

## CuAlS<sub>2</sub> MONOKRİSTALININ SƏTHİNDƏ YARANAN NANOQURULUŞLARIN ONUN ELEKTRİK VƏ OPTİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, İ.A. MƏMMƏDOVA, Ə.H. BAĞIROV,  
C.T. HÜSEYNOV, Z. QƏDİROĞLU, H.M. ƏSGƏROV, N.M. ABDULLAYEV

Azərbaycan MEA-nın H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu,

Az-1143, Bakı şəhəri. H.Cavid pr. 131.

E-mail: [gasimoğlu@yahoo.com](mailto:gasimoğlu@yahoo.com)

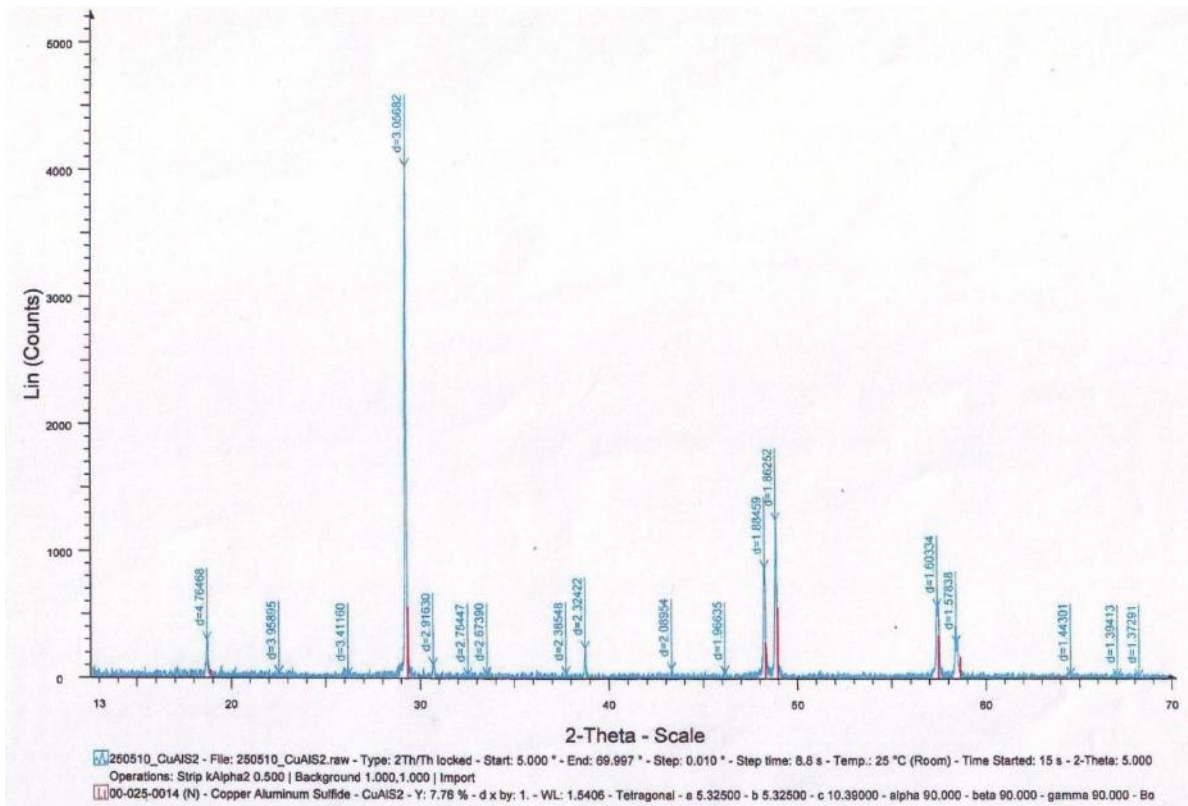
Xüsusi texnoloji rejim əsasında CuAlS<sub>2</sub> monokristalının səthində formalaşan nanoboru ( $h=80\text{nm}$ ,  $d=0,3\text{mkm}$ ) və nano-iynələrin kristalın elektrik və optik xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, nanoboruların olması tətbiq üçün böyük imkanlar yarada bilər.

**Açar sözlər :** buraxma spektri, monoxromatik işıq, optik ox, fonon, foton.

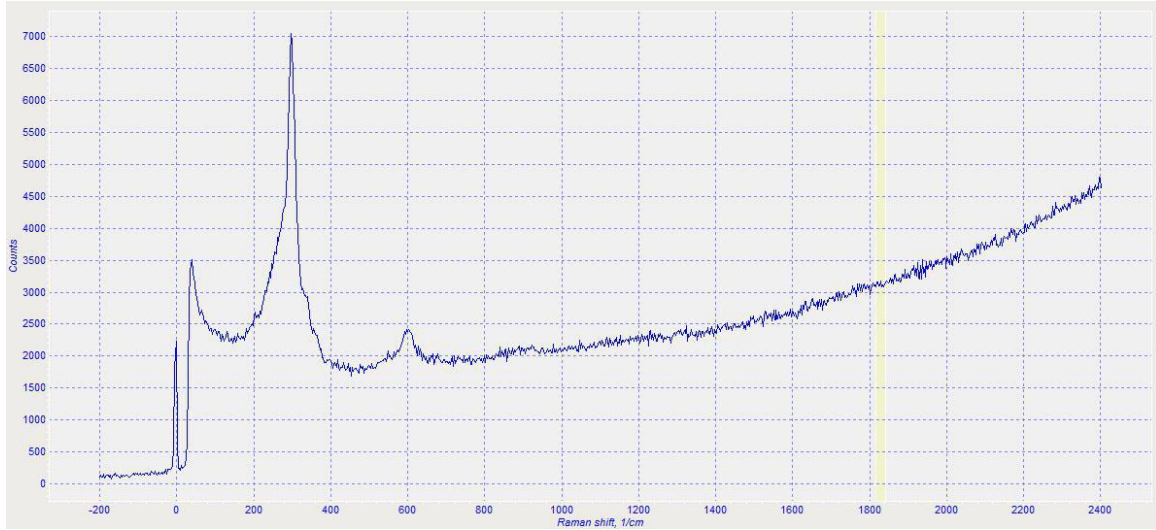
**PACS:** 61.80.Ed.

Son illər almazabənzər quruluşlu yarımkəçiricilər, tədqiqatçıların marağı artmışdır. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi,  $A^I B^{III} C_2^{VI}$  ümumi formulu ilə ifadə olunur. Onlardan biri də CuAlS<sub>2</sub> -dir [1]. Simmetriya mərkəzi olmayan kristallar qrupuna aiddir. Elektrik hərəkət qüvvəsinin işarəsinə görə, tərəfimizdən  $p$ -tip keçiriciliyə malik olduğu müəyyən edilmişdir. Kristallarda güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur. Qeyri xətti optika üçün əsas materiallardır [6]. Birləşmələrin üstün cəhətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və

aktiv rekombinasiya mərkəzləridir [7]. Alınma texnologiyası haqqında ədəbiyyatda tərəfimizdən geniş məlumat verilmişdir [1]. Rentgen analizinin nəticələri (şəkil 1), Raman spektrinin (şəkil 2) təhlili, alınan maddənin yarımkəçirici olduğunu sübut edir. Lüminessensiya spektrindən tapılan (şəkil 3) bağlı zonaya məxsus enerjinin qiyməti ədəbiyyatda verilən qiymətlərlə uyğunluq təşkil edir ( $E_g=1,84\text{eV}$ ). Yeni alınan kristalın qəfəs parametrləri aşağıda göstərilirdi kimi:  $a=b=5,32\text{Å}$ ,  $c=10,39\text{Å}$ , Fəza simmetriya qrupu (42m)-dir.



Şəkil 1. CuAlS<sub>2</sub> monokristalında rentgen şüalarının difraksiyası.  $T=300\text{K}$ . Rentgens Difroctrometr buker D8 Advance.



Şəkil 2. CuAlS<sub>2</sub> monokristalı işığın Raman səpilməsi spektri. Ramanovs spectrometre nanofinder 30 (Tokyo Instr., Japan).



Şəkil 3. CuAlS<sub>2</sub> monokristalı, Lümünisensiya(L1),  $E_g=1,84\text{eV}$

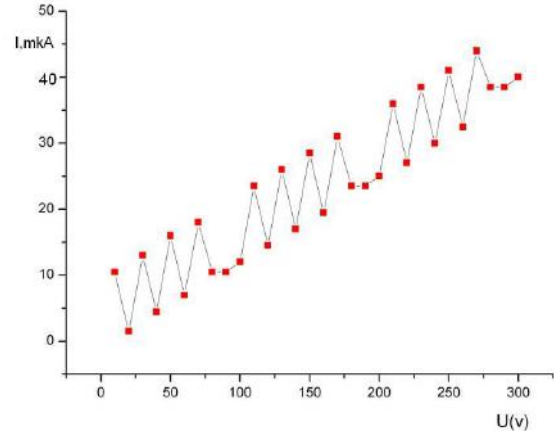
## MÖVZUNUN AKTUALLIĞI.

İkiqat analoqlarından fərqli olaraq tetraqonal formada kristallaşma, birtipli atomlardan, ikitipli fərqli metal atomlarına keçid, sfaleritlərə nisbətən xalkopritlərin simmetriyasının zəifləməsinə səbəb olur. Bu xüsusiyyət, deformasiya hesabına daxili sahənin yaranmasına, simmetriya mərkəzi olmayan quruluşun formalaşmasına kömək edir, səthdə yeni quruluşlar yaranır. Monoxromatik işığın təsirindən sonra anizotropiyanın müşahidə olunması bir çox yeni mühüm parametrləri aşkara çıxarmağa imkan verir ki, bu da tətbiq üçün çox əhəmiyyətlidir.

## MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU.

CuAlS<sub>2</sub> monokristalının elektrik (şəkil 4), optik (şəkil 2, 3, 7, 10) xassələrinin ölçülməsi onların səthində və daxilində baş verən elektron quruluşu haqqında yeni məlumatların əldə edilməsindən, çoxtutumlu yaddaş elementlərinin, sensorların hazırlanmasın-

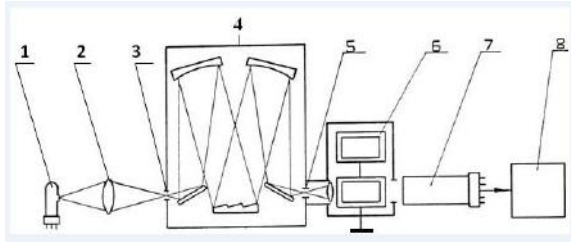
dan, detektorların təkmilləşdirilməsindən və yuxarıda deyilənləri həyata keçirmək üçün lazım olan fiziki xassələrin araşdırılmasından ibarətdir.



Şəkil 4. CuAlS<sub>2</sub> monokristalı, Volt-Amper xarakteristi kəsi.

### **TƏCRÜBƏNİN APARILMASI.**

Elektrik və optik ölçülər aparmaq üçün alınan kristallar xüsusi olaraq hazırlanmışdır. Sonra isə buraxma spektrini ölçmək üçün qaranlıq qutuda yerləşdirilmişdir. Yeni yaradılan optik kompleks aşağıdakı cihazlardan təşkil olunmuşdur. MDR-23, üç güzgü qəfəsdən ibarət olmaqla, böyük bir dalğa uzunluğu oblastını əhatə edir (200-2000nm). I-güzgü qəfəs (şərti işarəsi-1200), II-güzgü qəfəs (şərti işarəsi 1200), III-güzgü qəfəs (şərti işarəsi 600). Güclü işıq mənbəyindən düşən şüalar linzalar sistemi vasitəsi ilə nümunənin üzərinə yönəldilir. Kristaldan çıxan işıq isə, işıq siqnalları gücləndiricisinə (İSG) düşür (şəkil 5).



Şəkil 5. Buraxma spektrini ölçmək üçün təqdim olunan qurğunun optik sxemi. 1- lampa, 2- linzalar dəsti, 3-monoxromatorun girişi, 4- monoxromator, 5- monoxromatorun çıxışı, 6- nümunənin yerləşdiyi qutu, 7 -İSG (ışıq siqnalları gücləndiricisi), 8- rəqəmli voltmetr

Gücləndiricidən keçərək, detektora yönəlir, ordan isə KSİGHT34465A Digit Multimeter markalı müasir cihaza düşür, biz siqnalı qeyd etmiş oluruq. Buraxma spektrini isə əvvəl hər bir nəzərdə tutulan dalğa üçün nümunəsiz çıxarıyıq, sonra isə həmin dalğalarda, kristal üçün ölçmələri təkrar edirik. Kristal üçün  $U$ -nun voltlarla ölçdüyümüz qiymətini, Gücləndiricinin (İSG-79),  $U_0$  voltlarla ölçdüyümüz qiymətinə bölürük, sonra

isə hər bir dalğa üçün aldığımız nisbət qiymətlərinin, dalğa uzunluğundan asılılığını cədvəl şəklində yazırıq və qrafiki qururuq. Düstur şəklində belə yazılır  $F(\lambda)$ .

### **TƏCRÜBƏDƏN ALINAN NƏTİCƏLƏR:**

I -müasir AGM (atom güc mikroskopunda) kristal səthinin təsvirinin alınması.

II-yeni alınmış kristalların səthinin öyrənilməsi.

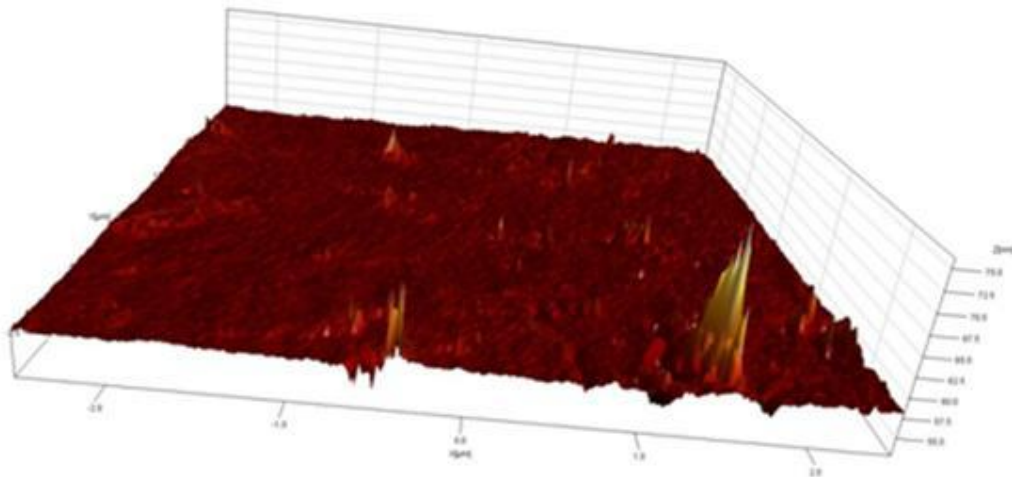
Təcrübi olaraq Volt-Amper, lüminessensiya, rentgen, Raman və buraxma spektrlərində alınan qrafiklər təhlil edilmişdir. Aydın olmuşdur ki, səthdə yaranan nanoquruluşlar yüklü hissəciklərin defektlərdə lokallaşması hesabına meydana gəlir. İstənilən bərk cismə xarici təsir zamanı, quruluşda defektlər meydana gələ bilər. Nöqtəvi defektlərdən başqa, digər defektlər quruluş-faza çevrilmələri hesabına yaranır. Bunları iki üsulla izah edirlər.

I. Nizamlı sistemin tarazlıq halına termodinamik nəzərdən baxılması.

II. Kristalların yetişdirilməsi zamanı atomar baxış mexanizminə və kristal səthindəki quruluşa görə.

### **ALINAN NƏTİCƏLƏRİN İZAHI.**

Bizim təqdim etdiyimiz işdə, kristal səthində yeni quruluşların əmələ gəlməsi, ikinci üsula uyğun gəlir. Yəni, birləşmə 1100°C temperatúra qədər qızdırılmış, 2, 3 saat müddətinə temperatur 0°-yə endirilmişdir. Bu temperatur qradienti hesabına intensiv plastik deformasiyadan nanoquruluş strukturu yaranması ilə nəticələnən faza keçidi əmələ gəlir, çünki sistemin deformasiyaya uğramasını onun hər tərəfdən bərabər sıxılmasına mütənasib götürürlər. Bərabər sıxılma zamanı kristal səthində yükdaşıyıcıların yürlüklüyünün artması qanunauyğun sayılır.

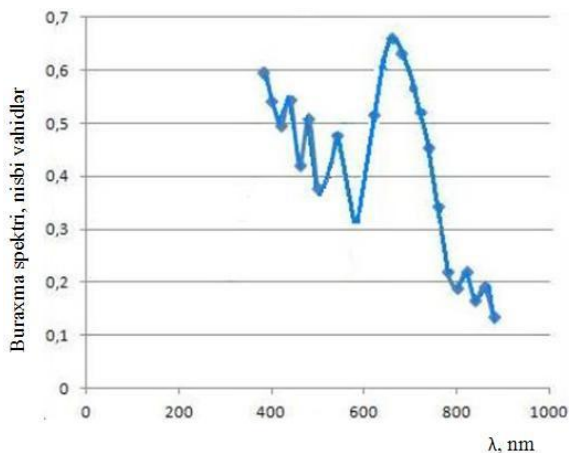


Şəkil 6. CuAlS<sub>2</sub> monokristalı, kristalın amorf səthinin, 3D koordinatında çəkilmiş təsviri. Yeni formalaşan nanoboru.

Kristal soyuyarkən ərinti kristallaşmağa başlayır, bu nanoquruluşun yaranmasının birinci fazasıdır və axıcılığın yox olmasını ifadə edir. İkinci faza isə bərk maddənin əmələ gəlməsidir. Bu zaman kristalın səthi enerjinin ən kiçik qiymətini almağa çalışır. Yaranan

nanoborunun mərkəzindən enerji sürətli borunun divarlarına sıxılır, optik ox istiqamətində qüvvələr nisbəti zəif olduğu üçün, maddə kütləsi ox istiqamətində yuxarıya sıçrayır. Kristalın amorf quruluşa malik olan hissəsində, püskürən vulkan kraterinin qəfil donmasını

xatırladan bir mənşənin şahidi oluruq (şəkil 6). Raman spektrində də eninə və uzununa yayılan optik fononları müşahidə edirik. Kristalın oxu boyunca yuxarıya yönələn dinamik bir püskürməni görürük. Sıxılma səthin məsələli olması hesabınadır. Alınan nanoboruların və nanoiynələrin digərlərindən üstünlüyü ondan ibarətdir ki, Cu, Al metalları hesabına termodinamik sabit və dayanıqlı quruluş əldə olunur.



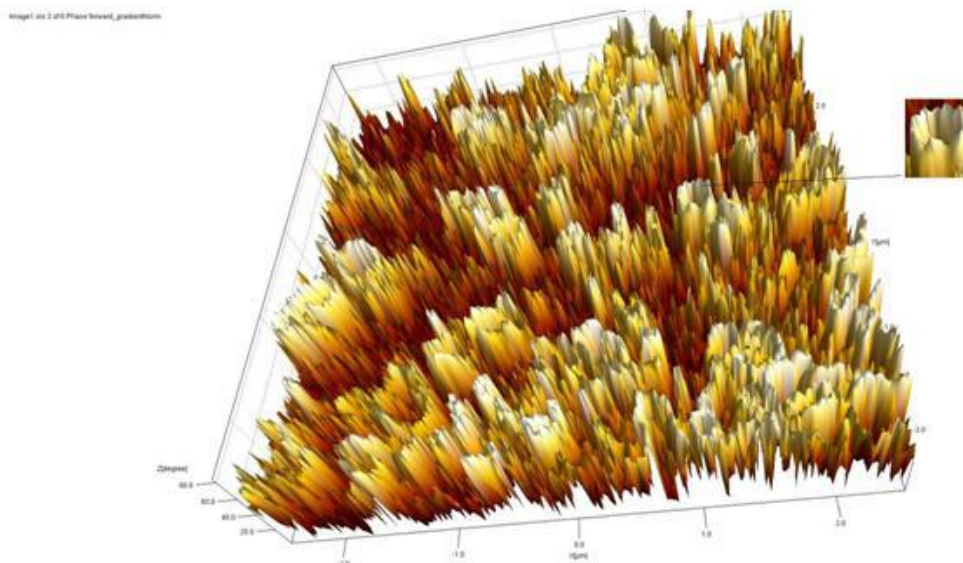
Şəkil 7. CuAlS<sub>2</sub> monokristalının buraxma spektri. İşıqlanma ilə müşahidə olunan zolağın enerjisi  $E_g=1,77eV$ -dur.

Kristal *p*-tip keçiriciliyə malik olduğundan, elektrik yükləri əsasən dəyişlər vasitəsi ilə daşır, Si-də olduğu kimi, defektlərin akseptor olduğu nəzərə alınarsa, kristal səthindəki oksigenlərlə rekombinasiya zamanı onların konsentrasiyası azalmış olur. Yəni, keçiricilikdə iştirak edən donorların konsentrasiyası artır. Ona görə də, şəkildə cərəyanın monoton artımını müşahidə edirik (şəkil 4). Monokristalların lokallaşmış səthindən ayrılan elektronların hesabına diskret spektr müşahidə edirik. Spektrin düşən hissələri (V/A)-da, monokristalın energetik zonasının kənarını göstərir. Elektronun ala biləcəyi maksimal enerji bağlı zonanın enerjisinə bərabərdir. Bu qrafikin artıb-azalmalarla

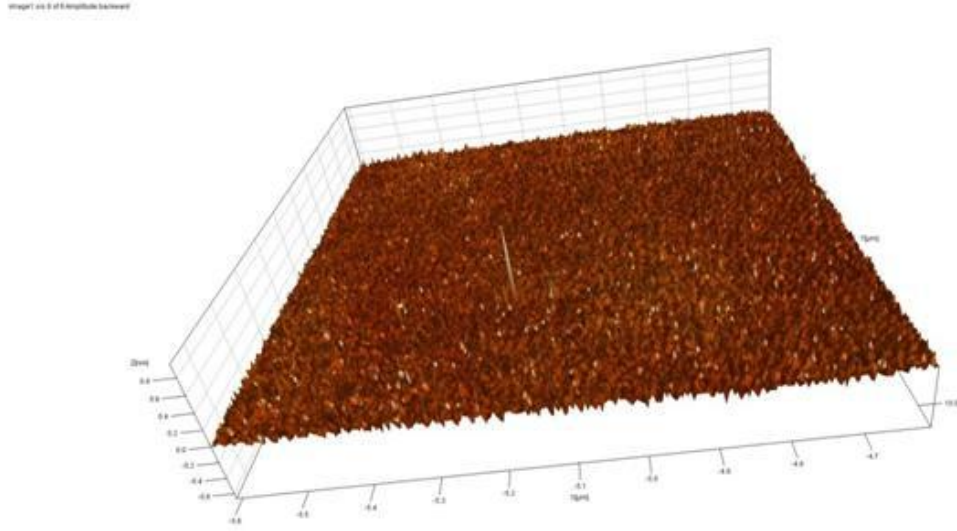
müşahidə olunması isə ionlardan səpilmə hesabınadır. Buraxma spektrində müşahidə etdiyimiz əyri isə kristal səthinin anizotrop hala düşməsindən qaynaqlanır (şəkil 7). Buraxma spektrində alınan əyrinin analizi, onun uzununa və eninə fonon dalğalarının, kombinasiyasından ibarət olduğunu göstərir. Həmçinin, əyrinin bu cür forma alması ikifononlu udulmalar hesabına ola bilər (şəkil 7). Bunu udulma əyrisinin boyunun bir neçə dəfə azalmasında görürük. Sonra rezonans əyri-ləri gəlir. Tarixən kristalların quruluşu nəzərə alınmaqla və tərkibinə donorlar daxil etməklə onların rənglərini dəyişmək mümkün olmuşdur. Bizə elə gəlir ki, müxtəlif rəng çalarlarının əmələ gəlməsi, kristallarda nanoquruluşların əmələ gəlməsinin bir göstəricisidir. Bu, o deməkdir ki, defekt mərkəzləri yaranmışdır. Bunlardan biri, ən mühüm olanı, *F*-mərkəzidir. Metallarda və kristallarda bu mərkəzlərin yaranmasının bir neçə yolu var [22]:

1. Maddəni yüksək temperaturdan kəskin soyutmaqla.
2. Rentgen şüaları ilə şüalandırmaqla.
3. Qamma şüaları ilə şüalandırmaqla.

Araşdırmalar göstərir ki, texnoloji rejim seçmək yolu ilə CuAlS<sub>2</sub> monokristalının səthində fərqli fiziki xassələrə malik quruluşların yetişdirilməsi mümkündür. Nanoquruluşların ölçüləri, maddənin alınması zamanı temperatur qradientinin düzgün seçimindən asılı olacaqdır. Əmələ gələn nanoboru və nanoiynələrin kristalın elektrik və optik xassələrinə təsiri böyükdür. İkiqat analoqlarından fərqli olaraq, üçqat xalkopirit birləşmələrdə iki tip metal atomunun olması quruluş pozuntularına səbəb olan defektlər yaradır. Defektlər hesabına kristalın səthi ikifazlı hala keçir. Optik ox istiqamətində qüvvələr nisbəti zəif olduğundan həmin istiqamətdə nanoquruluşların yaranma ehtimalı daha çoxdur. Səthin nanoquruluşdan ibarət olan bölümü, bir də amorf quruluşlu hissəsi səthin anizotropuğunu yaradır (6-9). Buradan elektron proseslərinin qeyri-simmetrikliliyi meydana çıxır.



Şəkil 8. CuAlS<sub>2</sub> monokristalı, 3D koordinatında monokristalın səthinin çəkilmiş nanoboru və nanoiynələrlə əhatə olunan təsviri.



Şəkil 9. CuAlS<sub>2</sub> monokristalı AGM (atom güc mikroskopunda), Kristalın amorf səthinin 3D koordinatında çəkilmiş təsviri. Yeni formalaşan nanoiynə.



Şəkil 10. CuAlS<sub>2</sub> monokristalı, lüminessensiya (L2),  $E_g=1,77\text{eV}$ .

Termodinamik tarazlığın olmadığı sistemlərdə, simmetriya mərkəzi olmayan kristallarda məsəməli səthlərin meydana gəlməsi labüddür. Bu, özünü nanoboru və nanoiynələrin yaranmasında göstərir (şəkil 8). İstənilən qeyri taraz hal kompensasiyanın incə quruluş mexanizminə təsir edir. Bu isə, öz növbəsində, gərginliyin yaranmasına səbəb olur. Görünür ona görədir ki, xalkopirit tipli kristallarda fotovoltaiq effekt daha çox müşahidə olunur. Adı Bricmen üsulu ilə alınmış kristallarda və tədqiqat apardığımız kristalın amorf hissədəki lüminessensiyasından (L1) tapılan, bağlı zonanın enerjisi  $E_1=1,84\text{ eV}$ -dur (şəkil 3). Kristalın səthinin nanoquruluşu malik hissəsinin lüminessensiya (L2) əyrisindən tapılan, bağlı zonanın qiyməti isə  $E_2=1,77\text{eV}$ -dur (şəkil 10). Sürüşmənin qiyməti  $0,07\text{eV}$ -dur. Alüminiumun digər maddələrdəki ionlaşma enerjisinin qiyməti: Termik ionlaşma üçün  $0,06\text{ eV}$ , optik ionlaşma üçün isə  $0,07\text{eV}$ -dur. Bu, tapdığımız qiymətlə üst-üstə düşür. Deyə bilərik ki, defekt alüminium atomunun ionlaşması hesabına meydana gəlmişdir. Bu, o deməkdir ki, lüminessensiya hadisəsinə səbəb kristal səthində nanoquruluşların əmələ gəlməsidir. Birinci lüminessensiya əyrisindən tapılan qiymət  $E_1=1,84\text{eV}$ .

İkinci lüminessensiya əyrisindən tapılan qiymət  $E_2=1,77\text{ eV}$ , üçüncü lüminessensiya əyrisindən (mətnədə əyri verilməmişdir) tapılan qiymət  $E_3=1,4\text{ eV}$ -dur. Bu da göstərir ki, nanoborular düşən şüanı udur,  $F$ -mərkəzin dağılmasına səbəb olur.  $F'$ - mərkəz yaranır. Kristalın səthinin müxtəlif nöqtələrində, lüminessensiyanın qiymətlərinin müxtəlif olması, nanoquruluşların hesabınadır. Buraxma spektrində alınan zolağın lüminessensiyalarda alınan piklərlə üst-üstə düşməsi bunu bir daha sübut etmiş olur. Bu təcrübəni  $2000\text{ nm}$  dalğa uzunluğuna qədər davam etdirə bilərik. Bu da monokristalın tətbiq oblastının nə qədər geniş olduğunu göstərir.

#### **YEKUN NƏTİCƏ.**

Kristalın səthindəki nanoboruları müxtəlif aktiv maddələrlə (dielektrik mayelərlə) doldurmaqla həssas sensorların, detektorların hazırlanmasında istifadə etmək olar. Bu üsulla hazırlanmış cihaz adi monokristaldan hazırlanmış cihazdan daha çox həssas olacaqdır. Bircins olmayan səthdən, müasir daha güclü lazerlərin hazırlanmasında istifadə etmək olar [13].

- [1] *İ.Qasımoğlu, Q.S. Mehdiyev, Z. Qədiroğlu, Ə.M. Ələsgərov, İ.A. Məmmədova, N.V. Mahmudova.*  $\gamma$ -radiasiyanın CuAlS<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteristikasına təsiri. Fizika 2017, vol. XXIII, N2, Section Az, s.10-14.
- [2] *G.C.Bhar and R.C. Simith.* Phys. Stat. Sol. (a), 13, 157(1972) p.157-167.
- [3] *J.L.Shay and B.Tel and H.M. Kasper,* Ap. Physics Letters, vol. 19, N 9, 1 november 1971, p. 366-368.
- [4] *L.Roa, P.Grima, J.Gonzalez, J.C.Chervin.* J.P.Itie, A.Chevy. cryst. Res. Technol. vol. 31, 1996, p.49-52.
- [5] *J.C. Rife, and R.N. Dexter, P.M.Bridenbaugh, B.W.Veal.* Physical Rev., vol.16, Numer 10, 15 November 1977, p. 4491-4500.
- [6] *Л.И. Бергер, Ф.Э. Балневская.* Неорганические материалы. 1966, том. III, N8, стр. 1514-1515.
- [7] *C.T. Hüseynov, T.Q. Qasimov.* Azərbaycan EA Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 1976, N6, s.105-107.
- [8] *Н.Г. Басов.* Комбинационное рассеяние света и динамика кристаллической решетки. М. 1982, 223 с.
- [9] *С.А. Медведева.* Физика и Химия соединений А<sup>2</sup>В<sup>6</sup>. 1970, 624с.
- [10] *С.И. Радауцан.* Тройные полупроводники А<sup>2</sup>В<sup>4</sup>С<sub>2</sub><sup>5</sup> и А<sup>2</sup>В<sub>2</sub><sup>3</sup>С<sub>4</sub><sup>6</sup>. Кишинев, 1972. 259 с.
- [11] *Н.А. Горюнова, Ю.А. Валова.* Полупроводники А<sup>2</sup>В<sup>4</sup>С<sub>2</sub><sup>5</sup>. М. 1974, 373 с.
- [12] *В.В.Соболев.* Зоны и Экситоны соединений группы А<sup>2</sup>В<sup>6</sup>. Кишинев, 1980, 253 с.
- [13] *Л.А. Голован, В.Ю. Тимошенко, П.К. Кашикарпов.* УФН, 2007, том 177, номер 6, с. 619-638.
- [14] *Yuan deng, Chang-Wei Cui, Ni-La Zhang, Tian-Hao Ji, Qing-lin Yang, Lin Cuo.* Solid State Communications, 2006, 138, p. 111-113.
- [15] *А.И. Димитриев, Ван-дер-Ваалсова.* ЖТФ, 2012, том 82, вып. 8, с. 114-118.
- [16] *В.И. Козловский, В.С. Кривобок, П.И. Кузнецов, С.Н. Николаев, Е.Е.Онищенко, А.А. Пручкина, А.Г. Тимирязев, С.И.Ченцов.* ФТП, 2016, том 50, вып 1, с. 9-17.
- [17] *Н.Н. Новикова, В.А. Яковлев, И.В. Кучеренко.* Писма в ЖЭТФ, том 102, вып. 4, с. 253-256.
- [18] *В.Н. Катеринчук, З.Р. Кудринский.* ФТП, 2013, том 47, вып. 3 с.320-323.
- [19] *J.L. Say, B. Tell, H.M. Kasper, and I.M.Schiavone.* Physical Review B, vol. 5, N 12, 1972, p.5003-5005.
- [20] *В.П. Жузе, В.М. Сергеева и Е.Л. Штурм.* ЖТФ, том XXVIII, 1058, т.10, с. 2094-2108.
- [21] *W.H. Koschel, F. Sorger and J. Vaars.* Optical Phonons in I-III-V<sub>12</sub> Compounds. Journal de Physique. Tome 36, 1975 Septembre, page C3-177 -181.
- [22] *Р.В. Поль.* Оптика и атомная физика, 1966, с.552.

**И. Гасымоглу, Г.С. Мехтиев, И.А. Мамедова, А.Г. Багиров, С.Т. Гусейнов, З. Гадироглу, Г.М. Асгеров, Н.М. Абдуллаев**

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ CuAlS<sub>2</sub>, НА ПОВЕРХНОСТИ КОТОРЫХ СОЗДАНЫ НАНОСТРУКТУРЫ**

Изучены электрические и оптические свойства монокристаллов CuAlS<sub>2</sub>, нанесенных специальным технологическим методом на поверхности нанотрубок ( $h=80$  нм,  $d=0,3$  мкм) и наноигл. Показано что применение данной технологии открывает новые возможности практических применений.

**I. Gasymoglu, G.S. Mekhtiyev, I.A. Mamedova, A.G. Bagirov, S.T. Huseynov, Z. Gadiroglu, G.M. Asgerov, N.M. Abdullaev**

### **THE ELECTRIC AND OPTICAL PROPERTIES OF CuAlS<sub>2</sub> SINGLE CRYSTALS ON THE SURFACE OF WHICH THE NANO-STRUCTURES ARE FORMED**

The electric and optical properties of CuAlS<sub>2</sub> single crystals marked on the surfaces of nano-tubes and nano-needles ( $h=80$  nm,  $d=0,3$   $\mu$ m) by special technological method are investigated. It is shown that the application of given technology provides the new opportunities of practical applications.

*Qəbul olunma tarixi: 06.02.2019*