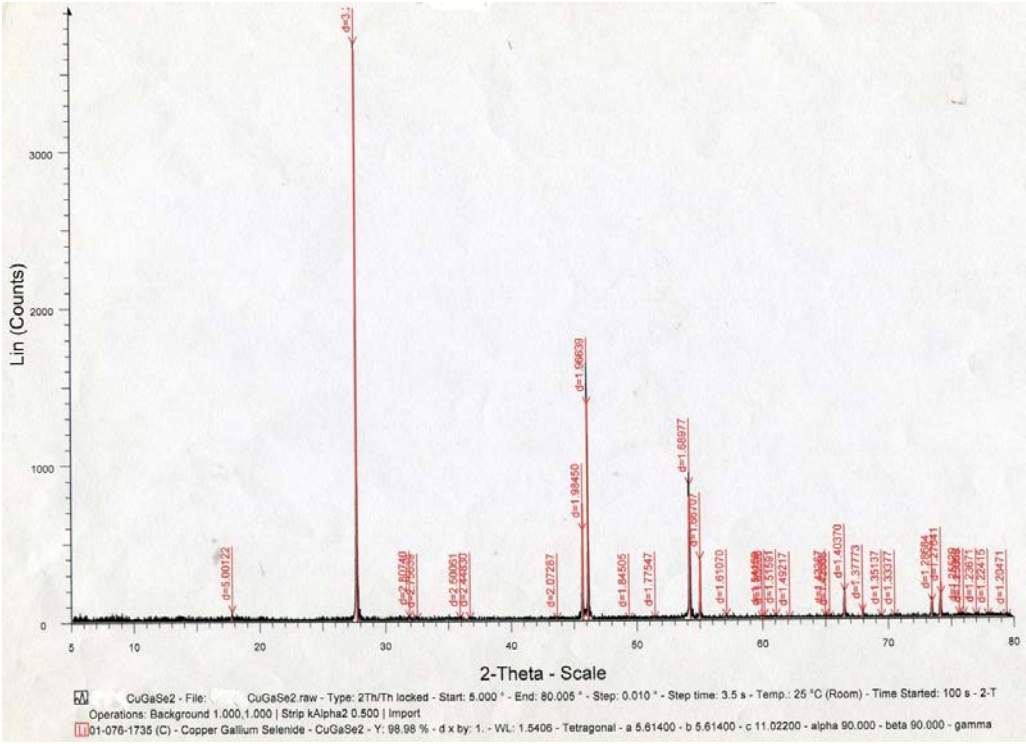
$CuGaSe_2$ MONOKRİSTALININ SƏTHİNDƏKİ "n-p-n" KEÇİDİNİN ELEKTRİK HƏRƏKƏT QÜVVƏSİNİNIN SPEKTRAL XARAKTERİSTİKASININ KONDENSATOR ÜSULU İLƏ TƏDQİQİ

İ. QASIMOĞLU, Q.S. MEHDİYEV, C.T. HÜSEYNOV
Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin, H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu
Az1143, Bakı şəhəri, H.Cavid pr.131
E-mail: gasımoğlu@yahoo.com

Təcrübi olaraq $CuGaSe_2$ monokristalının səthində ilk dəfə "n-p-n" keçidə məxsus elektrik hərəkət quvvəsinin spektral xarakteristikası kondensator üsulu ilə tədqiq olunmüşdur.

Açar sözlər: elektrik hərəkət qüvvəsi, "n-p-n" keçid, kondensator üsulu.
DOI:10.70784/azip.2.2024203

Son illər tədqiqatçılar tərəfindən almazabənzər quruluşlu yarımkeçiricilərə maraq artmışdır [1]. Həmin qrupa daxil olan birləşmələrin bir qismi $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ ümumi formulu ilə ifadə olunur, burada A^{I}(Cu,Ag), B^{III}(Ga,In), C^{VI}(S,Se,Te) təmsil edir. Bu tərkibə daxil olan birləşmələrdən biri də $CuGaSe_2$-dir. $A^{II}B^{VI}$ birləşmələrindən olan ZnSe-in üçqat elektron analoqudur. İlk dəfə Xan və əməkdaşları tərəfindən birləşmələrin əksəriyyətinin xalkopirit strukturunda kristallaşdığı aydınlaşdırılmışdır. $CuGaSe_2$ p-tip keçiriciliyə malikdir. Istisna olaraq birləşmələrin bəziləri həm p-tip həm də n-tip ola bilər [2]. Monokristallarda güclü ikiqat sınma müşahidə olunmuşdur ki, bu fiziki xassə qeyri xətti optika üçün xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Materialların üstün cəhətlərindən biri də ondan ibarətdir ki, bağlı zonanın daxilində çoxlu sayda energetik səviyyələr mövcuddur. Bunlar passiv və aktiv rekombinasiya mərkəzləridir. Bu birləşmələr düzgün zona quruluşuna malikdir, mütləq ekstremumları Brillüen zonasının Γ nöqtəsində yerləşir. $A^{I}B^{III}C_2^{VI}$ birləşmələrində iki mis atomu iki gallium atomu ilə tetraedr əmələ gətirir, mərkəzdə isə selen atomu yerləşir. Birləşmələrin zona quruluşunun ümumi mənzərəsi F. Həşimzadə tərəfindən tədqiq olunmuşdur [3]. $CuGaSe_2$ monokristalı xüsusi üsulla sintez olunmuş, sonra isə temperatur qradiyentini və yetişdirilmə sürətinin kinetikasını idarə etməklə Bricmen üsulu ilə yetişdirilmişdir [4]. Birləşməyə daxil olan maddələrin təmizlik dərəcəsi aşağıdakı kimidir. Cu-99,999%, Ga-99,9999%, S-99,9999%-dir. Yuxarı temperatur 1423K, aşağı temperatur 973K olmuşdur. Nümunənin otaq temperaturundakı müqaviməti *R*=10Om, ölçüləri 1x0,5x2 mm^3 tərtibindədir. Rentgen analizinin nəticələri (şəkil 1) ədəbiyyatda olanlarla uyğunluq təşkil edir. Qəfəs parametrləri belədir: a=b=5,61400A°, c=11,02200A°, fəza simmetrya qrupu (42m)-dir.



Şəkil 1. $CuGaSe_2$ monokristalının Rentgen şualarının difraksiyası spektiri. *T*=300K.(Difractrometr d8 Advance).

Mövzunun aktuallığı

Xalkopiritlərdə tetraqonal formada kristallaşma və ikitipli fərqli metal atomunun mövcud olması simmetriyanın zəifləməsinə səbəb olur. Bu xüsusiyyət deformasiya hasabına daxili sahənin yaranmasına gətirir. Kristal səthində bir çox mürəkkəb və yeni quruluşlar meydana gəlir. Monoxromatik işığın təsirindən sonra anizotropluğun müşahidə olunması, bir çox yeni mühüm xassələrin aşkara çıxmasına imkan verir. Bunlardan biri simmetriya mərkəzi olmayan bu tip kristallarda fotovaltaik effektin səthdə yaranan nazik təbəqələrlə birbaşa əlaqəli olmasıdır [5]. Elektrik hərəkət qüvvəsinin spektral xarakteristikasından bunları görmək mümkündür. Bu isə tədbiq üçün çox əhəmiyyətlidir.

Məsələnin qoyuluşu

$CuGaSe_2$ monokristalının elektirik, optik xassələrinin ölçülməsi və səthinin öyrənilməsi, səthdə və daxildə baş verən elektron quruluşu haqqında yeni məlumatların əldə edilməsindən çoxtutumlu yaddaş elementlərinin, sensorların hazırlanmasından, detektorların təkmilləşdirilməsindən günəş elementlərinin hazırlanmasından və yuxarıda sadalananları həyata keçirmək üçün lazım olan fiziki xassələrin araşdırılmasından ibarətdir.

Təcrübənin aparılması

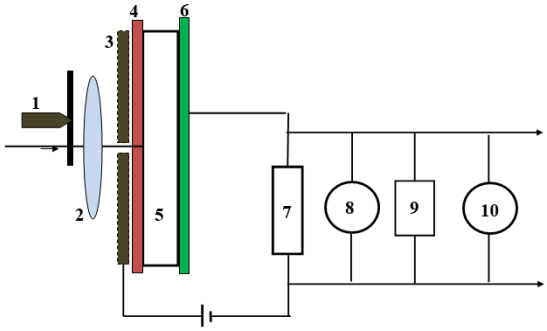
Yarımkeçirici cihazların istehsalında parametrlərin idarə olunmasının böyük əhəmiyyəti vardır. Bu əsasən texnoloji proses zamanı daha çox istifadə olunur [6]. Əlavə iş görmədən, əlavə enerji sərf etmədən birtipli kristalın tərkibində müxtəlif potensiallara məxsus "p-n", "n-p" tip keçidli fazalar əldə etmək mümkündür. Üzərində tədqiqat apardığımız yarımkeçirici $CuGaSe_2$ donor, akseptor tipli nöqtəvi defektlərə malikdir və bağlı zonanın enerjisinin qiyməti böyük olduğu üçün öz-özünə tənzimlənən yarımkeçiricilər adlanırlar. Donor və akseptorların konsentrasiyasının bərabər olması, xarici təsirlər zamanı sabitliyin pozulması, yeni xassələrin yaranmasına səbəb olur. Xarici təsir zamanı xüsusi müqavimət dəyişir, bu zaman defektlərdən biri digərini üstələmiş olur. Texnoloji proses zamanı nöqtəvi defektlərin idarə olunması ilk dəfə Holl tərəfindən həyata keçirilmişdir. Üsul ondan ibarətdir ki, yetişdirmə sürətini idarə etməklə, aşqarların effektiv mütənasib paylanmasını təmin etmək mümkündür. Paylanma bərk maddə ilə ərinti faza arasında baş verir. $CuGaSe_2$ monokristalında donor və akseptorlar qəfəslə birbaşa əlaqədə olduğu üçün translyasiya simmetriyası hesabına mütənasiblik pozulmur, paylanma temperaturdan asılı olaraq nizamlı şəkildə olur. Ona görə də, temperaturun bir qiymətində də bərk maddəyə məxsus, donorların vahid sahəyə düşən sayı artır, digər bir temperatur intervalında, ərintiyə düşən akseptorların vahid sahəyə düşən sayı artmış olur. Bu zaman maddənin bərk fazaya aid hissəsindəki, aşqarların paylanma nisbəti, ərintiyə aid aşqarların paylanma nisbətindən fərqlənir. Qeyd olunan digər bir temperaturda isə bu nisbət bərabər olur. $CuGaSe_2$ monokristalında donor və akseptorların təsadüfi paylanması nəticəsində səthdə "p-n" keçidlərinə məxsus potensial sahə yaranır. Alınan sahəni modulyasiya olunmuş monoxromatik işıqla idarə etməklə tədbiq üçün yeni xassələr əldə etmək mümkündür [7]. Tərəfimizdən ilk dəfə kondensator üsulunu tədbiq etməklə „n-p„ , „p-n„ keçidi alınmışdır. Bir yerdə ifadə etmiş olsaq kristal üzərində „n-p-n„ keçidə məxsus tranzistop effektinin əldə edilməsi, texnoloji prosesi düzgün idarə etməklə müasir, faydalı iş əmsalı yüksək olan maddələr əldə etməyin mümkün olduğunu göstərir [8].

Təcrübədən alınan nəticələr

Yeni üsulla alınan nəticələr onu deməyə əsas verir ki, çoxlaylı „n-p„ , „p-n„ quruluşlara malık yarımkeçiricilər orjinal xüsusiyyətləri ilə fərqlənirlər [9]. Bu xassələr böyük əhəmiyyət kəsb etdiyi üşün maddələrə yeni sinif yarımkeçiricilər kimi baxılır. Həmin xassələrdən yüksəkgərginlikli çeviricilərin hazırlanmasında istifadə olunur. Alınan nəticələr nəzəri baxımnan da [10-11] maraq doğurur. Şəkildən (şəkil 3) göründüyü kimi, Fermi səviyyəsinin yuxarı və ya aşağı hərəkətini izləməklə, uyğun olaraq donor ionlarının konsentrasiyasının çox, aşağı yenərkən akçeptor ionlarının konsentrasiyasının artıq olduğunu demək mümkündür [12].

Alınan nəticələrin izahı

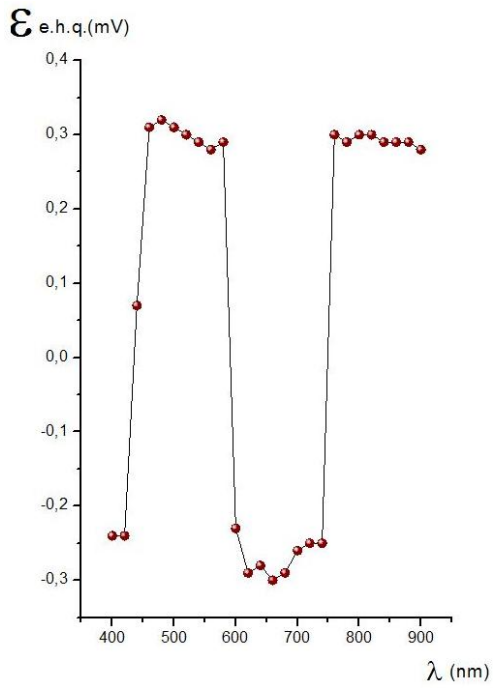
Müasir elektronikanın tələblərinə uyğun mükəmməl cihazların hazırlanması üçün yeni texnologiyalarla yetişdirilən yarımkeçiricilərə ehtiyac vardır [13]. Monokristalların yetişdirilməsində biz qaz daşıyıcıları, Çoxralski, üfüqi və şaquli Bricmen üsullarından daha çox istifadə etmişik.



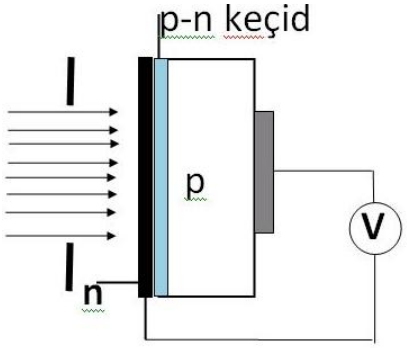
1 –modulyator, 2-linza ,3-kondensatorun birinci lövhəsi ,4-dielektrik lövhə ,5-nümunə , 6- kondensatorun ikinci lövhəsi , 7- Müqavimət , 8-gücləndirici 9- detector,10- Voltmetr

Şəkil 2. Monokristal $CuGaSe_2$. Elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığının ölçüldüyü optik qurğunun metodik sxemi verilmişdir.

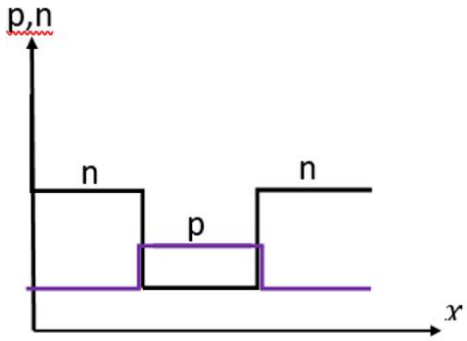
Nanotexnologiyaların elektron sənayesinə dərin nüfuzu onu göstərir ki, maddələrin alınma texnologiyasını təkmilləşdirmədən müsbət nəticələr əldə etmək olmaz. Ona görə, fərqli xassələrə malik nümunələr əldə edə bilmək üçün, maddə yetişdirmənin, kinetik və qradiyent baxımdan dəyişməsinə üstünlük verdik. Bu sürəti tənzimləməklə aşqarların maddə tərkibindəki nisbətini idarə etməkdir [14]. $CuGaSe_2$ kristalında bu üsulla alınan „n-p„ , „p-n„ keçidin xarakteristikasını təhlil edək. Bunun üçün təcrübə apardığımız qurğunun təsviri şəkildə verilmlşdir (şəkil 2).



Şəkil 3. $CuGaSe_2$ monokristalının səthində „n-p-n„ keçidə aid elektrik hərəkət qüvvəsinin spektral xarakteristikası verilmişdir.



Şəkil 4. $CuGaSe_2$ monokristalında „p-n„ keçidin diod xarakteristikasında gedən fiziki proseslərin gedişatının əyani sxemi verilmişdir.

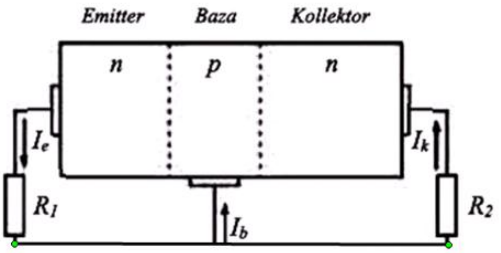


Şəkil 5. $CuGaeSe_2$ monokristalında tranzistor cihazında istifadə oluna biləcək „n-p-n„ keçidə məxsus aşqarların kordinat oxlarına nəzərən paylanma qrafiki verilmişdir.

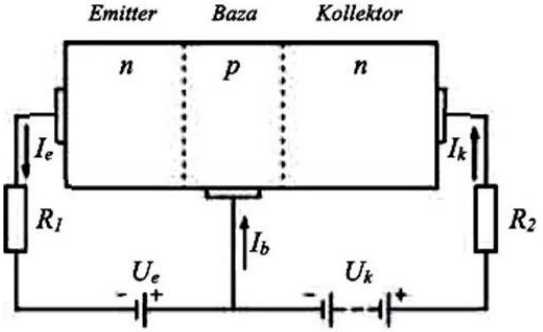
Göründüyü kimi proseslər kristalın səthində baş verir. Aşağıda kondensator üsulu ilə elektrik hərəkət qüvvəsinin modulyasiya olunmuş işığın dalğa uzunluğundan asılılığı verilmişdir (şəkil 3).

Kristalın səthində nazik təbəqəyə perpendikulyar işıq düşür. Əsas yükdaşıyıcılar massiv maddə istiqamətinə yönəlir mənfi və müsbət yüklərin ayrılması baş verir, bu isə diod xarakteristikası deməkdir (şəkil 4). Kənar təsir hesabına pozulmuş nizam bərpa olunmağa çalışır.

Elektron keçiriciliyinin kəskin artmasını göstərən şaquli düz xətt üfüqi düz xəttə çevrilir [15-16]. Gəfəslə birbaşa əlaqədə olan donor və akseptor aşqarları hesabına elektron, deşiklərin vahid sahəyə düşən sayı kəskin dəyişir. Bu paylanmanın kordinatlara nəzərən dəyişmə nisbəti şəkildə verilmişdir (şəkil 5).



Şəkil 6. $CuGaSe_2$ monokristalında „n-p-n„ keçidin ventil tranzistorunda, istifadə oluna biləcək qurğusunun sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 7. Birtipli $CuGaSe_2$ monokristalında „n-p-n„ keçidin sahə tədbiq etməkl, gücləndirici kimi istifadə oluna bilən, tranzistor qurğusunun sxemi verilmişdir.

Doyma halı elektronların vahid sahəyə düşən sayının artdığını və akçeptorların vahid sahəyə düşən sayına bərabər olduğunu göstərir. Bu zaman donorların konsentrasiyası ilə akseptorların konsentrasiyası bərabərləşmiş olur. Keçiricilik zonası ilə akseptor defekti arasında baş verən rekombinasiya hesabına elektronların konsentrasiyası kəskin azalır. Diffuziya hesabına anomal Dember effektini müşahidə edirik [17]. Fotovoltaik anomal Dember effektin işarəsi elektrik hərəkət qüvvəsinin əksinə yönəldiyi üçün, kəskin aşağıya yenməni müşahidə edirik. Sıfır xəttini keçdikdən sonra deşiklərin konsentrasiyası artır və doyma halı baş verir [18-19]. Verdiyimiz izahatlar növbəti „n-p„ keçidləri üçün də keçərli olduğu üçün, diod xarakteristikasından ventil tipli tranzistor xarakteristikasına keçmiş oluruq (şəkil 6). Yəni ayrılıqda „n-p„ , „p-n„ keçidin funksiyasını bilməklə biz „n-p-n„ keçidin tranzistor xassəsinin bir tipli kristalda tətbiqə yararlı olduğunu göstərmiş oluruq. Sabit elektrik sahəsi tədbiq edərkən tranzistor özünü gücləndirici kimi aparır (şəkil 7)

Yekun nəticə

Üçqat birləşmələrin səthinin tədqiqatı göstərir ki, nanotexnologiya üçün ikiqat analoqlarından fərqli olaraq bu obyektlər səmərəlidir. Çünki səthin anizotropluğundan yaranan ikiqat sınmanın olması, qaranlıq cərəyanın, müqavimətin qiymətinin kiçik olması simmetriya mərkəzinin olmaması, bağlı zona enerjisinin böyük olması, birləşmələrin üstün cəhəti sayılır. Bir kristal üzərində diod xassəsinin, sonra isə tranzistor xarakteristikasının texnoloji imkanlardan istifadə edərək həyata keçirmək faydalı iş əmsalı baxımından önəmlidir. Bununla da, biz xalkopiritlərin tətbiq üçün böyük imkanlara malik olduğunu nümayiş etdirmiş oluruq [20].

[1] Optikal Phonons in I-II-III2 compunds, *W.H.Koschel, F. Sorger and J. Baars*. J. de Phyusique № 9, tome 36, Sertembre, 1975, page C3-177.

[2] *G.D. Boyd, H.Mc. Kasper*. JhMcFee Quantum Electronics, IEEE Journal of 7(12), 1971, p.563-573.

[3] Ф.*М. Гашимзаде,* ФТТ, 5, 1199, 1963*;* *А.А. Вайнолин, Ф.М. Гашимзаде, Н.А. Горюнова, Ф.П. Касаманлы, Д.Н. Наследов, Э.О. Османов, Ю.В. Рудь,* Изв. АН ССР, сер. Физ., 1964, т.28, ст.1085.

[4] Технология полупроводниковых материалов. М.1961. ст.314.

[5] *Е.Г. Гулый, И.П. Жадько, В.А. Романов.* Фотовольтаические свойства асимметричной периодической „p-n-p„-структуры. ФТП том 16, №2, ст 331-336.

[6] Полупроводники в науке и технике. Л. 1957. Том 1, ст.470

[7] *С.М. Рывкин.* Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.1963. ст. 494.

[8] *С.Н. Левин.* Основы полупроводниковой микроэлектеоники. М.1966. ст. 243.

[9] Visible Stimulated Emission in ternary Chalcopyrite sulfides and selenides. *J.L.Shay and B.Tel and H.M. Kasper*. Ap. Physics Leters, Volume 19, Numer 9, 1 november 1971, p.366-368.p.366-368.

[10] Growth and characterization of $CuAlS_2$ and $CuAlSe_2$ sinqle crystals. *L.Roa, P.Grima, J.Gonzalez, J.C.Chervin, J.P.Itie, A.Chevy. cryst.* Res. Texnol. Volume 31, 1996, p. 49-52.

[11] Optical propertoes of the chalcoprite semiconductors $ZnGeP_2$, $ZnGeAs_2$, $CuGaS_2$, $CuAlS_2$, $CuInSe_2$ and $AgInSe_2$, *J.C. Rife and R.N. Dexter, P.M. Bridenbaugh, B.W.Veal.* Physical Rev. Vol.16, № 10, 15 November 1977, p. 4491-4500.

[12] *Л.И. Бергер, Ф.Э. Балневская.* Неорганические материалы. 1966, том. III, N8, стр. 1514-1515, 1966.

[13] *C.T. Hüseynov, T.Q. Qasımov*. Azərbaycan EA Xəbərləri, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 1976, № 6, s.105-107.

[14] Комбинационное рассеяние света и динамика кристаллической решетки. М. 1982. *Н.Г. Басов*. с.223.

[15] Физика и Химия соединений A^2B^6. *С.А. Медведева*. 1970. С.624.

[16] Тройные полупроводники $A^2B^4C^{25}$ и $A^2B^{23}C^{46}$. Кишинев, *С.И. Радауцан*.1972, 259.

[17] Полупроводники $A^2B^4C^{25}$. *Н.А.Горюнова, Ю.А.Валова.* М.1974. с.373.

[18] Зоны и Экситоны соединений группы A^2B^6. *В.В. Соболев*. Кишинев 1980, с.253.

[19] *Yuan deng, Chang-Wei Cui, Ni-La Zhang, Tian-Hao Ji, Qing-lin Yang, Lin Cuo.* Fabrication of bismuth telluride nonotubes via a siple solvothermal process, Solid state communications, 138(2006), p. 111-113.

[20] *А.И. Димитриев.* Ван-дер-Ваалсова поверхность InSe как возможный стандарт нанорельефа в метрологии нанообъектов, ЖТФ, 2012, том 82, вып. 8, ст. 114-118.

I.Gasimoglu, G.S. Mehdiev. S.T. Guseinov

THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE ELECTROMOTIVE FORCE OF n-p-n JUNCTIONS ON $CuGaSe_2$ SINGLE CRYSTALS WERE STUDIED USING THE CAPACITOR METHOD

For the first time, the spectral characteristics of the electromotive force of n-p-n junctions were tudied using the capacitor method for $CuGaSe_2$ single crystals. They noted that using such characteristics it is possible to create new and high-quality microelectronic devices.

И. Гасымоглу, Г.С. Мехтиев. С.Т. Гусейнов

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИЖЮЩЕЙ СИЛЫ „n-p-n„ ПЕРЕХОДОВ НА МОНОКРИСТАЛЛАХ $CuGaSe_2$

Впервые исследованы конденсаторным методом спектральные характеристики эдс „n-p-n„ переходов в монокристаллических образцах $CuGaSe_2$. Показано, что данные исследования позволяют создать эффективные элементы микроэлектроники.

Qəbul olunma tarixi: 16.04.2024