

AgInSe₂ MONOKRİSTALINDA SƏTH QURULUŞ POZULMALARININ FOTOVOLTAİK EFFEKTƏ TƏSİR MEXANİZMİ

İ. QASIMOĞU, Q.S. MEHDİYEV, Z.Q. MƏMMƏDOV

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu
Az 1143 Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131

E-mail: gasimoğlu@yahoo.com

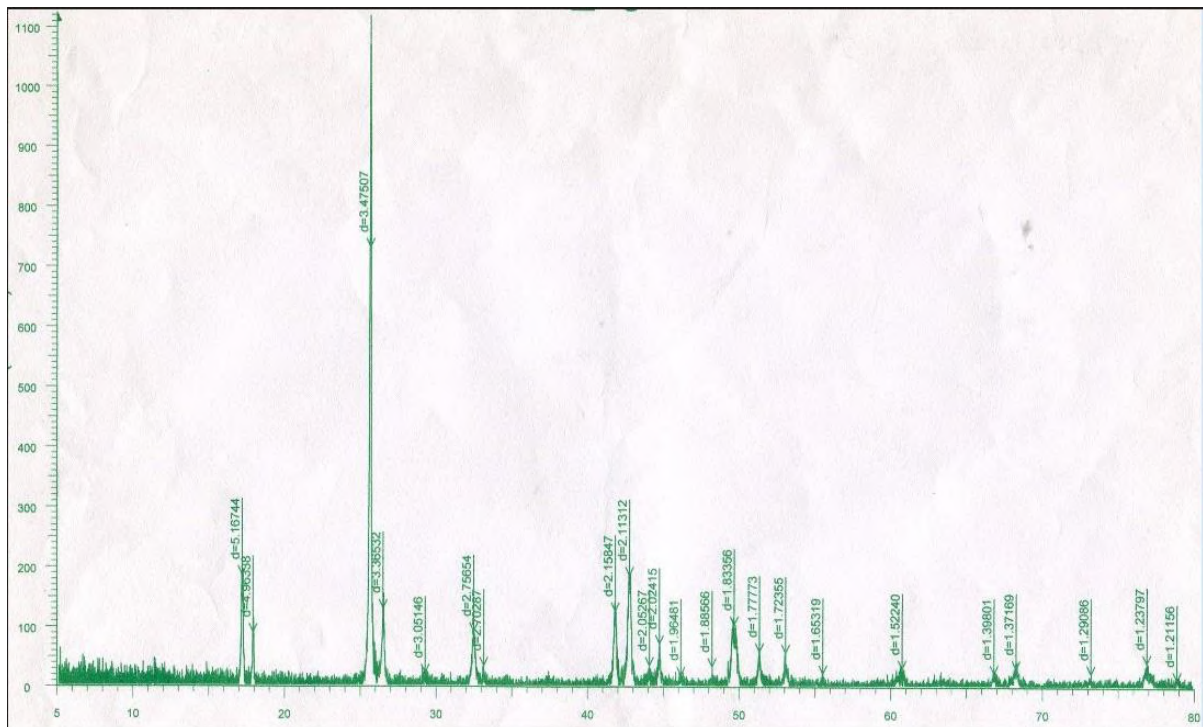
Təqdim olunan işdə biroxlı kristallar qrupundan olan AgInSe₂ monokristalında, texnoloji proses zamanı laylı periodik strukturların meydana gəlməsi bildirilir. Bu hallara məxsus səth quruluş pozulmalarının fotovoltaiik effektə təsir mexanizmi öyrənilmişdir və mikrovolt tərtibli kiçik gərginlik rejimində işləməsi mümkün olan nümunələrin Volt –Amper xarakteristikası ölçülmüşdür.

Açar sözlər: Xalkopirit birləşmələr, periodik strukturlar, biroxlı kristal.

PACS: 61.80.Ed.

AgInSe₂ monokristalı A'B^{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 ($E_g=1,24\text{eV}$). Bu birləşmə yarımkəçirici cihazqayırma, xüsusilə fotoelementlərin, işıqyeyədicilərin hazırlanmasında böyük üstün-

lüyə malikdir. Texniki məqsədlər üçün istifadəyə yararlıdır [1]. Maddə Bricmen–Stokbarqer üsulu ilə alınmışdır. Tərəfimizdən keçiriciliyin işarəsi, elektrik hərəkət qüvvəsini ölçmək yolu ilə təyin olunmuşdur, müsbətdir yəni *p*-tipdir. Müqaviməti otaq temperaturunda $R=250\text{Om}$ -dur. Rentgen analizi göstərdi ki, alınan maddə yarımkəçiricidir (şəkil 1)



Şəkil 1. AgInSe₂ monokristalının rentgen analizi spektiri.

Mövzunun aktuallığı

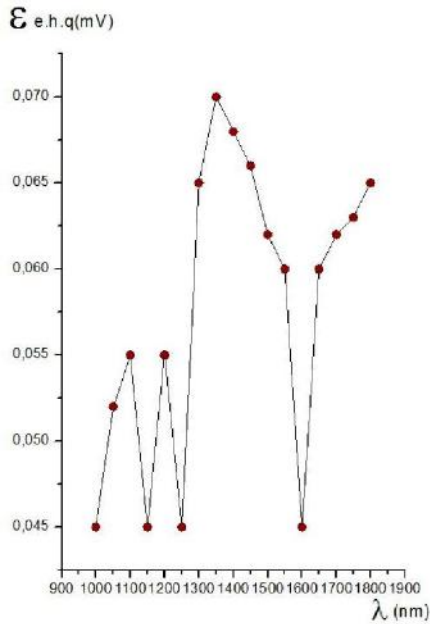
İkiqat analoqlarından fərqli olaraq, üçqat birləşmələrdə baş verən daşınma prosesləri hələ tam öyrənilməmişdir. Texnoloji proseslər zamanı meydana gələn laylı periodik strukturlar hesabına səthdə formalaşan harmonik dalğaların yeni xassələri perspektivlər və ediyi üçün, mövzu aktualdır və kristal səthində yaranan nanoquruluşlara məxsus dalğaların formalaşmasının öyrənilməsi baxımından vacib hesab olunur [1].

Məsələnin qoyuluşu

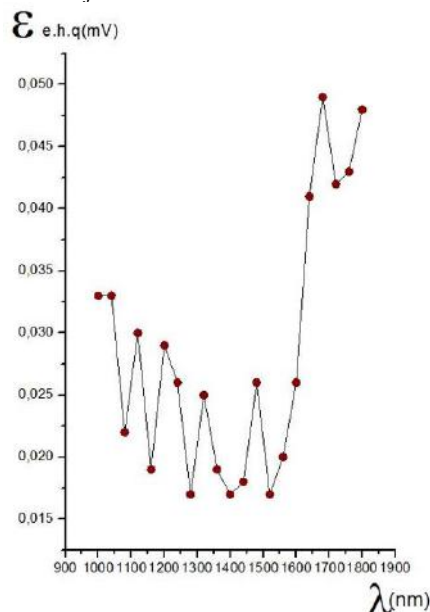
Yeni xüsusi texnologiya ilə alınmış, mürəkkəb tərkibli maddə olan AgInSe₂ monokristalı, praktik tətbiq üçün yararlıdır [2]. Faydalı iş əmsalını artırmaq üçün yeni üsullara ehtiyac duyulur. Tədqiqatın obyekt xalkopirit strukturunda kristallaşdığı üçün, simmetriya mərkəzi olmayan kristallar sinfinə daxil olduğuna görə, bir çox üstün xüsusiyyətlərə malikdir. Texnoloji prosesin gedişatı zamanı meydana gələn, nazik laylı periodik strukturlarla elektromaqnit dalğalarının qarşılıqlı təsi-

rindən ortaya çıxan yeni fərqli xassələrin ölçülməsi hesabına müasir nəticələr əldə edə bilərik. Bu tip quruluşlara xarici qüvvələr təsir etdikdə, fərqli xassələr ona görə meydana çıxır ki, nazik təbəqənin daxilində rəqslər dalğa formasında yayılır. Bu zaman əmələ gələn daxili sahə təkcə kristalın ölçüləri ilə bağlı deyil, onun xarici səthinə də yayılmış olur. Yəni, dalğa paketlərinin səth istiqamətində harmonik yayılması müşahidə olunur [3]. Digər bir məsələ kristalın səthindəki nanoobyektlərin elektrik və optik xassələrinin, monokristalın mövcud xassələri ilə kompleks şəkildə öyrənilməsidir. Təcrübə və nəzəri işlərin birgə işlənməsi baxımından fərqli nəticələr əldə edə bilərik.

Təcrübənin aparılması

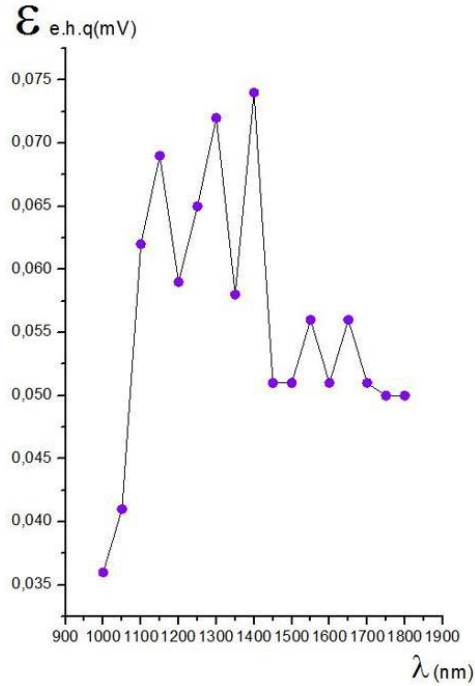


Şəkil 2. AgInSe₂ monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin dalğa uzunluğundan asılılığını göstərən qrafik. Gücləndiricinin 100mV rejimində.

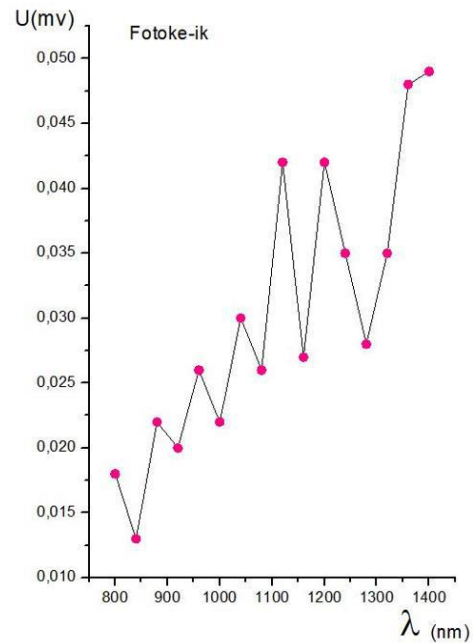


Şəkil 3. AgInSe₂ monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin dalğa uzunluğundan asılılığını göstərən qrafik. Gücləndiricinin 300mV rejimində.

Yarımkəçiricilərdə elektronların dispersiya qanununun kvadratik formada olmadığını, Volt-Amper xarakteristikasından müəyyənəndirmək olar. Aparılan təcrübə zamanı qrafikin kəsilməz, və ya kəsilən (diskret) olması, kristalın daxilində, və ya onun səthində baş verən proseslərin göstəricisi kimi özünü aparır.



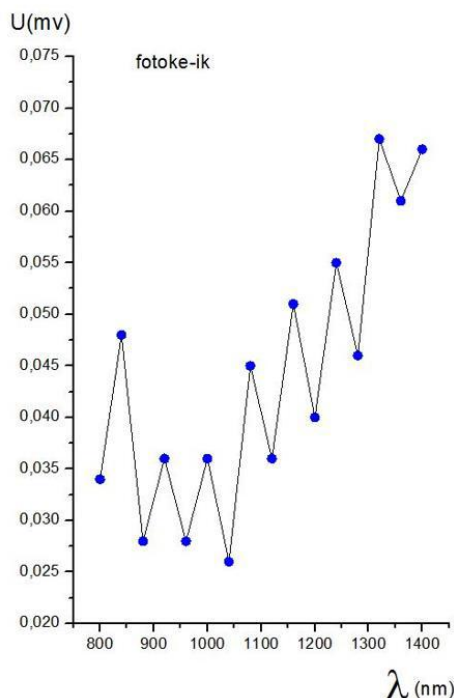
Şəkil 4. AgInSe₂ monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin dalğa uzunluğundan asılılığını göstərən qrafik. Gücləndiricinin 1V rejimində.



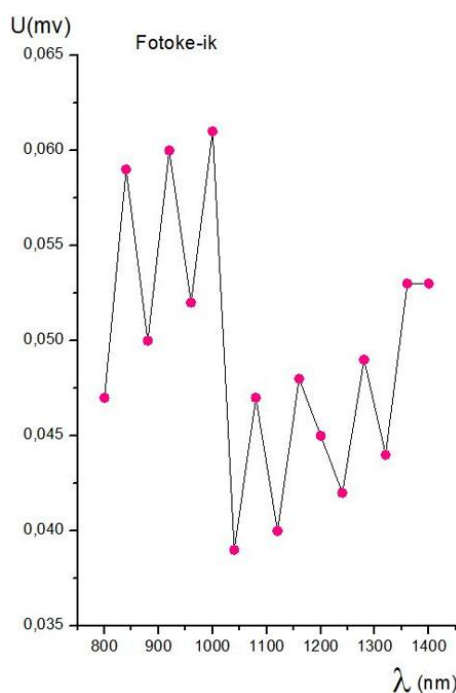
Şəkil 5. AgInSe₂ monokristalında lambda modulyasiyanın fotokeçiriciliyə təsiri. Gücləndiricinin 100mV rejimində.

Bunlara klassik fizika qanunları ilə baxsaq, o deməkdir ki, dalğalar kristalın səthində özünü sanki lokallaşmış kimi aparır. Belə hallarda təcrübə yolu ilə alınan nəticələr kvant nöqtəyi-nəzərindən izah olunmalıdır. Süni qəfəsə məxsus xətti olmayan xassələrin yaranma-

sını sübut etmək üçün, elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığını ifadə edən spektrləri çərkəkən, səth quruluş pozulmasını müşahidə etdik (şəkil 2). Başqa bir təcrübədə laylı periodik quruluşlara məxsus olan döyünən rəqslərin birdən artaraq (1600nm) dalğa uzunluğunda maksimuma malik olmasını müşahidə edirik (şəkil 3). Sonra (1400nm) dalğa uzunluğunda intensivliyin kəskin dəyişməsi ilə bərabər, dalğaların periodunun qiymətinin də dəyişməsini müşahidə edirik (şəkil 4).

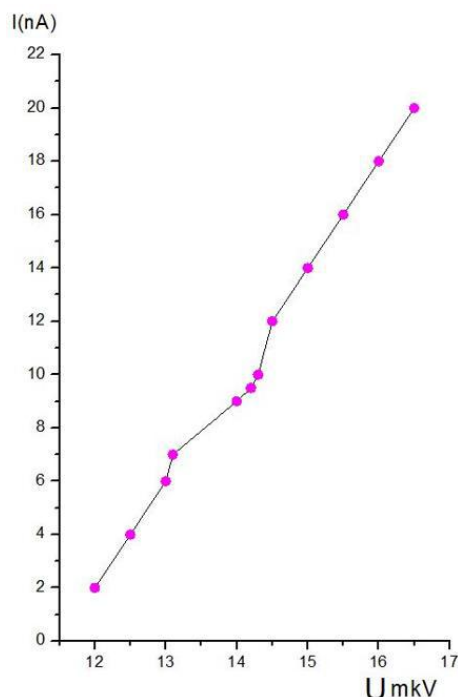


Şəkil 6. AgInSe₂ monokristalında lambda modulyasiyanın Fotokeçiriciliyə təsiri. Gücləndiricinin 300mV rejimində .

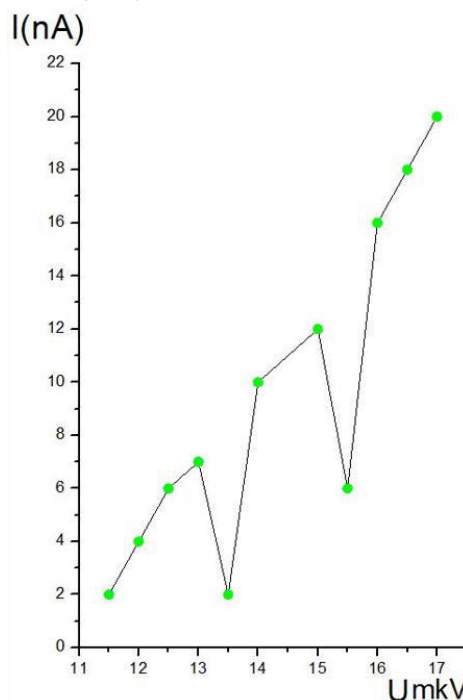


Şəkil 7. AgInSe₂ monokristalında lambda modulyasiyanın Fotokeçiriciliyə təsiri. Gücləndiricinin 1V rejimində.

Bu işə onu deməyə əsas verir ki, süni qəfəsə malik monokristallar özlərini aktiv element kimi aparır. Yəni potensial çəpərin daxilində olan yüklü hissəcikləri ifadə edən dalğa paketi xüsusi enerjiyə malikdir və diskret xarakter daşıyır [4]. Kənardan gələn cüzi təsirin hesabına kəskin dəyişir ki, bu mənşəni fotokeçiriciliyi ölçəndə də müşahidə edirik. Nümunələrdə fotoelektrik xassələrini ölçərkən süni qəfəsə malik xüsusiyyətlərdən biri də mənfi diferensial müqavimətin müşahidə olunmasıdır ki, biz bunu qrafiklərdə müşahidə edirik (şəkil 5, 6, 7).

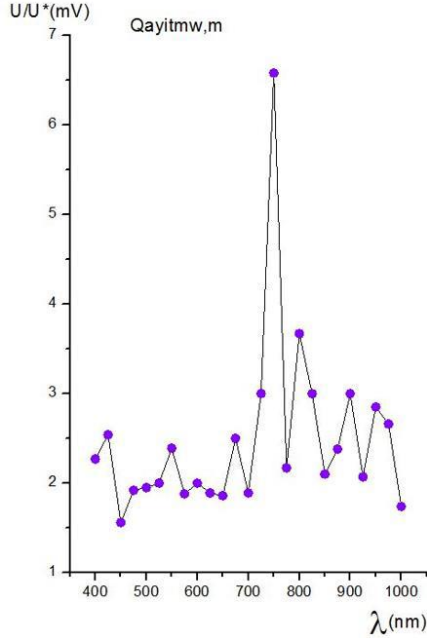


Şəkil 8. AgInSe₂ monokristalının Volt-ampere xarakteristikası.

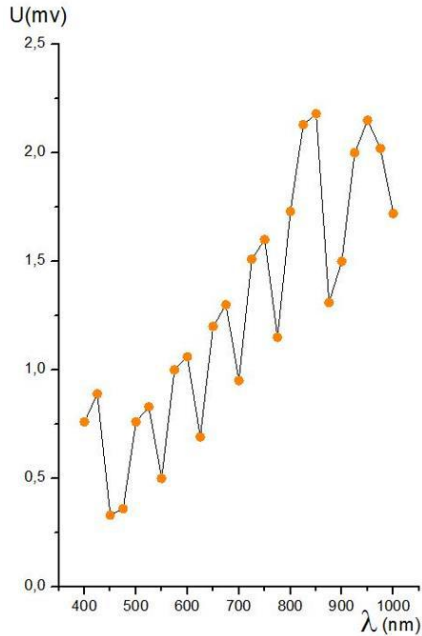


Şəkil 9. AgInSe₂ monokristalında tunnel diodunun xarakteristikası.

Volt amper xarakteristikasının xətti olmaması yuxarıda deyildiyi kimi layli periodik süni qəfəsə malik kristallar üçün xarakterikdir ki, bu fərqi spektrdən də aydın görmək olur. Pillə şəklində olan spektr onu göstərir ki, səth quruluş pozulmaları və aşqar atomları spiral dislokasiyalar hesabına kristalın səthinə qalxmışdır. Cərəyanın qiymətinin mərhələli şəkildə arması isə keçiriciliyin ion xarakterli olduğundan xəbər verir (şəkil 8).



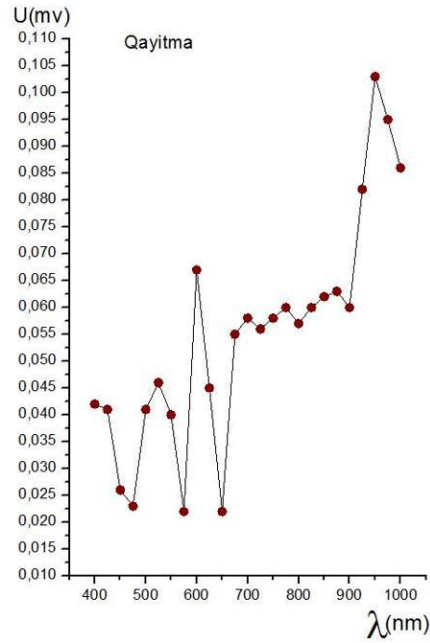
Şəkil 10. AgInSe₂ Monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 10mV rejimində.



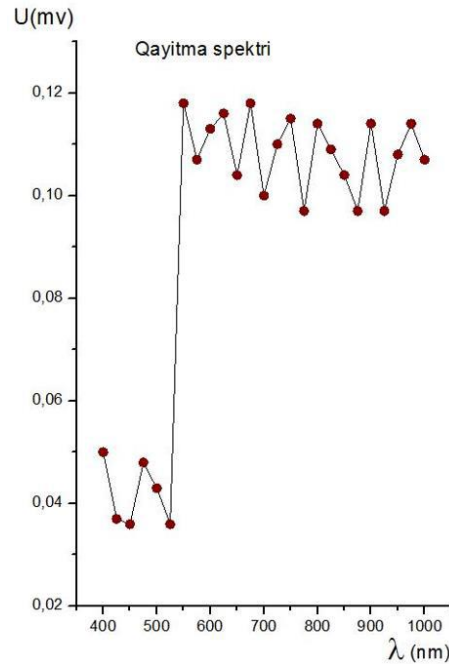
Şəkil 11. AgInSe₂ Monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 30mV rejimində.

Volt-Amper xarakteristikasında tunel dioduna məxsus əlamətlərin görünməsi isə məşğul olduğumuz obyektlərin tətbiqi üçün nə qədər yararlı olduğunu göstərir. Bu xassəli kristallardan düzəldilən diodlar, detektorlar güclü xarici sahələrə, o cümlədən radiasiyaya davamlı olurlar (şəkil 9). Modulyasiya olunmuş işıq şüa-

larının kristal səthindən əks olunması polarizasiya olunmuş şüalar kimi qəbul olunur [5]. Bu tip şüaların təsirindən sonra mikrozərrəcikləri ifadə edən dalğalar kvantlanmış olduqları çuxurun içərisində konkret enerjiyə malik olmaqla, özlərini həssas və aktiv element kimi aparırlar. Yuxarıda deyilənləri qayıtma rejimində çəkdiyimiz spektrlərdən də görə bilirik. Təkrarlanan periodik dalğalardan sonra isə rezonans maksimumunu müşahidə edirik (şəkil 10). Layli periodik quruluşlara məxsus dalğa paketi sonra səth quruluş pozulmasını ifadə edən fərqli ölçüyə malik maksimumla ifadə olunur (şəkil 11). Layli periodik quruluşları ifadə edən qrafiklərdə dalğa paketini, kompensasiyanı ifadə edən oblastı və rezonans maksimumunu görürük (şəkil 12).

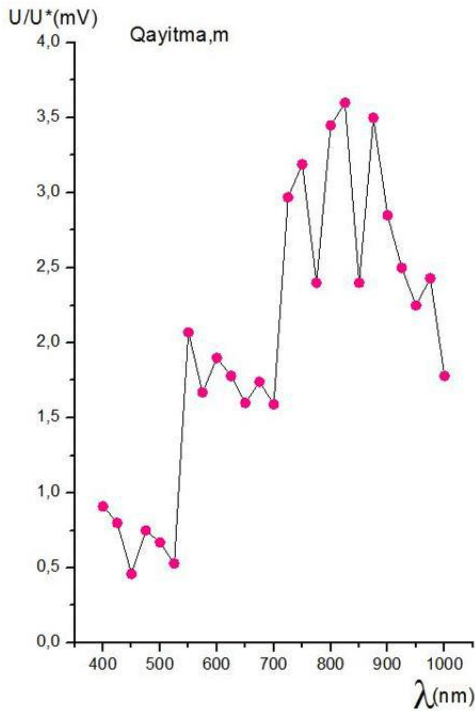


Şəkil 12. AgInSe₂ monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 100mV rejimində.



Şəkil 13. AgInSe₂ monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 300mV rejimində.

Laylı periodik quruluşa aid başqa bir təcrübədə cərəyanın kəskin artmasını ifadə edən maksimumla rastlaşırıq (şəkil 13). Cərəyanın mərhələli sürətdə artımını göstərən spektr. Birinci qapalı opobitə məxsus dalğa paketi, sonra bir zərrəciyin orbitdən kənara çıxışını ifadə edərək ikinci və üçüncü orbitlərə yüksələn zərrəcikləri ifadə edən dalğa paketi (şəkil 14). Bunlar hamısı süni qəfəsə malik monokristalları ifadə edən əsas parametrlərdir. Süni qəfəsə malik olan kristalların tətbiqi üçün yararlı olduğunu ifadə edən çoxlu faktlar mövcuddur.



Şəkil 14. AgInSe₂ monokristalında mütləq qayıtma spektri. Gücləndiricinin 1V rejimində.

Alınan nəticələrin müzakirəsi

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 elektirik sahəsi ilə kristal daxilində tarazlığın pozulmasıdır. Sahə effektindən istifadə edərək müxtəlif dalğalar üçün sındırma əmsalının ölçülməsidir. Dispersiyanın ölçülməsi zamanı aydın oldu ki, nanoquruluşlardakı sınıma əmsalının qiyməti, əsas maddələrinkindən kəskin fərqlənir. Belə xassələrə malik kristallar isə kiçik ölçülü elektron sənayesi üçün vacib şərtlərdən biri sayılır. Periodik strukturlarda laylar arasındakı məsafə, və ya layların ölçüləri De-Broyl dalğasına uyğun olduğu üçün onların xassələrini əsas maddənin xassələrindən fərqli edir. Ona görə parametrik simmetriya pozulmaları yeni yaranan sistemlərin xassələrinin kəskin dəyişməsinə səbəb olur [4]. Kənar təsirlər zamanı sərbəst dalğaların rəqsini paketlər şəklində müşahidə etmiş oluruq. Bu dalğavari rəqsli laylar istiqamətində yayılır, nümunəyə verilən sahənin artmasına uyğun olaraq monoton artan bir intensivlik müşahidə edirik. Bu oblastlar elektronun kristaldakı ke-

çirici və bağlı zonaları ilə analogiya təşkil edir [6]. 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 strukturlarda dalğaların yayılması altlığın dielektrik nüfuzluğundan çox asılıdır. Bizim apardığımız təcrübədə altlıq rolunu AgInSe₂ 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. Yarımqeçiricilərdə elektronların dispersiya qanununun kvadratik olmaması Volt-Amper xarakteristikasından müəyyənləşdirilir. Yəni, ayrı-ayrı rəqslər paketindən ibarətdir. Bu kəsilən keçidlər səthdə mövcud olan minizonaların içərisində baş verir bunlar qrafik olaraq pillə formasında özünü göstərir [7]. Periodik struktura 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. Yəni parametrik gücləndirici rolunu oynayır. Periodik quruluşa malik olan materiallarda, bircinsli maddələrə nisbətən daha çox döyünən rəqslər və rezonanslar müşahidə olunur. Dalğaların tezlikləri zəif öyrənilmiş mm-lik və sm-lik diapazona düşə bilər. Deyilənlər periodik quruluşa malik olan materialların elektronika üçün çox böyük əhəmiyyətə malik olduğunu göstərir. Laylı periodik sistem bütövlükdə rəqsi spektrin formalaşmasında iştirak edir. Əgər dalğa uzunluğu layların qalınlığı ilə müqayisə olunandırsa, onda sərbəst rəqslərin kollektiv forması meydana gəlir. Bu, o deməkdir ki, periodik strukturda dalğaları buraxan və buraxmayan zolaqlar əmələ gəlir. Bunlar mühitdən keçən və qayıdan dalğalar hesabına olur. Bağlı zolaqda isə düzünə və qayıdan dalğa əks fazalarda olurlar. Ona görə dalğaların sönməsini görürük. Belə hallar adətən süni qəfəsə malik kristallarda müşahidə olunur ki, AgInSe₂ bu tip kristallar sinfinə aiddir. Yuxarıda deyilənlər göstərir ki, dalğaların periodik strukturlarda yayılması ilə elektronun kristalın potensial sahəsindəki xassələri oxşarlıq təşkil edir. Sahənin nümunədə yayılması altlığın dielektrik nüfuzluğundan asılıdır. Bu cür dalğa ötürənlərdən elektrik modulyatorlarının hazırlanmasında istifadə etmək olar.

Yekun nəticə

Süni qəfəsli monokristallarda müşahidə olunan xassələr yenidən bircinsli kristallarda müşahidə olunmur və laylı periodik strukturlarda alınan nəticələri, elektronun potensial sahədəki xassələrinə tətbiq etmək mümkündür. Təcrübələri santimetrlik millimetrik dalğa diapazonlarında aparmaq və düzgün dəqiq nəticələr əldə etmək daha asandır, nəinki maddə quruluşunun dərin qatlarındakı potensial sahələri araşdırmaqla. Yuxarıda göstərilən halda alınan nəticələrdən istifadə etməklə çoxkanallı modulyatorların, zəif siqnallarla işləyən gücləndiricilərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

- [1] Л.А. Головань, В.Ю. Тимошенко, П.К.Кашикаров. Оптические свойства наноконструкций на основе пористых систем. УФН, 2007, т.177, номер 6, ст. 619-638.
- [2] İ. Qasimoğlu. Y-şüasının təsirindən sonra CuGaSe₂ monokristalında mənfii fotovoltajik effektin yaranması. Fizika volume XIX, N1, section: Az. s.19-21, 2013.
- [3] Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. М.1989 ст. 286.
- [4] Р. Фуйнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановский лекции по физике. М.1978, ст.523.
- [5] А.И. Губанов и Ф.М. Гашидзе. Исследование симметрии энергетических зон электронов в кристаллах типа CdIn₂Se₄, АН.ССР, ФТТ, том 1, вып 9, ст.1411-1416, 1959.
- [6] С.М. Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.1963. ст.495.
- [7] В.И.Ляшенко, В.Г. Литовченко, И.И.Стенко, В.И.Стриха, Л.В.Ляшенко. Электронные явления на поверхности полупроводников. Киев 1968, ст.399.

I. Gasymoglu, G.S.Mehdiev, Z.G.Mammadov

THE MECHANISM OF ACTION ON THE PHOTOVOLTAIC EFFECT OF AgInSe₂ SINGLE CRYSTALS, SURFACE STRUCTURAL DEFECTS

Attached to the work revealed, layered periodic structures of uniaxial AgInSe₂ single crystals after technological processes. The mechanism of action on the photovoltaic effect, structural surface defects are determined. The volt-ampere characteristics of these objects were measured in the microvolt range.

И. Гасымоглу, Г.С. Мехдиев, З.Г. Маммадов

МЕХАНИЗМ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕНИЙ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ НА ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МОНОКРИСТАЛЛЕ AgInSe₂

В представленной работе допускается образование слоистых периодических структур в монокристалле AgInSe₂ из группы одноосных кристаллов в ходе технологического процесса. В этих случаях был изучен механизм влияния структурных нарушений на фотовольтаический эффект и измерены вольт-амперные характеристики образцов в микровольтовом диапазоне.