

CuInSe₂ MONOKRİSTALININ SƏTHİNDƏ FORMALAŞAN MƏSAMƏLİ NANOQURULUŞLARIN ONUN ELEKTRİK VƏ OPTİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, Z. QADİROĞLU, İ.A. MƏMMƏDOVA,
İ.Q. NƏSİBOV, C.T. HÜSEYNOV

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu

Az 1143 Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131

E-mail: gasimoğlu@yahoo.com

Tədqiqat işində biroxlı kristallar qrupundan olan CuInSe₂ monokristalının səthində texnoloji proses zamanı formalaşan məsaməli nanoquruluşların əsas maddə ilə qarşılıqlı təsirinə xassələri öyrənilib. Alınması sadə, formalaşma rejimi idarə olunan olduğundan, bu maddələr foton mühitlər üçün yararlı hesab olunur [1].

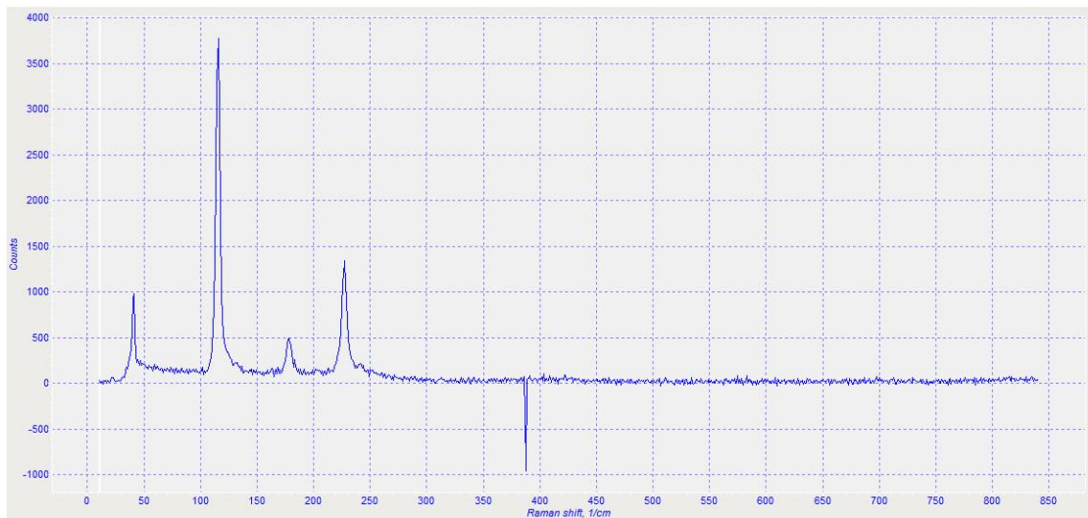
Açar sözlər: Xalkopirit, məsaməli quruluş, foton mühitlər.

Pacs: 61.80.Ed.

GİRİŞ

CuInSe₂ monokristal A¹B^{III}C^{VI}₂ yarımkəçirici birləşmələr qrupuna daxildir, xalkopirit strukturunda kristallaşır, fəza simmetriya qrupu 42m-dir. Obyektin bağlı zonasının enerjisi günəş elementləri üçün optimal olan qiymətə yaxındır ($E_g=1,04\text{ev}$, $T=300\text{K}$). Bu birləşmə yarımkəçirici cihazqayırma, xüsusilə fotoele-

mentlərin, işıq qeydedici cihazların hazırlanmasında böyük üstünlüyə malikdir. Texniki məqsədlər üçün istifadəyə yararlıdır [2]. Maddə Bridjmen-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. Raman və Rentgen analizləri göstərdi ki, alınan maddə yarımkəçiricidir (şəkil 1).



Şəkil 1. CuInSe₂ monokristalının Raman 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. Bu mövzu nanoquruluşların əsas maddədən ayrılması, ölçülərinin xarici təsirlərdən sonra dəyişməsi baxımından maraqlıdır.

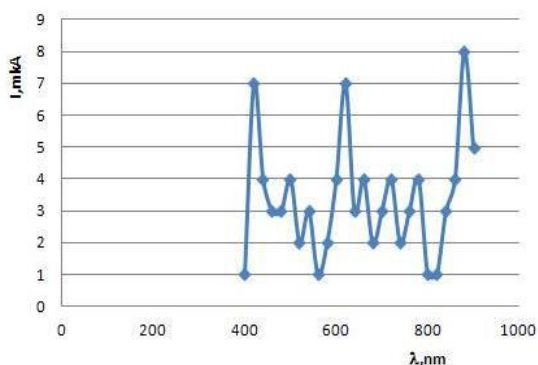
MƏSƏLƏNİN QOYULUŞU

Yeni alınmış mürəkkəb tərkibli maddə olan CuInSe₂ monokristal praktik tətbiq üçün yararlıdır. Faydalı iş əmsalını artırmaq üçün yeni üsullara ehtiyac

duyulur. Obyektin xalkopirit strukturunda kristallaşdığını, simmetriya mərkəzi olmayan kristallar sinfinə daxil olduğunu nəzərə alsaq, onda məsaməli yarımkəçiricilərin yaranma səbəblərini izah etmək imkanı yaranır. 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 səthində də yayılmış olur, yəni dalğa paketlərinin səth istiqamətində yayılması müşahidə olunur [3]. Digər bir məsələ kristalın səthindəki nanoobyektlərin elektrik və optik xassələrinin monokristalın mövcud xassələri ilə kompleks şəkildə izahını verilməsidir. Təcrübi və nəzəri işlərin birgə təhlilini ortaya qoymaqla, yeni nəticələr əldə edə biləcəyimizi düşünürük.

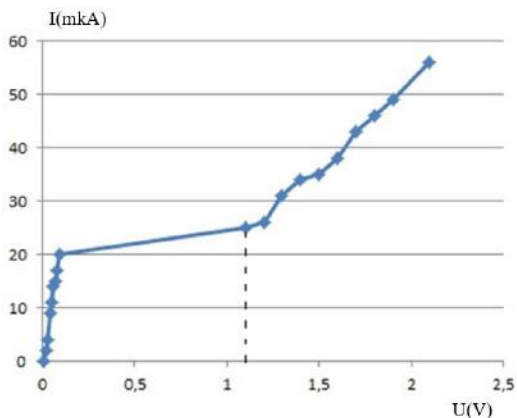
TƏCRÜBƏNİN APARILMASI

Yarımkəçiricilərdə elektronların dispersiya qanununun kvadratik formada olmadığını Volt-Amper xarakteristikasından müəyyənləşdirmək olar. Aparılan təcrübə zamanı qrafikin kəsilməz və ya kəsilən (diskret) olması, kristalın daxilində və ya onun səthində baş verən proseslərin göstəricisi kimi özünü aparır. Volt-Amper xarakteristikasını ölçməklə kristalın səthində baş verənləri izləyə bilərik. İstər zəif sahələrdə, istərsə də güclü sahələrdə sabit elektrik sahəsindən asılı olaraq keçiriciliyi ifadə edən qrafikin xətti olmadığını görürük. Bunlara klassik fizika qanunları ilə baxsaq, görərik ki, dalğalar kristalın səthində özünü lokallaşmış kimi aparır və nazik təbəqənin fiziki xassələri əsas maddənin yəni, altlıq kimi götürdüyümüz CuInSe₂ monokristalının xassələrindən kəskin fərqlənir. Belə hallarda təcrübə yolu ilə alınan nəticələr kvant nöqtəyi-nəzərindən izah olunmalıdır. Kombinasiyalı səpilmə üsulu ilə aparılan təcrübədə alınan qrafik maksimumların əsas maddə ilə əlaqəsinin zəifləmiş sərbəst elektronların və yüklü hissəciklərin hesabına yarandığını göstərir (1). Bu isə onu deməyə əsas verir ki, yüklü hissəciklər səthdəki nanoquruluşların ətrafında lokal şəkildə formalaşmışdır. Buraxma spektrindəki paketlər şəklində təkrarlanan anizotropluq isə yeni xassələrə malik periodik strukturların yarandığını göstərir (şəkil 2). Bu quruluşlar foton mühitlərin əsasını təşkil edir.



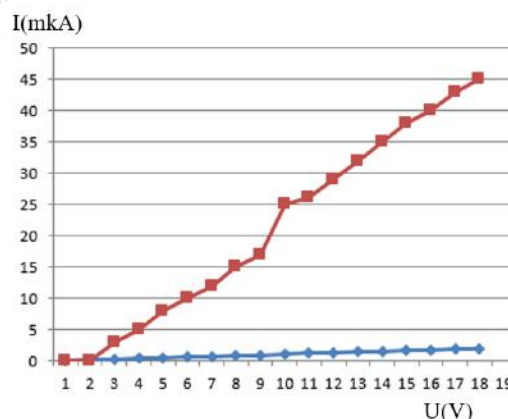
Şəkil 2. CuInSe₂ monokristalında buraxma spektri.

ALINAN NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

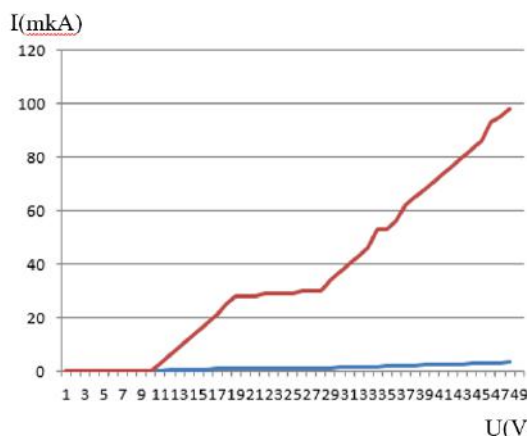


Şəkil 3. CuInSe₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikasından bağlı zonanın enerjisinin təyin olunması.

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 tarazlığın pozulması və sahə effektindən istifadə edərək müxtəlif dalğalar üçün sındırma əmsalının ölçülməsidir. Dispersiyanın ölçülməsi zamanı aydın oldu ki, nanoquruluşlardakı sınıma əmsalının qiyməti əsas maddələrindən kəskin fərqlənir. Belə xassələrə malik kristalların alınması isə kiçikölçülü elektron sənayesi üçün vacib şərtlərdən biri sayılır. Periodik strukturlarda laylar arasındakı məsafə və ya layların ölçüləri De-Broyl dalğasına uyğun gəldiyi üçün, onların xassələrini əsas maddənin xassələrindən fərqli edir. Ona görə parametrik simmetriya pozulmaları yeni yaranan sistemlərin xassələrinin kəskin dəyişməsinə səbəb olur [4].



Şəkil 4. CuInSe₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası.



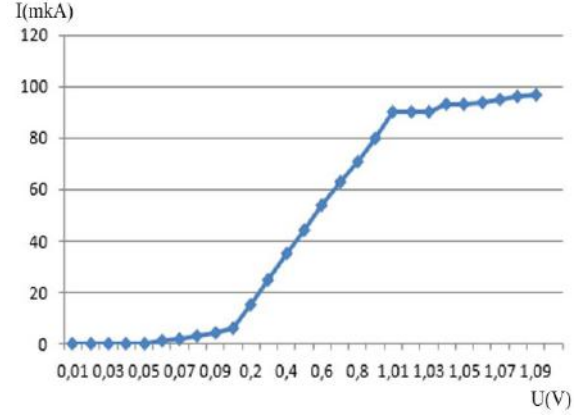
Şəkil 5. CuInSe₂ monokristalının Volt-Amper xarakteristikası

Volt-Amper xarakteristikasındakı intensivliyin artmasının pilləli xarakter alması, səthdəki laylı təbəqələrə məxsusdur. Nümunəyə verilən sahənin artmasına uyğun olaraq monoton artan bir intensivlik müşahidə edirik (şəkil 3). Spektirin diskretliyini ifadə edən oblastlar elektronun kristaldakı keçirici və bağlı zonaları ilə analogiya təşkil edir [5]. Hər layın sərhəddində adi düzünə dalğa və qayıdaraq 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

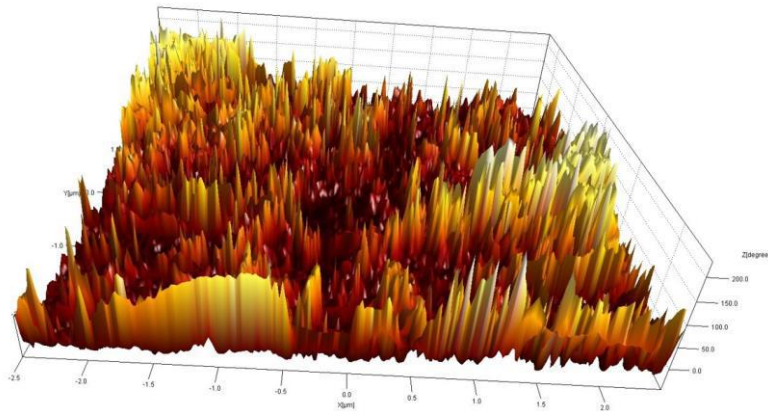
verir. Bu sönmələri isə qrafikdəki doyma hallarını ifadə edən düz xətlər göstərir. Periodik strukturlarda dalğaların yayılması altlığın dielektrik nüfuzluğundan çox asılıdır. Bizim apardığımız təcrübədə altlıq rolunu CuInSe_2 monokristalı oynayır. Bu xassələrdən çox-komponentli modulyasiya qurğularının yaradılmasında bir şərtlə istifadə etmək olar ki, altlıq materialı elektro-optik effektdə malik olsun. Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, dalğalar nazik lövhələrin kənarından əks olunaraq eksponensial azalır. Yarımkəçiricilərdə elektronların dispersiya qanununun kvadratik olmaması Volt-Amper xarakteristikasından müəyyən edilir.

Anizotropluğu ifadə edən diskretlik, səthdə mövcüd olan minizonaların içərisində baş verir. Bunlar qrafik olaraq pillə formasında özünü göstərir. X -koordinatının hər bir nöqtəsinə məxsus qiymətlərin on dəfə artmışını nəzərə alsaq, onda qrafikin kəskin qalxan hissəsi $E_g=1,04$ eV-dan başlanır. Qrafikin bu hissədən sonrası nanoquruluşları ifadə edir (şəkil 4). Dördüncü şəkildə olduğu kimi, X -koordinatı nöqtələrinin qiymətləri 10 dəfə artırılıb (Y -oxu nöqtələrinin qiymətləri ilə mütənasibliyi təmin etmək üçün). Şəkil 5-dəki xətti hissə CuInSe_2 monokristalına aiddir, qrafikin qalan hissəsi

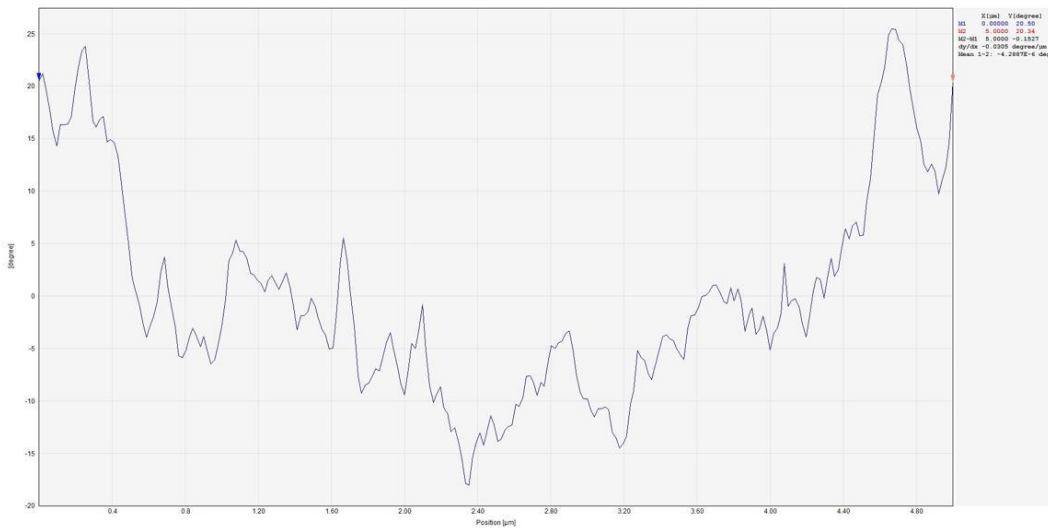
nanoquruluşları ifadə edir. Volt-Amper xarakteristikasının pilləli formada olması da, səthdə yaranan nanoquruluşlara aiddir [6]. Cərəyanın qiymətinin monoton arması isə tunnel diodlarına məxsus bir qrafikin alındığını göstərir. Ona görə də, biz bu qrafiklərdən istifadə etməklə bağlı zonanın enerjisini tapa bilirik (şəkil 3, 6).



Şəkil 6. CuInSe_2 monokristalının Volt-Amper xarakteristikası.



Şəkil 7. Monokristal CuInSe_2 . Səthin atom güc mikroskopunda (AGM) çəkilmiş şəkli.



Şəkil 8. Monokristal CuInSe_2 . Kristal səthində güc mikroskopu ilə çəkilmiş, atom klasterlərinin paylanmasını ifadə edən şəkil.

CuInSe monokristalının səthinin məsaməli olduğunu atom mikroskopunda çəkilmiş şəkildən də görmək olur (şəkil 7). Atom mikroskopunda çəkilmiş digər bi şəkildə isə kristalın məsaməli səthində atom klastərlərinin paylanması görünür. Maksimumların təpə nöqtələrini bir xətlə birləşdirsək, paylanmanın oval formada olduğunu görmüş oluruq. Atomların sətdə belə paylanması da yaranan nanoquruluşların göstəricisidir (şəkil 8).

YEKUN NƏTİCƏ

Məsaməli yarıkeçiricilərin üstün xüsusiyyətlərindən biri də, anizotropluğun nizamlı formada yayılmasıdır. Bu xassələr isə laylı kristallara məxsusdur.

Laylı periodik strukturlarda alınan nəticələri, elektron potensial sahədəki xassələrinə tətbiq etmək mümkündür. Düzgün dəqiq nəticələr əldə etmək üçün maddə quruluşunun dərin qatlarındakı potensial sahələrin araşdırılmasını sadələşdirmək üçün santimetrlik-millimetrik dalğa diapazonlarında aparmaq daha məqsədəuyğundur.

Yuxarıda göstərilən halda alınan nəticələrdən istifadə etməklə çoxkanallı modulyatorların və zəif siqnallarla işləyən gücləndiricilərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər. Bu iş Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin inkişafı fondunun maliyyə yardımı ilə yerinə yetirilmişdir. Qrant N EIF-BGM-3-BRFTF-2*/2017-15/02/1

-
- [1] Л.А. Головань, В.Ю. Тимошенко, П.К. Каукаров. УФН, 2007, т.177, N 6, ст. 619-638.
- [2] İ.Qasımoğlu. AJP Fizika, 2013, v. XIX, N1, section: Az. s.19-21.
- [3] Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. М.1989, 286 ст.
- [4] А.И. Губанов и Ф.М.Гашидзе. ФТТ, 1959, том 1, вып 9, ст.1411-1416.
- [5] С.М. Рывкин. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.1963. 495 ст.
- [6] В.И.Ляшенко, В.Г. Литовченко, И.И. Стенко, В.И.Стриха, Л.В. Ляшенко. Электронные явления на поверхности полупроводников. Киев-1968, 399 с.

I. Qasımoğlu, Q.S. Mehdiyev, Z.Qadiroglu, I.A.Mammadova, I.Q.Nasibov, C.T.Huseynov

EFFECT OF POROUS NANOSTRUCTURES FORMED ON THE SURFACE OF CuInSe₂ SINGLE CRYSTALS ON ITS ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES

The study the effect of the interaction of porous nanostructures formed during the technological process on the surface of the single crystal of CuInSe₂, with the parent substance. The formation mode is controlled. The resulting substances are considered suitable for photonic media [1].

И. Гасымоглу, Г.С. Мехдиев, З. Гадироглу, И.А. Мамедова, И.Г. Насибов, С.Т. Гусейнов

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТЫХ НАНОСТРУКТУР, СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ CuInSe₂ НА ЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В ходе исследования изучались взаимодействия пористых наноструктур, образующихся в технологическом процессе на поверхности монокристаллов CuInSe₂, с исходным веществом. Режим формирования контролируется, полученные вещества считаются подходящими для фотонных сред [1].

Qəbul olunma tarixi: 15.10.2021