

## CuAlS<sub>2</sub> ƏSASLI LAMİNAR QURULUŞUN ZƏRBƏ İONLAŞMASI KEÇİRİCİLİYİ VƏ TUTUMUN KİNETİKASININ SPEKTRAL XARAKTERİSTİKASI

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu.  
AZ 1073, Bakı şəhəri. H.Cavid pr. 131.

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

Xüsusi texnoloji rejim qradienti seçməklə, CuAlS<sub>2</sub> monokristalının səthində formalaşan, laminar quruluşunda zərbə ionlaşması keçiriciliyi [1] və tutumun kinetikasının spektral xarakteristikası araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, daşınmada nöqtəvi və xətti defektlər hesabına keçiriciliyin pilləli xarakter alması və tutum kinetikasının spektrində dipol domeninin yaranması, nəzəri və tətbiqi işlərin izahında açar rolunu oynaya bilər.

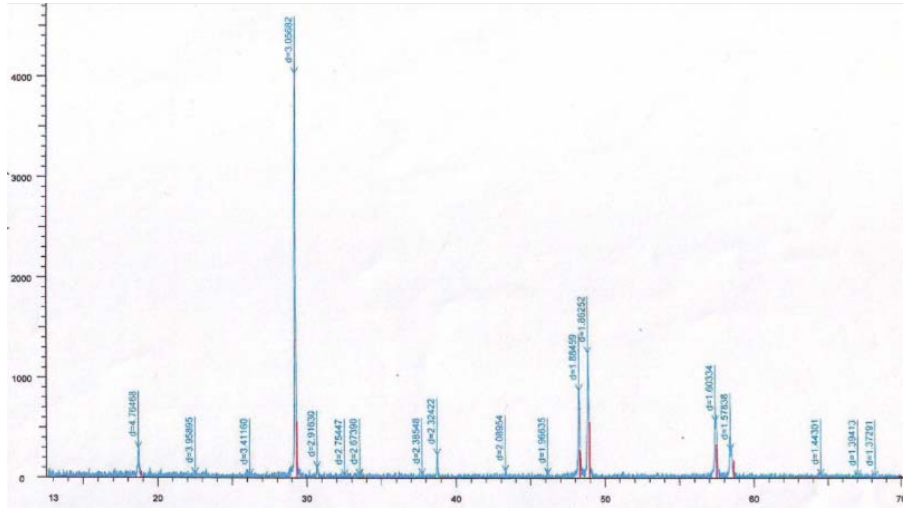
**Açar sözlər :** Kristal qəfəs, tutum, laminar quruluş, donar, acceptor, ion.

**DOI:**10.70784/azip.2.2025115

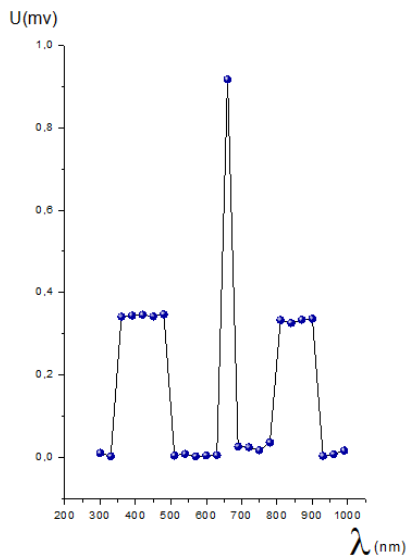
Son illər almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə, tədqiqatçıların marağı artmışdır.

Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi, A<sup>I</sup>B<sup>III</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> ümumi formulası ilə ifadə olunur. Onlardan

biri də CuAlS<sub>2</sub>-dir. Elektrik hərəkət qüvvəsinin işarəsinə görə, təəffüzdən P-tip keçiriciliyə malik olduğu müəyyən edilmişdir.



Şəkil 1. CuAlS<sub>2</sub> monokristalında Rentgen şüalarının difraksiyası spektri.



Şəkil 2. CuAlS<sub>2</sub> monokristalının fotokeçiriciliyinin spektral xarakteristikası. Qadağan olunmuş zonanın enerjisi ( $E_g=1,84$  eV)-dur.

Rentgen analizinin nəticələri (şəkil 1), alınan maddənin yarımkeçirici olduğunu sübut edir. Fotokeçiriciliyin spektral xarakteristikasından (şəkil 2) tapılan bağlı zonaya məxsus enerjinin qiyməti ədəbiyyatda verilən qiymətlərlə uyğunluq təşkil edir ( $E_g=1,84$ eV). Yeni alınan kristalın qəfəs parametrləri aşağıda göstəriləndiyi kimidir.  $a=b=5,32$ Å,  $C=10,39$ Å, fəza simmetriya qrupu (42m)-dir.

### Mövzunun aktuallığı

Biroxlu kristalların alınma texnologiyası çox çətin olsa da tətbiq imkanları böyükdür. İkiqat analoqlarından fərqli olaraq tetraqonal formada kristallaşma, birtipli atomlardan ikitipli fərqli metal sfərelit atomlarına keçid, sfaleritlərə nisbətən xalkopiritlərin simmetriyasının zəifləməsinə səbəb olur. Bu isə xarici təsirlərin (ışıq, elektrik sahəsi, rentgen, qamma şüası) plastik deformasiyası hesabına, daxili sahənin güclənməsinə səbəb olur. Belə bir güclü sahə hesabına donor akseptor

tipli atomların otaq temperaturunda ionlaşması mümkün olur. Bu xüsusiyyət otaq temperaturunda fiziki xassələrin ölçülməsini asanlaşdırır və nümunələrin tətbiqi üçün geniş imkanlar yaradır.

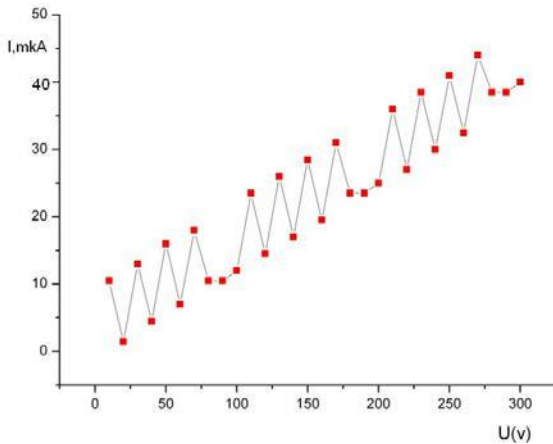
**Məsələnin qoyuluşu**

CuAlS<sub>2</sub> monokristalının elektrik və optik xassələrinin ölçülməsi ilə bərabər, səthdə formalaşan laminar quruluşun zərbə ionlaşması keçiriciliyi və tutumun kinetikasının spektral paylanmasını öyrənməklə çoxlu məlumat əldə etmiş oluruq. Bizə elə gəlir ki, kvantlanmış keçiriciliyin və tutumun spektral xarakteristikasının araşdırılması nəzəri təhlillər və tətbiq imkanları baxımından mühüm hesab olunur.

**Təcrübənin aparılması**

Elektrik və Optik ölçülər aparmaq üçün alınan kristalları kimyəvi təmizlənmə və hamarlanma mərhələsindən keçiririk, sonra isə Volt-Amper xarakteristikasını ölçürük. Tutumun spektral paylanmasını ölçmək üçün məqalədə [2] metodikasını verdiyimiz yeni üsul olan kondensator üsulundan istifadə olunmuşdur. Yeni yaradılan optik kompleks aşağıdakı cihazlardan təşkil olunmuşdur. MDR-23, üç güzgü qəfəsdən ibarət olmaqla, böyük bir dalğa uzunluğu oblastını əhatə edir. I-güzgü qəfəs (şerti işarəsi-1200), oblastı (200-500)nm, II-güzgü qəfəs (şerti işarəsi 1200), oblastı (350-1000)nm, III-güzgü qəfəs şerti işarəsi-600), oblastı (700-2000)nm-dir. Güclü işıq mənbəyindən düşən şüalar linzalar dəsti (kondensor) vasitəsi ilə nümunənin üzərinə yönəldilir. Nümunədə alınan siqnal tutumölçənə ötürülür. Əvvəlcə qaranlıq şəraitində cihazlara məxsus tutum qeyd olunur, sonra içərisində kristalın yerləşdiyi xüsusi dərjətelin tutumunu ölçürük yekun olaraq alınan ümumi tutumdan qaranlıq tutumun qiyməti çıxılır. Nəticə olaraq laminar quruluşa məxsus „p-n., keçidin tutumunu qeyd etmiş oluruq.

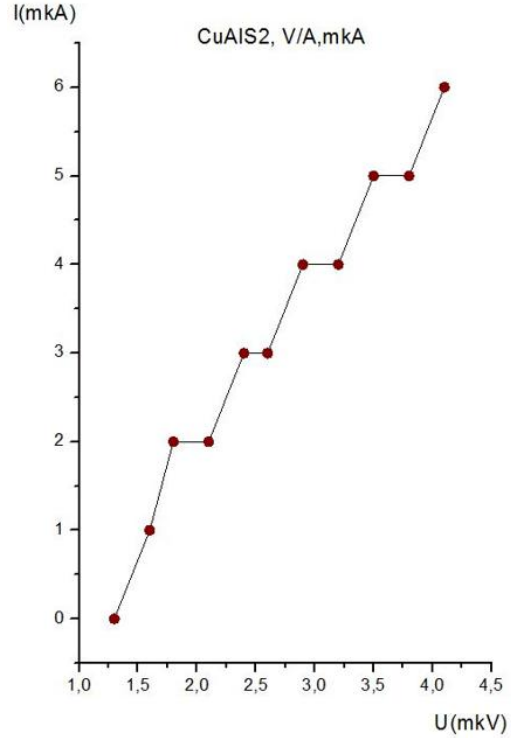
**Təcrübədən alınan nəticələr**



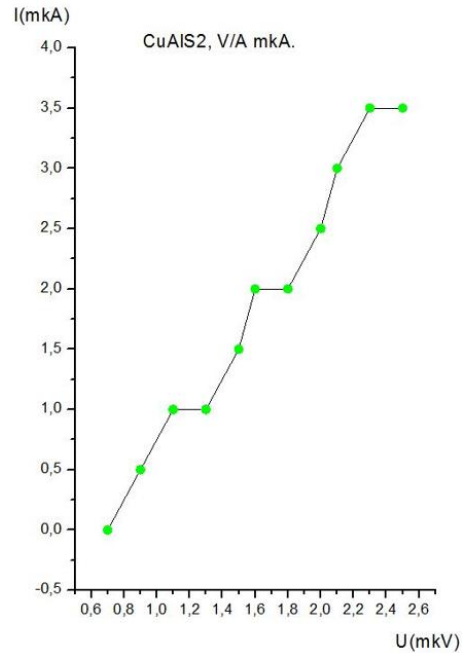
Şəkil 3. Xarici sahənin böyük qiymətlərinin geniş intervalda(0-300V). CuAlS<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteristikası.

Massiv maddə CuAlS<sub>2</sub> və səthində formalaşan laminar quruluşun zərbə ionlaşması keçiriciliyi və tutumun kinetikasının spektral xarakteristikasını ölçməklə

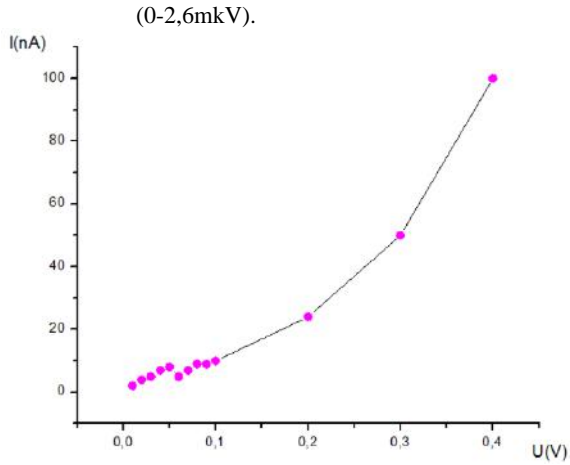
aşağıdakıları müəyyənləşdirmək mümkündür. Bilirik ki, hər bir kristalın səthində qəfəsin qırılma nöqtələri mövcuddur. Volt-Amper xarakteristikasının bircinsli olmamasının səbəbi səthdəki defektlərə məxsus səviyələrin olmasıdır. Xarici elektrik sahəsi böyük olduqda atomlar ionlaşana qədər elektronlar diffuziya məsafəsinə sürətli qət etmiş olurlar. Ona görə də, biz şəkildə elektron dalğalarına məxsus periodik funksiyanı görürük (şəkil 3).



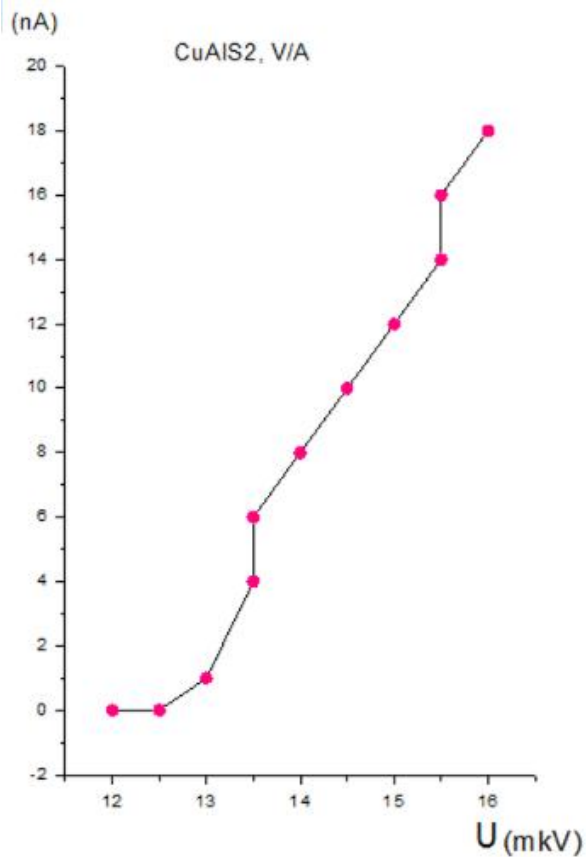
Şəkil 4. Xaricdən verilən sahənin kiçik qiymətlərində xətti dislokasiyalar hesabına, CuAlS<sub>2</sub> monokristalının Volt-Amper xarakteristikasında pilləli keçiricilik( 0-4,5mkV).



Şəkil 5. Xaricdən verilən sahənin qiymətinin mütənasib nasib artmasına uyğun dislokasiyalar hesabına, CuAlS<sub>2</sub> monokristalının keçiriciliyində eksponensial artım müşahidə olunmuşdur



Şəkil 6. CuAlS<sub>2</sub> monokristalının Volt-ampere xarakteristikasında, tunel diodu keçiriciliyi və görünən aşqar səviyyələrinin spektri.

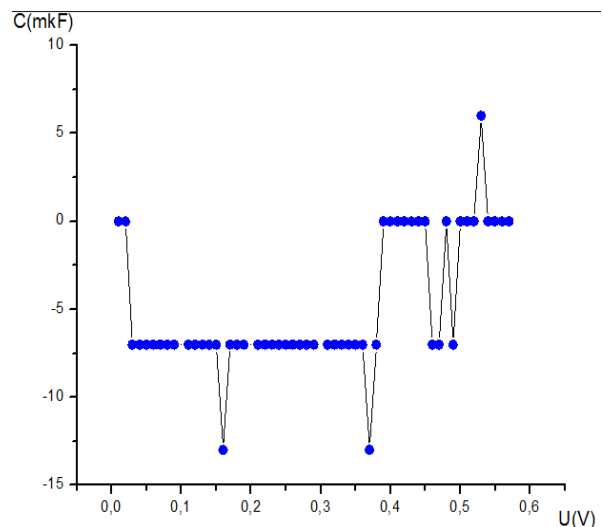


Şəkil 7. CuAlS<sub>2</sub> monokristalının Volt-Ampere xarakteristikasında, anizotrop və izotrop keçiriciliyin zərbə ionlaşması ilə tənzimlənməsi.

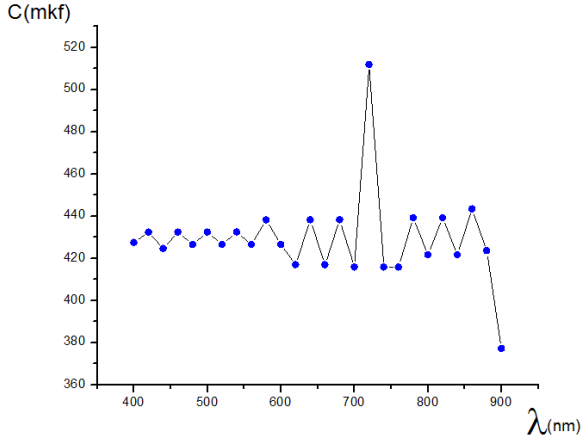
1. Volt-Ampere xarakteristikasını böyük və kiçik sahələrdə ölçməklə xətti defektlərin keçiriciliyə təsiri haqqında məlumat əldə etmiş oluruq. Xarici sahənin kiçik qiymətlərində başqa mənzərənin şahidi oluruq. Laminar quruluşun Volt-Ampere xarakteristikasında elektron dalğalarının kvantlanmış keçiriciliyini görmüş oluruq (şəkil 4, 5). Pilləli keçiricilik metallarda olduğu kimi xətti defektlərdən əksolunmalar hesabına yaranır və elektron dalğalarının zəif lokallaşmanın nəticəsidir [3]. Laminar quruluşun Volt-Ampere xarakteristikasında tunel keçidinin müşahidə olunması tətbiq baxımından maraqlıdır, çünki tunel diodları adi diodlardan fərqli

olaraq radiasiyaya [4] davamlı olmaları ilə fərqlənirlər (şəkil 6). Tunel keçidləri kristallarda qəfil soyudulma zamanı yaranır [5]. Xaricdən verilən sahənin kiçik qiymətində laminar quruluşa aid yeni bir xassə müşahidə edirik. Spektrdə xətti və qeyri-xətti keçiricilik bir-birini əvəzləmiş olur. Yükdaşıyıcıların sürəti artdıqca zərbə ionlaşması hesabına stasionar hal bərpa olunur, sahənin qiyməti böyüdüüyü üçün yenidən zərbə ionlaşması təkrar olur. Ona görə də, keçiriciliyin qiymətindəki artma xətti keçiriciliklə qeyri-xətti keçiricilik arasında faza dəyişməsi ilə müşahidə olunur. Bu qiymət artımı elektron və deşiklərin konsentrasiyasının zərbə ionlaşmasından kəskin artdığını göstərir (şəkil 7).

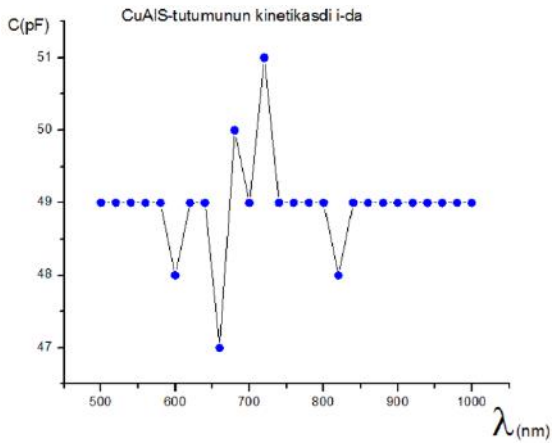
2. Tutumun spektral xarakteristikasını və kinetikasını ölçməklə səthdəki səviyyələrin fiziki parametrlərə təsiri haqqında məlumat əldə etmiş oluruq. Tutumun xarici sabit sahədən asılılığını ifadə edən spektrdə (şəkil 8) doyma halını ifadə edən düz xəttin aşağı yemməsi əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artdığını göstərir. Maraqlı cəhət odur ki, diferensial mənfi müqavimət halı  $U=0,38V$ -dan sonra stasionar vəziyyətə dönür, sonrakı sahə artımı tutumun qiymətinin də müsbət işarəli olmasını təmin edir. Bu o deməkdir ki, sahədən asılı olaraq fermi səviyyəsi aşağı enmiş ona görə də, əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artmışdır. Fermi səviyyəsinin yuxarı qalxması isə qeyri-əsas yükdaşıyıcıların yəni elektronların konsentrasiyasını artırmışdır. Yuxarıda deyilənlər oxşar olaraq tutum üçün də baş vermişdir. Donor akseptor ionlarının qarşılıqlı rekombinasiyası hesabına "p-n" keçidin tutumu dəyişmiş olur. Başqa bir təcrübədə (şəkil 9) eyni enerjiyə malik monoxromatik işıq fotonlarının təsirindən sonra periodu dalğaların enerjisi azaldıqca artan, tutumun döyünmə halını, bir də rezonans pikini görürük. Bu isə laminar quruluşun süni qəfəsə malik olduğunu göstərir [6]. Görünən və infraqırmızı işığın radiyasiyasından sonra laminar quruluşa məxsus həcmi yüklərin eninin azaldığını, ona mütənasib olaraq tutumun kəskin artmasını müşahidə edirik (şəkil 10). Qaranlıqda tutumun kinetikasını ifadə edən başqa bir təcrübədə donar və akseptor ionları arasındakı qarşılıqlı təsiri ifadə edən rekombinasiya dalğalarının dipol domenini [7] yaratdığını görürük (şəkil 11)



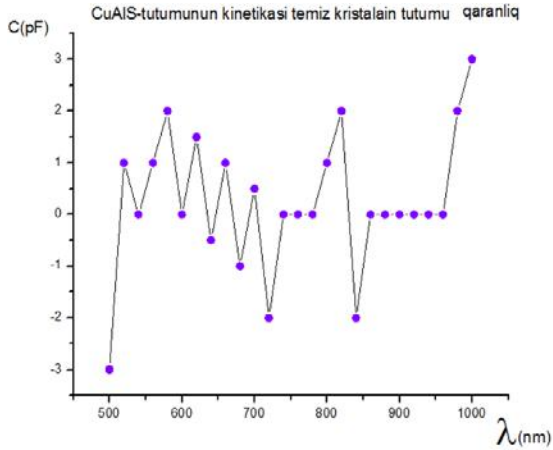
Şəkil 8. CuAlS<sub>2</sub> monokristalında həcmi yüklərə məxsus tutumun xarici sabit sahədən asılılığı.



Şəkil 9. CuAlS<sub>2</sub> monokristalında tutumun monoxromatik işığın sabit enerjiyə məxsus fotonları hesabına periodik dalğalarla ifadə olunan spektral xarakteristikası.



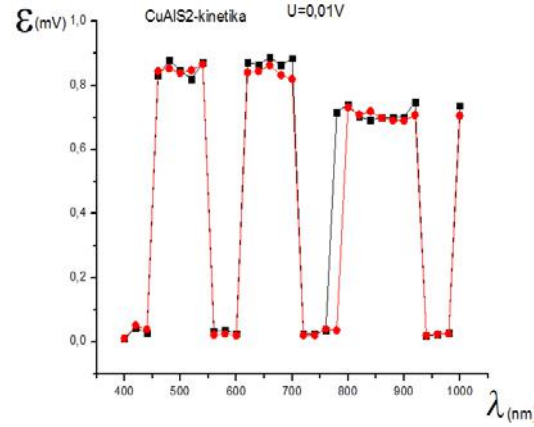
Şəkil 10. CuAlS<sub>2</sub> monokristalının tutumunun işıqdakı spektral xarakteristikasının kinetikasi.



Şəkil 11. CuAlS<sub>2</sub> monokristalının tutumunun qaranlıqdakı spektral xarakteristikasının kinetikasi.

3. Xətti defektlər, donar, akseptor ionları kristal qəfəsi ilə əlaqədə olduqlarından, xarici təsirdən sonra generasiya və rekombinasiyasının mütənasib tənzimlənməsi hesabına, stasionar hal baş verir. Yükdəşıyıcıların konsentrasiyasının mütənasibliyini, elektrik hərəkət qüvvəsinin spektrindən görmək mümkündür (12). Səviyələrin elektronlarla dolub boşalması kristal səthindəki həcmi yüklərə və səthə məxsus diferensial tutuma təsir etmiş olur. Diferensial tutumu ölçərək donar,

acceptorların konsentrasiyasının nisbətini bilməmiş olur.



Şəkil 12. CuAlS<sub>2</sub> monokristalında elektrik hərəkət qüvvəsinin spektral xarakteristikasının kinetikasi.

### Alınan nəticələrin izahı

Məlumdurki, istənilən kristalın səthində defektlər mövcuddur və bu defektlər kristalın fiziki xassələrinə təsir edir. Tutumu ölçərkən də bunun şahidi oluruq. Əvvəlcə bizə lazım olan həcmi yüklərin qiymətini bilmək üçün səthdə olan ümumi tutum haqqında məlumatımız olmalıdır. Ümumi tutumu aşağıdakı kimi ifadə edə bilərik.

1. Səthə məxsus həcmi yüklərin tutumu;
2. Səthdə olan aşqar səviyyələrin tutumu;
3. Kondensator lövhələri arasındakı dielektrikin tutumu.

Həcmi yüklərin tutumunu müəyyən etmək üçün xarici sahənin təsirinin hər bir tutuma ayrı-ayrılıqda necə təsir etdiyini bilməliyik. Üçüncü bənddən başlasaq dielektrikin dielektrik nüfuzluğu qalınlıqdan asılıdır dielektrikin növünə görə müxtəlif qiymətlər ala bilər. Dielektrikə məxsus tutum xarici sahədən asılı deyil. Dielektrikə məxsus tutumu kondensator lövhələri arasına yerləşdirməklə sahə olmadan tutumu ölçə bilərik. Ona görə dielektrikə məxsus üçüncü tutumun qiyməti bəlli olduğu üçün biz onu yekunda nəzərə almırıyıq. Bu isə bizə lazım olan tutumu təyin etmək üçün apardığımız hesablamaları asanlaşdırır. İkinci tutum isə səthdəki səviyyələrə məxsus tutumdur. Bu tutuma xarici sahənin təsiri olduğu üçün sahənin təsirindən sonra həcmi yüklərə məxsus tutumla, səthi yüklərə məxsus tutum arasındakı fərqi müəyyənləşdirməliyik. Xarici sahənin qiymətindən asılı olaraq yəni kondensatorun lövhəsi ilə yarımkeçirici arasındakı tutuma məxsus əyri  $U < 0$  olarsa sağa doğru,  $U > 0$  olarsa sola doğru X-oxu istiqamətinə yönəlsə, verilən sahə səth səviyyələrinə məxsus tutuma təsir etməmişdir. Deməli, spektral asılılıq həcmi yüklərə məxsus tutumu ifadə etmiş olur. Bundan əlavə verilən xarici sahənin qiyməti kiçik olarsa, səth səviyyələrini ifadə edən tutum kiçik olduğu üçün onu nəzərə almırılar.

### Yekun nəticə

Onand ibarətdir ki, massiv CuAlS<sub>2</sub> kristalının səthində formalaşan laminar quruluşun zərbə ionlaşması

keçiriciliyinin və tutumun kinetikasının ölçülməsi kristalların səthində baş verən fiziki proseslərin izahı üçün geniş imkanlar yaratmış olur. Məsələn bu araşdırmalar hesabına donör-akseptor ionları haqqında, onların konsentrasiyası haqqında məlumata sahib oluruq. Həcmi yüklərə məxsus oblastın eninin dəyişməsi hesabına

“p-n” keçidin gücləndirici xassəsinin öyrənilməsi kristalların tətbiqi zamanı fiziki parametrlərin dəqiqləşdirilməsində böyük əhəmiyyətə malikdir.

- 
- [1] Л.А. Голован, В.Ю. Тимошенко, П.К. Каишкаргов. Оптические свойства нанокomпозитов на основе пористых систем, УФН, 2007, том 177, № 6, с.619-638.
- [2] CuGaSe<sub>2</sub> monokristalının səthindəki “n-p-n” keçidin elektrik hərəkət qüvvəsinin spektral xarakteristikasının kondensator üsulu ilə tədqiqi. AJP Fizika 2024 Volume XXX, № 2, p.3-6.
- [3] В.Ф. Гантмахер. Электроны в неупорядоченных средах. М. 2003. ст. 175.
- [4] Samner Levin. Основы полупроводниковой микроэлектроники. М.1966, ст.242.
- [5] В.И. Фистуль. Сильнолегированные полупроводники.
- [6] Ф.Г. Басс, А.А. Булгаков, А.П. Тетервов. М.1989. ст. 286. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками.
- [7] Ю.К.Пожела. Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках. М.1977. ст367.

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

### **SPECTRAL CHARACTERIZATION OF IMPACT IONIZATION CONDUCTIVITY AND CAPACITANCE KINETICS IN A CuAlS<sub>2</sub>-BASED LAMINAR STRUCTURE**

By choosing a special technological mode gradient, the spectral characteristics of the shock ionization conductivity [1] and capacitance kinetics formed on the surface of the CuAlS<sub>2</sub> single crystal in its laminar structure were investigated. And it has been shown that the stepwise nature of conductivity due to point and linear defects in transport and the formation of a dipole domain in the spectrum of capacitance kinetics can play a key role in explaining theoretical and applied works.

*Qəbul olunma tarixi: 22.01.2025*