

UDK 621.38

## $Cu_3In_5S_9$ MONOKRİSTALINDA FOTOKEÇİRİCİLİYİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ

L.H.HƏSƏNOVA, Ə.Z.MƏHƏMMƏDOV, S.Ə.CAHANGİROVA  
*Bakı Dövlət Universiteti*  
*vagif\_salmanov@yahoo.com*

*Yeni mürəkkəb  $Cu_3In_5S_9$  monokristalı alınmış, onun fotoelektrik xassələri tədqiq olunmuş və bu halda mənfi fotokeçiricilik müşahidə olunmuşdur. Çox az müşahidə olunan hadisə baxılan kristalın göyərdilməsi zamanı yaranan defektlərin varlığı ilə izah olunmuşdur.*

**Açar sözlər:** mənfi fotokeçiricilik, defektlər, vakansiyalar.

$Cu_3In_5S_9$  birləşməsi I-III-VI qrup elementləri əsasında alınmış mürəkkəb halkogenidlərdən biri olub,  $A^I B^{III} C_2^{VI} - B_2^{III} C_3^{VI}$  kvazibinar sistemin hal diaqramının öyrənilməsi nəticəsində müşahidə olunmuşdur.

$Cu_3In_5S_9$  monokristalının sintezi və alınma rejiminin müəyyənləşdirilməsi üçün  $CuInS_2 - In_2S_3$  kəsiyində faza tarazlığı araşdırılıb. 1080 °C temperaturunda  $Cu_3In_5S_9$  birləşməsi alınmışdır və o, 800 °C temperaturda modifikasiya keçidinə malikdir. Tədqiq olunan kristalın tərkibində tez buxarlanan kükürd olduğundan, sintezin aparılması üçün xüsusi texnologiyadan istifadə edilmişdir. Monokristal yavaş soyutma üsulu ilə göyərdilmişdir. Bu üsulla layvari quruluşa malik iri kristal alınmışdır.  $Cu_3In_5S_9$  monoklin sinqoniyada kristallaşır və parametrləri  $a=6,60$ ;  $b=6,91$ ;  $c=8,12$  Å<sup>0</sup>;  $\beta=89^0$ ;  $z=1$  [1].

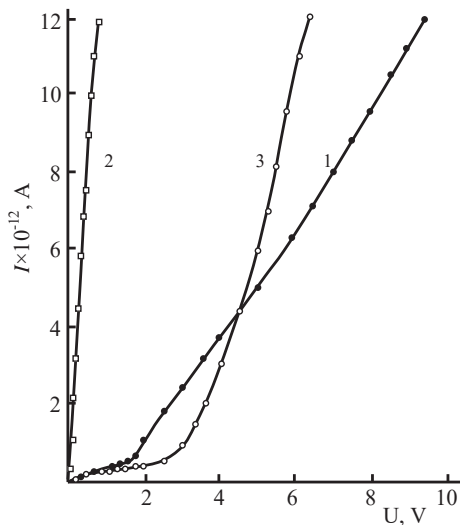
$Cu_3In_5S_9$  monokristalının optik və fotoelektrik xassələrinin araşdırılması göstərmişdir ki, kristalın fotohəssaslığı 0,85÷2,5 eV oblastını əhatə edir [2].

Bütün halkogenid birləşmələrində olduğu kimi,  $Cu_3In_5S_9$  monokristalında da çox böyük konsentrasiyaya malik defektlərin ehtimalı var. Bu anion və kationların düzülüşü zamanı anion və kation vakansiyaların yaranması nəticəsində mümkündür. Belə struktur defektləri və aşqar atomları kimi qəfəsin ayrı-ayrı düyünləri arasında kimyəvi əlaqənin düzgün paylanmasına gətirir və nəticədə qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələr meydana çıxır. Vakansiya

struktur defektlərin ən sadə tipidir (Şottki defektləri) və qəfəsin düyünlərində boşluqlardan ibarətdir. Çox zaman fərz olunur ki, vakansiya yarımkeçiricinin səthinə yaxın atomların səthə çıxması nəticəsində yaranır, sonradan kristalın daxilindəki vakansiya səthə yaxın düyünə keçir və beləliklə, bütövlükdə kristalın daxilində vakansiya yaranır, kristalın bütün həcmində paylanır. Bəzən düyünlərdən qopmuş atomun yerində vakansiya yaranır, atomun özü isə düyünlər arasında qalır və birlikdə Frenkel defektləri yaradır. Yaranmış defektlər kristalın bütün xassələrinə təsir edir.

Baxılan işdə  $Cu_3In_5S_9$  monokristalında fotokeçiriciliyin tədqiqi zamanı mənfi fotokeçiricilik müşahidə olunmuş və təcrübənin nəticələri vakansiyalarla izah edilmişdir. Fotoelektrik xassələrini öyrənmək üçün layvari quruluşlu təkmil monokristaldan ölçüləri  $4 \times 2 \times 0,5 \text{ mm}^3$  olan nümunələr kəsilmiş, layların üzərinə gümüş pastasından kontaktlar qoyulmuşdur. 300 K temperaturda yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və yürüklüyü, uyğun olaraq  $n=10^{16} \text{ sm}^{-3}$  və  $\mu=10 \div 30 \text{ sm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  olmuşdur. Ölçmə zamanı elektrik sahəsi laylara perpendikulyar istiqamətdə tətbiq edilmişdir. Ölçmələr 77 K temperaturunda aparılmışdır.

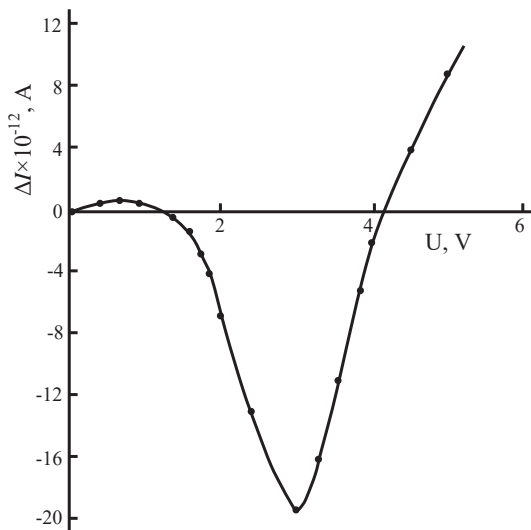
Fotoelektrik xassələrini öyrənən zaman mənfi fotokeçiricilik müşahidə olunmuşdur. Belə ki, nümunələrdə VAX öyrəniləndə nisbətən kiçik gərginliklərdə ( $U \leq 2 \text{ V}$ ), xətti asılılıq müşahidə olunur, gərginliyin sonrakı artması ilə superxətti asılılıq ( $I \sim U^2$ ) görünür (şəkil 1, 1 əyrisi).



Şəkil 1.  $Cu_3In_5S_9$  monokristalının VAX-ı. 1 – qaralıqda; 2 –  $\lambda=0,85 \text{ mkm}$ ; 3 –  $\lambda=1,35 \text{ mkm}$ .

Belə asılılıq injeksiya cərəyanlarının yaranması ilə izah olunur. Nümunə məxsusi udma oblastından olan işıqla işıqlandırıldıqda ( $\lambda=0,85 \text{ mkm}$ ) yüksək keçiricilik müşahidə olunur (şəkil 1, 2 əyrisi), cərəyanın qiyməti gərginlik-

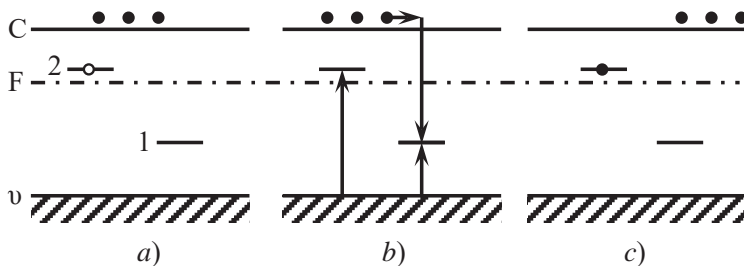
dən xətti asılı olur. Nümunəni  $\lambda > 0,85$  mkm dalğa uzunluqlu işıqla işıqlandırıldıqda nisbətən aşağı gərginliklərdə, zəif fotokeçiricilik müşahidə olunur, VAX-ın qeyri-xətti oblastında isə mənfi keçiricilik müşahidə olunur (şəkil 1, 3 əyrisi), yəni injeksiya cərəyanı sönür. Gərginliyin sonrakı artması ilə fotocərəyan gərginlikdən asılı olaraq artır (şəkil 2). Mənfi fotokeçiriciliyi izah etmək üçün müxtəlif mexanizmlər təklif olunmuşdur. [3] işində göstərilmişdir ki, işığın təsiri ilə eksitonlar yaranır ki, onlar termik ionlaşmış aşqar atomları ilə toqquşur və elektronlarını valent səviyyəsindən aşqar səviyyələrinə keçirməsinə və nəticədə dəşiklərin yaranmasına səbəb olur. Nəticədə sərbəst elektronların rekombinasiya sürəti artır və elektrokeçiriciliyi qaranlıq qiymətindən kiçik qiymətlərə qədər azalır.



Şəkil 2.  $Cu_3In_5S_9$  monokristalında fotocərəyanın gərginlikdən asılılığı.

Germanium kristalında müxtəlif təbiətli dərin aşqar səviyyələri olduqda mənfi fotokeçiricilik dəqiqliklə izah olunur [3], belə ki, bu halda aşqar mərkəzlərin fotoionizasiyası nəticəsində qeyri-əsas yükdaşıyıcılar yaranır, əsas yükdaşıyıcıların rekombinasiya sürəti artır və keçiricilik azalır.

Şəkil 3-də mənfi fotokeçiricilik halında elektron keçidləri göstərilmişdir, tutma mərkəzi nəzərə alınmır və qadağan olunmuş zonada 1 dərin və 2 dəyaz mərkəzləri var və nümunə şüalandırıldıqda aşağıdakı şərtlər ödənməlidir: a) 2 səviyyəsindən termik ionlaşma sürəti, 2 səviyyəsində elektron və dəşiklərin rekombinasiya sürətindən kiçikdir; b) 2 səviyyəsində dəşiklər elektronlarla rekombinasiya edə bilməz; c) 2 səviyyəsi Fermi səviyyəsindən yuxarıda yerləşməlidir; d) əsas yükdaşıyıcıların 2 səviyyəsi tərəfindən tutma en kəsiyi 1 səviyyəsi də tutma en kəsiyindən çox kiçik olmalıdır; e) 1 səviyyəsinin konsentrasiyası və onların qeyri-əsas yükdaşıyıcıları tutma en kəsiyi kiçik olmamalıdır.



Şəkl. 3. Mənfi fotokeçiricilik halında elektron keçidləri.

Deyilən şərtlərin bütün yarımkeçiricilərdə eyni zamanda ödənməsi az ehtimallıdır, ona görə mənfi fotokeçiricilik adı halda az müşahidə olunan hadisədir.

[4] işində çox alçaq temperaturalarda (He temperaturunda), güclü aşqarlanmış germanium kristalında mənfi fotokeçiricilik müşahidə olunmuş və onu izah etmək üçün fərz olunmuşdur ki, nümunə işıqlandırılan zaman donor səviyyələrinin dolması ilə elektrikkeçiriciliyi azalır, çünki təcrübə şəraitində elektronlar neytron donorlardan «sıçrayışla» yüklü səviyyələrə keçir və boş qalmış yerlərdə yükdaşıyıcıların rekombinasiyası baş verir.

#### ƏDƏBİYYAT

1. Тагиров В.И., Гахраманов Н.Ф., Гусейнов А.Г. Новый класс тройных полупроводниковых соединений типа  $A_3^I B_5^{III} C_9^{VI}$ . Баку, 2001, 303 с.
2. Huseynov A.G., Kyazim-zade A.G., Salmanov V.M., Mamedov R.M., Salmanova A.A., Hasanova L.G., Mahammadov A.Z. Features of Laser-Induced Luminescence and Photoconductivity of Layered  $Cu_3In_5S_9$  Crystals. Optics and Spectroscopy, 2016, Vol. 121, № 6, pp. 897–900.
3. Вавилов В.С. Действие излучений на полупроводники. М., 1963, 256 с.
4. Добрега В.П., Рывкин С.М. ФТТ, №4, 1962, с. 553.

#### ОСОБЕННОСТИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В МОНОКРИСТАЛЛЕ $Cu_3In_5S_9$

Л.Г.ГАСАНОВА, А.З.МАГОМЕДОВ, С.А.ДЖАХАНГИРОВА

#### РЕЗЮМЕ

Исследована фотопроводимость в монокристалле нового тройного полупроводникового соединения  $Cu_3In_5S_9$ . Вольт-амперные характеристики снятые при 77 К в темноте и при освещении, показали, что наблюдается отрицательная фотопроводимость. Это объясняется наличием большой концентрацией дефектов присущей для многих халькогенидов.

**Ключевые слова:** отрицательная фотопроводимость, дефекты, вакансии

## FEATURES OF PHOTOCONDUCTIVITY IN A SINGLE CRYSTAL $Cu_3In_5S_9$

L.G.HASANOVA, A.Z.MAHAMMADOV, S.A.DJAHANGIROVA

### SUMMARY

The photoconductivity in a single crystal of a new triple semiconductor compound  $Cu_3In_5S_9$  is investigated. The current – voltage characteristics measured at 77 K in the dark and under illumination showed that negative photoconductivity is observed. This is due to the presence of a large concentration of defects inherent in many chalcogenides.

**Keywords:** negative photoconductivity, defects, vacant

*Redaksiyaya daxil oldu: 18.09.2019-cu il*

*Çapa imzalandı: 28.12.2019-cu il*