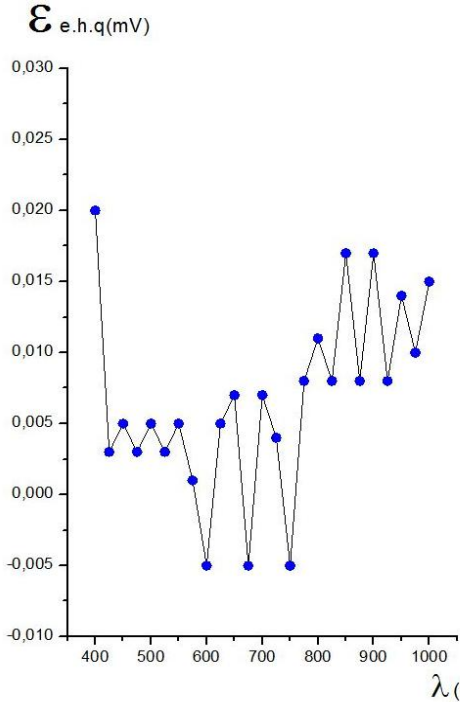
Şəkil 9. CuGaS₂ monokristalında fotoelektrik keçiriciliyi gücləndiricinin 300 mV rejimində.

Araşdırmalardan aydın olmuşdur ki, səth effektləri elektrik və optik xassələrə kəskin şəkildə təsir edir [8]. Kristalların məsələli olması yeni xassələrin meydana gəlməsinə səbəb olur. Bu tip texnologiyalarla yetişdirilən maddələrin zona quruluşuna deformasiya təsir etmiş olur. Deformasiyaların kristal səthindəki na-

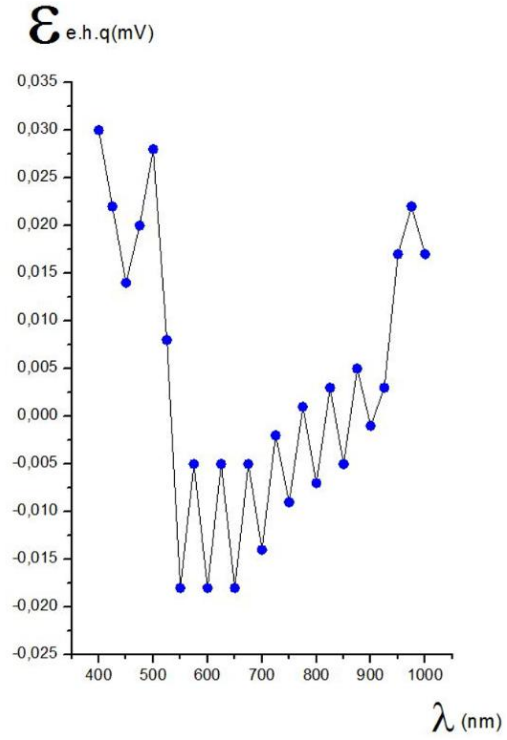
noquruluşlara təsiri isə onların morfoloqiyasının dəyişməsinə səbəb olur, bu isə muasir nanoelektronikanın əsası deməkdir (şəkil 7). Yöndəldici sahənin kiçik qiymətlərində rezonans piklərini müşahidə edirik. Rezonans piklərinin yaranmasına səbəb isə, xarici sahənin tezliyi ilə elektronu ifadə edən dalğaların tezliyinin üst-üstə düşməsidir. Xarici sahənin təsirindən yaranan pye-zoeffekt səthdəki nanoquruluşların dartılmasına və genişlənməsinə səbəb olur, bu isə özünü fotokeçiriciliyin diskret spektrlərində göstərir (şəkil 8).



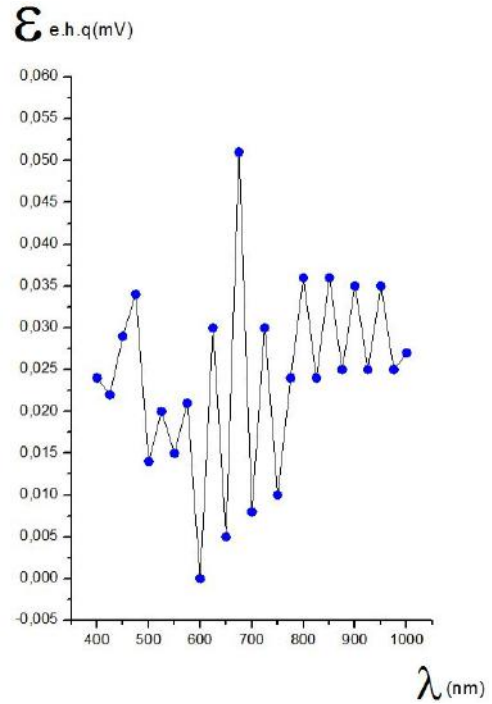
Şəkil 10. CuGaS₂ monokristalında fotoelektrik keçiriciliyi. Gücləndiricinin 1V rejimində.



Şəkil 11. CuGaS₂ monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin, modulyasiya olunmuş işıq dalğa uzunluğundan asılılığı gücləndiricinin 100mV rejimində.



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



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

Bu rəqslər bəzən periodik, bəzən isə qeyri periodik olur. Simmetrik təkrarlanan dalğa paketlərini biz əsasən yöndəldici sahənin böyük qiymətlərində müşahidə edirik (0-300V). Kiçik intervalda isə (0,05V) rezonans pikləri və diferensial mənfi müqaviməti müşahidə edirik (şəkil 9).

Bu, bir daha bizə belə deməyə imkan verir ki, nanoquruluşların morfoloqiyası kiçik yönəldici sahələrin hesabına daha kəskin dəyişir (şəkil 10). Biroxlu kristalların laylı periodik kristallara oxşar xassələrinə aid çoxlu misallar çəkə bilərik. Ona görə də, rezonans pikinin periodik dalğa paketlərinin və diferensial müqavimətin spektrlərdə təkrarlanması translyasiya simmetriyasının pozulması deməkdir. Bu isə elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrdə plastik deformasiyanın yaratdığı diskret spektrlər forması halını almış olur (şəkil 11).

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

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

Yekun nəticə

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

-
- [1] *W.H.Koschel, F.Sorger and J.Baars.* Optikal Phonons in I-II-III₂ compounds. Journal de Physique n 9, t. 36, Septembre. 1975, page C3-177.
- [2] *G.D.Boyd, H.Mc.Kasper.* JhMcFee Quantum Electronics, IEEE Journal of 7(12), 1971, p563-573.
- [3] *A.A.Вайнолин, Ф.М.Гашишзаде, Н.А.Горюнова, Ф.П.Касаманды, Д.Н.Наследов, Э.О.Османов, Ю.В.Рудь.* ФТТ, 5, 1199,1963; Изв.А.Н.ССР,сер. Физ.,1964,т.28, ст.1085.
- [4] *Л.А. Головань, В.Ю. Тимошенко, П.К. Кашкаров.* Оптические свойства нанокомпозитов на основе пористых систем. УФН, 2007, том 177, номер 6, ст.619-638.
- [5] *В.Е.Панин, В.Е.Егорушкин.* Физическая мезомеханика и неравновесная термодинамика как методологическая основа наноматериаловедения. Физическая мезомеханика 12,4 (2009) ст. 7-26.
- [6] *А.П. Бахтинов, В.Н. Водоньянов, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетьга, Д.Ю. Конаплянко.* Транспорт носителей заряда в композитных наноструктурах на основе слоистого полупроводника Р-GaSe и сегнетоэлектрика KNO₃. ФТП, 2011, том 45, вып. 3, ст. 348-359.
- [7] γ -radiyasiyanın CuAlS₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikasına təsiri. Fizika 2017, Volume XXIII, №2, Section Az, s.10-14.
- [8] Optical Properties of II-IV-V₂ and I-III-VI₂ Crystals with Particular Reference to Transmission limits. By *G.C.Bhar and R.C.Simith.* Phys. Stat.sol. (a), 13, 157(1972) p.157-167.
- [9] Visible Stimulated Emission in ternary Chalcopyrite sulfides and selenides. *J.L.Shay and B.Tel and H.M. Kasper.* Ap. Physics Letters, Volume 19, Numer 9, 1 november 1971, p.366-368.
- [10] Growth and characterization of CuAlS₂, and CuAlSe₂ single crystals. *L.Roa, P.Grima, J.Gonzalez, J.C.Chervin. J.P.Itie, A.Chevy.* cryst. Res. Technol. Volume 31, 1996, p.49-52.
- [11] Optical properties of the chalcoprite semiconductors ZnGeP₂, ZnGeAs₂, CuGaS₂, CuAlS₂, CuInSe₂, and AgInSe₂. *J.C.Rife, and R.N.Dexter, P.M.Bridenbaugh, B.W.Veal.* Physical Rev. Volume16, Numer 10, 15 November 1977, p.4491-4500.
- [12] *Л.И.Бергер, Ф.Э.Балневская.* Неорганические материалы. 1966, том. III, №8, стр. 1514-1515, 1966.
- [13] *С.Т.Хüseynov, Т.Q.Qasimov.* Azərbaycan EA Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 1976, №6, s.105-107.
- [14] Комбинационное рассеяние света и динамика кристаллической решетки. М.1982. *Н.Г.Басов.* с.223.
- [15] Физика и Химия соединений А²В⁶. *С.А.Медведева.* 1970. С.624.
- [16] Тройные полупроводники А²В⁴С₂⁵ и А²В₂³С₄⁶. Кишинев. *С.И.Радауцан.*1972. с.259.
- [17] Полупроводники А²В⁴С₂⁵. *Н.А.Горюнова, Ю.А.Валова.* М.1974. с.373.
- [18] Зоны и Экситоны соединений группы А²В⁶. *В.В.Соболев.* Кишинев 1980. с.253.
- [19] *Yuan deng, Chang-Wei Cui, Ni-La Zhang, Tian-Hao Ji, Qing-lin Yang, Lin Cuo.* Fabrication of bismuth telluride nonotubes via a simple

- solvothermal process, Solid state communications, 138 (2006), p. 111-113.
- [20] *А.И.Димитриев.* Ван-дер-Ваалсова поверхность InSe как возможный стандарт нанорельефа в метрологии нанообъектов, ЖТФ, 2012, том 82, вып. 8, ст. 114-118.
- [21] *В.И.Козловский, В.С.Кривобок, П.И.Кузнецов, С.Н.Николаев, Е.Е.Онищенко, А.А.Пручкина, А.Г.Тимирязев, С.И.Ченцов.* Экситонное излучение тонких кристаллических пленок Zn(S)Se, размещенных в полости микрорезонаторов на основе аморфных диэлектрических покрытий. ФТП, 2016, том 50, вып.1, ст.9-17.
- [22] *Н.Н.Новикова, В.А.Яковлев, И.В.Кучеренко.* Спектры инфракрасного отражения и нарушенного полного внутреннего отражения топологического изолятора Bi_2Se_3 . Письма в ЖЭТФ, том 102, вып. 4, с.253-256.
- [23] *В.Н.Катеринчук, З.Р.Кудринский.* Размерный оптический эффект в наноструктурированных пленках In_2O_3 ФТП, 2013, том 47, вып. 3 с.320-323.
- [24] *J.L.Say, B.Tell, H.M.Kasper and I.M.Schiavone.* p-d Hybridization of the Valence Band of I-III-VI₂ Compounds. Physical Review B Volume 5, Number 12, 15 June, 1972, p.5003-5005.
- [25] *В.П.Жузе, В.М.Сергеева и Е.Л.Штурм.* Полупроводниковые соединения с общей формулой ABX_2 . ЖТФ, том XXVIII, в.10, с- 2094-2108, 1958.
- [26] *W.H.Koschel, F.Sorger and J.Baars.* Optical Phonons in I-III-VI₂ Compounds. Jou single crystals.
- [27] *Р.В.Поль.* Оптика и атомная физика, 1966, ст.552.
- [28] *İ.Qasimoğlu.* Elektrik sahəsinin təsiri ilə CuGaS_2 monokristalında yaranan döyünən cərəyan. Volume XX, Number 3 Section: Az November, 2014.s 25-27.
- [29] *М.Косевич.* Основы механики кристаллической решетки. М.1964.
- [30] *А.Л. Бучаченко.* УФН. 2014, том 184. N1ст. 101-108.

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

DISCRETE SPECTRA OF SMALL-SIZED ATOMIC CLUSTERS IN CuGaS_2 SINGLE CRYSTALS

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

Qəbul olunma tarixi: 26.10.2023