

## BİROXLU KRİSTALLARIN $\text{CuGaS}_2$ , $\text{CuAlS}_2$ , $\text{CuInS}_2$ PERİODİK STRUKTURLARINDA DÖYÜNƏN CƏRƏYAN

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

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu,

Azərbaycan, Bakı 1143, H.Cavid, 131

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

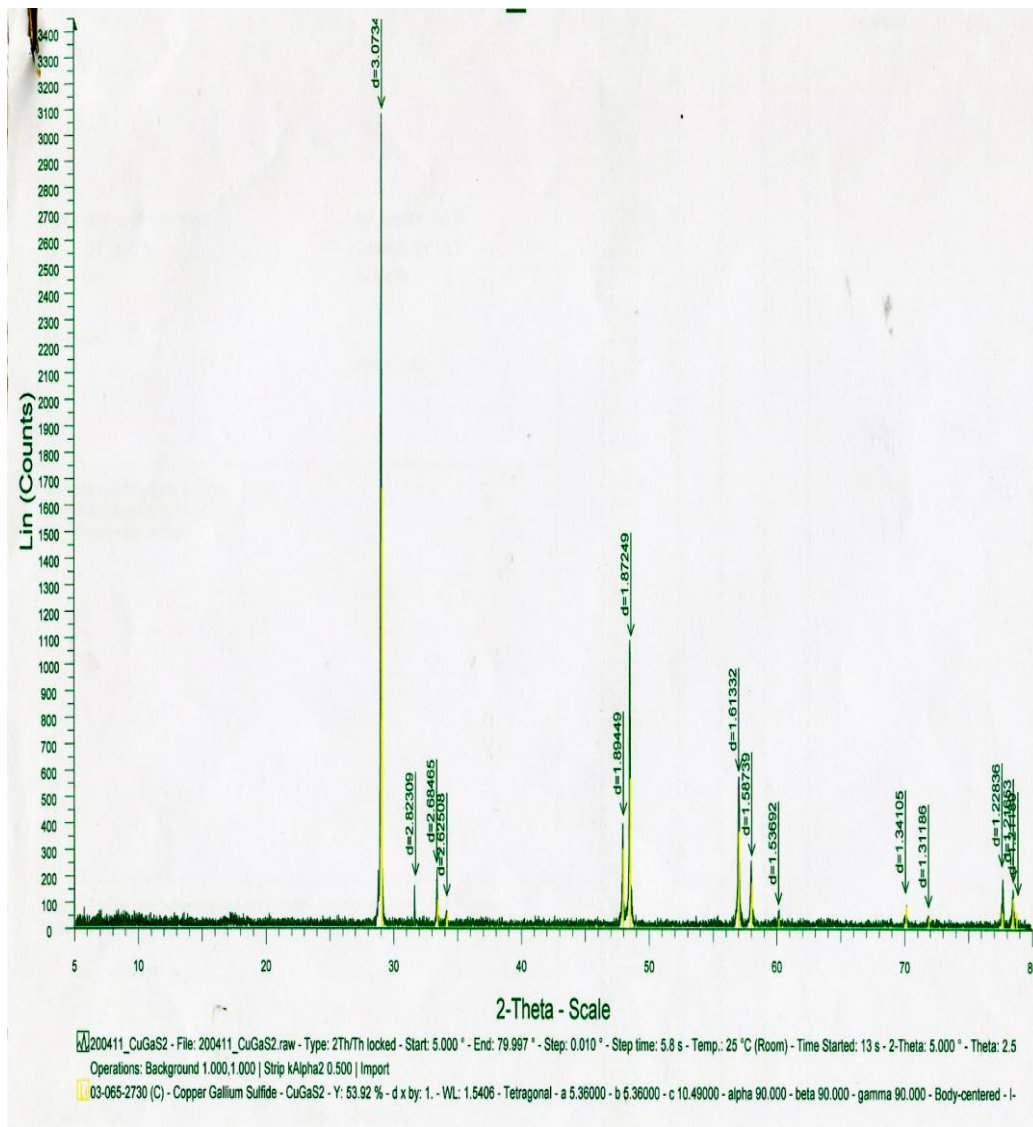
Təqdim olunan işdə matris kimi qəbul edilən  $\text{CuGaS}_2$ ,  $\text{CuAlS}_2$ ,  $\text{CuInS}_2$  monokristalları və onların əsasında oksid təbəqəsi olan ikikomponentli dövri strukturlar tədqiq edilmişdir. Alınan nəticələrin hipotetik şərhı verilir.

**Açar sözlər:** Yarımkəçirici, anizotrop luq, periodik struktur

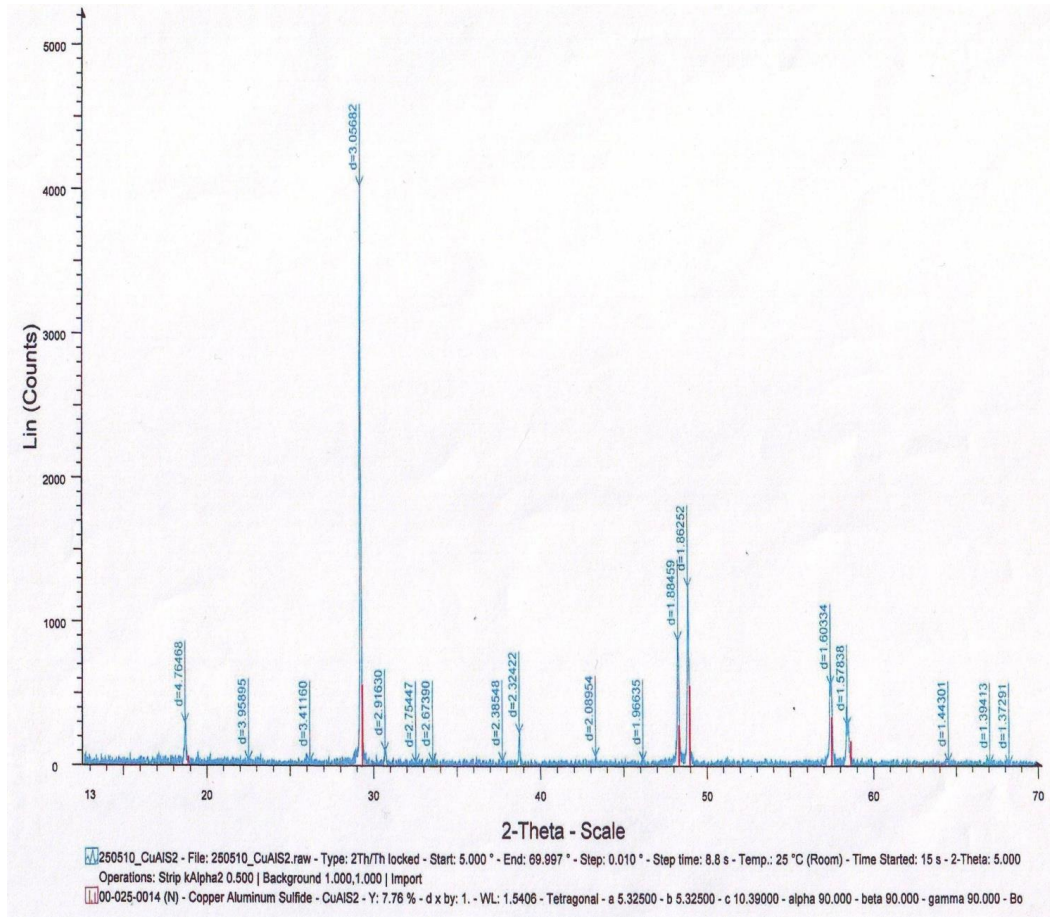
**Pacs:** 61.80.Ed

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkəçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi  $A^I B^{III} C_2^{VI}$  ümumi formulu ilə ifadə olunur. Bunlar  $A^I$  (Cu, Ag),  $B^{III}$  (Ga, In, Al),  $C^{VI}$  (S, Se, Te) kimi maddələri ifadə edir. Tədqiqata cəlb etdiyümüz obyektlər  $\text{CuGaS}_2$ ,  $\text{CuAlS}_2$ ,  $\text{CuInS}_2$  Xan və əməkdaşları tərəfindən rentgen analizi

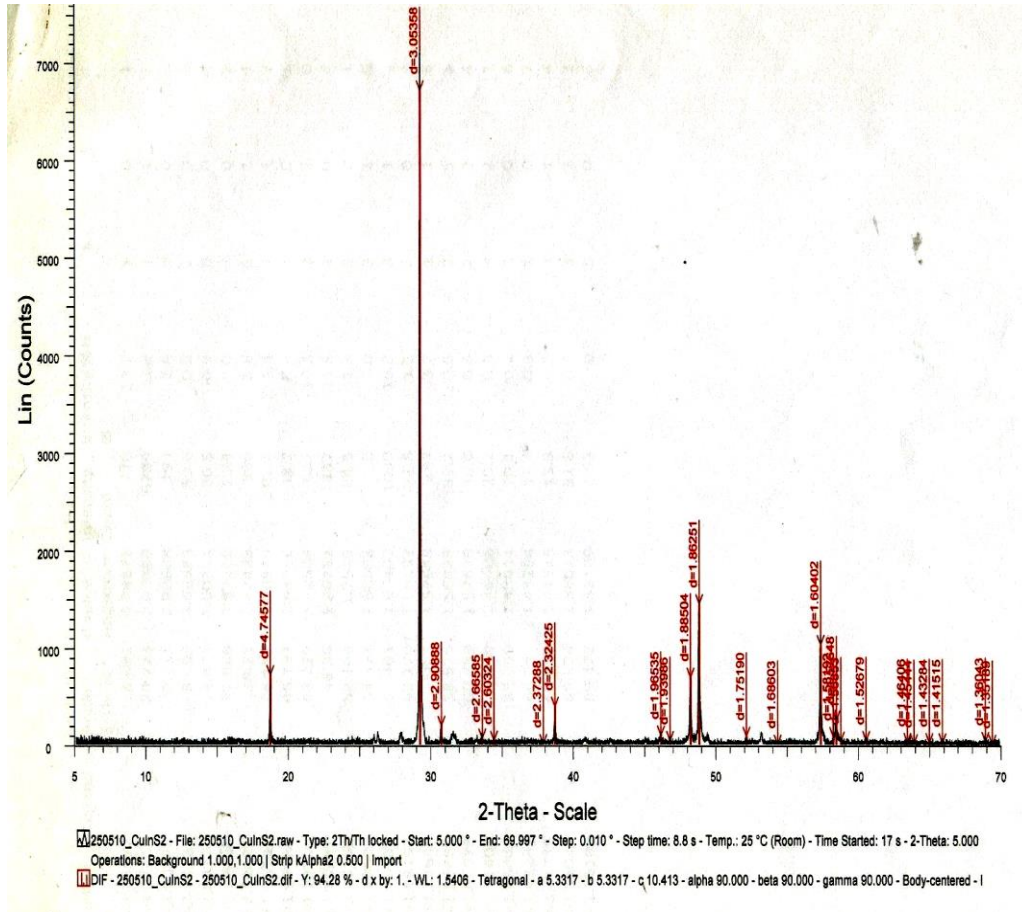
üsulu ilə öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, bu sinif birləşmələrin demək olar ki, hamısı xalkopirit strukturunda kristallaşır və əksəriyyəti  $p$ -tip keçiriciliyə malikdir [2]. Alınan maddələrin yarımkəçirici olduğunu müəyyən etmək üçün hər birinin rentgenoqramı çıxarılmışdır (şəkil 1, 2, 3)



Şəkil 1.  $\text{CuGaS}_2$  monokristalında rentgen şüalarının difraksiyası.



Şəkil 2.  $\text{CuAlS}_2$  monokristalında rentgen şüalarının difraksiyası.



Şəkil 3.  $\text{CuInS}_2$  monokristalında rentgen şüalarının difraksiyası.

Bu nümunələrdə güclü ikiqat sınıma müşahidə olunmuşdur və bu xassə qeyri-xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir [3]. Birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir və mütləq ekstremumları Brillüen zonasının  $\Gamma$  nöqtəsində yerləşir.  $A^1B^mC_2^v$  şəklində birləşən yarımkeçiricilərin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi hörmətli alimimiz F. Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur[4].

**MÖVZUNUN AKTUALLIĞI**

Yeni fiziki xassələrə malik yarımkeçiricilərin alınmasına böyük ehtiyac duyulur. Elektron cihazların təkmilləşdirilməsi üçün yeni texnologiyaların meydana gəlməsi vacibdir. Bircinsli maddələrdən fərqli olaraq anizotrop maddələrdə sərbəst rəqslərin və rezonansların sayının çox olması maddələrin üstün xassələrindən biridir. Kristalların üstün xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla müasir mikroelektronika üçün yeni nəticələrin əldə olunacağına inanırıq və mövzunun aktual olduğunu düşünürük.

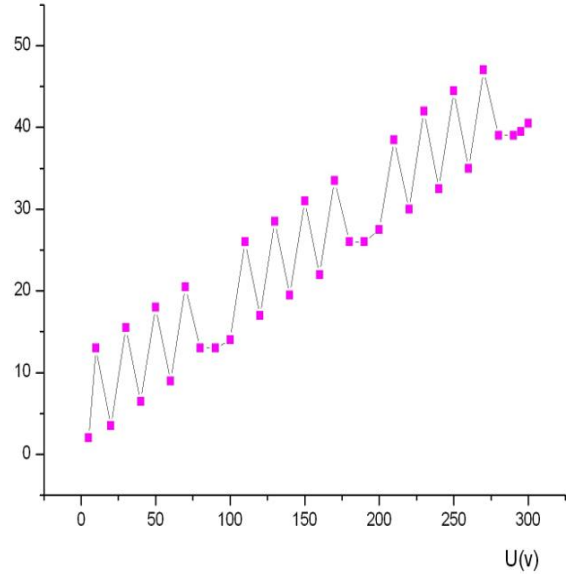
**MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU**

Müasir mikroelektronika bizdən tələb edir ki, tədqiqatlara yeni əlavə parametrlər, qiymətlər, həndəsi ölçülər tətbiq edək. Xarici təsirlər hesabına kristalların səthində yaranan səth dalğalarının xassələrini öyrənməyi qarşımıza məqsəd qoyduq. Üstün cəhət ondan ibarətdir ki, periodik strukturlara malik mühitlər zəif siqnallarda özlərini qeyri-sabit aktiv element kimi aparır. Bu intervallarda xarici təsirlər hesabına yaranan dalğaların fiziki xassələrini tam dəqiqliyi ilə öyrənərək, elektronun kvant sahəsindəki potensial hərəkətinə tətbiq etmək mümkündür.

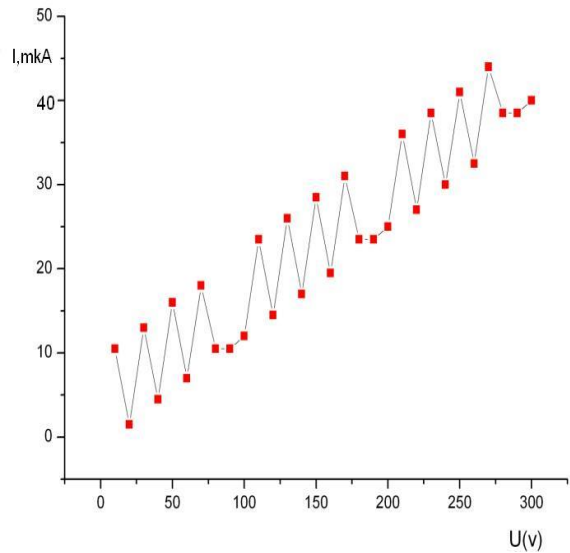
**TƏCRÜBƏNİN APARILMASI**

Materiallarda periodik strukturlara xas olan xassələrin mövcudluğunu aydınlaşdırmaq üçün, həmin maddələrin Volt-Amper xarakteristikası çıxarılmalıdır və bu xarakteristikalarda müəyyən şərtlərin ödənilib ödənməməsi halına baxılmalıdır. Ona görə, biz nümunəyə sabit mənbədən elektrik sahəsi verməklə, yuxarıda adları çəkilən kristalların hər biri üçün Volt-Amper xarakteristikasını çıxardıq (şəkil 4, 5, 6). Aparılan təcrübələrdən aydın oldu ki, bu materialların xarakteristikalarında mənfə müqavimət müşahidə olundu. Alınan periodik strukturlar özlərini qeyri-xətti aktiv element kimi aparır, amma sonda bu qeyri-xətti dispersiya paketlərinin anizotroplığında bir qanunauyğunluq müşahidə olunur. Periodik strukturlara kənar təsirlərdən yaranan dalğaların araşdırılması göstərir ki, səthdə yeni tipli dalğalar yaranmışdır. Təcrübə zamanı sabit elektrik sahəsinin artımlarını ifadə edən “addımların” spektrə təsirində də baxılmışdır. Sahəni sabit olaraq (5-10V) artırmağa davam etdikdə, dalğaların amplitudunun qiymətinin kəskin artdığını görürük. Yəni, nümunəyə verilən xarici sahənin “addımı” 20V olduqda alınan spektr daha dayanıqlı və sabit olur. Biz belə düşünürük ki, addımlar 10V olduqda həyəcanlanmaların sayı və intensivliyi uyğun olaraq artır və əksər atomların əlaqə enerjisi 10eV ətrafındadır. Buradan aydın olur ki, Volt-Amper

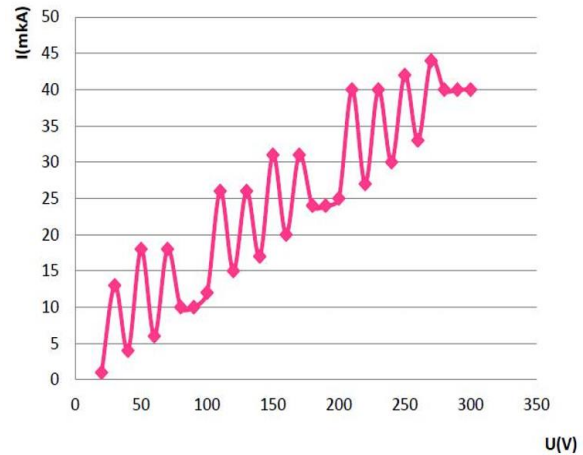
xarakteristikasını ölçərkən seçilən “addım” tədqiqatın mahiyyətinə uyğun olmalıdır.



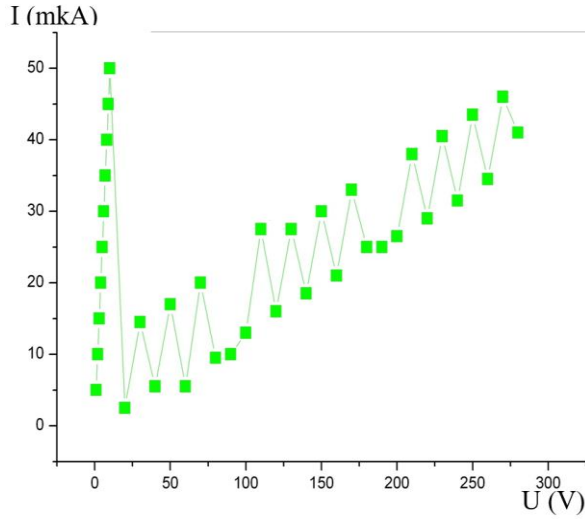
Şəkil 4 CuGaS<sub>2</sub> monokristalının Volt- Amper xarakteristikası .T=300K



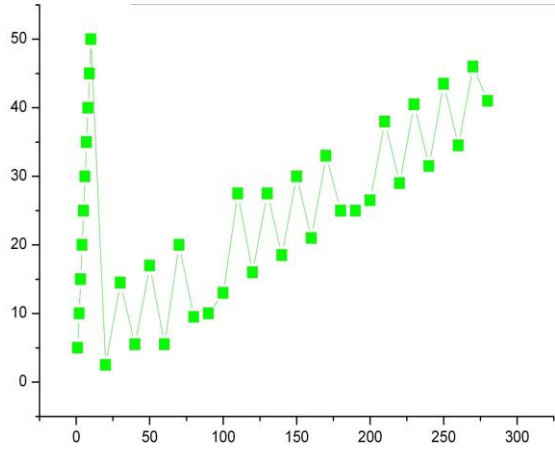
Şəkil 5. CuAlS<sub>2</sub> monokristalının Volt- Amper xarakteristikası T=300K.



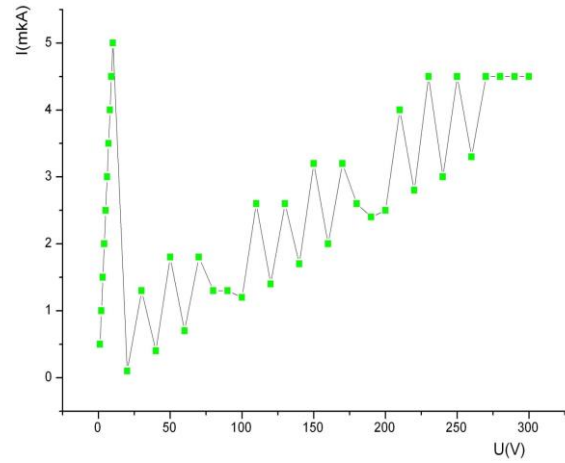
Şəkil 6. CuInS<sub>2</sub> monokristalının Volt- Amper xarakteristikası T=300K.



Şəkil 7.  $\text{CuGaS}_2$  monokristalı.  $\gamma$ - şüasının təsirindən sonra (128-qrey doza), Volt-Amper xarakteristikası.



Şəkil 8.  $\text{CuAlS}_2$  monokristalı.  $\gamma$ - şüasının təsirindən sonra (128 qrey doza), Volt-Amper xarakteristikası.



Şəkil 9.  $\text{CuInS}_2$  monokristalı.  $\gamma$ -şüasının təsirindən sonra (128 qrey doza), Volt-Amper xarakteristikası

Kristalları zəif qamma dozası ilə şüalandırdıqda rezonansların sayının artdığını görürük (şəkil 7, 8, 9). Bu təcrübələrdə rezonansların baş verməsinin səbəbini qamma şüalarının dalğa uzunluqlarının çox kiçik qiymətə malik olmasında görürük ( $0,1 \text{ \AA}$ ) ki, bu da periodik strukturların Volt-Amper nəzəriyyəsində deyildiyi kimi, özünü tam doğrultmuş olur (6). Aparılan təcrübələrin təhlili göstərir ki, dalğaların periodik strukturlarda yayılması ilə elektronun potensial sahədəki xassələri tam oxşarlıq təşkil edir. Bu fiziki xassələri ifadə edən riyazi tənliklərin də oxşarlığını ortaya gətirəndə aydın olur ki, zəif dalğa oblastlarında müşahidə etdiyimiz nəticələri elektronun atom ətrafındakı periodik hərəkətinə tədbiq edə bilərik.

#### ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Yuxarıda deyildiyi kimi, xarici təsirlərdən sonra periodik strukturlarda yaranan dalğaları ifadə edən dispersiya tənlikləri yəni:

$$\text{COS } k^{-TE} d = \text{COS } K_{z1} d \text{COS } K_{z2} d - 1/2(K_{z1}/K_{z2} + K_{z2}/K_{z1}) \text{SINK}_{z1} d \text{SINK}_{z2} d \quad (1)$$

adi dalğa

$$\text{COS } k^{-TM} d = \text{COS } K_{z1} d \text{COS } K_{z2} d - 1/2(K_2 K_{z1}/K_1 K_{z2} + K_1 K_{z2}/K_2 K_{z1}) \text{SINK}_{z1} d \text{SINK}_{z2} d \quad (2)$$

qeyri adi dalğa ilə elektronun potensial sahədəki xassələrini ifadə edən Kroninq-Penni tənliyi eynilik təşkil edir. Bloxa görə, Şredinger tənliyini periodik potensiallar üçün aşağıdakı kimi yazmaq olar

$$\Psi_k = U_k(r) e^{ikr} \quad (3)$$

(3) tənliyindəki  $e^{ikr}$  ifadəsi kristal qəfəsin periodu ilə, modullaşmış müstəvi funksiyadır və tənliyin həlli Blox funksiyası adlanır. Funksiyanın, riyazi hesablamaların dərinliyinə getmədən təqdim olunan sonuncu ifadəsi bu tənliklərin oxşar mənə daşdığını göstərir. Tənliyin qaçan dalğalar üçün həlli aşağıdakı kimi yazılır.

$$\Psi = U_k(X) e^{iKX} \quad (4)$$

sadələşdirmələrdən sonra tənlik aşağıdakı şəklini alır.

$$\text{PSİN } aa/aa + \text{COS } aa = \text{COS } ka \quad (5)$$

(4)-bərabərliyinin ifadə etdiyi dalğa funksiyası, (5)-tənliyinin həlli olsun deyə bu tənlik  $\alpha$ -ya görə həll olunmalıdır. Tənliyin sağ tərəfi  $+1$  və  $-1$  intervalında qiymətlər aldığı üçün  $aa$ -kəmiyyəti bu qiymətləri sol tərəf bu intervaldan kənara çıxma bilmədiyini halda ala bilər. Tənliyin həlli üçün

$$\alpha = (2mE/\hbar^2)^{1/2} \quad (6)$$

ifadəsi enerji üçün ( $E$ ) lazım olan qiymətləri verir.  $aa$ -nın mümkün olan sərhəd şərtləri  $K$ -dalğa vektoru üçün  $n\pi$ -yə uyğun gəlir. Əgər (5)-tənliyindəki  $P$ -kəmiyyəti kiçik qiymətlər alarsa onda bağlı zona yox olur. Əgər  $P=\infty$  olarsa, onda açıq zona genişlənmiş olur və energetik spektr diskret olur (5). Fiziki proseslərin riyazi tənliklərdəki ifadələrindən belə nəticəyə gəlirik ki, laylı periodik strukturlarda yeni tip səth dalğalarının yaranmışını müşahidə edilir. Bu dalğalar periodik strukturların kənarından əks olunaraq ziqzaq formalı dalğa paketi yaradır. Biz bu cür döyünən cərəyanları, Volt-Amper spektrlərində müşahidə edirik. Bu dalğaların kvant mexanikasındakı analoqu olaraq Tamm səviyyələrini göstərə bilirik.

## YEKUN NƏTİCƏ

Nəzəri və təcrübi nəticələrə əsaslanaraq deyə bilərik ki, hər bir period qurtardıqda, döyünən cərəyanı ifadə edən elektron dalğalarının intensivliyi sifra yaxınlaşır. Periodik mühitlərdə bu dalğaların yaranmasına

səbəb olan rəqslər mühitin dərinliklərinə nüfuz edə bilmir. Ona görə, xarici təsirlər zamanı həyəcanlanmanı ifadə edən dalğaların amplitudası, səthdən aşağıya doğru hər period üçün eksponensial olaraq azalmağa başlayır. Tədqiqata cəlb etdiyimiz maddələr üçqat birləşmələrdən ibarət olduqları üçün üç dalğa paketindən ibarət olan mənzərəni aydın şəkildə müşahidə edirik. Periodik mühitlər elə xüsusiyyətlərə malikdirlər ki, onların fiziki parametrləri tərkiblərindəki maddələrdən asılıdır. Ona görə də, mühitin həndəsi ölçülərini dəyişməklə rəqslərin udulma dərinliyini, layların kənarında dalğaların lokallaşmasını, dalğaların faza sürətini və dalğaların sönmə dərinliyini idarə etmək mümkündür. Yuxarıda sadalanan faktlar onu deməyə əsas verir ki, yarımkeçirici quruluşların fiziki xassələrini idarə etmək üçün geniş imkanlar əldə etmiş oluruq. Təkbiz olunmaz faktlar bir daha göstərir ki, xalkopirit struktura malik yarımkeçirici kristalların  $\text{CuGaS}_2$ ,  $\text{CuAlS}_2$ ,  $\text{CuInS}_2$  öyrənilməsi tətbiqi mikroelektronika üçün çox böyük imkanlar vəd edir.

- [1] *D.Wole, R.Lerner, G.Müller.* Crystal Research and Technologi. 1996, volme 31, p. 317-320.
- [2] *İ.Qasimoğlu.* Azerbaijan journal of Physics, XX, 2014, N3, sektion: Az, p25-27.
- [3] Л.И. Бергер, Ф.Э. Балыневская. Неорганические материалы. 1966, том III, N8, стр.1514-1515.
- [4] *Ф.М. Гашидзе.* ФТТ, 1963, 5, с. 1199; *А.А. Вайнолин, Ф.М. Гашидзе, Н.А.Го-*

- рюнова, Ф.П. Касаманлы, Д.Н. Наследов, Э.О. Османов, Ю.В. Рудь.* Изв.А.Н.срр,сер. Физ.,1964,т.28, ст.1085.
- [5] *Ч. Куммел.* Введение в физику твердого тела. 695 ст.
- [6] *İ. Qasimoğlu.* Azerbaijan journal of Physics Fizika, Section: Az, 2013, volume XIX, N1, p. 19-21.

**I. Gasymoglu, G.S. Mehdiyev, Z. Gadiroglu, I.Q. Nasibov, C.I. Huseinov, G.M. Askerov**

### CURRENT OSCILLATIONS IN PERIODIC STRUCTURES OF UNIAXIAL $\text{CuGaS}_2$ , $\text{CuAlS}_2$ , $\text{CuInS}_2$ CRYSTALS

In this work single crystals  $\text{CuGaS}_2$ ,  $\text{CuAlS}_2$ ,  $\text{CuInS}_2$  accepted as matrices and two-component periodic structures with an oxide layer based on them were studied. A hypothetical interpretation of the obtained results is given.

**И. Гасымоглу, Г.С. Мехтиеv, З. Гадироглу, И.Г. Насибов, С.И. Гусейнов, Г.М. Аскеров.**

### ОСЦИЛЛЯЦИЯ ТОКА В ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ОДНООСНЫХ КРИСТАЛЛОВ $\text{CuGaS}_2$ , $\text{CuAlS}_2$ , $\text{CuInS}_2$

В работе исследовались монокристаллы  $\text{CuGaS}_2$ ,  $\text{CuAlS}_2$ ,  $\text{CuInS}_2$ , принятые в качестве матриц и двухкомпонентные периодические структуры с оксидным слоем на их основе. Дана предположительная интерпретация полученных результатов.

*Qəbul olunma tarixi: 15.02.2022*