

## CuGaSe<sub>2</sub> MONOKRİSTALININ SƏTHİNDƏ FOTOVOLTAİK EFFEKTİN QIYMƏT VƏ İSTİQAMƏTİNİN DONOR-AKSEPTOR MƏRKƏZLƏRİ HESABINA DƏYİŞMƏSİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, H.M. ƏSGƏROV. İ.Q. NƏSİBOV,  
C.T. HÜSEYNOV

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

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

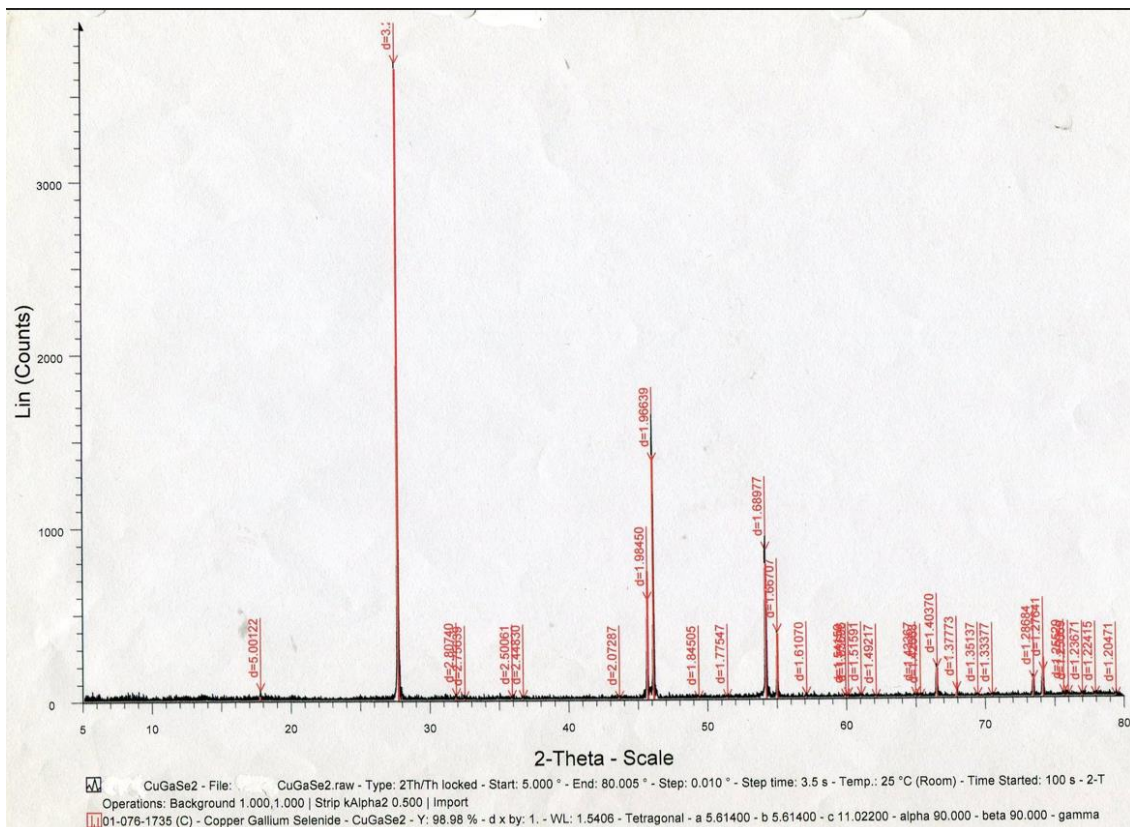
CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının səthində fotovoltaiik effektin qiymət və istiqamətinin dəyişməsinin donor-akseptor mərkəzləri hesabına olması təcrübi yolla müəyyən olunmuşdur. Keçiriciliyin donor-akseptor ionlarının iştirakı ilə elektron və dəşiklərin rekombinasiyası hesabına yarandığı bildirilir. Bu nəticədən istifadə edərək, aşqar mərkəzlərin konsentrasiyasını dəyişməklə keçiriciliyi idarə etmək olar. Alınan yeni nəticə nəzəri və təbiiq baxımdan xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

**Açar sözlər:** Monokristal, yarımkeçirici, fotovoltaiik effekt, donor, akseptor.

**PACS:** 61.80.Ed

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə maraq artmışdır. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi A<sup>I</sup>B<sup>III</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> ümumi formulu ilə ifadə olunur. Bu tərkib A<sup>I</sup>(Cu,Ag), B<sup>III</sup>(Ga,In,Al), C<sup>VI</sup>(S,Se,Te) kimi maddələri təmsil edir. Tədqiqata cəlb etdiyimiz obyekt CuGaSe<sub>2</sub>, ZnSe-in üçqat analoqudur [1]. T.Xan və əməkdaşları tərəfindən

rentgen analizi üsulu ilə müəyyən edilmişdir ki, bu sinif birləşmələrin hamısı xalkopirit strukturunda kristallaşır və əksəriyyəti *p*-tip keçiriciliyə malikdir [2]. CuGaSe<sub>2</sub> nümunəsi *p*-tip keçiriciliyə malikdir. Monokristallarda güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur ki, bu xassə qeyri-xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir [3].



Şəkil 1. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalında Rentgen şüalarının difraksiyası T=300K.

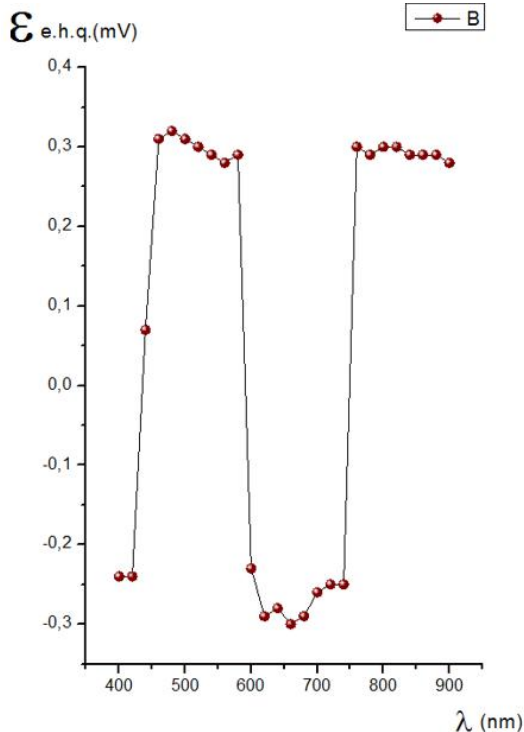
Materialların üstün cəhətlərindən biri də odur ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və aktiv rekombinasiya mərkəzləridir [4]. Birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir və mütləq ekstremumları Brillüen zonasının  $\Gamma$

nöqtəsində yerləşir. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının ikitemperaturlu alışıma üsulu ilə sintezi ilk dəfə tərəfimizdən aparılmışdır. Sonra isə Bricmen-Stokberqer texnologiyası ilə monokristal yetişdirilmişdir. Xam maddələr havası sorulmuş kvarts ampulalara doldurulmuşdur. İ-

tifadə olunan maddələrin təmizlik dərəcələri aşağıdakı kimidir. Cu-99,999, Ga-99,9999, Se-99,9999. Ərimə temperaturu 1423°K-dir. Ampulanın qızdırıcı sistemin içərisindəki sürəti 4mm/saat-dır. Stasionarlıq 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. HCl+HNO<sub>3</sub>(1:1) məhlulunda 40 saniyə müddətində, kənardan daxil olan aşqarlardan təmizlənmişdir. Sonra isə distillə edilmiş suda yuyulmuşdur. 323°K-də 1 saat xüsusi qurutma peçində qurudulmuşdur. Nümunənin müqaviməti 24 saat temperatur işlənməsindən sonra  $R=Mo\Omega$  olmuşdur (300K). Ölçüləri 1x0,5x2mm<sup>3</sup>-dir. Müasir rentgen analizi üsulu ilə alınan nəticə göstərdi ki, birləşmə yarımkeçiricidir və fiziki parametrləri, elmi ədəbiyyatda mövcud olan nəticələrlə uyğunluq təşkil edir (şəkil 1). Parametrlər aşağıdakı kimidir.  $a=5,61400$ ,  $b=5,61400$ ,  $c=11,02200$ ,  $\alpha=90$ ,  $\beta=90$ ,  $\gamma=90$ . Fəza simmetriya qrupu (42m)-dir.

### MÖVZUNUN AKTUALLIĞI

Maddə müasir texnologiya tətbiq edilməklə alınmışdır. Praktiki tətbiqinə həsr olunan işlər, elmi ədəbiyyatda mövcuddur. Müasir texnologiya tətbiq etməklə alınan maddələrdə yeni xassələrin əldə olunması üçün, elektrik hərəkət qüvvəsi ölçülmüşdür. Ortaya çıxan yeni nəticələr kristalların aktuallığını artırmışdır. Monokristalın tipi tərəfimizdən elektrik hərəkət qüvvəsinin işarəsinə görə müəyyən olunmuşdur və  $p$ -tipdir.

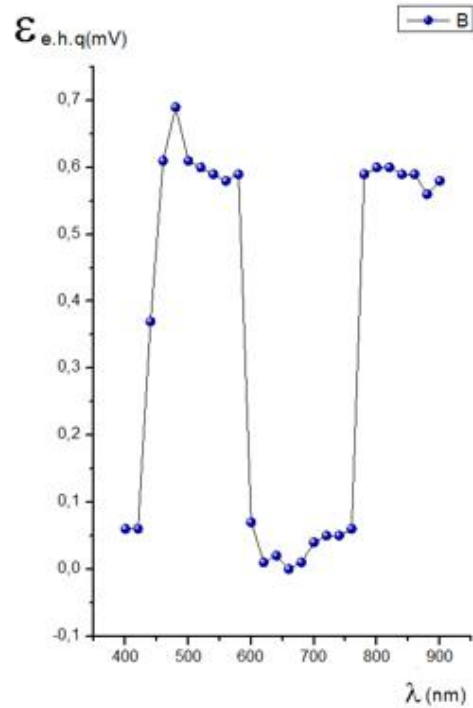


Şəkil 2. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektr. Elektrik hərəkət qüvvəsinin işarəsinin, nəzərə alınaraq Multimeterin (Digit multimeter 34465 1/2 Amerika istehsalı ) həssas rejimində çəkildiyi şəkil.

Bağlı zonanın enerjisi (300K,  $E=1,65$  eV-dur (şəkil 2)). Bu qiymət fotoelementlərin bağlı zonasının optimal enerjisinə yaxın olduğundan material kimi onun əhəmiyyətini bir daha artırır. Bunlara əsaslanaraq deyə bilərik ki, CuGaSe<sub>2</sub> kristalının fundamental şəkildə öyrənilməsinə ehtiyac duyulur. Görüləcək işləri elektronikanın müasir inkişaf səviyyəsinə uyğun həll etməyə çalışırıq.

### MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

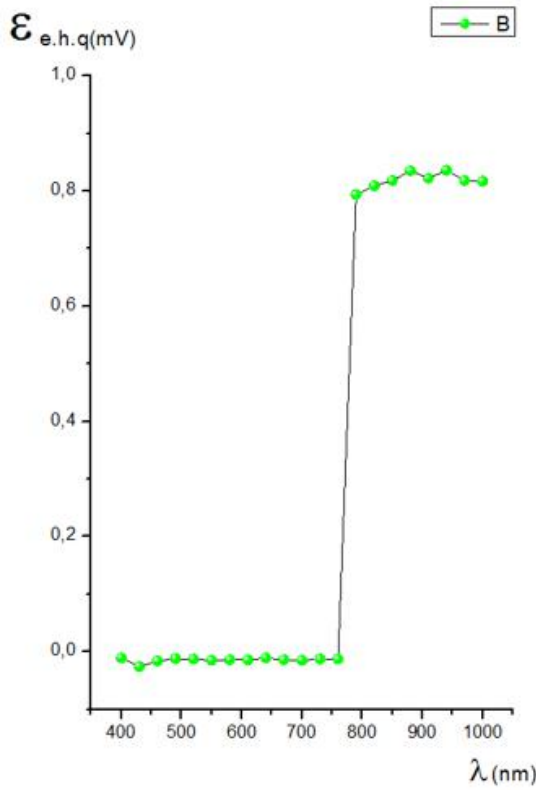
CuGaSe<sub>2</sub> monokristalı fotoelementlərin, diodların, detektorların hazırlanması baxımından yararlı materiallardan biri hesab olunur. Tətbiq sahələrini genişləndirmək məqsədi ilə yeni fiziki xassələr əldə etmək üçün birləşmələrə fərqli baxış bucağından yanaşılmışdır. Kristallarda aşqarların çoxluğuna görə, fotokeçiriciliyi ölçməklə istənilən nəticələri əldə etmək olmur. Ona görə, məsələnin mahiyyətini dəyişmədən, ölçü metodikasını dəyişməklə, yeni nəticələrə nail olmağı qarşımıza məqsəd qoyduq. Bunun üçün elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən ölçmələri apardıq (şəkil 3).



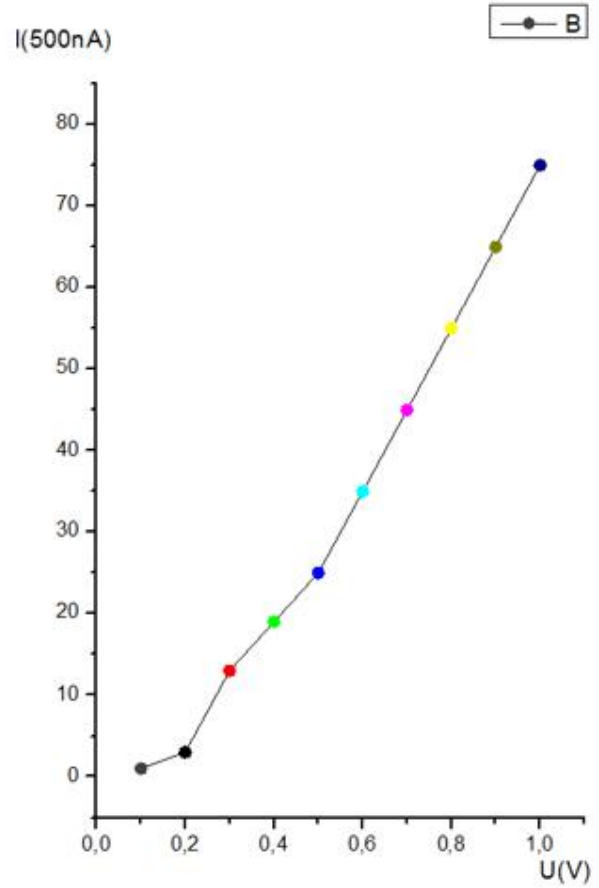
Şəkil 3. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektr. Multimeterin (Digit multimeter 34465 1/2, Amerika istehsalı) həssas rejimində, anomal fotovoltaiq effektin qiymətinin nəzərə alınmadan çəkildiyi spektr.

### TƏCRÜBƏNİN APARILMASI

Nümunənin rentgenoqraması ölçülmüşdür. Volt-Amper xarakteristikası ölçülmüşdür. Elektrik hərəkət qüvvəsinin, modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığı ölçülmüşdür. Fotovoltaiq effektin qiymət və istiqamətinin kəskin dəyişməsinin donor-akseptor ionları hesabına olduğu məlum olmuşdur (şəkil 4).

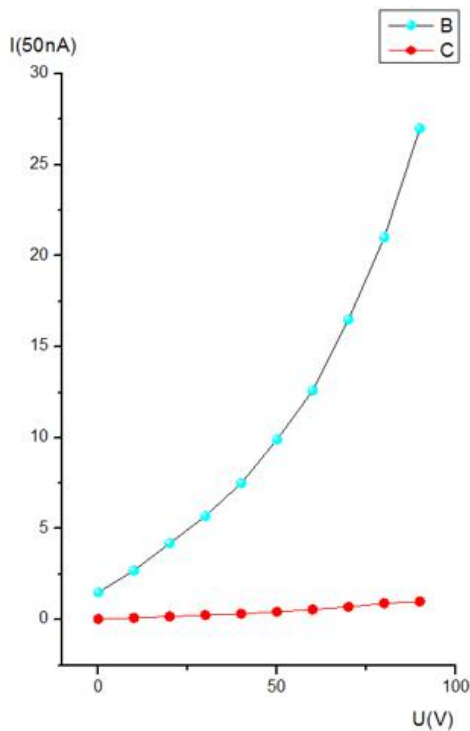


Şəkil 4. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işıqın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektr. Multimeterin (Digit multimeter 34465 1/2, Amerika istehsalı) adi rejimində çəkilmiş spektr.

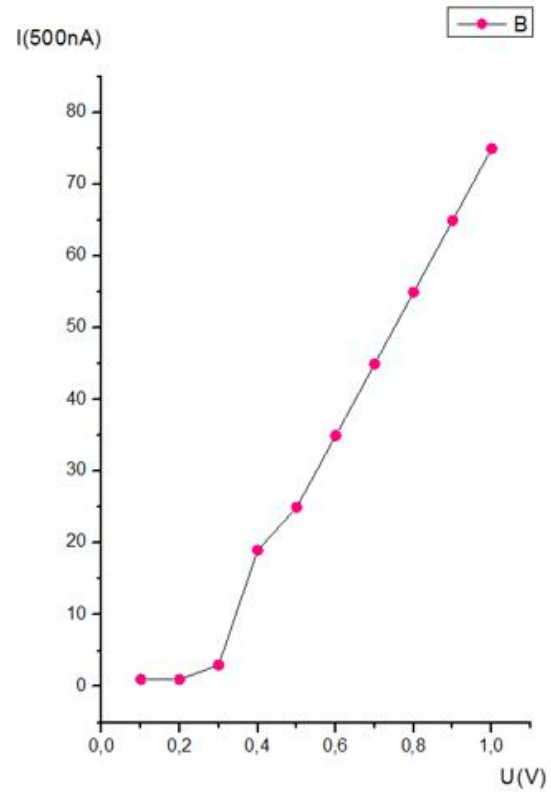


Şəkil 6. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kiçik gərginliklərdə (interval, 0-100V).

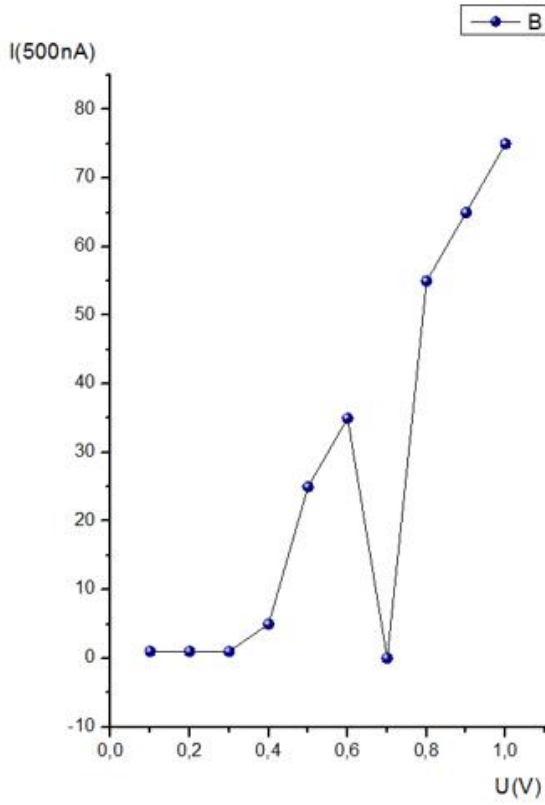
#### ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ



Şəkil 5. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Böyük gərginliklərdə (interval, 0-100V)



Şəkil 7. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kiçik gərginliklərdə (interval, 0-1V) 12-saat (350K-də) tavlamadan sonra.

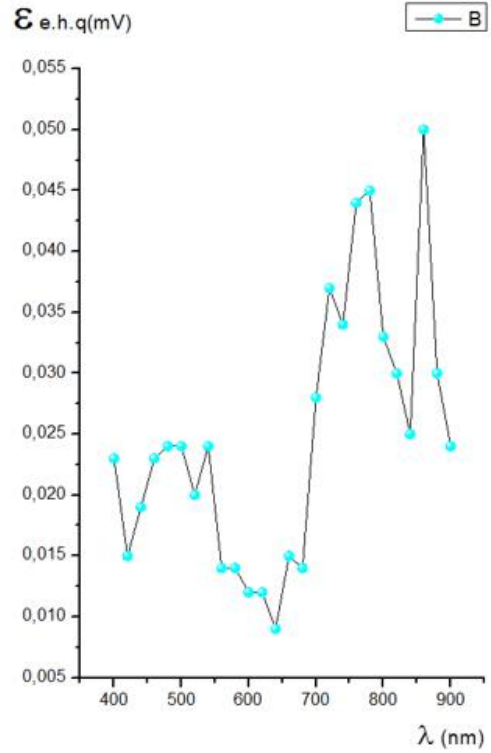


Şəkil 8. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kəçik gərginliklərdə (interval, 0-1V). Tunel diodu spektri.

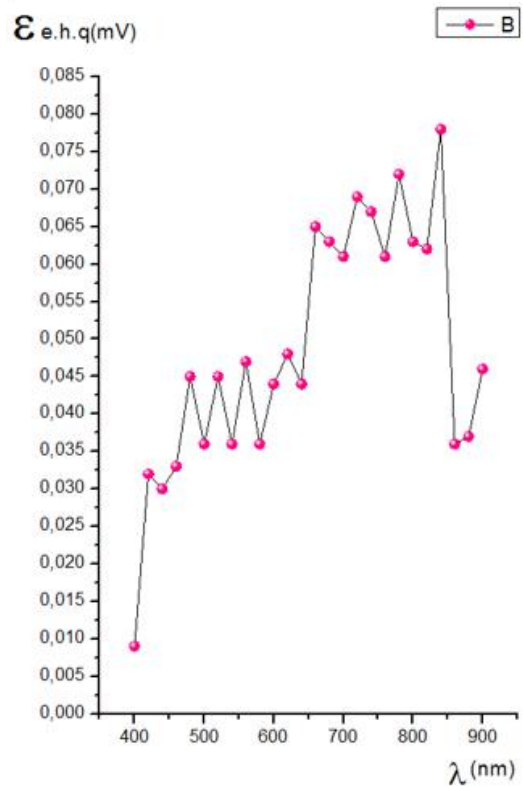
CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının tətbiq imkanları genişdir. Faydalı iş əmsalı yüksək olan fotoelementlərin hazırlanmasında yararlıdır. Ona görə də, yeni xassələrin ölçülməsinin zəruri olduğu meydana çıxdı. Maddələr Bricmen stolberqer üsulu ilə alınmışdır. Sintez zamanı maddə yüksək temperatura qədər qızdırıldıqdan sonra ani soyudulmuşdur. Bu zaman çoxlu sayda quruluş defektləri meydana gəlir ki, onların keçiricilikdəki rolu böyükdür. Bu defektlərin yerini və qiymətini tapmaq üçün Volt-Amper xarakteristikası ölçüləri apardıq (Şəkil 5, 6, 7, 8). Sonra isə elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığının qrafiki tərəfimizdən çəkildi. Elektrik hərəkət qüvvəsinin spektri mürəkkəb quruluşa malikdir. Fotovoltaik effektin işarəsinin dəyişməsinə müşahidə edirik. Donor-akseptor ionlarının hesabına elektron və deşiklərin ya bir-birini konsentrasiya baxımından üstələdiyini, ya da rekombinasiya etdiyinin şahidi oluruq. Görünən və infraqırmızı oblastı ifadə edən intervalda üç ədəd enerji zolağı alınmışdır ki, biri xüsusi keçiriciliyi ifadə edən  $E_1=1,65\text{eV}$  digər ikisi isə yenidir.  $E_2=2,1\text{eV}$  (SeGa),  $E_3=2,8\text{eV}$  (SeCu).

## YEKUN NƏTİCƏ

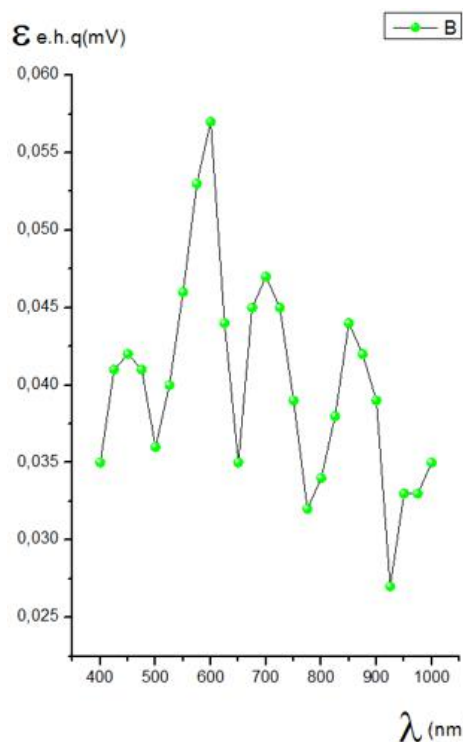
İkiqat analoqlarından fərqli olaraq üçqat biroxlular birləşmələrdə ikiqat sınımanın olması və ion əlaqələrinin güclü olması hesabına tetraqonal deformasiyadan anizotropluğu meydana gəlməsi, yeni fərqli fiziki parametrlərin ölçülə bilməsini təmin edir. Fotovoltaik effektini ifadə edən spektrdə bağlı zonanın yanında yeni zolağı müşahidə edirik.



Şəkil 9. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektr.  $E_1=1,65\text{eV}$ ,  $E_2=1,55\text{eV}$



Şəkil 10. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin, modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektr. Kristal səthinin, diskret dalğa paketləri ilə ifadə olunan, periodik laylı quruluşlara məxsus spektri.



Şəkil 11. CuGaSe<sub>2</sub> monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işıq dalğa uzunluğundan asılılığının kinetikası. Laylı periodik quruluşun periodunun kristal səthinə məxsus defek hesabına pozulmasını ifadə edən spektr.

Yeni alınan zolağın bağlı zonasının enerjisinin 1,55eV olması tətbiq baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır (şəkil 9).

Bircinsli mühitlərdən fərqli olaraq, anizotrop mühitlərdə əldə olunan nəticələr onların tətbiqi üçün geniş imkanlar açmış olur. Kristal səthindəki quruluş pozulmaları hesabına periodik təkrarlanan spektrlərin alınması səthdə süni qəfəsin formalaşmasını göstərir. Bu isə anizotrop mühitlər üçün labüd haldır (şəkil 10, 11).

Elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığının spektral analizi göstərir ki, bu üsulla krstala məxsus olan zolaqların enerjisini hesablamaq mümkündür. İlk dəfə tərəfimizdən müəyyən edilmiş  $E_2=2,1\text{eV}$  (SeGa),  $E_3=2,8\text{eV}$  (SeCu) zolaqları bizə onu deməyə əsas verir ki, sadə bir üsulla hər hansı bir maddənin tərkibini müəyyən edə bilərik. Bu isə əldə etdiyimiz nəticələrin metodik, nəzəri və tətbiqi baxımdan nə qədər əhəmiyyətli olduğunu göstərir.

- [1] G.Masse, N.Lahlou and N.Yamamoto. J. Appl. Phys. 51(9), September 1980, pp1981-1984.
- [2] P. Бьюб. Фотопроводимость твердых тел. М. 1962, ст.554.
- [3] M. Aven and J.S. Prener. Физика и химия соединений А<sup>II</sup> В<sup>VI</sup>. М.1970, ст.624.
- [4] Ч. Куттель. Введение в физику твердого тела. М.1963, ст. 696.
- [5] Я.А. Федотов. Основы физики полупроводниковых приборов. М.1964, ст.655.
- [6] С.М. Рыбкин. Фотоэлектрические явления в полупроводников. М.1963, ст.495.
- [7] Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. М., ст.286.
- [8] Л.И.Бергер, Ф.Э. Бальневская. Неорганические материалы том. III, 1966. N8, стр.1514-1515.
- [9] В.Я. Козай, Т.Н. Могилева, А.Е. Фатеев, Г.М. Михеев. Фазовые превращения в композитных пленках системы Se-Cu, полученных взрывной кристаллизацией и термическим отжигом. Физика и техника полупроводников, 2022, том 56, N6, ст. 534-540.

**I. Gasimoglu, G.S. Mehdiyev, G.M. Asgerov, I.G. Nasibov, S.T. Huseynov**

### **CHANGES IN THE MAGNITUDE AND DIRECTION OF THE PHOTOVOLTAIC SURFACE EFFECT ON DONORY-ACCEPTOR CENTERS OF CuGaSe<sub>2</sub> SINGLE CRYSTALS**

Changes in the magnitude and direction of the photovoltaic effect of the surface of CuGaSe<sub>2</sub> single crystals on donor-acceptor centers are experimentally determined. Using these data, one can control the conductivity by changing the concentration of impurity centers.

**И. Гасымоглу, Г.С. Мехтiev, Г.М. Асгеров, И.Г. Насибов, С.Т. Гусейнов**

### **ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ CuGaSe<sub>2</sub> НА ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫХ ЦЕНТРАХ**

Экспериментальным путем определены изменения величины и направления фотovoltaического эффекта поверхности монокристаллов CuGaSe<sub>2</sub> на донорно-акцепторных центрах. Используя эти данные можно регулировать проводимость, изменяя концентрацию примесных центров.

Qəbul olunma tarixi: 02.02.2023