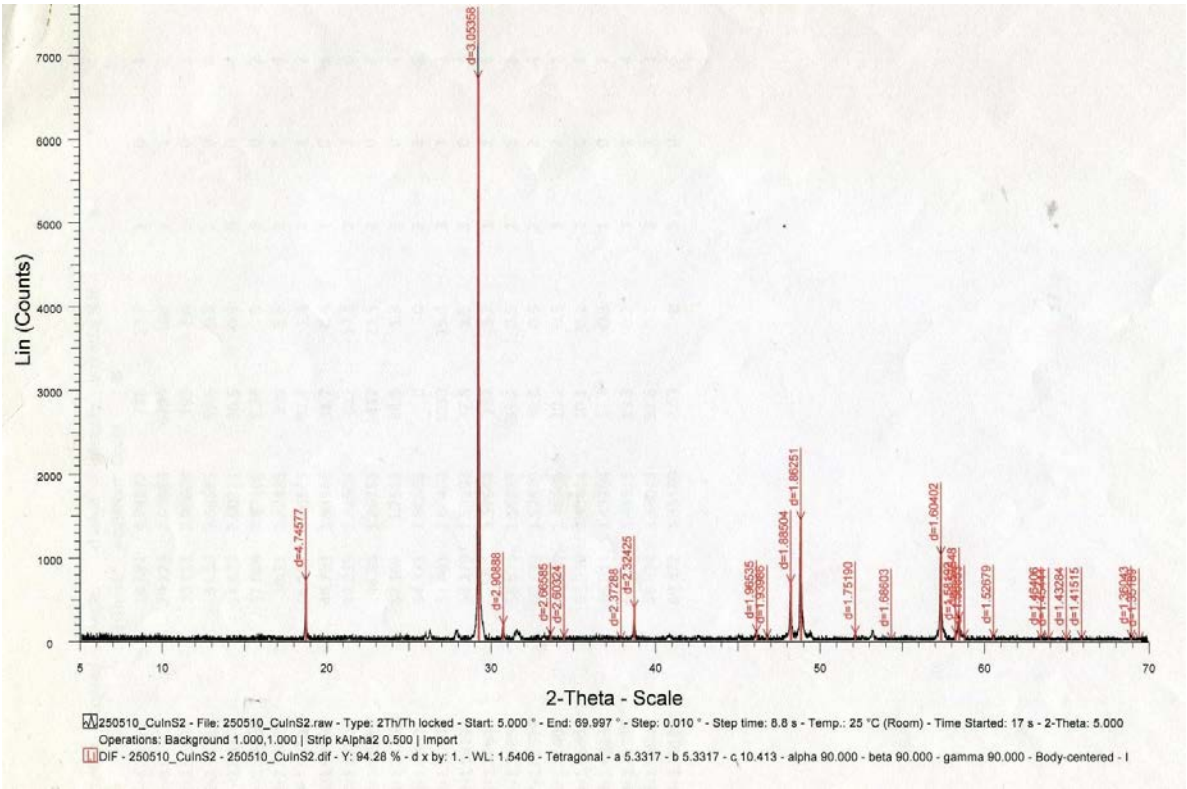
$CuInS_2$ MONOKRİSTALININ FOTON DİSKRET SPEKTRLƏRİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, Z.Q. MƏMMƏDOV, H.M. ƏSGƏROV
Azərbaycan Respublikası, Elm və Təhsil Nazirliyi, H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Bakı: 1143, H.Cavid, 131
E-mail: gasımoglu@yahoo.com

Təcrübi olaraq $CuInS_2$ monokristalı ilə nanotəbəqənin sərhəddində kvantlanmış elektron dalğalarına məxsus diskret spektrlər alınmışdır. Qeyd olunmuşdur ki, bu xassələrə məxsus cihazların köməyi ilə ultraqısa lazer dalğalarını idarə edə etmək mümkündür.

Açar sözlər: monokristal, lazer, dispersiya, diskret spektr.
DOI:10.70784/azip.2.2024113

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ 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 $CunS_2$, 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 malikdir [2]. Yarımkeçirici monokristal $CuInS_2$ nümunəsi p-tip keçiriciliyə malikdir. Monokristallarda güclü ikiqat sınma 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 Γ noqtəsində yerləşir. $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ şəklində birləşən yarımkeçiricilərin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi hörmətli alimimiz F.Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur [5].

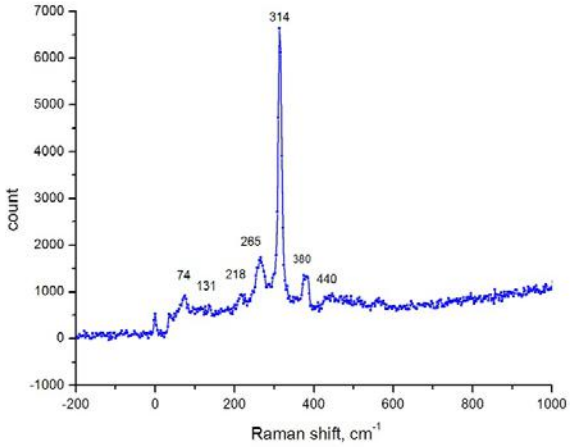


Şəkil 1. $CuInS_2$ monokristalında Rentgen şüalarının difraksiyası. *T*=300K.

$CuInS_2$ monokristalının sintezi ilk dəfə tərəfimizdən, ikitemperaturlu alışma deyilən yeni üsulla 1 saat müddətinə sürətli səkildə sintez olunmuşdur. Sonra isə Bricmen-Stokbarqer texnologiyası ilə, monokristalı yetişdirilmişdir. Xam maddələr havası sorulmuş kvars 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 sisteminin içərisindəki sürəti 4mm/saat-dır. Sabitləşmə və soyuma üçün, ampula sistem söndürüldükdən 8 saat sonra qızdırıcıdan çıxarılmışdır. Alınan yeni nümunədə ölçülər apar-mağın mümkün olması üçün aşağıdakı işlər görülmüşdür. Karbid bor tozu ilə səthi hamarlanmışdır.

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

$HCl+HNO_3$(1:1) məhlulunda 40 saniyə müddətində, kənardan daxil olan aşqarlardan təmizlənmişdir. Sonra isə distillə edilmiş suda yuyulmuşdur. 367°K-də 6 saat xüsusi qurutma peçində qurudulmuşdur. Nümunənin müqaviməti *R*=150 om-dur. Ölçüləri: eni-1mm, uzunluğu-2mm, qalınlığı-170mkm-dir. Müasir rentgen analizi üsulu ilə alınan nəticə göstərdi ki, birləşmə yarımkeçiricidir və fiziki parametirləri elmi ədəbiyyatda mövcud olan nəticələrlə uyğunluq təşkil edir (şəkil 1).



Şəkil 2. $CuInS_2$ monokristalı işığın Raman səpilməsi spektiri.

Raman səpilmə spektrindən alınan nəticə də dediklərimizi təsdiq edir (şəkil 2). Parametrlər aşağıdakı kimidir. a=5,3317 b=5,3317, c=10,413, α=90, β=90, ϒ=90. Fəza simmetrya qrupu (42m)-dir.

MÖVZUNUN AKTUALLIĞI

Maddə müasir texnologiya tədbiq edilməklə termoliz üsulu ilə alınmışdır. Praktik tədbiq üçün yararlı olduğu məlumdur. Əsas tədbiqi materiallardan biri sayılan CdS-in üçqat analoqudur. Digər xalkopirit birləşmələrdən fərqli olaraq, $CuInS_2$ kristalları texnoloji olaraq həm *n*-tip həmdə *p*-tip keçiriciliyə malik maddə olaraq alına bilir. Bağlı zonanın enerjisi *E*=1,55 eV-dur. Bu qiymət fotoelementlərin bağlı zonasının optimal enerjisi ilə üst-üstə düşdüyündən, material kimi onun əhəmiyyətini bir daha artırır. Bunlara əsaslanaraq deyə bilərik ki, $CuInS_2$ kristalının fundamental şəkildə öyrənilməsinə ehtiyac duyulur.

Məsələnin qoyuluşu

$CuInS_2$ monokristalı fotoelementlərin hazırlanması baxımından yararlı materiallardan biri hesab olunur. Tədbiq sahələrini genişləndirmək məqsədi ilə, kristala sabit sahə tədbiq etdikdən sonra, sahənin kristalın fotokeçiriciliyinə təsirinin öyrənilməsi qarşıya məqsəd qoyulmuşdur. Anizotrop mühit olaraq kvantlanmış elektron dalğalarının öyrənilməsi tədbiq üçün yararlı nəticələrin alınmasına imkan verəcəkdir.

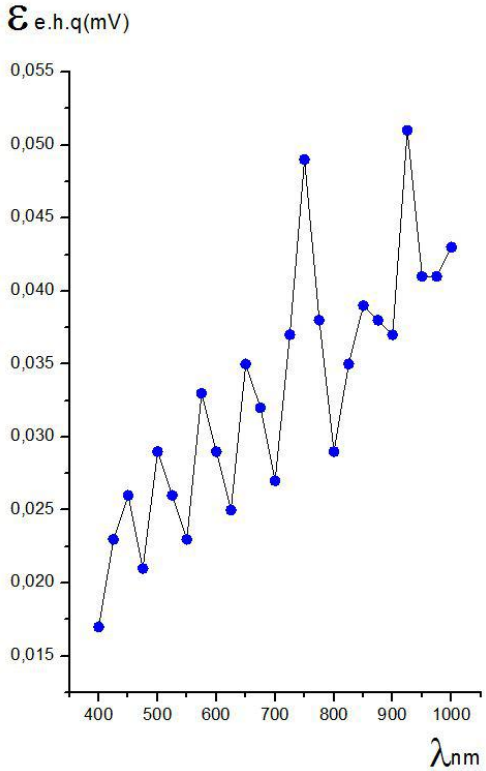
Təcrübənin aparılması

Rentgenoqram çıxarılmış, Raman spektri çəkilmiş, mütənasib verilən sabit xarici sahə tədbiq etməklə, fotokeçiriciliyin spektral asılılığı bir neçə rejimdə təkrarlanmışdır. Təcrübələrin aparılmasında spektrin təmizlənməsi və gücləndirilməsini təmin edən detektor və modulyator kimi cihazlardan istifadə olunmuşdur. Sonra isə müasir cihazlardan olan Multimer (34465A), nanovoltampermetr ilə siqnalın, modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığının spektrləri çəkilmişdir. Təcrübi olaraq foton kristallara məxsus xassələr araşdırılmışdır.

Alınan nəticələrin müzakirəsi

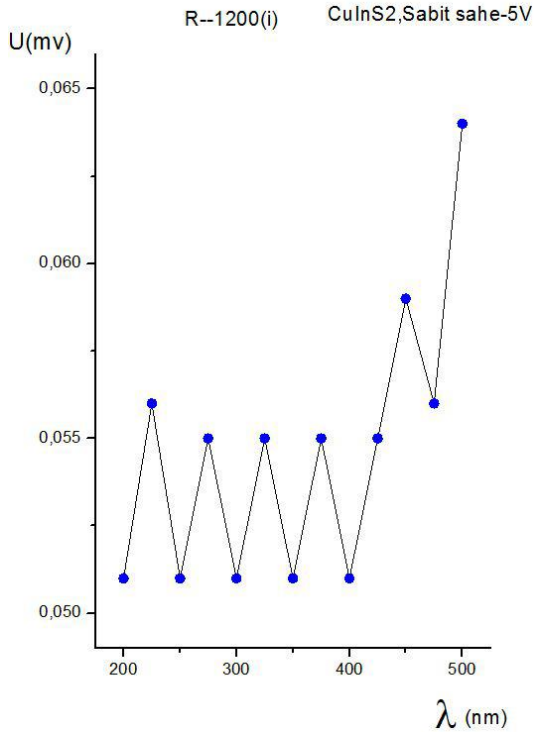
Aparılmış çoxlu saylı təcrübələrə istinadən deyə bilərik ki, üşqat birləşmələrdə baş verən daşınma hadisələrini nöqtəvi defektlərsiz təsəvvür etmək mümkün deyil. Biroxlu kristallarda nöqtəvi defektlərlə bərabər quruluş pozulmalarından yaranan defektlər də kristalın fiziki parametrlərinə təsir edir. Quruluş pozulmaları elektrik sahəsinin və işığın təsirindən sonra yarana bilər. Anizatrop kompozit quruluşlar hansıki, biroxlu kristalların xüsusi halları onlara aiddir, təkrarlanan və və sındırma əmsalları müxtəlif olan iki və daha çox laylardan ibarət olur. Təqdim etdiyimiz işdə massiv maddə olaraq $CuInS_2$ və termoliz üsulu ilə üzərində yaranan nanoklasterlərin yaratdığı ikikompanentli laminar sistemdir. Defektlərin yaranma səbəblərini əks etdirən bir neçə misalı təqdim edirik.

1. Kimyəvi aşqarlardan yaranan defektlər
2. Plastik deformasiya zamanı yaranan dislokasiyalar.
3. Üçqat birləşmənin qəfil soyuması zamanı yaranan dislokasiyalar, düyün nöqtələri arasında yerləşən atomlar, quruluş pozulmaları yaradan vakansiyalar.

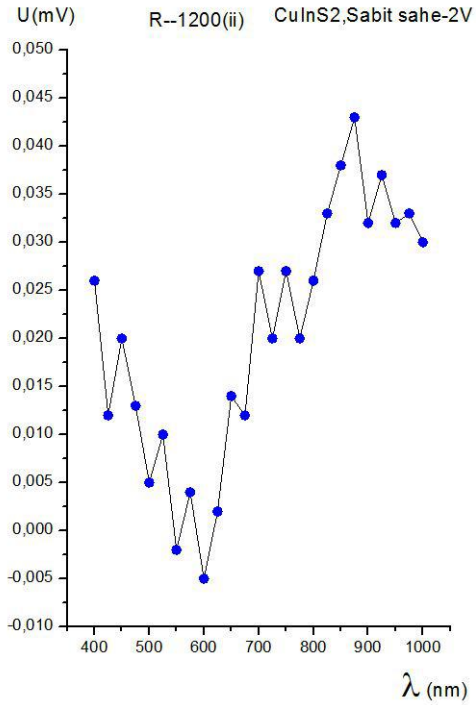


Şəkil 3. $CuInS_2$ monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin dalğa uzunluğundan asılılığı.

Xalkopirit quruluşa məxsus maddələrin əksəriyyəti *p*-tip olduğundan hər xətti dislokasiyanın $4.10^{-6}sm^{-3}$ akseptor yaratdığı üçün fiziki xassələrə təsiri böyükdür [6]. Kristal səthində nanoklasterlər metal tərkibli birləşmələrin yüksək ərimə temperaturunda, metal kationlar və molekulyar anionlar hesabına əmələ gəlir. Bunu tərkibində metalorqanik birləşmələrin olduğu maddələrdə görmək mümkündür. Laminar quruluşlar dedikdə. bir-birini əvəz edən müxtəlif sındırma əmsalına malik quruluşlar nəzərdə tutulur.

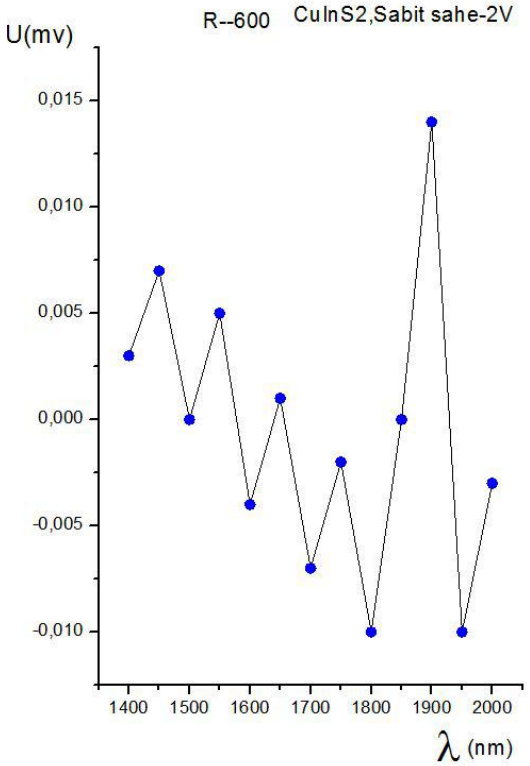


Şəkil 4. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 5V.

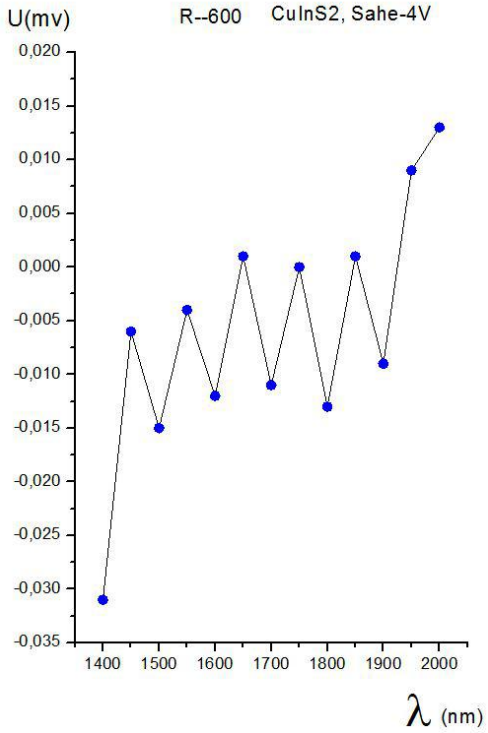


Şəkil 5. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 2V.

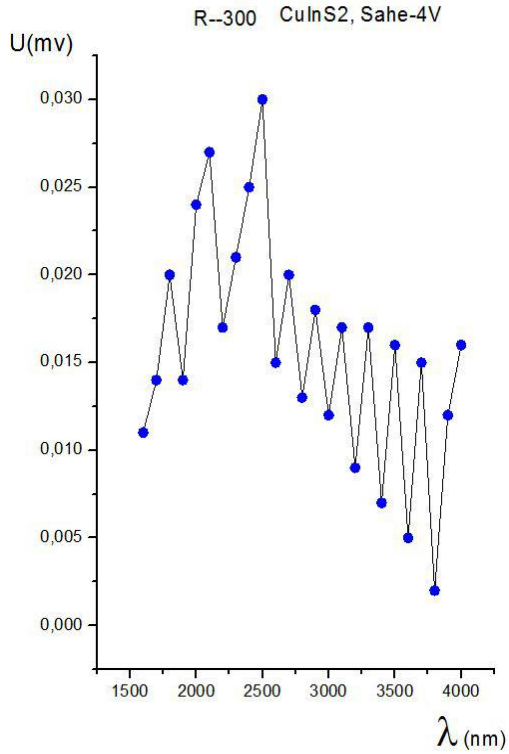
Foton kristallar o kristallara deyilir ki, qeyri bircinslilikdə bir nizam görünmüş olsun. Belə mühitlərdə işığın dalğa formasında yayılması elektronun potensial sahədəki hərəkəti ilə eynilik təşkil edir. Nanoölçü oblastlarında aparılan tədqiqatların çətinliyini və mürəkkəbliyini nəzərə alsaq, infraqırmızı və ondan sonrakı oblastlarda əldə olunan nəticələri elektronun potensial sahədəki hərəkətinə tətbiq etmənin böyük önəm daşıması məlum olur. Bəzi spektral intervallarda buraxan və buraxmayan oblaslar əmələ gəlir (şəkil 3, 4, 5).



Şəkil 6. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 2V.

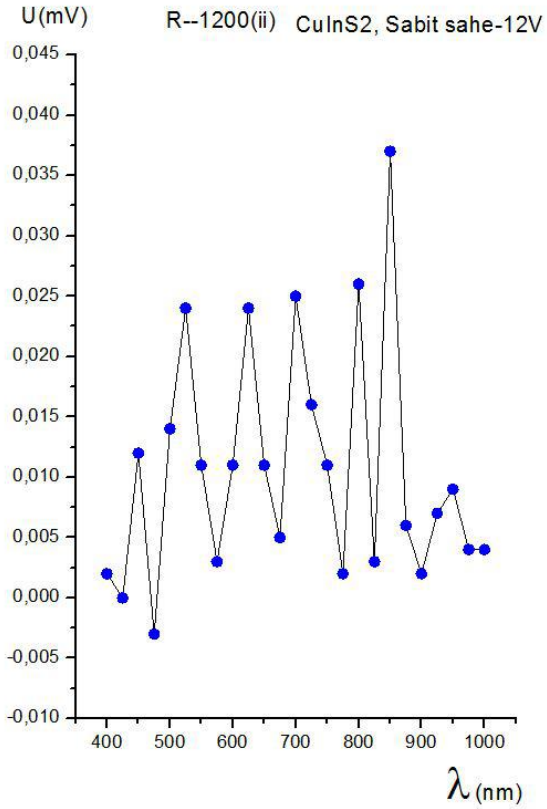


Şəkil 7. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 4V.

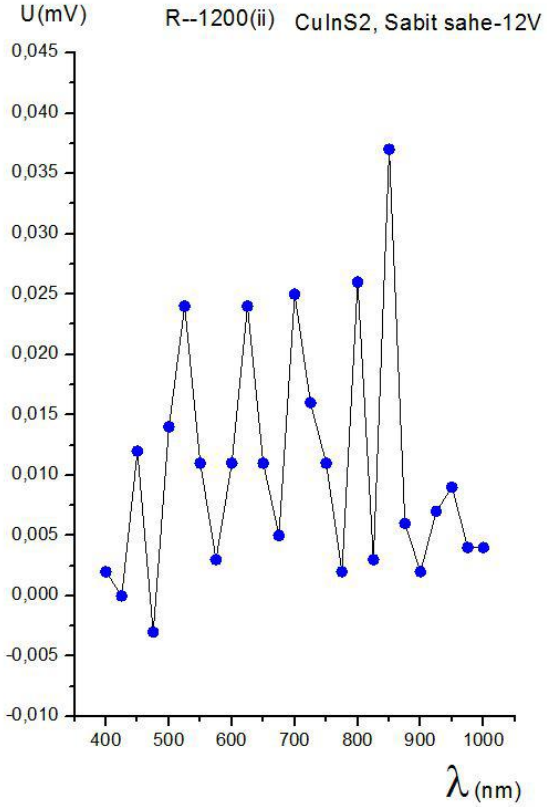


Şəkil 8. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 4V.

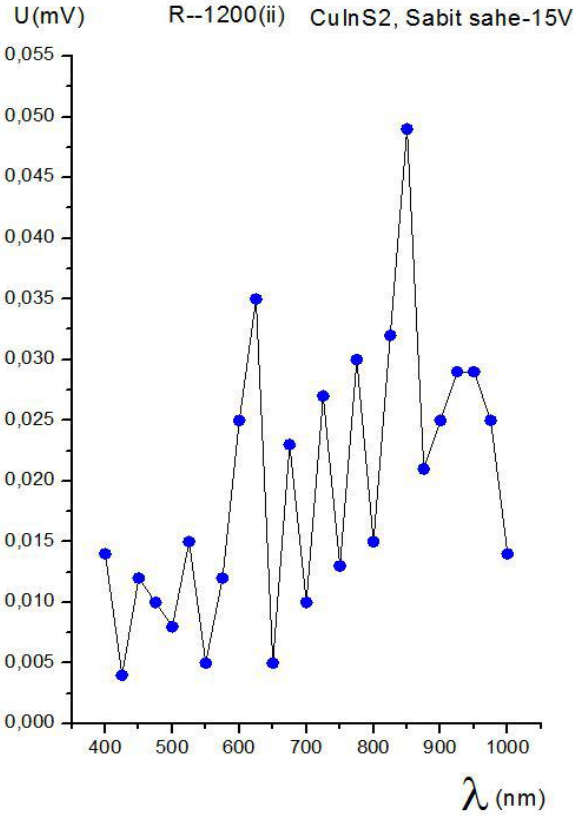
Bunlara foton bağlı zonaları deyilir. Periodik quruluşun pozulması zamanı yaranan qeyri-simmetrik vəziyyət bərk cisimlərdə defektlərlə alınan mənzərə ilə eynidir. Belə hallar kompoziti təşkil edən komponentlərdən birinin qalınlığının digərindən fərqli olduğu hallarda meydana gəlir (şəkil 6, 7, 8).



Şəkil 9. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 12V.

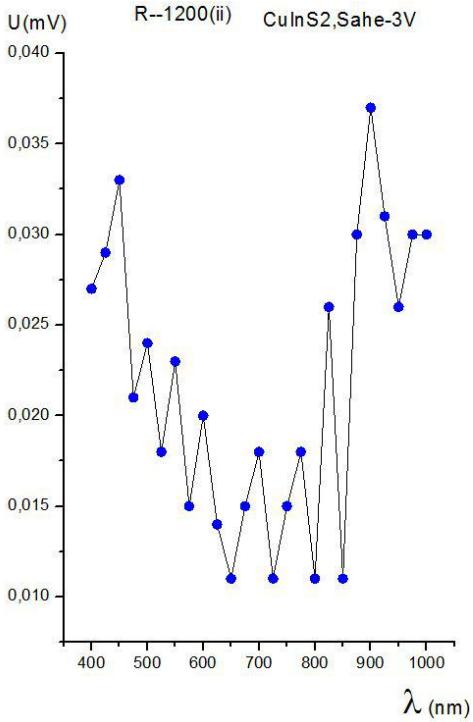


Şəkil 10. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 9V.



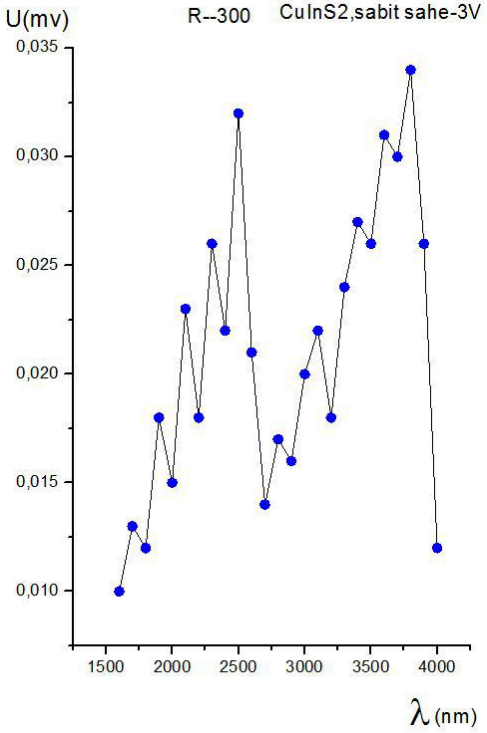
Şəkil 11. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 15V.

Foton kristalların bir üstünlüyü də ondan ibarətdir ki, işığın mühitdə yayılma sürəti, elektronun kristallarda yayılma sürətindən böyükdür. Ona görə biz spektrlərdə rezonans maksimumlarının və periodik quruluşların şahidi oluruq (9, 10, 11).



Şəkil 12. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 3V.

Optik cihazlar hazırlanarkən həyəcanlanma işıqla olduğu üçün, belə xassəli cihazlara üstünlük verilir. Cəlbedici cəhət ondan ibarətdir ki, təqdim etdiyimiz spektrlədə, siqnalın kristal tərəfində təkrar olaraq modulyasiya olunmasını görüürük (şəkil 12, 13). Şəkil 13-də güclənmənin ekponesial və iki mərhələli olması onu deməyə əsas verir ki, uzaq infraqırmızı oblastlardan sonra mm-lik oblastlarda effektin təkrarlanması mümkündür.



Şəkil 13. $CuInS_2$ monokristalında fotokeçiricilik. Sabit sahə 3V.

Yekun nəticə

Yekun nəticə olaraq onu deyə bilərik ki, mütənasib sabit elektrik sahəsinin təsirindən sonra $CiInS_2$ monokristallarının, foton xassəli olduğunu ifadə edən diskret spektrlər alınmışdır. Bu effektdən istifadə etməklə, ultraqısa lazer dalğalarının güclədirilməsini təmin edən cihazların, həmçinin zəif siqnalların onlarla qeqahers gücləndirilməsini təmin edən cihazların hazırlanmasında istifadə etmək olar.

[1] *D.Wole, R.Lerner, G.Müller*. Study of the nukleation of $CuInS_2$ on III-V substrates by liquld phase epitakxy. Crystal Research and Texnologu, v. 31, 1996, p. 317-320.

[2] *İ.Qasımoğlu.* Elektrik sahəsinin təsiri ilə $CuGaS_2$ monokristalında yaranan döyünən cərəyan. AJP, v. XX, №3, sektion: Az, 2014, p. 25-27.

[3] *Л.И. Бергер, Ф.Э.Балыневская.* Неорганические материалы том. III, 1966. №8, стр. 1514-1515.

[4] *С.Н. Мустафаева, М.М. Асадов, Д.Т. Гусейнов, И. Гасымоглу.* Диэлектрические свойства монокристаллов $CuInS_2$ в переменных электрических полях радиочастотного диапазона. ФТТ, 2015, т. 57, в. 6, ст. 1079-1083.

[5] *N.A. Abdullayev, İ. Qasımoğlu, İ.A. Mamedova.* Varible range hoppinq conductivityu at low temperatures in $CuGaS_2$ single cryustals. Physic Status Sol c. №6, 789-792, 2015.

[6] Технология полупроводниковых материалов. М.1961, ст.248

[7] *İ.Qasımoğlu.* ϒ-şüasının təsirindən sonra $CuGaSe_2$ monokristalında mənfi fotovoltaik effektin yaranması. Azerbaijan Journal of Physics Fizika, v. XIX, №1, Section: Az, 2013, p. 19-21.

[8] Optical Phonons in I-II-III_2 compounds, W.*H.Koschel, F.Sorger and J.Baars.* Journal de Physique №9, tome36, September, 1975, p. C3-177.

[9] *G.D. Boyd, H.Mc. Kasper, Jh.Mc. Fee*. Quantum Electronics, IEEE Journal of 7(12), 1971, p563-573.

[10] *Ф.М. Гашимзаде*. ФТТ, 5, 1199,1963; *А.А. Вайнолин, Ф.М.Гашимзаде, Н.А.Горюнова, Ф.П.Касаманлы, Д.Н. Наследов, Э.О. Османов, Ю.В. Рудь*. Изв. А.Н. сср, сер. Физ., 1964, т. 28, с.1085.

[11] *Л.А. Головань, В.Ю. Тимощенко, П.К. Кашкаров.* Оптические свойства нанокомпозитов на основе пористых систем. УФН, 2007, том 177, номер 6, ст.619-638.

[12] *В.Е. Панин, В.Е. Егорушкин.* Физическая мезомеханика и неравновесная термодинамика как методологическая основа наноматериаловедения. Физическая мезомеханика 12,4, 2009, с. 7-26.

[13] *А.П. Бахтинов, В.Н. Водоньянов, З.Д. Ковалюк, В.В.Нетяга, Д.Ю. Конаплянко*. Транспорт носителей заряда в композитных наноструктурах на основе слоистого полупроводника P-GaSe и сегнетоэлектрика KNO_3. ФТП, 2011, том 45, вып3, ст. 348-359.

[14] *İ. Qasımoğlu.* γ-radiyasiyanın $CuAlS_2$ monokristalının Volt-Amper xarakteristikasına təsiri. Fizika, 2017, v. XXIII, №2, Section Az, s.10-14.

[15] Optical Properties of II-IV-V_2 and I-III-VI_2 Crystals with Particular Reference to Transmission limits. By *G.C. Bhar and R.C.Simith.* Phys. Stat.sol. (a), 13, 157, 1972, p.157-167.

[16] Visible Stimulated Emission in ternary Chalcopyrite sulfides and selenides. *J.L.Shay and B.Tel and H.M. Kasper*. Ap. Physics Letters, v. 19, №9, 1971, p. 366-368, p. 366-368.

[17] Growth and characterization of $CuAlS_2$, and $CuAlSe_2$ sinqle crystals. *L.Roa, P.Grima, J.Gonzalez, J.C.Chervin, J.P.Itie, A.Chevy*. Cryst. Res. Texnol, v. 31, 1996, p. 49.

[18] Optical propertoes of the chalcoprite semiconductors $ZnGeP_2$, $ZnGeAs_2$, $CuGaS_2$, $CuAlS_2$, $CuInSe_2$, and $AgInSe_2$. *J.C.Rife, and R.N.Dexter, P.M.Bridenbaugh, B.W.Veal.* Physical Rev. Volume16, Number 10, 15 November 1977, p.4491-4500.

[19] *Л.И. Бергер, Ф.Э. Балневская.* Неорганические материалы. 1966, том. III, №8, стр. 1514-1515, 1966.

[20] *C.T.Hüseynov, T.Q.Qasımov.* Azərbaycan EA Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 1976, №6, s.105-107.

[21] Комбинационное рассеяние света и динамика кристаллической решетки. М.1982. *Н.Г.Басов*. с.223

I. Gasimoglu, G.S. Mekhtiev, Z.G. Mamedov, G.M. Asgerov

PHOTON DISCRETE SPECTRA OF $CuInS_2$ SINGLE CRYSTALS

Boundaries of $CuInS_2$ single crystals and nanolayers, quantizing spectra of electron waves were obtained. It is clear that devices with such properties can be controlled by ultra-short laser waves.

Qəbul olunma tarixi: 05.02.2024