

## SƏTH QURULUŞ POZULMALARININ $\text{CuInSe}_2$ BİROXLU MONOKRİSTALINDA FOTOVOLTAİK EFEKTƏ TƏSİR MEXANİZMİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, C.T. HÜSEYNOV

*Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu,  
Bakı, AZ-1143, H. Cavid, 131.*

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

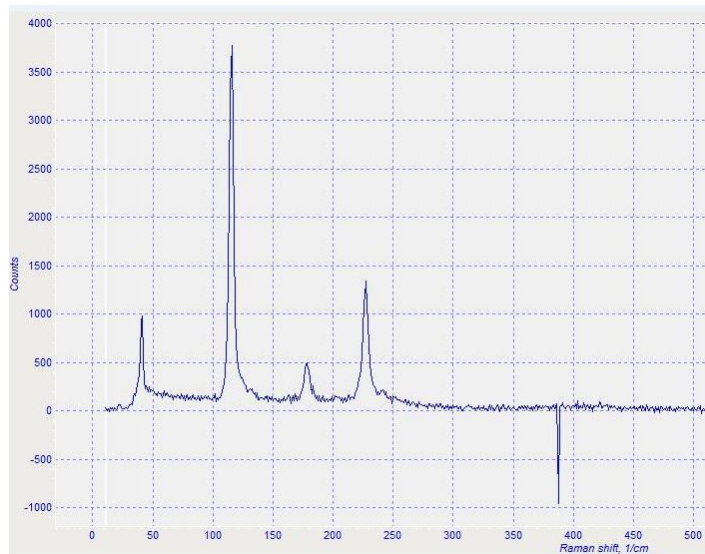
Təcrübə yolu ilə müəyyən olunmuşdur ki,  $\text{CuInSe}_2$  monokristalının spektral xarakteristikasında fotovoltaiik effektin qiymətinin dəyişməsinin anizotrop dalğa paketlərindən ibarət olması laylı periodik strukturlara məxsusdur və səth quruluş pozulmaları hesabına baş verir.

**Açar sözlər:** Monokristal, yarımkəçirici, period, dalğa, rezonans.

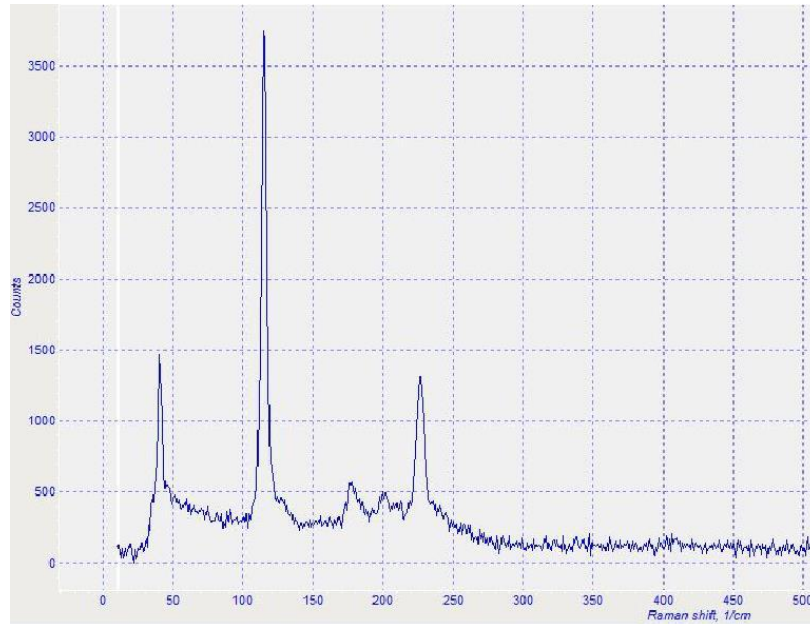
**PACS:** 61.80.Ed

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənər quruluşlu yarımkəçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi  $A^I B^{III} C_2^{VI}$  ümumi formulu ilə ifadə olunur.  $A^I(\text{Cu, Ag})$ ,  $B^{III}(\text{Ga, In, Al})$ ,  $C^{VI}(\text{S, Se, Te})$  kimi maddələri ifadə edir. Tədqiqata cəlb etdiyimiz obyekt  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{CdSe}$  və  $\text{ZnSe}$ -in üçqat analogudur. T. Xan və əməkdaşları tərəfindən rentgen analizi üsulu ilə müəyyən olunmuşdur ki, bu sinif birləşmələrin hamısı xalkopirit strukturunda kristallaşır və əksəriyyəti  $p$ -tip keçiriciliyə malikdir [2].  $\text{CuInSe}_2$  nümunəsi  $n$ -tip keçiriciliyə malikdir. Monokristallarda güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur ki, bu xassə qeyri-xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir [3]. Materialların üstün cəhətlərindən biri də odur ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və aktiv rekombinasiya mərkəzləridir [4]. Birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir və mütləq ekstremumları, Brillüen zonasının  $\Gamma$  nöqtəsində yerləşir.  $A^I B^{III} C_2^{VI}$  şəklində birləşən yarımkəçiricilərin fonon spektrlərinin təhlili göstərir ki, qayıtmanı ifadə edən elektron dalğalarının tezliyi zəif olduğundan, onların akustik fononlardan əks olunduğu qənaətinə gəlmək olar [5].  $\text{CuInSe}_2$  monokristalının sintezi ilk dəfə tərəfimizdən, ikitemperaturlu alışıma

deyilən yeni üsulla 2 saat müddətində aparılmışdır. Sonra isə Bricmen-Stokbarqer texnologiyası ilə, monokristal yetişdirilmişdir. Xam maddələr havası sorulmuş kvarts ampulalara doldurulmuşdur. İstifadə olunan maddələrin təmizlik dərəcələri aşağıdakı kimidir.  $\text{Cu}$ -99,999,  $\text{In}$ -99,9999,  $\text{Se}$ -99,9999. Ərimə temperaturu  $1423^\circ\text{K}$ -dir. Ampulanın qızdırıcı sistemin içərisindəki sürəti  $4\text{mm/saat}$ -dir. Sabitləşmə və soyuma üçün ampula sistem söndürüldükdən 4 saat sonra qızdırıcıdan çıxarılmışdır. Alınan yeni nümunədə, ölçülər aparmanın mümkün olması üçün, aşağıdakı işlər görülmüşdür. Karbid bor tozu ilə səthi hamarlanmışdır.  $\text{HCl}+\text{HNO}_3(1:1)$  məhlulunda 40 saniyə müddətində, kənardan daxil olan aşqarlardan təmizlənmişdir. Sonra isə distillə edilmiş suda yuyulmuşdur.  $323^\circ\text{K}$ -də 1 saat xüsusi qurutma peçində qurudulmuşdur. Nümunənin müqaviməti  $R=4,5\text{om}$ -dur. Ölçüləri  $1 \times 0,5 \times 2\text{mm}^3$ -dir. Rentgen analizi üsulu ilə alınan nəticə göstərdi ki, birləşmə yarımkəçiricidir və fiziki parametrləri, elmi ədəbiyyatda mövcud olan nəticələrlə uyğunluq təşkil edir. Raman səpilmə spektrindən alınan maksimumlar da dediklərimizi təsdiq edir (şəkil 1, 2). Parametrlər aşağıdakı kimidir.  $a=5,33$ ,  $b=5,33$ ,  $c=10,41$ ,  $\alpha=90$ ,  $\beta=90$ ,  $\gamma=90$ . Fəza simmetriya qrupu  $(42m)$ -dir.



Şəkil 1.  $\text{CuInSe}_2$  monokristalında işığın Raman səpilməsi, kiçik zaman intervalında.



Şəkil 2.  $\text{CuInSe}_2$  monokristalı işıq Raman səpilməsi nisbətən böyük zaman intervalında.

## MÖVZUNUN AKTUALLIĞI

Maddə müasir texnologiya tətbiq edilməklə alınmışdır. Praktiki tətbiq üçün yararlı olduğu məlumdur. Əsas tətbiqi materiallardan biri sayılan  $\text{CdSe}$  və  $\text{ZnSe}$ -in üçqat analoqudur. Digər xalkopirit birləşmələrdən fərqli olaraq  $\text{CuInSe}_2$  kristalları texnoloji olaraq həm  $n$ -tip, həm də  $p$ -tip keçiriciliyə malik maddə olaraq alına bilər. Bağlı zonanın enerjisi  $E = 0,93$  eV-dur. Bu qiymət fotoelementlərin bağlı zonasının optimal enerjisinə yaxın olduğundan, material kimi onun əhəmiyyətini bir daha artırır. Bunlara əsaslanaraq deyə bilərik ki,  $\text{CuInSe}_2$  kristalının fundamental şəkildə öyrənilməsinə ehtiyac duyulur. Görüləcək işləri elektronikanın müasir inkişaf səviyyəsinə uyğun həll etməyə çalışırıq.

## MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

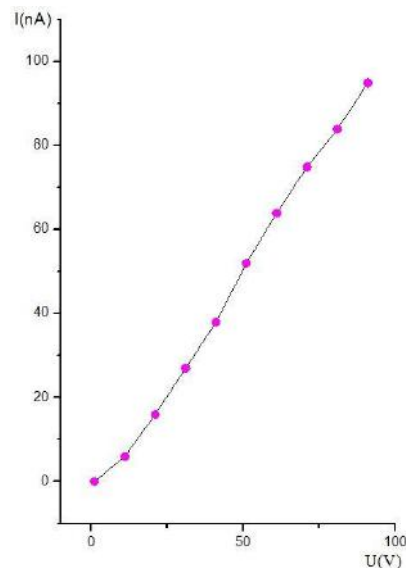
$\text{CuInSe}_2$  monokristalı fotoelementlərin hazırlanması baxımından yararlı materiallardan biri hesab olunur. Tətbiq sahələrini genişləndirmək məqsədi ilə yeni fiziki xassələr əldə etmək üçün birləşmələrə fərqli baxış bucağından yanaşılmışdır. Bunun üçün sabit elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində Volt-Amper xarakteristikaları çıxarılmışdır və elektrik hərəkət qüvvəsinin ölçülməsi ilə fotovoltaiik effektin qiymətinin dəyişməsinin səth quruluş pozulmaları hesabına olduğunu aydınlaşdırmaq qarşıya məqsəd qoyulmuşdur. Laylı periodik quruluşlar üçün tətbiq olunan sərhəd şərtlərinin önəmli olduğu təcrübə yolu ilə sübut olunmuşdur.

## TƏCRÜBƏNİN APARILMASI

Rentgen və Raman spektrləri çəkilmişdir. Sabit elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində Volt-Amper xarakteristikası çıxarılmışdır. Elektrik hərəkət qüvvəsinin qiyməti modulyasiya olunmuş işıq təsirinə sonra ölçülmüşdür. Aparılan təcrübələrdən sonra klassik yarımkeçiricilərin yeni fərqli xassələrinin tədqiqatına ehtiyacın olduğu məlum olmuşdur.

## ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

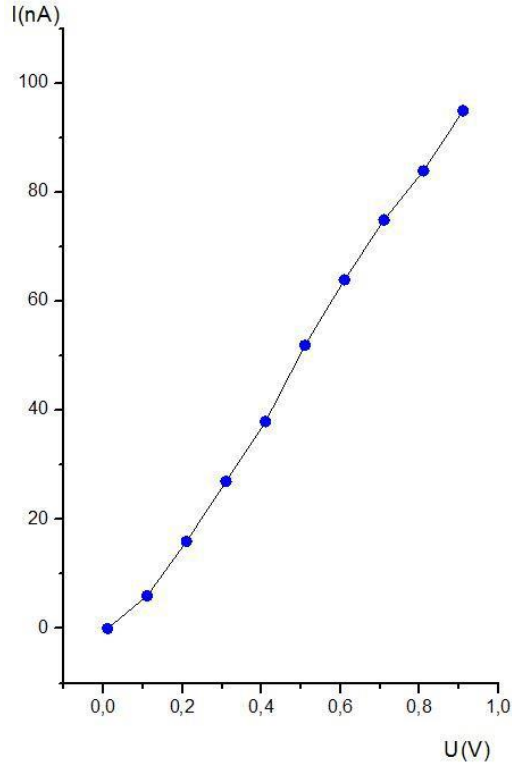
Aparılmış çoxlu sayda təcrübələrə istinadən deyə bilərik ki, üçqat birləşmələrdə baş verən daşınma hadisələrini defektlərsiz təsəvvür etmək mümkün deyil. Bu defektlər texnoloji proseslər zamanı və sonra yarana bilər. Təqdim olunan məqalədə monokristal səthində oksidləşmə hesabına yaranan laylı periodik quruluşlara düşən şüalar stasionar olmayan hallarda özlərini müstəvi monoxromatik dalğalar kimi aparmır. Hər bir təbəqə özünəməxsus rəqs paketi ilə ifadə olunur. Harmonik rəqs paketləri elektronun dalğa xüsusiyyətinin göstəricisidir. Bu o deməkdir ki, laylı periodik quruluşlarda elektron dalğaları superpozisiya qanununa tabe olmur. Əksinə harmoniyalardan ibarət rəqs paketləri tam halda elektronun eksponensial artan funksiyasını ifadə etmiş olur. Volt-Amper xarakteristikasını çıxaran zaman elektron spektrlərində dispersiya qanununun kvadratik olmadığını görürük (şəkil 3, 4, 5).



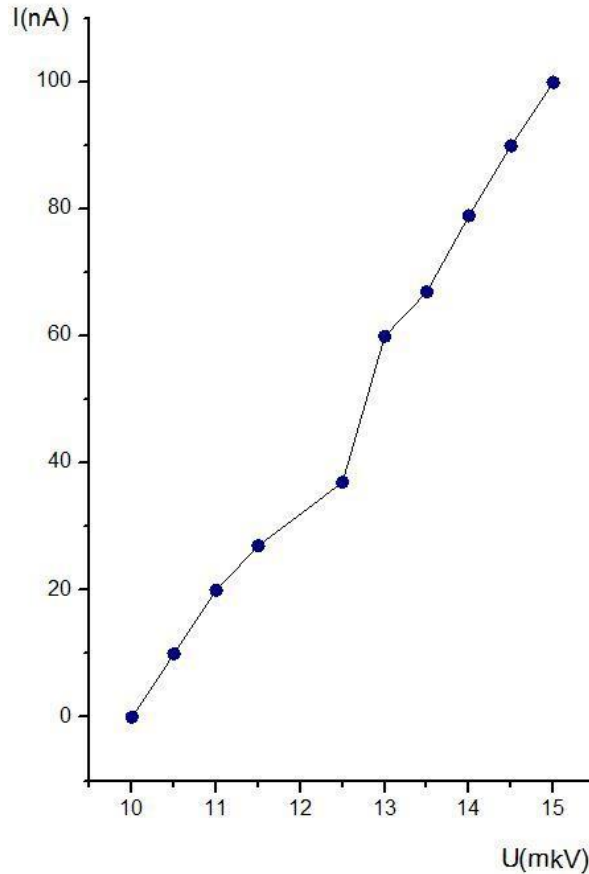
Şəkil 3.  $\text{CuInSe}_2$  monokristalı Volt-Amper xarakteristikası. Sabit elektrik sahəsinin ardıcılığa uyğun azalmasını nəzərə almaqla.

Yəni zərrəciyə bənzər dalğaların enerjisi mini zonaların enerjisinə bərabər, və ya ondan kiçik olduqda, zonaların kənarında güclü udulmalar müşahidə edirik. Bu hal isə yarımkeçiricilərin klassik zona quruluşundan fərqli olaraq, bağlı zonada şəffaf və

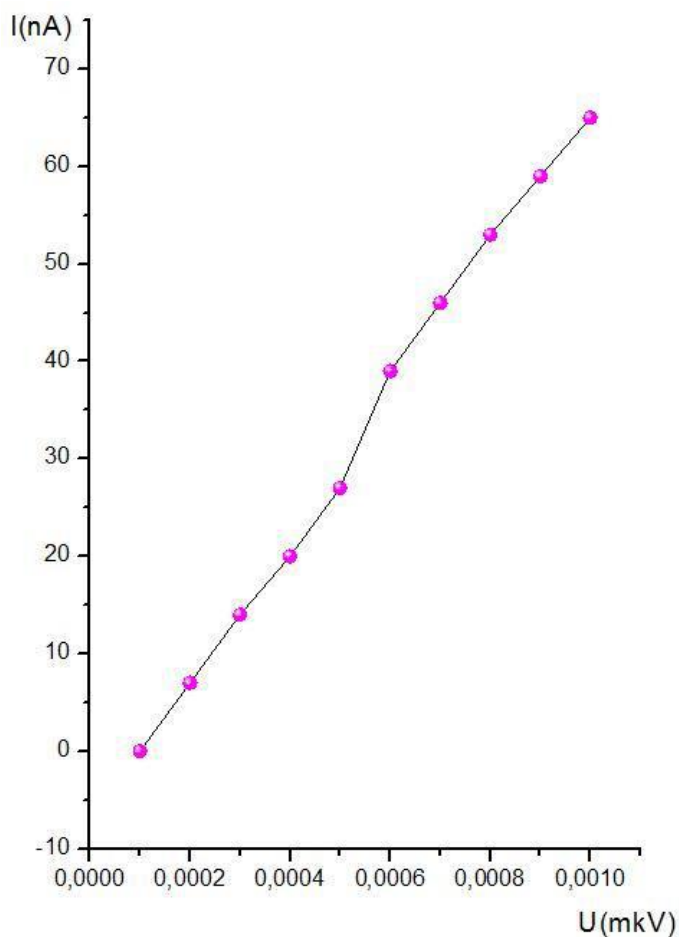
şəffaf olmayan zolaqlarla müşahidə olunur. Laylı periodik quruluşların sərhəd şərtlərindən biri də kristal səthinə düşən dalğaların uzunluğunun, quruluşun periodundan çox kiçik olmasıdır (şəkil 6, 7, 8).



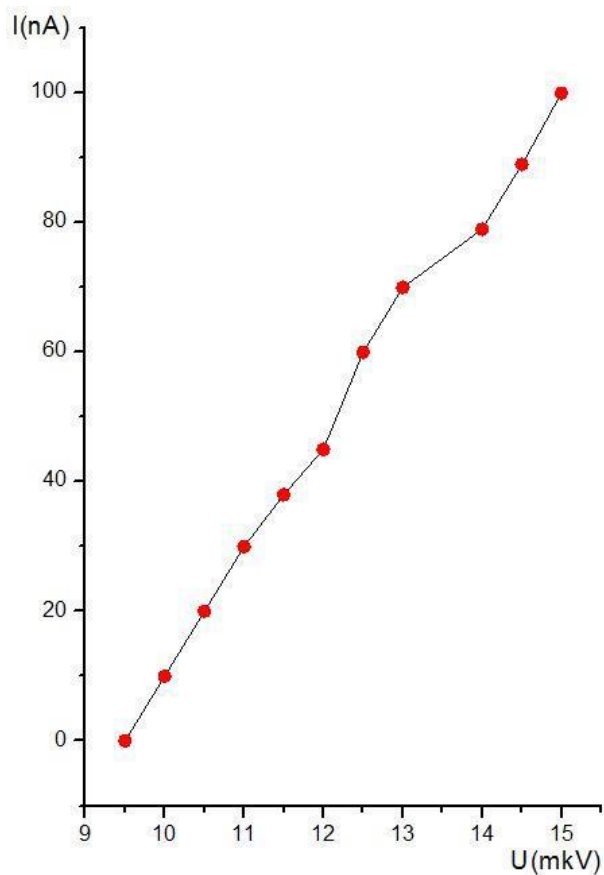
Şəkil 4. CuInSe<sub>2</sub> monokristalı Volt-Amper xarakteristikası. Sabit elektrik sahəsinin ardıcılığa uyğun azalmasını nəzərə almaqla.



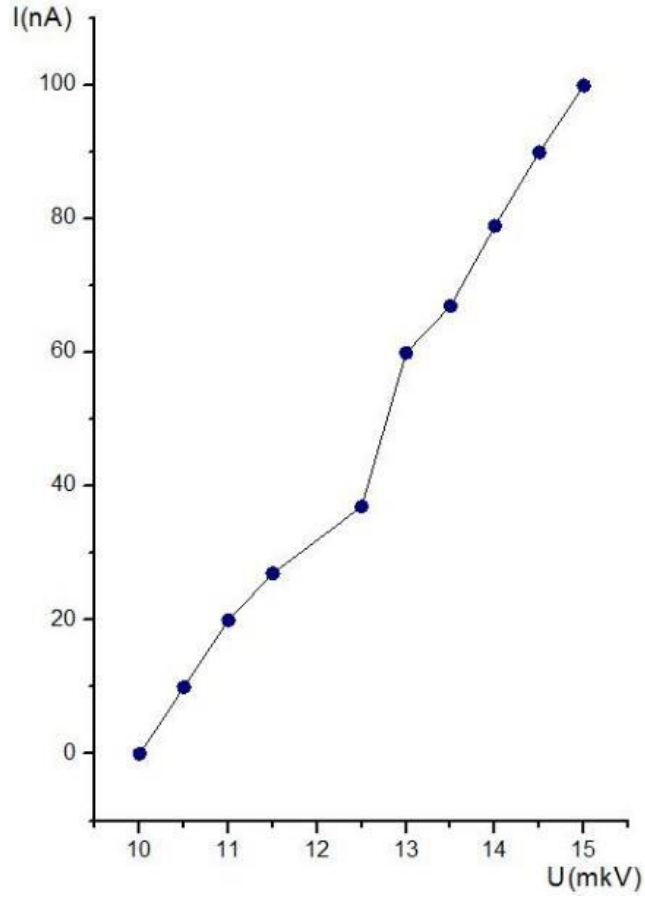
Şəkil 5. CuInSe<sub>2</sub> monokristalı Volt-Amper xarakteristikası. Sabit elektrik sahəsinin ardıcılığa uyğun azalmasını nəzərə almaqla.



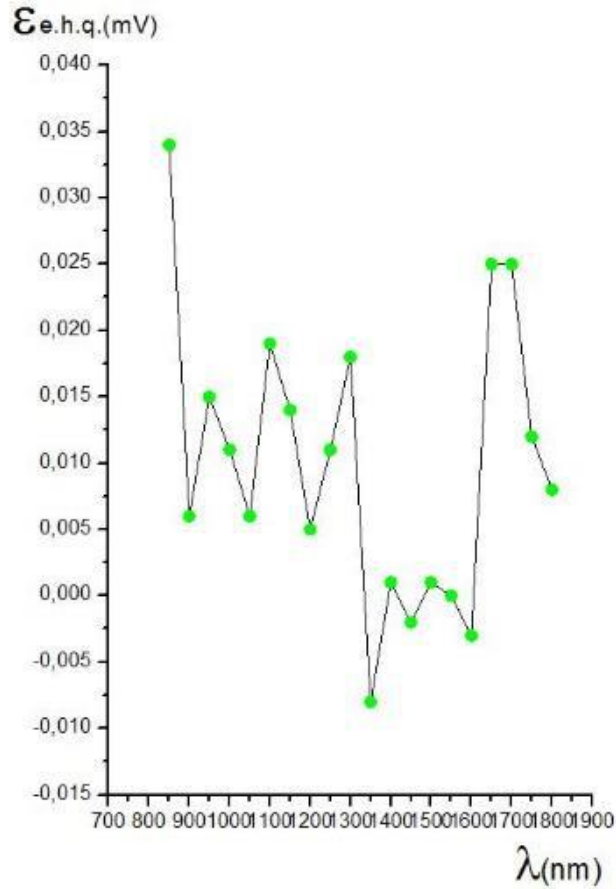
Şəkil 6.  $\text{CuInSe}_2$  monokristalının Volt-Amper xarakteristikasının kvadratik olmayan qrafikləri, mikrovolt gərginliklərdə.



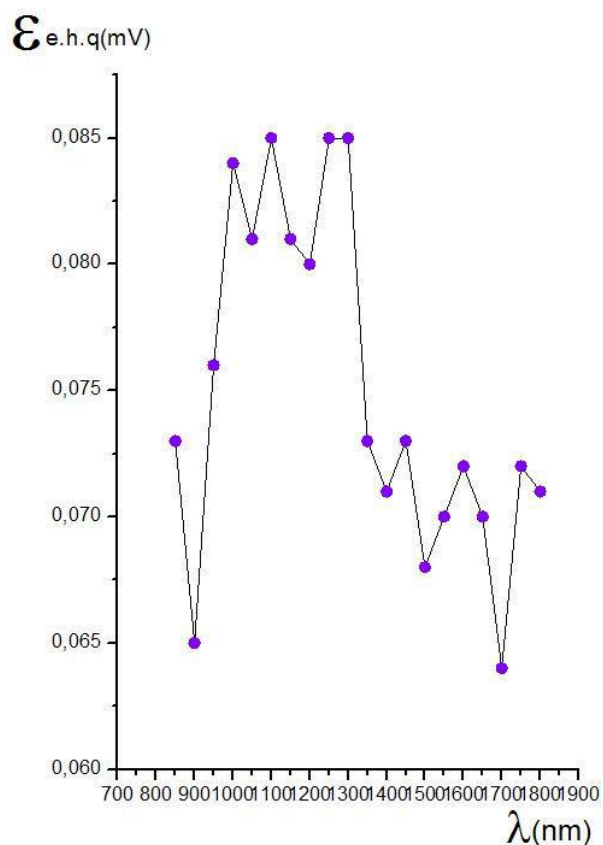
Şəkil 7.  $\text{CuInSe}_2$  monokristalının Volt-Amper xarakteristikasının kvadratik olmayan qrafikləri, mikrovolt gərginliklərdə.



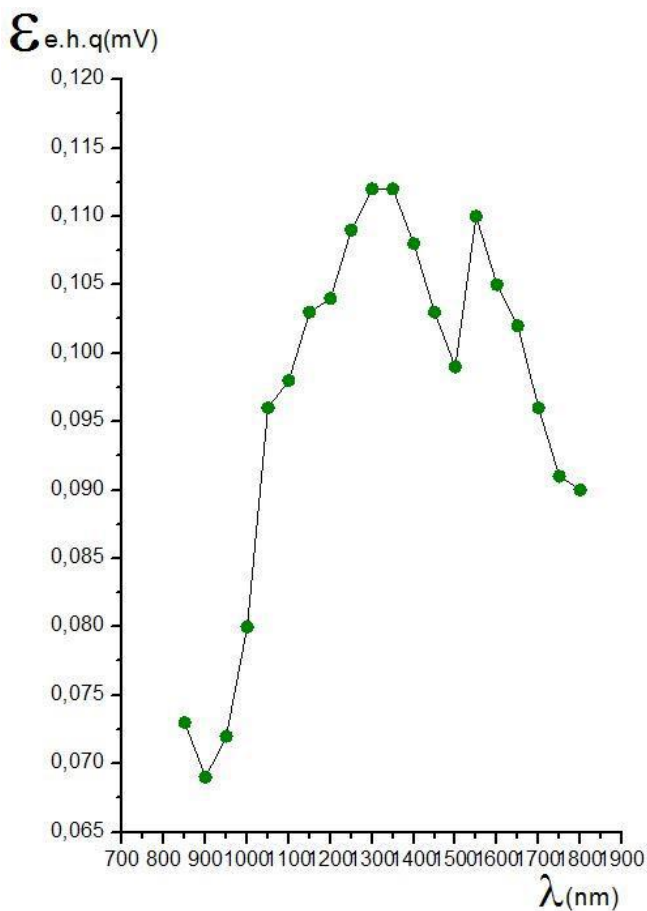
Şəkil 8. CuInSe<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteris tikasının kvadratik olmayan qrafikləri, mikrovolt gərginliklərdə.



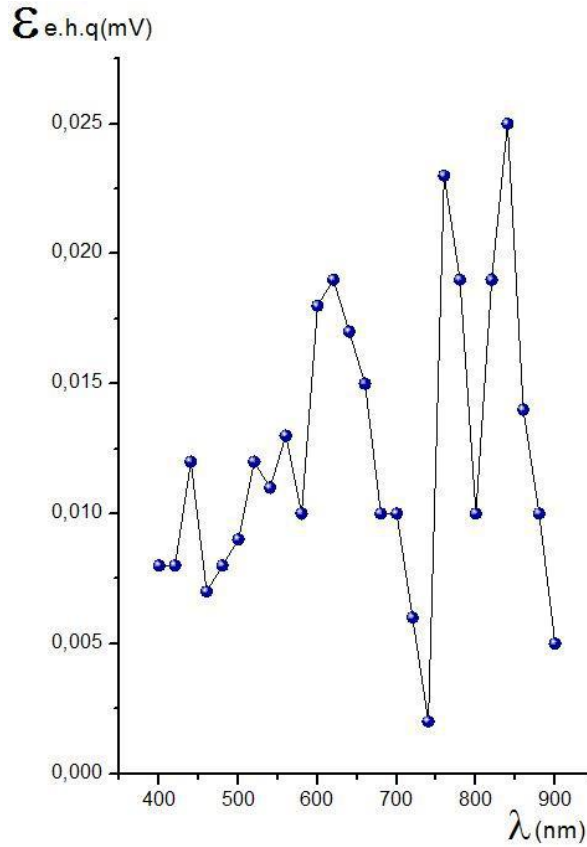
Şəkil 9. CuInSe<sub>2</sub> monokristalı: Fotovoltaik effektin qiymətinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrlər.



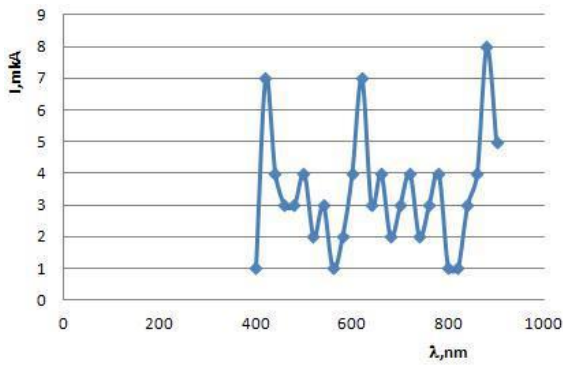
Şəkil 10.  $\text{CuInSe}_2$  monokristalı. Fotovoltaik effektin qiymətinin modulyasiya olunmuş işıqın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrlər.



Şəkil 11.  $\text{CuInSe}_2$  monokristalı: Fotovoltaik effektin qiymətinin modulyasiya olunmuş işıqın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrlər.



Şəkil 12. CuInSe<sub>2</sub> monokristalı. İşığın görünən və infraqırmızı oblastında kiçik enerjiyə malik dalğalar oblastında kəskin zolaqları ifadə edən qrafik.



Şəkil 13. CuInSe<sub>2</sub> monokristalı: multimetrimin adi rejimində modulyasiya olunmuş işıqda çəkilmiş qayıtma spektri.

Volt–Amper xarakteristikasını nəzərdən keçirərək defektlərin təsiri aydın görünür. Spekrin pilləli xarakterə malik olması defektlərin texnoloji proses zamanı və oksid təbəqənin üzərində formalaşan nanoquruluşlar hesabına meydana gələ bilər (şəkil 9, 10, 11). Bu isə o deməkdir ki, laylı periodik strukturlarda, layların konsentrasiyasının artması, dalğa paketlərinin intensivliyinin dəyişməsi ilə nəticələnir. Bu isə səth dalğalarının idarə olunması anlamına gəlidiyi üçün, yarımkeçiricilərin tətbiqinə geniş imkanlar açmışdır. Öldə olu-

nan nəticələri elektronun kvant sahəsindəki hərəkətinə tətbiq edə bilirik [6]. Modulyasiya olunmuş işığın təsirindən sonra, alınan qayıtma spektrindən görünür ki, massiv maddə CuInSe<sub>2</sub> monokristalında dalğa paketləri intensivlik baxımından fərqlənirlər. Bu ona görədir ki, onların oksid atomları ilə qarşılıqlı təsirinin adsorbsiya enerjisi müxtəlifdir (şəkil 12, 13). Yəni, parametrik ölçülərin dəyişməsi ilə dalğa paketlərinin idarə olunması kimi mühüm bir nəticə əldə etmiş oluruq. Alınan nəticələrin mikroaləmə tətbiqi yeni fiziki xassələrin ölçülməsini təmin etmiş olur. Bu isə müasir elektronikanın tələblərinə cavab verə bilən tədqiqat işlərinin aparılmasına şərait yaradır.

## YEKUN NƏTİCƏ

İkiqat analoqlarından fərqli olaraq üçqat biroxlı birləşmələrdə ikiqat sınımanın olması və ion əlaqələrinin güclü olması hesabına tetraqonal deformasiyadan anizotropluğu meydana gəlməsi, yeni fərqli fiziki parametrlərin ölçülə bilməsini təmin edir və bu tip yarımkeçiricilərin tətbiq imkanlarını genişləndirmiş olur. Bircinsli mühitlərdən fərqli olaraq, anizotrop mühitlərdə əldə olunan nəticələr onların tətbiqi üçün geniş imkanlar açmış olur.

[1] D.Wole, R.Lerner, G.Müller. Study of the nukleation of CuInS<sub>2</sub> on III-V substrates by liquld phase epitakxy. Crystal Research and Texnologu. 1996, vol. 31, p. 317-320.

[2] İ.Qasimoğlu. Azerbaijan journal of Physics, 2014, vol. XX, N3, sektion: Az november3, p. 25-27.



- [3] *Л.И.Бергер, Ф.Э.Балыневская.* Неорганические материалы том. III, 1966. N8, стр. 1514-1515.
- [4] *С.Н.Мустафаева, М.М. Асадов, Д.Т. Гусейнов, И.Гасымоглу.* ФТТ, 2015, т. 57, в. 6, ст. 1079-1083.
- [5] *N.A. Abdullayev, İ. Qasimoğlu, İ.A. Mamedova.* Physic Status Sol C, 2015, N,6, 789-792.
- [6] *Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов.* Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. М.286 ст.

**I. Gasimoglu, G.S. Mehdiyev, D.T. Huseynov**

**MECHANISM OF ACTION OF SURFACE STRUCTURAL DEFECTS, PHOTOVOLTAIC EFFECT, UNIAXIAL CuInSe<sub>2</sub> SINGLE CRYSTALS**

The spectral characteristics of CuInSe<sub>2</sub> single crystals and the change in the value of the photovoltaic effect for anisotropic harmonic waves are experimentally determined. This means the presence of a layered-periodic structure of surface structural defects.

**И. Гасымоглу, Г.С. Мехтиев, Д.Т. Гусейнов**

**МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ, ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА, ОДНООСНЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ CuInSe<sub>2</sub>**

Экспериментальным путем определены спектральные характеристики монокристаллов CuInSe<sub>2</sub>, изменение значения фотовольтаического эффекта при анизотропных гармонических волнах. Это обозначает наличие слоисто-периодической структуры поверхностных структурных дефектов.

*Qəbul olunma tarixi: 22.04.2023*