

CuInS₂ MONOKRİSTALININ SƏTHİNDƏ YARANAN NANOQURULUŞLARIN ONUN ELEKTRİK VƏ OPTİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, Z. QƏDİROĞLU, H.M. ƏSGƏROV,
N.V. MAHMUDOVA, E.S. HÜSEYNOVA

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu
Bakı: 1143, H.Cavid, 131

E-mail: gasimoglu@yahoo.com

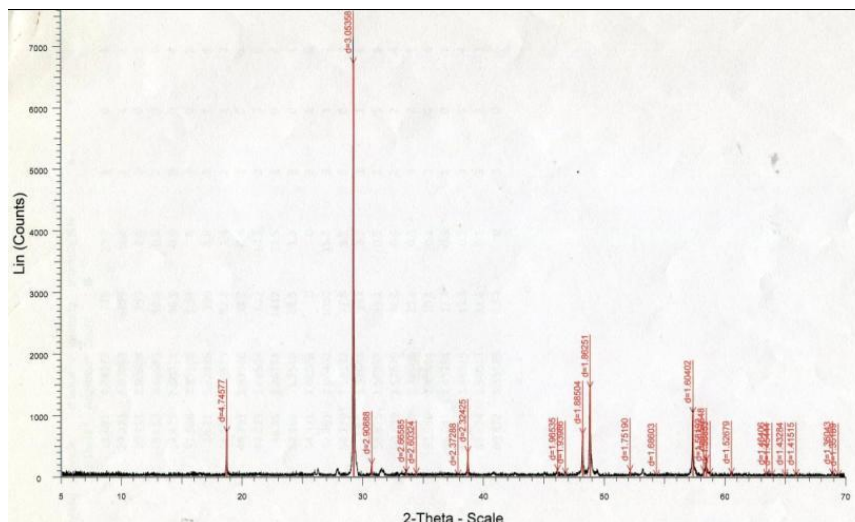
Təcrübi olaraq CuInS₂ monokristalının səthində yaranan nanoquruluşların onun elektrik və optik xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Bildirilmişdir ki, kristal səthində meydana gələn, nanoquruluşlar özlərini səthdəki defekt kimi aparır. Yuxarıda deyilənlər, lüminessensiya spektrində, eksiton defekt kompleksi formasında müşahidə olunur.

Açar sözlər: Monokristal, yarımkəçirici, nanozərrəcik, detektor.

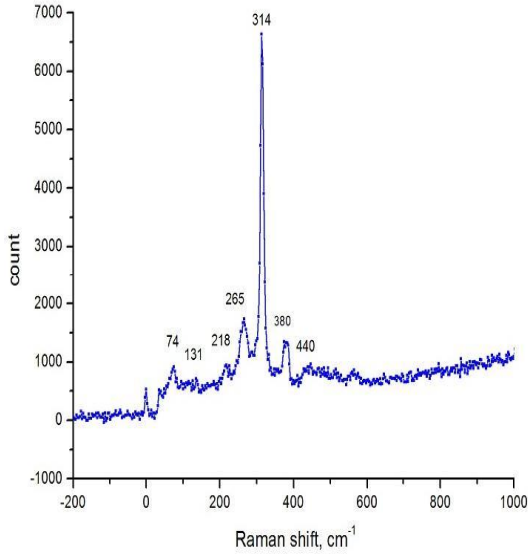
Pacs: 61.80.Ed

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkəçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi A^IB^{III}C₂^{VI} ümumi formulu ilə ifadə olunur. A^I(Cu,Ag), B^{III}(Ga,In,Al), C^{VI}(S,Se,Te) kimi maddələri ifadə edir. Tədqiqata cəlb etdiyimiz obyekt CuInS₂, CdS-in üçqat analoqudur. T. Xan və əməkdaşları tərəfindən rentgen analizi üsulu ilə müəyyən olunmuşdur ki, bu sinif birləşmələrin, demək olar ki, hamısı xalkopirit strukturunda kristallaşır və əksəriyyəti p-tip keçiriciliyə malik olur [2]. CuInS₂ nümunəsi n-tip keçiriciliyə malikdir. Monokristallarda güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur. 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 Γ nöqtəsində yerləşir. A^IB^{III}C₂^{VI} şəklində birləşən yarımkəçiricilərin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi hörmətli alimimiz F. Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur [5]. CuInS₂ monokristalının sintezi ilk dəfə tərəfimizdən, iki temperaturlu alışıma deyilən yeni üsulla 2 saat müddətində sürətli şəkildə sintez olunmuşdur. Sonra isə, Bricmen-Stokbarqer texnologiyası ilə

CuInS₂ monokristalı yetişdirilmişdir. Xam maddələr havası sorulmuş kvarts ampulalara doldurulmuşdur. İstifadə olunan maddələrin təmizlik dərəcələri aşağıdakı kimidir. Cu-99,999, In-99,9999, S-99,9999. Ərimə temperaturu 1423°K-dir. Ampulanın qızdırıcı sistemin içərisindəki sürəti 4mm/saat-dır. Sabitləşmə və soyuma üçün, ampula, sistem söndürüldükdən 8 saat sonra, qızdırıcıdan çıxarılmışdır. Alınan yeni nümunədə, ölçülər aparmağın mümkün olması üçün, aşağıdakı işlər görülmüşdür. Karbid bor tozu ilə səthi hamarlanmışdır. HCl+HNO₃ (1:1) məhlulunda 40 saniyə müddətində, kənardan daxil olan aşqarlardan təmizlənmiş, bundan sonra distillə edilmiş suda yuyulmuş və 323°K-də 6 saat xüsusi qurutma peçində qurudulmuşdur. Nümunənin müqaviməti R=150 Om-dur. Ölçüləri 1x0,5x2mm³-dir. Müasir rentgen analizi üsulu ilə alınan nəticə göstərdi ki, birləşmə yarımkəçiricidir və fiziki parametrləri, elmi ədəbiyyatda mövcud olan nəticələrlə uyğunluq təşkil edir (şəkil 1). Raman səpilmə spektrindən alınan nəticə də dediklərimizi təsdiq edir (şəkil 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. CuInS₂ monokristalında Rentgen şüalarının difraksiyası T=300 K.



Şəkil 2. CuInS₂ monokristalı işıqın Raman səpilməsi spektri.

MÖVZUNUN AKTUALLIĞI.

Maddə müasir texnologiya tətbiq edilməklə alınmışdır. Praktiki tətbiq üçün yararlı olduğu məlumdur. Əsas tətbiqi materiallardan biri sayılan CdS-in üçqat analoqudur. Digər xalkopirit birləşmələrdən fərqli olaraq, CuInS₂ kristalları texnoloji baxımdan həm *n*-tip, həm də *p*-tip keçiriciliyə malik maddə olaraq alınır. Bağlı zonanın enerjisi $E=1,55$ eV-dur. Bu qiymət fotoelementlərin bağlı zonasının optimal enerjisi ilə üst-üstə düşdüündən, material kimi onun əhəmiyyətini bir daha artırır. Bunlara əsaslanaraq deyə bilərik ki, CuInS₂ kristalının fundamental şəkildə öyrənilməsinə ehtiyac duyulur.

MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU.

CuInS₂ monokristalı, fotoelementlərin hazırlanması baxımından, yararlı materiallardan biri hesab olunur [7]. Tətbiq sahələrini genişləndirmək məqsədi ilə kristalın səthinin öyrənilməsinə və səthdəki faza dəyişmələrinin elektrik və optik xassələrə təsirini öyrənməyi qarşımıza məqsəd qoymuşuq.

TƏCRÜBƏNİN APARILMASI.

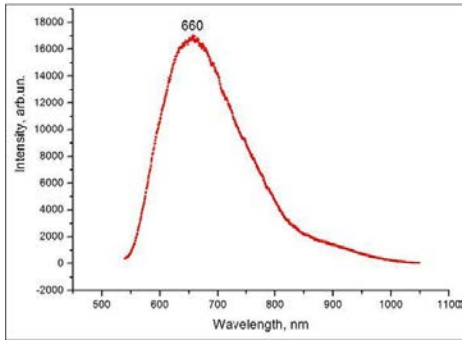
Rentgenoqram çıxarılmışdır. Raman spektri çəkilmişdir. Bir neçə lüminessensiya əyrisi çəkilmişdir. Lüminessensiya əyrisində eksiton müşahidə olunmuşdur. Atom güc mikroskopunda (AGM) nümunələrin səthi öyrənilmişdir. Otaq temperaturunda nümunələrin Volt-Ampere xarakteristikası ölçülmüşdür. Yöndəyici sahənin qiymətinin artmasına uyğun olaraq, cərəyanın qiymətinin eksponensial şəkildə artdığını təcrübi yolla müşahidə edirik. Cərəyanın döyünən halda pilləli formada artımı, deformasiyaya məruz qalan dislokasiyaların kristal səthinə doğru sürüşməsi hesabına meydana gəlir. Bu pilləli artımı biz buraxma spektrində də müşahidə edirik. Buraxma spektrinin ölçüldüyü qalınlıq 130-170 mkm-dir.

ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ.

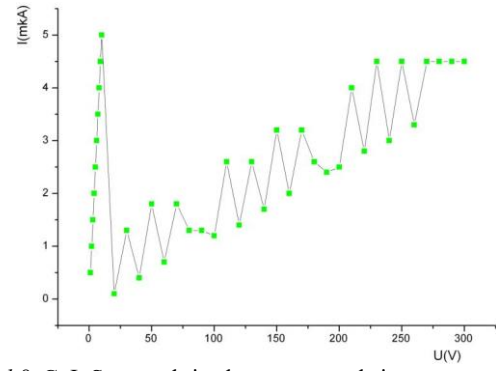
Aparılmış çoxlu sayda təcrübələrə istinadən deyə bilərik ki, üçqat birləşmələrdə baş verən daşınma hadisələrini nöqtəvi defektlərsiz təsəvvür etmək mümkün deyil. Kənar sahə verilərkən, yaranan elektrik keçiriciliyi də əsasən ionlar hesabına olur. Yöndəyici sahənin qiyməti artdıqca donor və akseptorların vahid həcmə düşən sayı artdığı üçün, keçiricilikdə iştirak edən, sərbəst dəyişənlərin və elektronların sayı artmış olur. Bu işə, nümunə *n*-tip olduğu üçün Fermi səviyyəsinin bağlı zonanın mərkəzinə doğru hərəkətini təmin etmiş olur. Donorların sayının artması keçiriciliyin qiymətini artırmış olur [10]. Biz bunu spektrin eksponensial artımında müşahidə edirik. Texnoloji proses zamanı kristal səthində yaranan nanoquruluşların onun elektrik və optik xassələrinə təsirini biz lüminessensiya əyrisini nəzərdən keçirərkən müşahidə edirik [14]. Güclü lazer şüası kristal səthinə düşərkən səthdəki kvant çuxurlar tərəfindən udulur. Burada fononlar vasitəçi rolunu oynayır, yəni enerjini qəbul edir, eksitonun enerjisi maksimum qiymət alır və dağılır, yeni defekt yaranır. Biz bu hadisəni lüminessensiya spektrlərindən təcrübi olaraq müşahidə etmiş oluruq (şəkil 3, 4, 5, 6), yəni eksitonun (yükdaşıyıcısı deyil) enerji daşıyıcısı olduğunu təcrübi olaraq müşahidə etmiş oluruq. Qısa, fononlar lazerdən enerjini alıb eksitona ötürür, o da öz növbəsində enerjisini (F_1) defekt mərkəzinin yaranması üçün sərf edir [16].



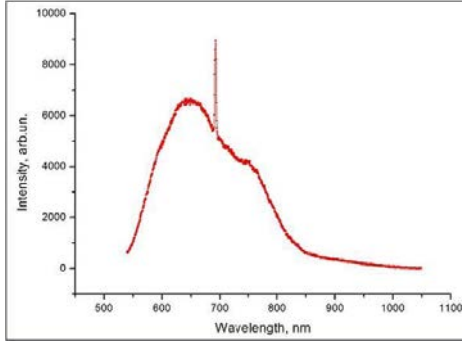
Şəkil 3. CuInS₂ monokristalının lüminessensiya spektri alınması.



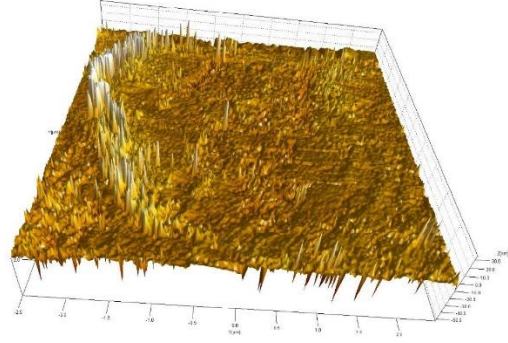
Şəkil 4. CuInS₂ monokristalı: spektrin sıxılmış forması. Birinci lüminessensiya zolağının enerjisi $E_1=1,9$ eV.



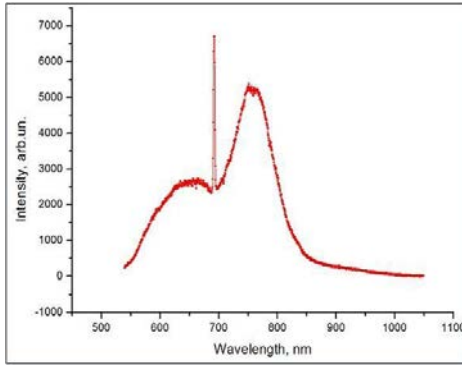
Şəkil 8. CuInS₂ monokristal rezonans maksimumuna malik Volt-Amper xarakteristikası.



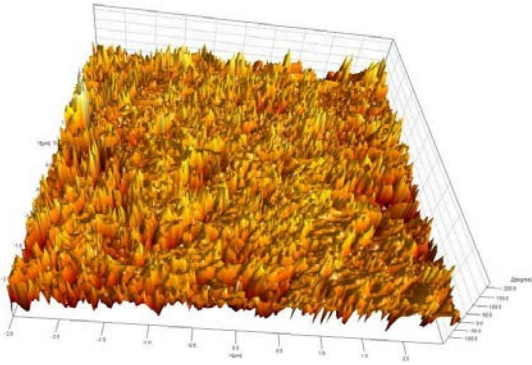
Şəkil 5. CuInS₂ monokristalı. Eksiton spektri: spektrin sıxılmış forması. Eksitonun enerjisi $E_{eks}=1,8$ eV.



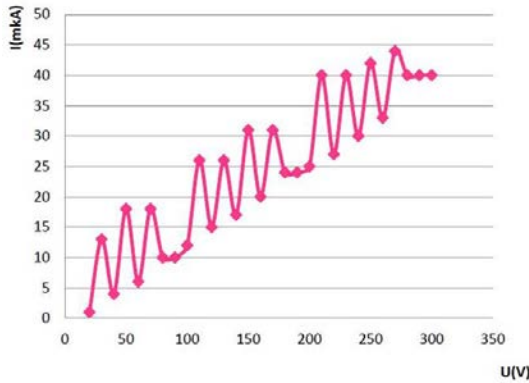
Şəkil 9. CuInS₂ monokristalı, kristalın nanoquruluşlardan ibarət olan və amorf səthinin, atom güc mikroskopunda (AGM)-da, 3D koordinatında çəkilmiş təsviri.



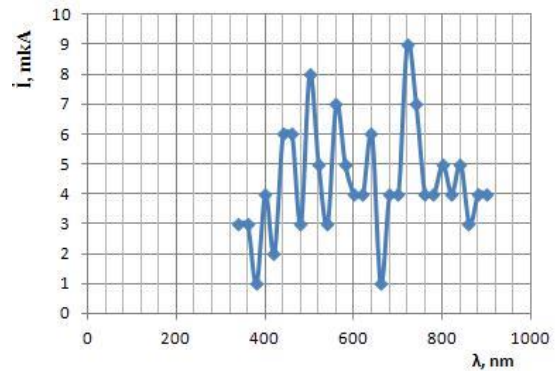
Şəkil 6. CuInS₂ monokristalı: spektrin sıxılmış forması. İkinci lüminessensiya zolağının enerjisi $E_2=1,63$ eV.



Şəkil 10. CuInS₂ monokristalı, 3D koordinatında monokristalın müxtəlif ölçülü nanoquruluşlardan ibarət olan səthinin atom güc mikroskopunda (AGM) çəkilmiş təsviri.



Şəkil 7. CuInS₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası ($T=300K$).



Şəkil 11. CuInS₂ monokristalının buraxma spektri.

Kristal səthindəki nanoquruluşları (F) defekt mərkəzi kimi qəbul etsək, F -mərkəz kənarından enerjini alır eksiton yaranır, eksiton dağılır F_I mərkəz yaranır [20]. Elektron damcı nəzəriyyəsinə əsaslanaraq deyə bilərik ki, bu hadisə eksiton defekt kompleksinin yaranması hesabına olur. Bütün bunlar onu deməyə əsas verir ki, istər Volt-Amper xarakteristikasında (şəkil 7, 8) istər lüminessensiya spektrlərində (şəkil 3, 4, 5, 6), istərsə də buraxma spektrində (şəkil 11), müşahidə etdiyimiz anizotropiya hadisəsi kristal səthində yaranan nanoquruluşların hesabınadır.

YEKUN NƏTİCƏ.

Yekun nəticə olaraq onu deyə bilərik ki, üçqat birləşmələrin səthində yaranan nanoquruluşlar, onların öz ikiqat analoqlarından üstünlüyünü təmin etmiş olur. Bu o deməkdir ki, klassik fiziki xassələrə müasirləri daxil olur ki, bu da tətbiq imkanlarını artırmış olur. Yəni istər həcmi kristalların, istərsə də onların səthindəki nanoquruluşların, birlikdə nəzərdən keçirilən xüsusiyyətləri imkanlarımızı genişləndirmiş olur.

- [1] *D.Wole, R.Lerner, G.Müller.* Crystal Research and Technology, 1996, vol. 31, p. 317-320.
- [2] *İ. Qasimoğlu.* Elektrik sahəsinin təsiri ilə CuGaS₂ monokristalında yaranan döyünən cərəyan. AJP Fizika, 2014, vol. XX, N3, sektion: Az, p. 25-27.
- [3] *Л.И. Бергер, Ф.Э. Балневская.* Неорганические материалы, 1966, т. III, N8, стр. 1514-1515.
- [4] *С.Н. Мустафаева, М.М. Асадов, Д.Т. Гусейнов, И.Гасымовлу.* ФТТ, 2015, т. 57, в. 6, с.1079-1083.
- [5] *N.A. Abdullayev, İ. Qasimoğlu, İ.A. Mamedova.* Physics Status Sol., 2015, N, 6, p.789-792.
- [6] *İ. Qasimoğlu.* AJP Fizika, 2013, vol. XIX, N1, Section: Az, p.19-21.
- [7] *W.H.Koschel, F.Sorger and J.Baars.* Jurnal de Physique n-9, 1075, t. 36, Sertembre, p.C3-177.
- [8] *G.D. Boyd, H.Mc. Kasper, Jh. Mc. Fee.* Quantum Electronics, IEEE Journal of 7(12), 1971, p.563-57.
- [9] *Ф.М. Гашишзаде.* ФТТ, 1963, 5, 1199, *А.А.Вайнолин, Ф.М.Гашишзаде, Н.А.Горюнова, Ф.П. Касманлы, Д.Н. Наследов, Э.О.Османов, Ю.В.Рудь,* Изв. АНССР, сер. Физ., 1964, т. 28, ст. 1085.
- [10] *Л.А.Головань, В.Ю.Тимощенко, П.К. Кашкаров.* УФН, 2007, том 177, N6, ст. 619-638.
- [11] *В.Е. Панин, В.Е. Егорушкин.* Физическая мезомеханика, 2009, 12, 4, ст. 7-26.
- [12] *А.П. Бахтинов, В.Н. Водоньянов, З.Д. Ковалюк, В.В. Нетяга, Д.Ю. Конаплянко.* ФТП, 2011, т. 45, вып. 3, ст. 348-359.
- [13] *İ. Qasimoğlu.* Fizika 2017, vol. XXIII, N2, Section Az, s.10-14.
- [14] *G.C. Bhar and R.C.Simith.* Phys. Stat.sol. (a), 1972, 13, 157, p.157-167.
- [15] *J.L. Shay and B. Tel and H.M. Kasper.* Ap. Physics Letters, 1971. vol. 19, N 9, p.366-368.
- [16] *L. Roa, P. Grima, J. Gonzalez, J.C. Chervin, J.P.Itie, A.Chevy.* Cryst. Res. Technol. Volume 31, 1996, p. 49-52.
- [17] *J.C.Rife, and R.N.Dexter, P.M.Bridenbaugh, B.W.Veal.* Physical Rev. Volume16, Numer 10, 15 November 1977, p. 4491-4500.
- [18] *Л.И. Бергер, Ф.Э. Балневская.* Неорганические материалы. 1966, том. III, N8, стр. 1514-1515, 1966
- [19] *С.Т.Хüseynov, Т.Қ.Қасимов,* Azərbaycan EA Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 1976, N6, s.105-107.
- [20] Комбинационное рассеяние света и динамика кристаллической решетки. М. 1982, *Н.Г.Басов.* с. 223.

I. Gasimoglu, G.S. Mehdiyev, Z. Gadiroglu, G.M. Asgerov, N.V. Makhmudova, E.S. Huseynova

INFLUENCE OF NANO-OBJECTS FORMED ON SURFACE OF CuInS₂ SINGLE CRYSTALS ON THEIR ELECTRIC AND OPTICAL PROPERTIES

The distribution of nano-objects on surface of CuInS₂ single crystals are found and their influence on electric and optical properties of investigated material are studied. They showed that nano-objects behave like defects. Analysis of luminescence spectra showed on presence of exciton-defect complexes.

И. Гасымовлу, Г.С. Мехтиев, З. Гадироглу, Г.М. Асгеров, Н.В. Махмудова, Э.С. Гусейнова

ВЛИЯНИЕ НАНООБЪЕКТОВ, ОБРАЗОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ CuInS₂ НА ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Определены распределение нанообъектов на поверхности монокристаллов CuInS₂ и их влияние на электрические и оптические свойства исследуемого материала. Анализ спектров люминесценции указал на наличие экситон-дефектных комплексов.

Qəbul olunma tarixi: 23.01.2020