

## CuInS<sub>2</sub> MONOKRİSTALINDA XƏTTİ ELEKTROOPTİK EFFEKT

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, İ.Q. NƏSİBOV

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu.

AZ1073, Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131

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

CuInS<sub>2</sub> monokristalında sabit elektrik sahəsinin sınıma əmsalına təsirinin spectral xarakteristikası araşdırılmışdır. Udulmanın geniş intervala məxsus oblastından istifadə etmək üçün ötürücü-qəbuledici qurğular sisteminin işığa həssaslığı oblastını genişləndirmək, sistemin informasiya tutumunu kəskin artırmaq üçün isə xətti elektrooptik effektin ölçülməsi əsas parametrlərdən sayılır. Alınan nəticələr lazer fizikası və texnikasında geniş istifadə oluna bilər.

**Açar sözlər:** Buraxma spektri, xətti elektrooptik effekt, polarizasiya, modulyasiya.

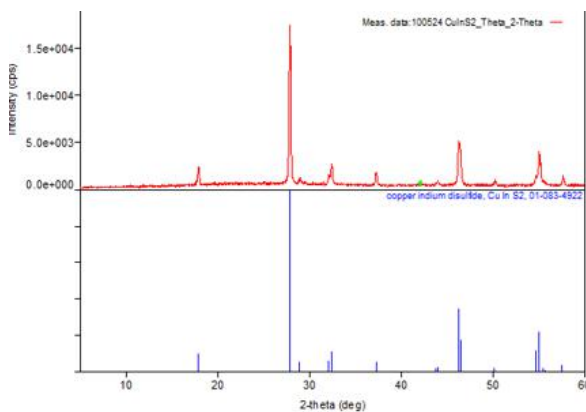
**DOI:**10.70784/azip.2.2024303

Son illərdə tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi A<sup>IB</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> ümumi formulla ifadə olunur. Burada A<sup>I</sup>(Cu,Ag), B<sup>III</sup>(Al,Ga,In), C<sup>VI</sup>(S,Se,Te) maddələrini təmsil edir. Bu tərkibə daxil olan birləşmələrdən biri də CuInS<sub>2</sub>-dir. A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> birləşmələrindən olan ZnS-in üçqat elektron analoqudur. İlk dəfə Xan və əməkdaşları tərəfindən birləşmələrin əksəriyyətinin xalkopirit strukturunda kristallaşdığı aydınlaşdırılmışdır. CuInS<sub>2</sub> p-tip keçiriciliyə malikdir. Düzgün kimyəvi quruluşdan kənara çıxmalar keçiriciliyin tipini dəyişmir. İstisna olaraq birləşmələrin bəziləri həm p-tip həm də n-tip ola bilər [2]. Monokristallarda güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur ki, bu fiziki xassə qeyri xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Materialların üstün cəhətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və aktiv rekombinasiya mərkəzləridir. Bu birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir, mütləq ekstremumları Brillüen zonasının  $\Gamma$  nöqtəsində yerləşir. A<sup>IB</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> birləşmələrində iki mis atomu iki indium atomu ilə tetraedr əmələ gətirir, mərkəzdə isə kükürd atomu yerləşir. Birləşmələrin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi F.Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur [3]. CuInS<sub>2</sub> monokristalı xüsusi üsulla sintez olunmuş, sonra isə Bricmen üsulu ilə yetiştirilmişdir. Birləşməyə daxil olan maddələrin təmizlik dərəcəsi aşağıdakı kimidir.

Cu-99,999%, Ga-99,9999%, S-99,9999%-dir. Yuxarı temperatur 1423K, aşağı temperatur 973K olmuşdur. Nümunənin otaq temperaturundakı müqaviməti  $R=40\Omega$ , ölçüləri  $1\times 0,5\times 2\text{mm}^3$  tərtibindədir. Rentgen analizinin nəticələri (şəkil 1) göstərir ki, aldığımız kristalların parametrləri elmi ədəbiyyatda olanlarla uyğunluq təşkil edir. Qəfəs parametrləri belədir:  $a=b=5,3317\text{\AA}$ ,  $c=10,413\text{\AA}$ , fəza simmetriya qrupu (42m)-dir.

### Mövzunun aktuallığı

Xalkopiritlərdə tetraqonal formada kristallaşma və ikitipli fərqli metal atomlarının mövcud olması simmetriyanın zəifləməsinə səbəb olur. CuInS<sub>2</sub> monokristalı xarici təsirlərə həssasdır. Bu isə deformasiya hesabına daxili sahənin yaranmasına gətirir. Kristal səthində bir çox mürəkkəb və yeni quruluşlar meydana gəlir. Monoxromatik işığın təsirindən sonra anizotropluğun müşahidə olunması, bir çox yeni mühüm xassələrin aşkara çıxmasına imkan verir. Simmetriya mərkəzi olmayan biroxlı kristallarda mütənəib elektrik sahəsinin təsirindən sonra, yeni fərqli xassələrlə rastlaşırıq. Elektron dalğalarının diskret spektrləri, laylı kompozit quruluşlara məxsus periodik dalğa paketlərinin kəskin spektrləri bunlara misal ola bilər. Polarizasiya hesabına modulyasiyanın baş verməsi, bu obyektlərin tədbiq üçün çox əhəmiyyətli olduğunu göstərir [4].



Şəkil 1. CuInS<sub>2</sub> monokristalının rentgen şüalarının difraksiya spektri  $T=300\text{K}$ . (Diffraktometr d8 Advance).

### Məsələnin qoyuluşu

CuInS<sub>2</sub> monokristalında xətti elektrooptik effektin ölçülməsi və səthinin öyrənilməsi, səthdə və daxilə baş verən elektron quruluşu haqqında yeni məlumatların əldə edilməsindən, çoxtutumlu yaddaş elementlərinin, sensorların detektorların nümunələrinin hazırlanmasından təkmilləşdirilməsindən, günəş elementlərinə məxsus parametrlərin ölçülməsindən və yuxarıda sadalananları həyata keçirmək üçün lazım olan fiziki xassələrin araşdırılmasından ibarətdir.

### Təcrübənin aparılması

Elektrik və optik ölçülər aparmaq üçün nümunə xüsusi tutqacda qaranlıqda yerləşdirilir. Optik xassələri ölçmək üçün istifadə olunan kompleks qurğu aşağıdakı

cihazlardan təşkil olunmuşdur. MDR-23, üç güzgü qəfəsdən ibarət olmaqla geniş bir dalğa uzunluğu oblastını əhatə edir. I-güzgü qəfəs (şərti işarəsi-1200), II-güzgü qəfəs (şərti işarəsi-1200), III-güzgü qəfəs (şərti işarəsi-600). Ölçmələrdə əsasən görünən və infraqırmızı elastı (350-1000nm), əhatə edən II-qəfəsdən istifadə olunur. Güclü işıq mənbəyindən düşən şüalar linzalar sistemi vasitəsi ilə nümunənin üzərinə yönəldilir. Nümunə kondensatorun lövhələri arasında yerləşdirilmişdir. Yarımsəffaf lövhələrdən nümunəyə düşən işıq hesabına yaranan elektrik siqnalları, təmizləyici detektorla ardıcıl birləşən gücləndiriciyə (İSG) düşür. Detektordan çıxan siqnallar digital multimeter adlı müasir cihaza daxil olur, sonra elektrik siqnalı kimi qeyd olunur. Buraxma spektrini ölçməklə mütənasib verilən sabit elektrik sahəsinin yaratdığı polyarizasiya hesabına modulyasiyanı müşahidə etmiş oluruq. Alınan nəticələr fotokeçiricilik ölçmələrində təkrar olaraq yoxlanılmışdır.

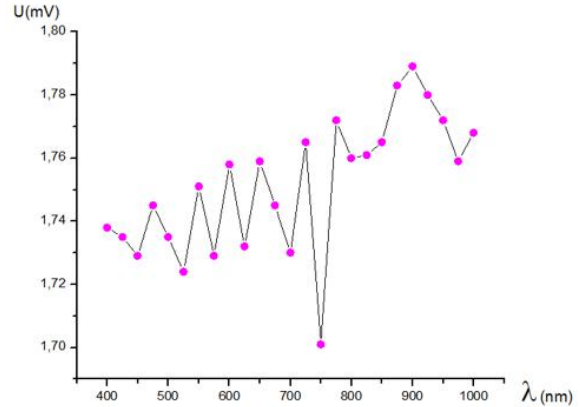
### **Təcrübədən alınan nəticələr**

Mütənasib verilən sahə hesabına düşən monoxromatik işığın amplitudaya görə modulyasiyası müşahidə olunmuşdur. Bu isə elektrik sahəsi təsiri ilə monokristalın sınıma əmsalının sabit elektrik sahəsinin funksiyasına çevrildiyini göstərir. Təcrübələr onu göstərir ki, bu xassəyə malik olan kristallardan görünən və infraqırmızı oblastlarda işləyə bilən effektiv modulyatorlar hazırlamaq mümkündür.

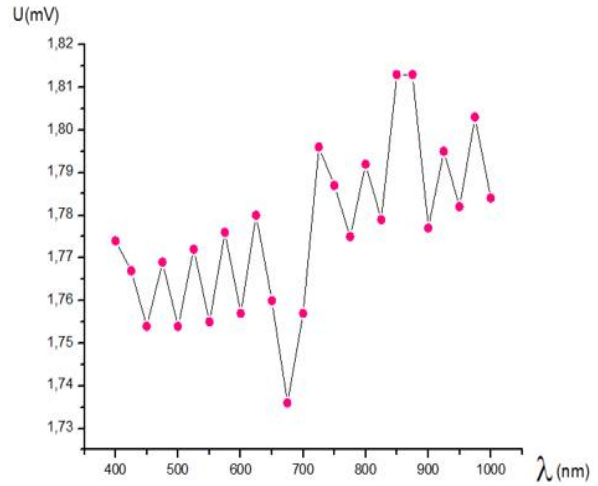
### **Alınan nəticələrin izahı**

Elmi ədəbiyyatdan bizə məlumdur ki, udulmanı elektrik sahəsi ilə (Frans-Keldiş effekti) və maqnit sahəsi ilə (Zeeman effekti) idarə etmək olar. Yarımkəçirici kristallarda udulma əsasən sərbəst yüklərin konsentrasiyasının və yürüklüyünün dəyişməsinə asılıdır. Ona görə də, yarımkəçiricilər texnikasında sərbəst yüklərin konsentrasiyasının, yürüklüyünün dəyişməsi üsulundan işığın modulyasiyasında istifadə olunur. İşığın udulmasının idarə olunmasına əsasən hazırlanan modulyatorların hamısı, amplituda modulyasiyasını ölçməklə əldə olunan nəticələrə görə hazırlanır. Bu materiallar əsasında görünən və infraqırmızı oblastlarda işləyə bilən effektiv modulyatorlar hazırlamaq mümkündür. Göründüyü kimi (şəkil 2) sabit elektrik sahəsi 2V olduqda, absis oxuna perpendikulyar endirilmiş xətt 750nm-in üzərinə düşür. Mütənasib verilən sahənin qiymətini artırıqda bu kəsişmə 690nm-lə kəşişir (şəkil 3). Bu isə eyni kristalda lüminessensiya ölçmələrində müşahidə etdiyimiz eksiton defekt kompleksi maksimumu ilə üst-üstə düşür. Verilən sahənin qiyməti 4V olduqda isə polyarizasiya hesabına diferensial mənfi müqavimət aradan çıxır spektral asılılıq müsbət qiymət almış olur. Alınan nəticə buraxmanın sabit elektrik sahəsinə görə kəskin dəyişməsini göstərir. Biz bu təcrübələri yoxlamaq üçün fotokeçiriciliyi CuInS<sub>2</sub>-də ölçərək mütənasib sahə verməklə təkrar etdik. Alınan nəticələr göstərir ki, hər iki ölçmədə xətti ekektrooptik effekt siqnalların güclənməsinə səbəb olur. Mütənasib sabit sahə verdikdən sonra (şəkil 5, 6, 7, 8) keçiriciliyin spektrində periodik dalğaların və rezonans maksimumlarının müşahidə olunması biroxlı kristallarda plastik

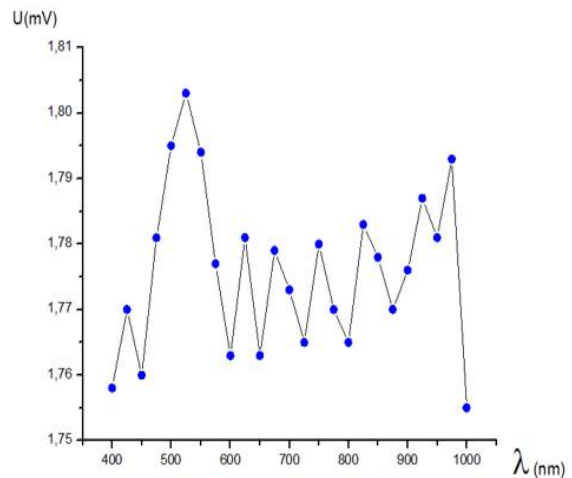
deformasiya hesabına kəskin dəyişmələrin baş verdiyini göstərir. İfrat qəfəsə malik kristallarda diskret elektron dalğalarının səth effektlərini ifadə etməsi məlumdur



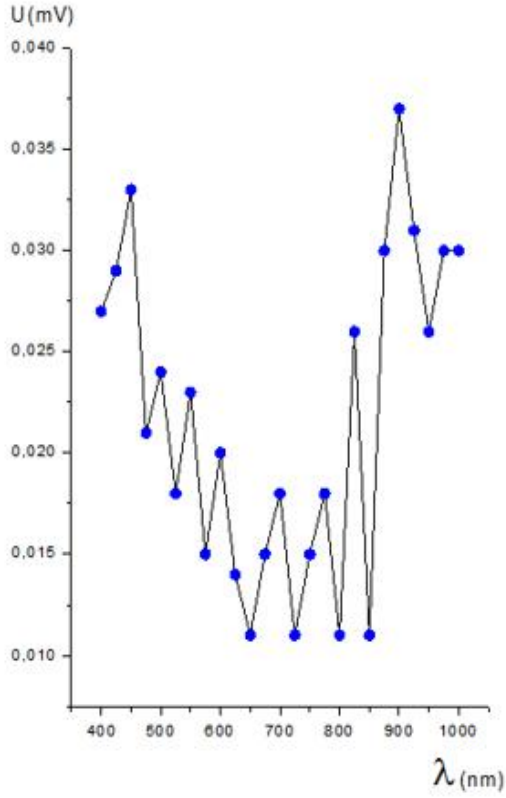
Şəkil 2. Monokristal CuInS<sub>2</sub>, buraxma spektri sabit sahə U=2V.



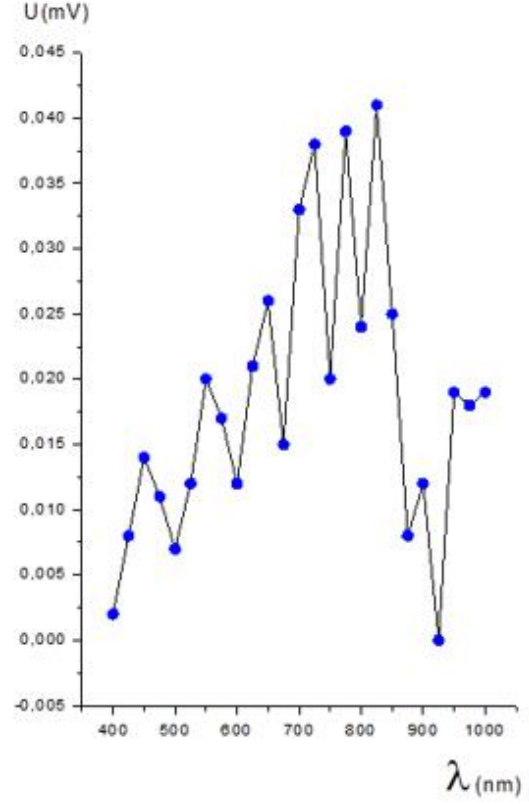
Şəkil 3. CuInS<sub>2</sub> monokristalında buraxma spektri, sabit sahə U=3V.



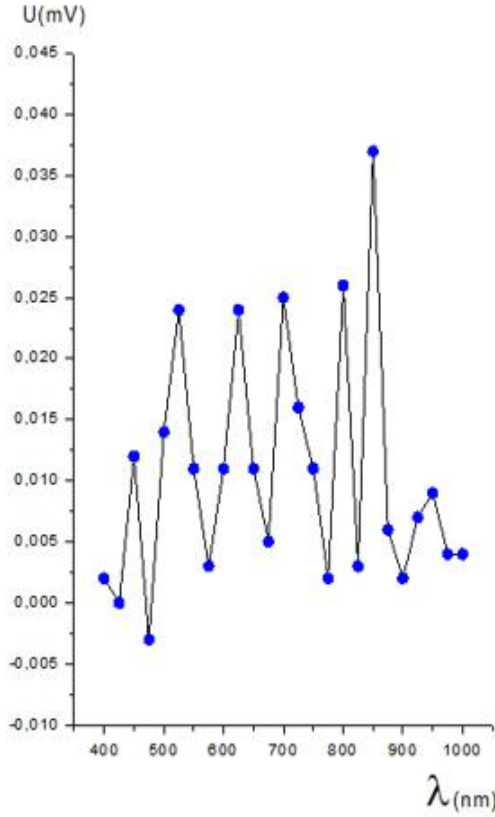
Şəkil 4. CuInS<sub>2</sub> monokristalında buraxma spektri, sabit sahə U=4V.



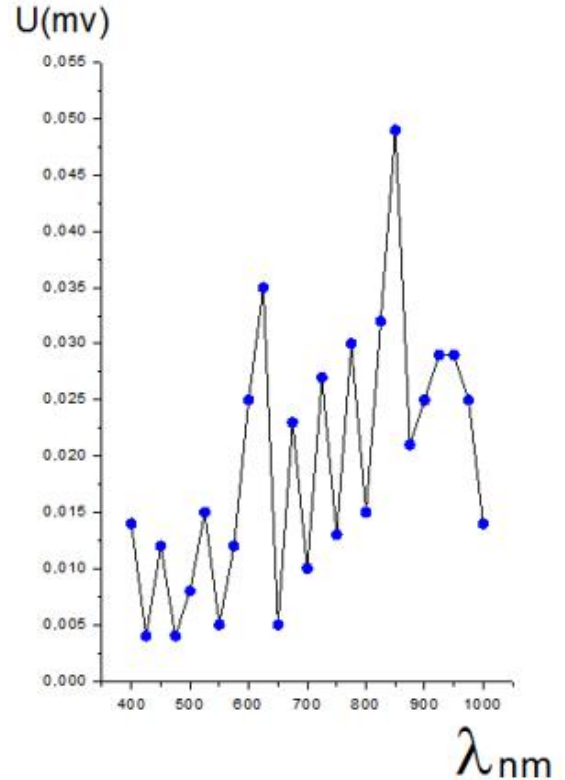
Şəkil 5. CuInS<sub>2</sub> monokristalının fotokeçiriciliyi, sabit sahə  $U=2V$ .



Şəkil 7. Monokristal CuInS<sub>2</sub>. Fotokeçiricilik sabit sahə  $U=4V$ .



Şəkil 6. CuInS<sub>2</sub> monokristalı. Fotokeçiricilik sabit sahə  $U=3V$ .



Şəkil 8. CuInS<sub>2</sub> monokristalı. Fotokeçiricilik sabit sahə  $U=5V$ .

Təcrübələrdə əldə etdiyimiz nəticələr, periodik dalğalar, rezonans pikləri, mənfi diferensial müqavimət, modulyasiyanın sahədən asılı olması dediklərimizi sübut etmiş olur.

### **Yekun nəticə**

Xətti elektrooptik effekt işığın anizotrop mühitdə yayılması zamanı meydana gəlir. Kristallar optikanın əsaslarını, simmetriyanın kristalların fiziki xassələrinə təsirini öyrənmək üçün xətti elektrooptik effektin araşdırılması əsas şərtlərdən biridir.

Üçqat birləşmələrdə quruluş defektlərinin araşdırılması, səthinin tədqiqatı göstərir ki, nanotexnologiya üçün ikiqat analoqlarından fərqli olaraq bu obyektlər

üstünlüklərə malikdirlər, çünki səthin anizotropluğuundan yaranan ikiqat sınımanın olması, qaranlıqda cərəyanın, müqavimətin qiymətinin kiçik olması, simmetriya mərkəzinin olmaması birləşmələrin üstün cəhəti sayılır. Bununla da biz xalkopiritlərin tətbiq üçün böyük imkanlara malik olduğunu görürük. Bundan əlavə, sabit elektrik sahəsinin fotokeçiriciliyə təsiri periodik dalğaların və rezonans piklərinin meydana gəlməsinə səbəb olur. Bu işə bəroxlü kristallarda ifrat qəfəs hesabına fərqli xassələrin yaranması deməkdir.

- [1] Optikal Phonons in I-II-III<sub>2</sub> compounds, *W.H.Koschel, F.Sorger and J.Baars*. *Jurnal de Physique* № 9, tome 36, September, 1975, page C3-177.
- [2] *G.D. Boyd, H.Mc. Kasper, Jh.Mc.Fee*. *Quantum Electronics, IEEE Journal of* 7(12), 1971, p.563-573.
- [3] *Ф.М. Гашишзаде*. ФТТ, 5, 1199,1963; *А.А. Вайнолин, Ф.М. Гашишзаде, Н.А. Горюнова*,

- Ф.П.Касаманлы, Д.Н. Наследов, Э.О. Османов, Ю.В. Рудь*. *Изв. АН ССР, сер. Физ.*, 1964, т.28, ст.1085.
- [4] *Л.А. Головань, В.Ю. Тимощенко, П.К.Кашикаров*. Оптические свойства нанокмполитов на основе пористых систем. УФН, 2007, том 177, № 6, ст. 619-638.

**I. Gasimoglu, G.S. Mehdiyev, I.G. Nasibov**

### **LINEAR ELECTRO-OPTICAL EFFECT ON CuInS<sub>2</sub> SINGLE CRYSTAL**

In CuInS<sub>2</sub> single crystal, the spectral characteristics of the effect of constant electric field on the refractive index were investigated. In order to use the range of absorption in a wide range, to expand the range of light sensitivity of the transmitter-receiver system, and to sharply increase the information capacity of the system, the measurement of the linear electro-optical effect is considered one of the main parameters. The obtained results can be widely used in laser physics and technology.

*Qəbul olunma tarixi: 22.07.2024*