

CuGaSe₂ MONOKRİSTALINDA PARAMETRİK SİMMETRİYA POZULMALARINDAN YARANAN SƏTH DALĞALARININ DİSPERSİYASI

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDIYEV, Z. QADIROĞLU, N.V. MAHMUDOVA

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu

Az 1143 Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131

E-mail: gasimoğlu@yahoo.com

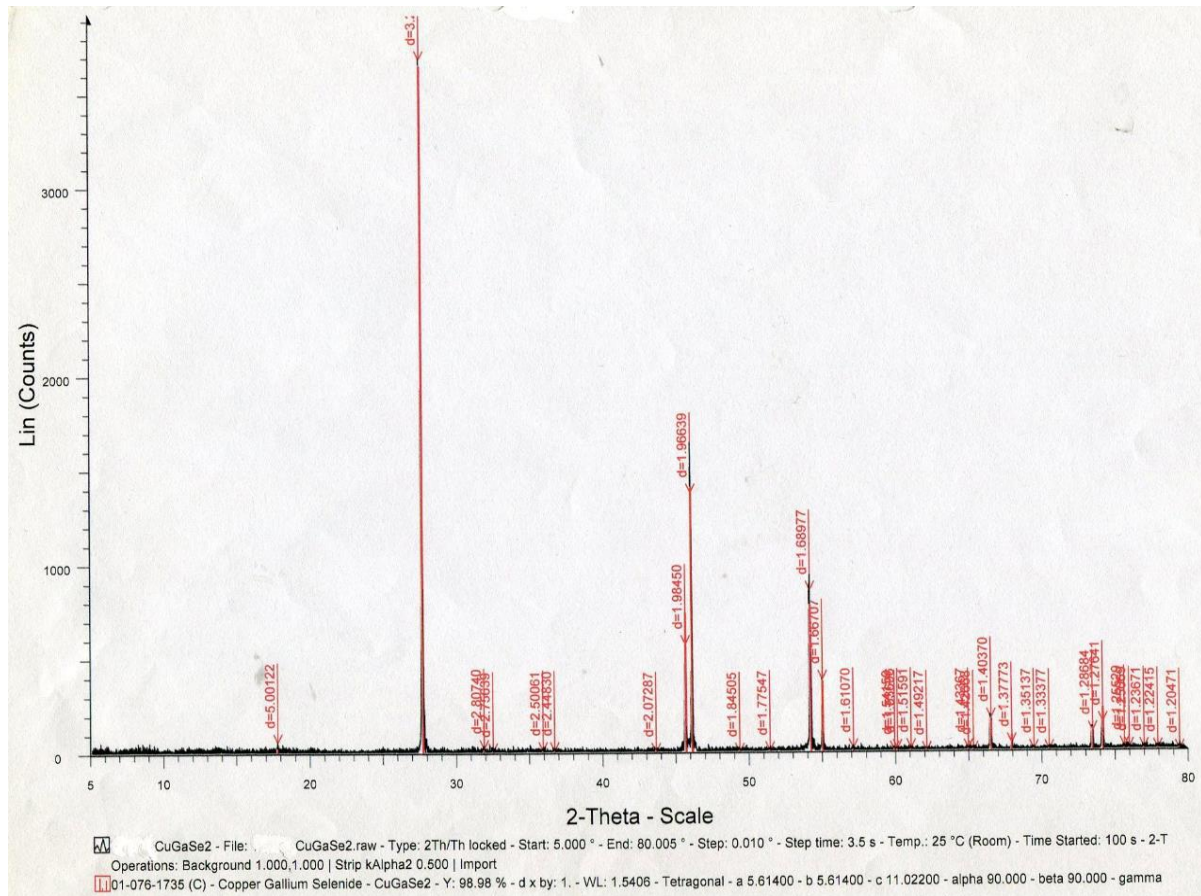
Təcrübə zamanı CuGaSe₂ monokristalında laylı periodik strukturlarda dalğaların yayılmasının elektronun potensial sahədəki xassələri ilə oxşar olduğu müəyyən olunmuşdur. Yeni xassələr nəzəri təhlil üçün və praktiki tədbiq üçün yararlıdır.

Açar sözlər: period, struktur, laylı təbəqə, keçiricilik

Pacs: 61.80.Ed.

CuGaSe₂ monokristalı A¹B^{III}C^{VI}₂ yarımkəçirici birləşmələr qrupuna daxildir və xalkopirit strukturunda kristallaşır, fəza simmetriya qrupu 42m-dir. Obyektin bağlı zonasının enerjisi günəş elementləri üçün optimal olan qiymətə yaxındır ($E_g=1,65\text{eV}$, $T=300\text{K}$). Bu birləşmə yarımkəçirici cihazqayırma, xüsusilə fotoelementlərin, işıqyedici cihazların hazırlanmasında

böyük üstünlüyə malikdir, texniki məqsədlər üçün istifadəyə yararlıdır [1]. Maddə şaquli Bricmen–Stokbarqer üsulu ilə alınmışdır. Keçiriciliyin işarəsi elektrik hərəkət qüvvəsini ölçmək yolu ilə təyin olunmuşdur, müsbətdir, yəni *p*-tipdir. Müqaviməti otaq temperaturunda $R=0,5\text{ kOm}$ -dur. Rentgen analizi üsulu ilə aparılan araşdırma göstərdi ki, alınan maddə yarımkəçiricidir (şəkil 1)



Şəkil 1. CuGaSe₂ monokristalının rentgen difraksiya spektri.

MÖVZUNUN AKTUALLIĞI

İkiqat analoqlarından fərqli olaraq, üçqat birləşmələrdə baş verən daşınma prosesləri hələ tam öyrənilməmişdir. Texnoloji proseslər və kənar təsirlər hesabına, kristal səthində yaranan nanoquruluşlarla, kristalın

özü arasında, qarşılıqlı təsirlərin təbiətinin öyrənilməsi vacibdir. Parametrik simmetriya pozulmalarından qaynaqlanan səth effektlərinin və tədbiqə yararlı fiziki proseslərin, təbiətinin öyrənilməsi aktualığı ortaya çıxmışdır.

MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

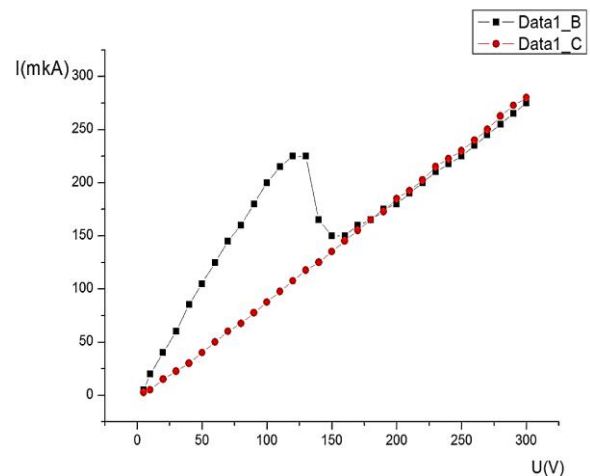
Yeni alınmış mürəkkəb tərkibli maddə olan CuGaSe₂ monokristalı praktik tətbiq üçün yararlıdır. Faydalı iş əmsalını artırmaq üçün yeni üsullara ehtiyac duyulur. Məlumdur ki, laylı periodik strukturların xassələri biroxlu kristalların xassələri ilə eynilik təşkil edir [2]. Obyektin xalkopirit strukturunda kristallaşdığı və biroxlu kristallar sinfinə aid olduğunu nəzərə alsaq, kristal səthində yaranan laylı nanoquruluşlara, periodik struktura malik sistemin bir komponenti kimi baxa bilərik. Digər komponentin CuGaSe₂ monokristalının özü olduğunu nəzərə alaraq qalınlıqları və dielektrik nüfuzluqları fərqli olan iki komponentli periodik strukturdan danışa bilərik. Bu tip quruluşlara xarici qüvvələr təsir etdikdə fərqli xassələr ona görə meydana çıxır ki, periodik strukturlarda yayılan rəqslər dalğa formasında olur. Bu zaman əmələ gələn daxili sahə yalnız kristalın ölçüləri ilə bağlı deyil, həm də sərhəd şərtlərindən asılıdır. Yəni, dalğa paketlərinin səth istiqamətində yayılması bu şərtlərdən asılıdır [2]. Digər bir məsələ kristalın səthindəki nanoobyektlərin elektrik və optik xassələrinin monokristalın mövcud xassələri ilə kompleks şəkildə izahının verilməsidir. Təcrübə və nəzəri işlərin birgə təhlilini ortaya qoymaqla, yeni nəticələr əldə edə biləcəyimizi düşünürük.

TƏCRÜBƏNİN APARILMASI

Volt-Amper xarakteristikasını, buraxma spektrini ölçərkən quruluşun periodikliyi üçün nəzəri olaraq deyilənlər təcrübə yolu ilə təsdiqini tapmışdır. Aparılan təcrübə zamanı qrafikin kəsilməz və ya kəsilməz (diskret) olması, özünü kristalın daxilində və ya onun səthində baş verən proseslərin göstəricisi kimi aparır. Volt-Amper xarakteristikasını ölçməklə kristalın səthində baş verənləri izləyə bilərik. İstər zəif sahələrdə, istərsə də güclü sahələrdə sabit elektrik sahəsindən asılılığı ifadə edən qrafikin xətti olmadığını görürük. Deyilənlərə klassik fizika qanunları ilə baxsaq görərik ki, yarımqeçiricilərdə əlavə periodik quruluşların yaradılması dalğaların enerjisinin kvantlanmasına gətirib çıxarır. Biz bunu kristal səthini ifadə dalğasının diskret olmasında müşahidə edirik. Nazik laylı təbəqənin fiziki xassələri əsas maddənin, yəni altlıq kimi götürdüyümüz CuGaSe₂ monokristalının xassələrindən, kəskin fərqlənir. Bu o deməkdir ki, təcrübə yolu ilə alınan nəticələr kvant nöqtəyi-nəzərindən izah olunmalıdır.

ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Bərk cisimlər nəzəriyyəsinin əsas problemlərindən biri müxtəlif dalğalar arasındakı qarşılıqlı təsir mexanizmlərinin öyrənilməsidir. Bunun üçün qeyri xətti proseslərin öyrənilməsinə daha çox diqqət ayrılır. Belə üsullardan biri sabit elektrik sahəsi ilə kristal daxilində tarazlıq pozulmasıdır. Sahə hesabına yaranan polyarizasiyanı irrasional elementləri $K_{z1}d1$, $K_{z2}d2$ olan, triqonometrik funksiya ilə ifadə etmək olar. Monokristal üzərində aldığımız nanotəbəqəni və kristalın özünü iki-komponentli periodik sistem kimi qəbul edək. Bu periodik struktura, fərqli qalınlığa və fərqli dielektrik nüfuzluğuna malik iki maddədən ibarətdir. Bu tip materialların Volt-Amper xarakteristikasında diferensial mənfi müqavimət müşahidə olunursa, sistem özünü zəif siqnallara həssas olan element kimi aparır (şəkil 2).



Şəkil 2. CuGaSe₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. İşığa həssaslığı zəif olan nümunə. Monokristala γ -şüasının təsirindən sonra təkrarlənən spektr. Verilən doza 47000 qreydir.

Laylı periodik strukturlarda eninə koordinatlardan asılı olan layların, dalğa ədədlərinin qiyməti K_{z1} , K_{z2} ilə deyil, K^{\pm} Bloks vektorunun qiymətinə görə müəyyən olunur. Onda Bloks dalğa ədədi birincisi mühitin orta eninə dalğa ədədinə çevriləcəkdir. Bloks vektorunun eninə dalğa ədədinin, birinci və ikinci periodlar üçün dispersiya tənliyi aşağıdakı kimi olar.

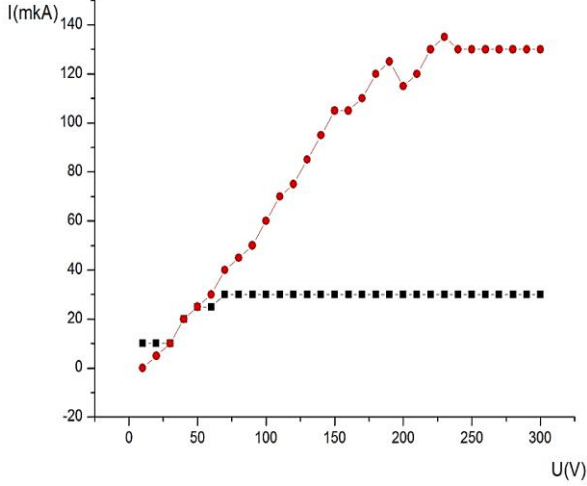
$$\cos K^{\text{TE}}d = \cos K_{z1}d_1 \cos K_{z2}d_2 - 1/2(K_{z1}/K_{z2} + K_{z2}/K_{z1}) \sin K_{z1}d_1 \sin K_{z2}d_2. \quad (1)$$

Burada TE uzununa dalğamı ifadə edir (adi dalğa)

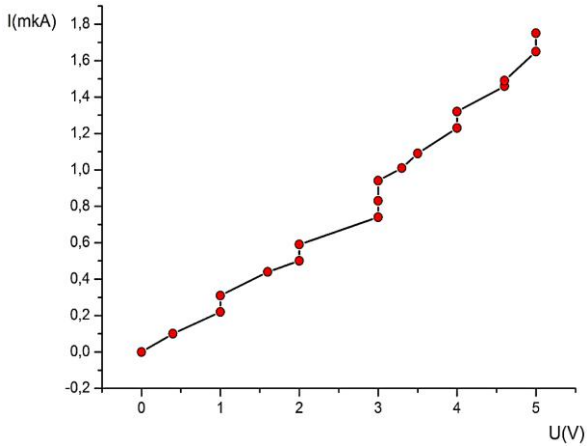
$$\cos K^{\text{TM}}d = \cos K_{z1}d_1 \cos K_{z2}d_2 - 1/2(K_2K_{z1}/K_1K_{z2} + K_1K_{z2}/K_2K_{z1}) \sin K_{z1}d_1 \sin K_{z2}d_2. \quad (2)$$

Burada TM eninə dalğamı ifadə edir (qeyri-adi dalğa) Periodik quruluşlu kristallar ona görə fərqli xüsusiyyətlərə malikdirlər ki, onların fiziki parametrləri maddənin tərkibində olan komponentlərdən asılıdır. Əgər komponentlər daxilində parametrik simmetriya pozulmaları baş verərsə və birinin dalğa vektorunun qiyməti minimum olarsa, layın kənarından əks olan dalğaların qiyməti eksponensial qanunla azalmış olur. Belə quruluşlarda komponentlərdən birində tam daxili qayıtma baş verərsə, yenə dalğaların laylar arasındakı keçidi mümkündür [3]. Əgər komponentlərdən birinin dielektrik nüfuzluğu mənfi olarsa, layların kənarı ilə səthi dalğalar yayılmış olur. Kənar təsir zamanı sərbəst dalğaların rəqsini döyünən formada müşahidə etmiş

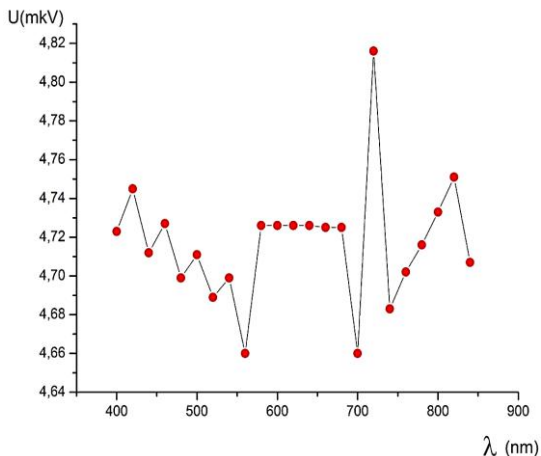
oluruq. Bu dalğavari rəqslər laylar istiqamətində yayılır, nümunəyə verilən sahənin artmasına uyğun olaraq monoton artan və təkrarlanan bir dalğa paketi müşahidə edirik. γ - şüasının təsirindən sonra ionlaşma hesabına sahədən asılı olmayan düz xətt yaranır. Bu işə tətbiq zamanı nəzərə alınan əsas xassələrdən biridir (şəkil 3).



Şəkil 3. CuGaSe₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. γ - şüasının təsirindən sonra ionlaşma hesabına spektrin sahədən asılı olmaması (işçi oblastın alınması, plata,,).
Verilən doza 47000 qrey. Həssas nümunə.



Şəkil 4. CuGaSe₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası. Kiçik sahə hesabına pilləli spektrin alınması.



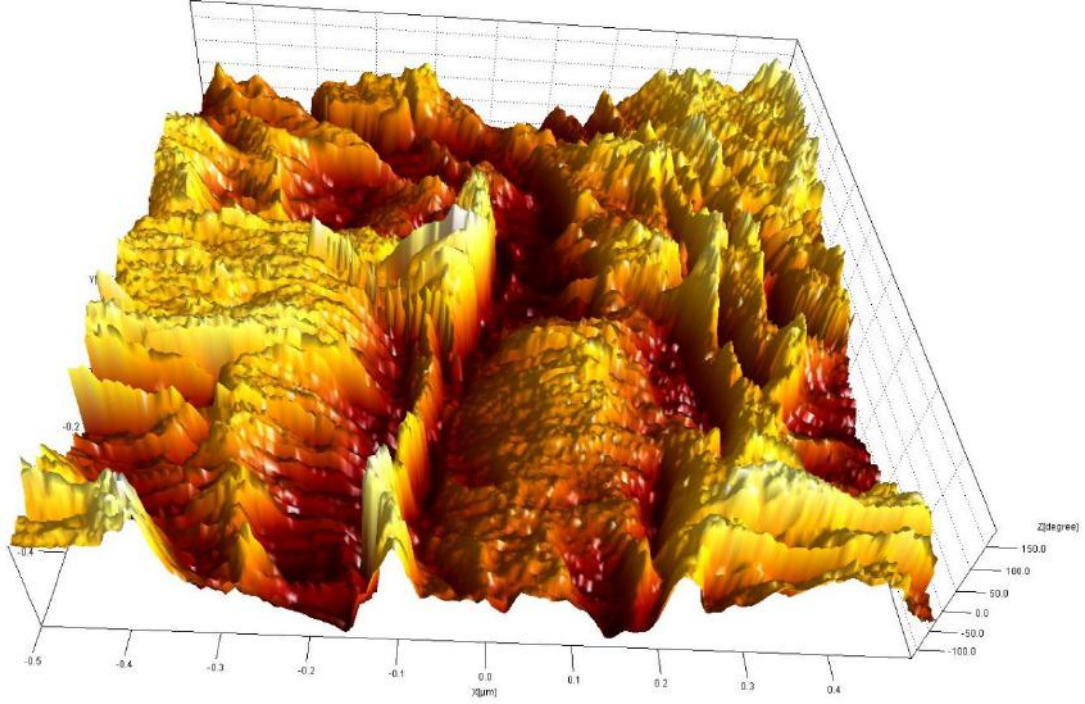
Şəkil 5. CuGaSe₂ monokristalında buraxma spektri.

Bu oblastlar elektronun kristaldakı keçirici və bağlı zonaları ilə eynilik təşkil edir [4]. Hər layın sərhəddində adi düzünə dalğa və əks olunaraq, bir period yubanmış dalğaları müşahidə edirik. Bunlar eyni fazada hərəkət etmiş olur. Bağlı zonada isə düzünə və qayıdan dalğalar əks fazalarda olduğundan, dalğaların sönməsi hadisəsi baş verir. Periodik quruluşlarda dalğaların yayılması altlığın dielektrik nüfuzluğundan çox asılıdır. Bizim apardığımız təcrübədə altlıq rolunu CuGaSe₂ monokristalı oynayır. Bu xassələrdən çox-komponentli modulyasiya qurğularının yaradılmasında istifadə etmək olar. Bir şərtlə ki altlıq materialı elektrooptik effektə malik olsun. Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, dalğalar nazik lövhələrin kənarından əks olunaraq eksponensial azalır. Yarımkəçiricilərdə elektronların dispersiya qanununun kvadratik olmaması Volt-Amper xarakteristikasından müəyyənləşdirilir, yəni ayrı-ayrı rəqslər paketindən ibarətdir və bu kəsilən keçidlər səthdə mövcud olan mini zonaların içərisində baş verir. Bunlar qrafikdə özünü olaraq pillə formasında biruzə verir (şəkil 4). Periodik quruluşa malik olan sistemləri qeyri-xətti mühit adlandırmaq olar. Bu o deməkdir ki, bu növ sistemlərdə dalğalar bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olur. Bu cür qarşılıqlı təsir ona gətirib çıxarır ki, mini zonaya məxsus bir dalğa digər bir dalğanın yaranmasına və hərəkətə gəlməsinə səbəb olur. Dalğa uzunluqları ilə strukturun periodunun nisbətindən asılı olaraq güclənmələr və zəifləmələr ola bilər. Yəni bu tip quruluşlar parametrik gücləndirici rolunu oynayır. Buraxma spektrində müşahidə olunan periodik təkrarlanma, zəif enerjiyə malik dalğaların təsiri zamanı çoxalır və nəhayət, laylar arasındakı məsafə kiçildiyindən, intensivliyin qiyməti kəskin artır. Spektrin bu vəziyyəti periodikliyin sonu, massiv kristala keçidin işarəsidir (şəkil 5). Periodik quruluşa malik olan materiallarda bircinsli maddələrə nisbətən daha çox xüsusi rəqslər və rezonanslar müşahidə olunur və dalğaların tezlikləri zəif öyrənilmiş mm-lik və sm-lik diapazona düşür. Bu deyilənlər periodik quruluşa malik olan materialların elektronika üçün çox böyük əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir. Laylı periodik sistem bütövlükdə rəqsi spektrin formalaşmasında iştirak edir. Dalğa uzunluğu layların qalınlığı ilə mütənasib olduğu zaman sərbəst rəqslərin kollektiv forması meydana gəlir [5]. Bu o deməkdir ki, periodik quruluşlarda dalğaları buraxan və buraxmayan zolaqlar əmələ gəlir. Bunlar mühitdən keçən və qayıdan dalğalar hesabına olur (şəkil 6) və tezliyin yayılma bucağından asılıdır. Bu zolaqlar kristalda elektronun bağlı və keçirici zonalarına bənzəyir.

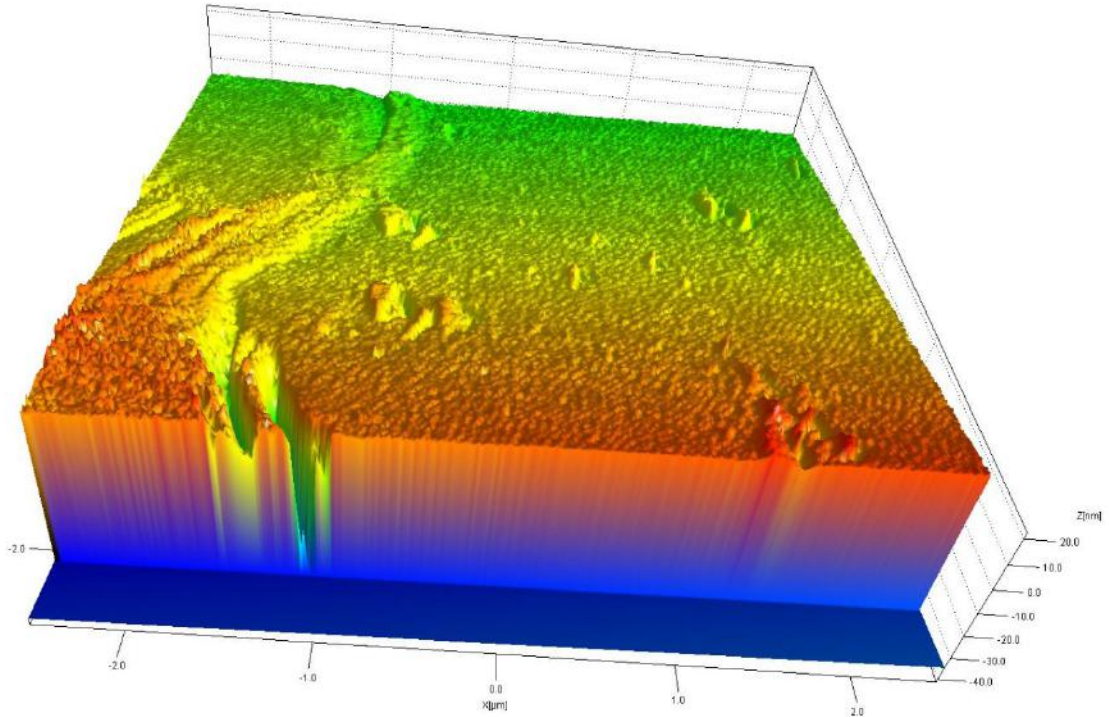
Bağlı zolaqda düzünə və qayıdan dalğalar əks fazalarda olduğuna görə, dalğaların sönməsini müşahidə edirik. Belə hallar adətən məsələli kristallarda müşahidə olunur. CuGaSe₂ məhz bu tip kristallar sinfinə aiddir (şəkil 7). Yuxarıda deyilənlər göstərir ki, dalğaların periodik quruluşlarda yayılması ilə elektronun kristalın potensial sahəsindəki xassələri eynilik təşkil edir. Sahənin nümunədə yayılması altlığın dielektrik nüfuzluğundan asılıdır. Bu cür dalğaötürənlərdən elektrik moduliyatorlarının hazırlanmasında istifadə etmək olar. Altlıq kimi götürülən maddə elektrooptik olmalıdır. Bizdə bu elektrooptik maddə CuGaSe₂ monokristalıdır. Fiziki mahiyyəti ondan ibarətdir ki, sərbəst yüklərin rəqs dalğaları periodik layın kənarından əks olunaraq ziqzaq

şəklində yayılır, periodik quruluşlarda yeni tip səth dalğaları əmələ gəlir. Bu prosesin əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, yeni xassələr yalnız rəqslərin tezliklərinin və faza sürətlərinin bərabərliyindən yaranan rezonansdan asılı deyil, həmçinin müəyyən parametrik münasibətlərdən də asılıdır. Buna misal olaraq, səthə düşən dalğanın uzunluğunun rəqslərin perioduna nisbətinin

rasional ədədlərlə ifadə olunmasını qeyd edə bilərik. Bu tip dəyişmələrə mühitin parametrlərdən asılı olaraq dəyişən simmetriyası deyilir. Parametrik simmetriyanın pozulması səthdəki dalğaların formasına təsir etmiş olur. Bu işə elektronun lokallaşması xassəsinə bənzəyir.



Şəkil 6. CuGaSe₂ monokristalının səthin atom güc mikroskopunda çəkilmiş şəkli.



Şəkil 7. CuGaSe₂ monokristalının səthin atom güc mikroskopunda çəkilmiş şəkli.

YEKUN NƏTİCƏ

Nəticə ondan ibarətdir ki, laylı periodik quruluşlarda əldə olunan nəticələri elektronun potensial sahədəki xassələrinə tətbiq etmək mümkündür. Düzgün dəqiq nəticələrin əldə edilməsi üçün, təcrübələrin santimetrlik və millimetrlik dalğa diapazonlarında aparılması, maddə quruluşunun dərin qatlarındakı potensial sa-

hələrin araşdırılmasından daha asandır. Yuxarıda göstərilən halda alınan nəticələrdən çoxkanallı moduliyatorların, zəif siqnallarla işləyən gücləndiricilərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər. Bu iş Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin inkişafı fondunun maliyyə yardımı ilə yerinə yetirilmişdir. Qrant N EİF-BGM-3-BRFTF-2*/2017-15/02/1

-
- [1] *İ. Qasimoğlu*. AJP Fizika volume XIX, N1, section: Az., 2013, s.19-21.
- [2] *Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов*. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. М.1989 ст. 286.
- [3] *А.И. Губанов и Ф.М. Гашишзаде*. АНССР, ФТТ, 1959, том 1, вып 9, ст.1411-1416.
- [4] *С.М. Рывкин*. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.1963. ст. 495.
- [5] *В.И. Ляшенко, В.Г.Литовченко, И.И.Стенко, В.И.Стриха, Л.В.Ляшенко*. Электронные явления на поверхности полупроводников. Киев-1968, ст.399.
- [6] *Ч. Куммел*. Введение в физику твердого тело. М.1963, ст. 696.

I. Gasimoglu, G.S. Mehdiev, Z. Gadiroglu, N.V. Makhmudova

DISPERSION OF SURFACE WAVES IN CuGaSe₂ SINGLE CRYSTALS ARISING AS A RESULT OF A PARAMETRIC SYMMETRIES DEFECTIVENESS

During the experiment, it was found that wave propagation in layered periodic structures of CuGaSe₂ single crystals is similar to the properties of an electron in a potential field. The new properties are useful for theoretical analysis and practical application.

И. Гасымоглу, Г.С. Мехдиев, З. Гадироглу, Н.В. Махмудова

ДИСПЕРСИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В МОНОКРИСТАЛЛАХ CuGaSe₂, ВОЗНИКАЮЩИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕФЕКТНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИММЕТРИЙ

В ходе эксперимента было установлено, что распространение волн в слоистых периодических структурах монокристаллов CuGaSe₂ аналогично свойствам электрона в потенциальном поле. Новые свойства полезны для теоретического анализа и практического применения.

Qəbul olunma tarixi: 26.04.2021