

UOT: 621. 315

## LAYLI GaSe MONOKRİSTALININ STRUKTUR XASSƏLƏRİNƏ KİÇİK ENERJİLİ $H_2^+$ İONLARININ TƏSİRİ

R.S.MƏDƏTOV<sup>\*,\*\*</sup>, F.İ.ƏHMƏDOV<sup>\*</sup>, S.A.HACIYEVA<sup>\*</sup>, M.M.CAHANGİROV<sup>\*</sup>

*Azərbaycan MEA-nın Radisaiya Problemləri İnstitutu\**

*AZI143 Bakı şəh., B.Vahabzadə, 9*

*Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası\*\**

*AZ 1045 Bakı şəh., Binə q.*

*selcan.mamedkhanova@mail.ru*

Daxil olub: 22.02.2019  
Çapa verilib: 01.03.2019

### REFERAT

İşıqın kombinasiyalı səpilmə və rezford əks səpilmə üsulları ilə enerjisi 70keV  $H_2^+$  ionları ilə implantasiya olunmuş GaSe

monokristalında komponent elementlərin və radiasiya defektlərin səthyanı oblasda dərinliyə görə paylanması nəzəri (SRİM proqramı) və təcrübi yolla tədqiq edilmişdir. GaSe kristalını 140keV enerjili  $H_2^+$  ionlarla  $(1\div5)\cdot 10^{15}\text{sm}^{-2}$  doza-

larda şüalandırma zamanı səthyanı oblasda, ionun qaçış məsafəsində kristalın komponent elementlərinin qalınlığa görə paylanma qanunauyğunluğu, nizamsız oblastın qalınlığı və defektlərin miqdarı müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki,  $\Phi > 5\cdot 10^{15}\text{sm}^{-2}$  dozalarda şüalanma zamanı kristallik qəfəsdə elementlərin paylanmasında müşahidə olunan stixiometrik dəyişiklər nizamsız oblastın yaranmasına səbəb olur.

Açar sözləri: Rezerford Əks Səpilməsi, Raman spektri, amorflaşma prosesi, qaçış yolu, kritik doza,  $H_2^+$  ionların implantasiyası, radiasiya defektləri.

### GİRİŞ

Yarımkəçirici materiallar arasında alınma texnologiyasının tətbiq baxımından perspektli hesab olunan və öz maraqlı fiziki xassələrinə görə  $A^{\text{III}}B^{\text{VI}}$  tipli yarımkəçirici birləşmələrin öyrənilməsi böyük maraq kəsb edir. [1-4] işlərində laylı quruluşa malik olan  $A^{\text{III}}B^{\text{VI}}$  qrup birləşmələrindən olan GaSe, GaS, InSe, InS monokristallarının struktur quruluşu və optik xassələri tədqiq edilmişdir. Göstərilir ki,  $A^{\text{III}}B^{\text{VI}}$  birləşmələri, xüsusən GaSe monokristallarının fotoelektrik, fotolüminisensiya və optik xassələrinin geniş spektr diapozonunda idarə edilməsi, onların qeyri-xətti optikada tətbiq edilməsinə imkan verir.

GaSe monokristalının əsas xüsusiyyəti onun laylı quruluşa malik olmasıdır ki, bu isə kvaziölçüsü qəfəsin qurulmasında iştirak edən atomların kimyəvi rəhbərliyinin anizotropluğu ilə şərtlənir. Layların preslənməsindən asılı olaraq müxtəlif politiplər -  $\beta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  alınır;  $\beta$ -GaSe isə  $D_{6h4}$  fəza

müstəvi simmetriyalı heqsaqonal qəfəsə kristallaşır. Elementar qəfəs iki laydan, hər lay isə iki molekuldan ibarətdir, qonşu layların atomları bir-biri ilə zəif Van-der-Vaals qüvvələri ilə birləşir və bunun nəticəsində bu kristalların bir çox fiziki xassələri ikiölçülü xarakter daşıyır [1].

Laylı yarımkəçiricilər adətən defekt strukturlarında kristallaşırlar və buna görə də bu birləşmələrdə lokallaşmış defektlərin elektron quruluşunun öyrənilməsi problemi xüsusi aktualıq kəsb edir.

Qeyd olunan kristallarda struktur defektlərin konsentrasiyası  $\sim 10^{17}\text{sm}^{-3}$  və qeyri stabil olduğundan, onlarda struktur parametrlərin deqradasiyası müşahidə edilir. Struktur defektlərini stabil hala gətirmək və kompensasiya dərəcəsini dəyişməklə elektrik və fotoelektrik xassələrini məqsədyönlü idarə etmək üçün ion implantasiya üsulundan istifadə edilmişdir.

$A^{\text{III}}B^{\text{VI}}$  tipli yarımkəçirici birləşmələrin, o cümlədən GaSe monokristalının elektrik, foto-

elektrik və optik xassələrinin öyrənilməsinə aid tədqiqatların [1-3] olmasına baxmayaraq, aşağı enerjili ionların (70keV), o cümlədən ionlaşdırıcı şüaların yaratdığı defektlərin kristalın quruluş xassələrinə təsiri isə bağlı tədqiqatlar demək olar ki, aparılmamışdır. Yarımkeçirici maddələrdə hidrogen ionlarının implantasiyası zamanı yaranan defektlərin tədqiqinə olan maraq həm defektlərin özünün təbiətinin, onların əmələgəlmə mexanizmlərinin, həm də defektlərin kristalın fiziki xassələrinə və uyğun olaraq onların əsasında hazırlanan cihazların əsas xarakteristikalarına təsirinin kifayət qədər öyrənilmədiyindən yaranır. Bu məqsədlə işdə GaSe monokristalında defektlərin təbiətinə və energetik paylanma xüsusiyyətlərinə kiçik enerjili  $H_2^+$  ionların (70keV) təsirinin nəzəri və təcrübi tədqiqindən alınan nəticələr verilmişdir.

### NÜMUNƏNİN ALINMASI VƏ ÖLÇMƏ METODİKASI

Tədqiqat material olaraq laylı quruluşa malik GaSe monokristal götürülmüşdür. Məqsəd praktikada bu materialın analizində Rezerford əks səpilmə (RƏS) və Işığın Kombinasiyalı Səpilməsi (İKS) metodlarından istifadə etməklə nümunədə həll olunmuş elementlərin və radiasiya defektlərinin dərinliyə görə paylanmasını, həmçinin yarana biləcək müxtəlif ölçülü layların qalınlığını öyrənməkdir.

Tədqiq olunan GaSe monokristalı Bridgmen-Stokbarqerin üsulu ilə alınmışdır. Alınmış kristalın otaq temperaturunda xüsusi müqaviməti laylara paralel və perpendikulyar istiqamətdə uyğun olaraq  $2 \cdot 10^9 \text{Om} \cdot \text{sm}$  və  $1 \cdot 10^8 \text{Om} \cdot \text{sm}$  olmuşdur. GaSe monokristalında enerjiləri 0,65eV və 0,90eV olan iki akseptor səviyyə, enerjisi 0,57eV olan bir donor səviyyə vardır. Akseptor səviyyənin ionlaşma enerjisi  $0,18 \pm 0,23 \text{eV}$ , konsentrasiyası isə  $10^{11} \text{sm}^{-3}$  tərtibindədir. Deşiklərin tutulma kəsiyinin sahəsi isə  $10^{-16} \text{sm}^2$ -dir. RƏS metodu ilə tədqiq edilən laylı GaSe monokristalının ölçüləri  $10 \times 10 \times 0,5 \text{mm}$  olmuşdur. Nümunənin RƏS analizi üçün Van-de-Qraaf tipli (tip AN 2500) sürətləndiricidən istifadə edilmişdir. Həmin sürətləndiricidə enerjisi  $E_0 = 1,5 \text{MeV}$  olan helium ionu istifadə edilmişdir, ionun cərəyanı 50nA, selin diametri 1,5mm

və səpilmə bucağı  $170^\circ$  dərəcədir, bir kanalın energetik eni  $\delta E = 2,5 \text{keV}$  olmuşdur. Səpilmə helium ionunu qeyd etmək üçün silisium əsaslı səthi baryer detektorundan istifadə edilmişdir. Alınmış RƏS spektri SİMNRA 6.05 proqramının köməliyi ilə simulyasiya edilmişdir. Işığın kombinasiyalı səpilmə spektri Nanofinder mikroroman spektrometrində  $\lambda = 473 \text{nm}$  dalğa uzunluqlu lazerlə həyata keçirilmişdir.

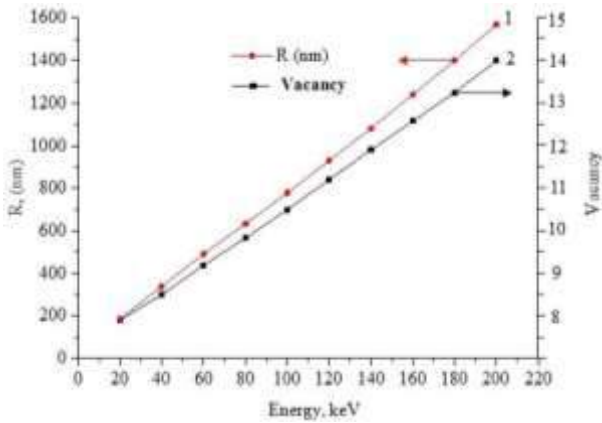
GaSe monokristalının fiziki xassələri implantasiyadan əvvəl və 70keV enerjili  $H_2^+$  ionları ilə  $1 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$ ,  $2,5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  və  $5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  dozalarda implantasiya olunduqdan sonra tədqiq edilmişdir. GaSe kristalını hidrogen ionları ilə implantasiya etmək üçün ESU-2 tipli sürətləndiricidən istifadə olunmuşdur.  $H_2^+$  ionlarının enerjisi 70keV, cərəyanın sıxlığı  $0,15 \text{mkA} / \text{sm}^2$  olmuş və GaSe nümunəsinin bütün səthi  $1 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$ ,  $2,5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  və  $5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  dozalarda implantasiya edilmişdir.

### ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN İZAHI

Laylı GaSe monokristallarının struktur xassələrinə müxtəlif enerjili hidrogen ionlarının təsirini öyrənmək üçün SRİM proqramından istifadə edərək hidrogen ionlarının nümunədə qaçış yolunun uzunluğu, yaratdığı vakansiyaların sayı, konsentrasiyasının dərinliyə görə paylanması, kritik doza hesablanmışdır [10]. Yarımkeçirici maddələr ionlarla implantasiya olunarkən sürətlənmiş ionun sonrakı halını müəyyən edən xüsusiyyətlərdən biri onun qaçış yoludur. SRİM proqramından istifadə etməklə GaSe monokristalının səthinə perpendikulyar istiqamətdə düşən enerjiləri 20-200 keV olan hidrogen ionlarının qaçış yolları hesablanmışdır. Nəzəri hesablama nəticəsində GaSe kristallarında hidrogen ionlarının qaçış yolunun enerjiden asılılığı qrafiki Şəkil.1-də (əyri-1) verilmişdir. Qrafiqdən görünür ki, GaSe monokristal üçün hesablanmış qaçış yolunun enerjiden asılılığı xətti xarakter daşıyır və Si, GaAs kristalları üçün bu metodla hesablanmış qiymətlər işlərdə [6,7] verilən qiymətlərlə uzlaşır.

Şəkil 1 (əyri-2)-də GaSe kristalında hidrogen ionunun yaratdığı vakansiyanın, ionun enerjisindən asılılığı verilmişdir. Qrafiqdən görünür ki,

asılılıq xətti xarakter daşıyır. Qeyd olunan defektlər vakansiya xarakterlidir və hesablama nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, hər hidrogen ionunun yaratdığı vakansiyaların sayı 8-10 aralığında qiymət alır. Alınmış nəzəri hesablamalar laylı kristallar üçün, o cümlədən Si, GaAs [8] alınan nəticələrə uyğundur.



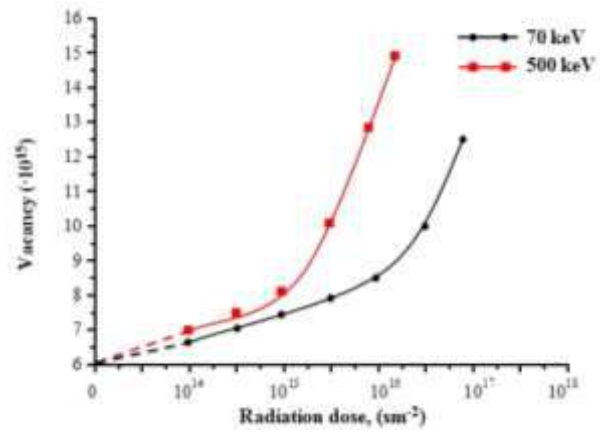
**Şəkil 1**

GaSe monokristalında hidrogen ionlarının qaçış yolunun (əyri-1) və vakansiyaların sayının (əyri-2) hidrogen ionunun enerjisindən asılılığı

Şəkil 2-də hidrogen ionları şüalanma zamanı yaranan defektlərin konsentrasiyasının şüalanma dozəsindən asılılığı müxtəlif enerjili hidrogen ionları üçün göstərilmişdir. Şəkil 2-dən görünür ki, defektlərin konsentrasiyasının şüalanma dozəsindən asılılığı eksponensial qanuna tabe olur və [5]-işində alınan nəticələrə uyğun gəlir. Əyrinin enerji oxuna ekstropolyasiyası şüalanma dozasının astana qiymətini verir və hidrogen ionunun enerjisinin artması ilə şüalanma dozasının astana qiyməti azalır. Astana enerjisinin qiyməti defektlərin konsentrasiyasının elə artma qiymətinə uyğun gəlir ki, bu şüalanma dozəsindən yüksək qiymətlərdə kristalda struktur dəyişikliyi baş verir. Belə ki, GaSe monokristalı üçün proqram hesablaması nəticəsində alınmışdır ki, şüalanma dozasının  $(1\div 5)\cdot 10^{14}\text{sm}^{-2}$  qiymətlərində 500keV hidrogen ionlarının,  $(1\div 5)\cdot 10^{15}\text{sm}^{-2}$  intervalında isə 70keV hidrogen ionlarının yaratdığı defektərin konsentrasiyası xətti xarakter daşıyır, yüksək şüalanma dozəsində isə xətti asılılıqdan kənar çıxışlar müşahidə olunur. Qeyd olunan fakt [4]-işində göstərilən kimi, yüksək şüalanma dozalarında mürəkkəb defektlərin dissosiasiyası ilə bağlıdır. Aldığımız

nəticə göstərir ki, GaSe monokristalında da, digər yarımkəçirici materiallarda olduğu kimi, şüalanma zamanı yaranan defektlərin konsentrasiyası hidrogen ionlarının enerjisindən və dozəsindən asılıdır. Alınmış qrafiki təsvir əsasında defektlərin konsentrasiyasını məqsədyönlü seçməklə kristalların xassələrinin idarə olunması haqqında məlumatlar almaq mümkündür.

Şəkil 2-dən görünür ki, proton-qəfəs qarşılıqlı təsiri zamanı yaranan vakansiyaların konsentrasiyasının yüksək olması defekt toplusunun konsentrasiyasının artması hesabına lokal nizamsız oblastın yaranmasına səbəb olur. Bu oblastın yaranması üçün şüalanma dozasının astana qiyməti hesablanmış və 70keV enerjiyə malik protonların GaSe monokristalda yarada biləcəyi nizamsız oblast üçün ən kiçik dozanın qiyməti  $\sim 5\cdot 10^{15}\text{sm}^{-2}$  olmuşdur.



**Şəkil 2**

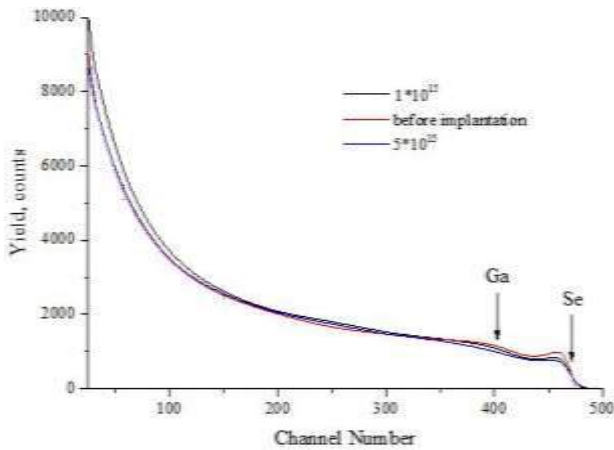
GaSe monokristalında enerjiyi 70keV-dən 500keV-ə olan hidrogen ionlarının yaratdığı vakansiyanın sayının şüalanma dozəsindən asılılığı.

Şəkil 2-dən görüldüyü kimi enerjiyi 70keV olan protonlar üçün kritik dozanın qiyməti GaSe-də isə  $8\cdot 10^{15}\text{sm}^{-2}$ , 500keV enerjili protonlar üçün isə,  $5\cdot 10^{15}\text{sm}^{-2}$  olur. Alınmış nəticədən görünür ki, hidrogen ionlarının enerjisi artdıqca kritik doza kiçik şüalanma dozasına tərəf sürüşür.

Öncədən alınmış nəzəri məlumatlar əsasında GaSe kristalı 70keV enerjili hidrogen ionları ilə  $(1\div 5)\cdot 10^{15}\text{sm}^{-2}$  dozalarda şüalandırılmış və RƏS ilə defektlərin və komponent elementlərin səthyanı oblasda paylanması tədqiq edilmiş və alınan nəticə Şəkil 3-də göstərilmişdir.

Bu monokristallarda 70keV enerjili hidrogen ionlarının təsiri nəticəsində defektlərin paylanma prosesinin öyrənilməsi üçün Rezerford Əks Səpilmə metodundan istifadə edərək təcrübə qoyulmuşdur. Təcrübə implantasiyadan əvvəl və implantasiyadan sonrakı spektirlərdən müxtəlif kəmiyyətlər üçün hesablamalar aparılmış, sonra isə alınmış qiymətlərin bir-biri ilə müqayisə olunması üsulu ilə həyata keçirilmişdir.

Aparılan təcrübədə hidrogen ionlarının bir-başə təsirdən əvvəl ilkin halda olan GaSe monokristalında alınmış RƏS spektri Şəkil 3-də enerjisi 70keV olan hidrogen ionları ilə implantasiyanın təsviri verilmişdir. Şəkil 3-də RƏS spektri SİMNRA 6.05 proqramının köməklili ilə simulyasiya edilərək müəyyən edilmişdir ki, Ga elementinə  $n_{Ga}=400$  kanal, Se elementinə  $n_{Se}=470$  kanal uyğun gəlir.



**Şəkil 3**

Enerjisi 70keV olan  $H_2^+$  ionları ilə implantasiya edilmiş GaSe kristalının RƏS metodu ilə alınmış spektri.

Şəkil 3-də verilən spektrdən görüldüyü kimi  $1 \div 5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  dozalarda 70keV enerjili  $H^+$  ionlarının implantasiyasından sonra spektrdə həm Ga-un həm də Se-nin çıxımında azalma müşahidə olunur.

Spektrdən alınan nəticələri SİMNRA 6.05 proqramı vasitəsilə nümunədə elementlərin konsentrasiyasının dərinliyə görə paylanması hesablanaraq alınmış və qiymətlər Cədvəl 1-də verilmişdir.

Nəzəri və təcrübi tədqiqatlardan alınmış nəticələrə əsasən hidrogen ionlarının implantasiyasından sonra GaSe monokristalında yaranan radia-

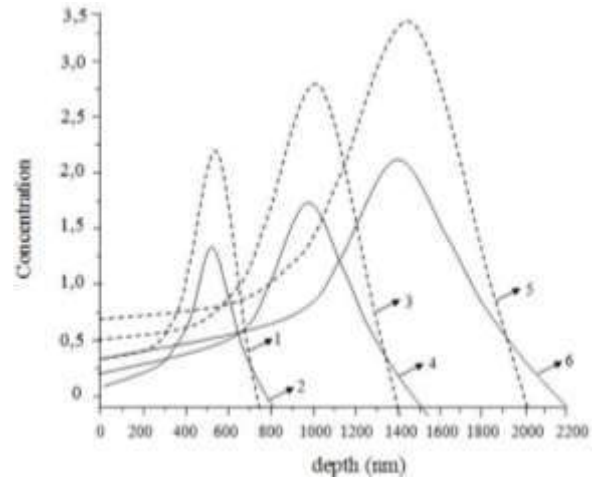
siya defektlərinin dərinliyə görə paylanması müəyyən edilmişdir.

**Cədvəl 1**

Konsentrasiyanın dərinliyə görə hesablanması.

Dərinlik, (nm)	Se	Ga
150	53	47
250	51,5	48,5
350	50	50
500	50	50
750	50	50
1000	50	50

Şəkil 4-dən görünür ki, 70, 130 və 200keV olan  $H_2^+$  ionlarının  $1 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  şüalanma dozasında implantasiyası nəticəsində GaSe kristalında səthə yaxın hissədə kiçik konsentrasiyalı defektlər yaranır.  $H^+$  ionlarının qaçış yolunun sonunda isə yüksək konsentrasiyalı defektli oblast yaranır. Nəzəri və təcrübi hesablamalar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki,  $H^+$  ionlarının enerjisini artırmaqla yaranan defektlər toplusundan ibarət olan lay, kristalın səthindən dərinliyinə doğru sürüşmüş olur.

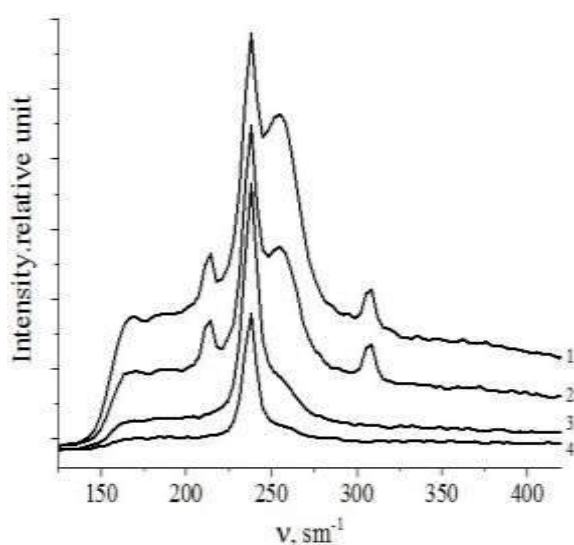


**Şəkil 4**

Enerjisi 70, 130 və 200keV olan  $H_2^+$  ionlarının  $1 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  şüalanma dozasında implantasiya edilmiş GaSe kristalında defektlərin konsentrasiyasının dərinliyə görə paylanması (1,3,5-nəzəri, 2,4,6-təcrübi).

Nəzərə alsaq ki, implantasiya zamanı yaranan defektlərin konsentrasiyası əsasən şüalanma dozasından asılıdır onda, dozanın artması ilə nöq-

təvi defektlər toplusunun konsentrasiyası artır və iri miqyaslı klasterlər yaranır. Sturukturda baş verən dəyişikliyi müşahidə etmək üçün 70keV enerjili hidrogen ionları ilə implantasiya olunmuş GaSe kristalında işığın kombinasiyalı səpilmə (İKS) metodundan istifadə etməklə şüalanma dozasının müxtəlif qiymətlərində spektrlər çəkilmişdir (Şəkil.5). Alınmış spektrlərin təhlili və ədəbiyyatdakı məlumatlarla müqayisəsi göstərir ki, spektrlərin rəqs tezliyi ədəbiyyatdakı ilə üst-üstə düşür [2,9]. Spekrtdə görsənən zolaqların şərhı Cədvəl 2-də verilib



Şəkil 5

$H_2^+$  ionları ilə implantasiya olunmuş GaSe kristalında işığın kombinasiyalı səpilmə spektri.

1. İlk hal;
2.  $1 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  doza ilə implantasiya edilmiş GaSe kristalının İKS spektri;
3.  $2,5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  doza ilə implantasiya edilmiş GaSe kristalının İKS spektri;
4.  $5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  doza ilə implantasiya edilmiş GaSe kristalının İKS spektri.

Cədvəl 2

İKS spektrinin ölçülməsi və GaSe nümunəsinin ədəbi məlumatları ilə müqayisəsi.

Təcrübədən alınan rəqslərin tezliyi ( $\nu$ , $\text{sm}^{-1}$ )	Ədəbiyyat məlumatları ( $\nu$ , $\text{sm}^{-1}$ )	Rəqslərin növü
214	215	E'(TO)
237	236	$A_1'$ (TO)
254	254	E'(LO)
308	308	$A_1'$ (LO)

Ən böyük intensiv zolaq  $237 \text{sm}^{-1}$  tezliyində müəyyən edilən  $\lambda$ -modifikasiyasından xəbər verir. [2,9].

Şəkil 5-dən görünür ki, ilkin nümunə ilə müqayisədə  $1 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  doza ilə implantasiya edilmiş GaSe kristalının İKS spektrində hər bir tezliyə uyğun gələn rəqslərin verdiyi pikin əhatə etdiyi sahə azalır. Lakin, implantasiya dozasının artması nəticəsində ( $2,5 \cdot 10^{15}$  və  $5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$ ) laylara perpendikulyar ( $A_1'$ (TO) və  $A_1'$ (LO)) istiqamətdə olan rəqslərə uyğun gələn piklər itir. Bu isə kristal daxilində sturuktur dəyişikliyin olmasını göstərir. Belə ki, şüalanma dozasının artması ilə yarananan radiasiya defektlərinin konsentrasiyası artır və onların lalyar arasında yerləşməsi ehtimal olunur.

Beləliklə, GaSe monokristalını 70keV enerjili  $H_2^+$  ionlarla ( $1 \div 5$ )  $10^{15} \text{sm}^{-2}$  dozalarda şüalandırma zamanı səthyanı oblasda ionun qaçış məsafəsində kristalın komponent elementlərinin qalınlığa görə paylanma qanunauyğunluğu, nizamsız oblastın qalınlığı və defektlərin konsentrasiyasının dərinliyə görə paylanması müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, şüalanma dozasının  $\Phi < 5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  qiymətlərində səthdə defektlərin nizamlı paylanması,  $\Phi > 5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  dozalarda isə şüalanma zamanı kristallik qəfəsdə elementlərin paylanmasında müşahidə olunan stixiometrik dəyişiklər nizamsız oblastın yaranmasına səbəb olur. Müəyyən olunmuşdur ki,  $5 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-2}$  dozada komponentlərin konsentrasiyasının dərinliyə görə paylanması dəyişir və bunun nəticəsində kristalın səthyanı oblastında lokal sturuktur defektlər toplusu yaranır.

1. А.З.Абасова, Р.С.Мадатов, В.И.Стафеев. *Радиационно-стимулированные процессы в халькогенидных структурах*, Эльм, (2010) 352.
2. К.Р.Аллахвердиев, Э.Ю.Салаев. *Динамические и статические нелинейные эффекты в слоистых кристаллах типа селенида галлия*, Элм, (1993) 230.
3. З.Д.Ковалюк, О.А.Политанская, О.Н.Сидор, В.Т.Маслюк. *Электрические и фотоэлектрические характеристики структур на основе слоистых полупроводников InSe и GaSe при облучении электронами с энергией 12,5МэВ*, ФТП, **42** (2008) 1321-1326.

4. P.C.Мадатов, А.И.Наджафов, М.М.Джахангиров. Особенности динамики решетки в слоистых кристаллах GaS при имплантации ионами водорода с энергией 140 кэВ, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, XXXVI №5 (2016) 29-33.
5. R.S.Mədətov, F.İ.Əhmədov, M.M.Cahangirov, R.M.Məmişova. Protonlarla Şüalanmış GaS kristalında struktur çeyvilməsi, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, XXXV №2 (2015) 30-34.
6. Ф.Ф.Комаров. Ионная и фотонная обработка материалов, Минск. Бел. гос. Университет, (1998) 209.
7. Ф.Ф.Комаров, О.В.Миљчанин, В.В.Пилько, Ю.Г.Фоков. Формирование протяженных дефектов в кремнии при высокодозной имплантации ионов водорода, *Поверхность*, №4 (2008) 27-30.
8. Ф.Ф.Комаров, А.Ф.Комаров, А.М.Миронов. Формирование однородных легированных слоев в металлах и полупроводниках методом полиэнергетической высокодозной ионной имплантации, *Доклады НАН Беларуси*, 51 (2007) 52-56.
9. K.R.Allakhverdiev, T.Baykara, S.Ellialtioglu, F.Hashimzade, D.Huseinova, K.Kawamura, A.A.Kaya, A.M.Kulibekov (Gulubayov), S.Onari. *Lattice vibrations of pure and doped GaSe, Materials Research Bulletin*, 41 (2006) 751-763.
10. <http://www.srim.org/SRIM/SRIMLEGL.htm>.

**THE INFLUENCE OF LOW-ENERGY  $H_2^+$  IONS ON THE STRUCTURE PROPERTIES OF LAYERED GaSe MONOCRYSTAL**

**R.S.MADATOV, F.I.AHMADOV, S.A.HAJIYEVA, M.M.JAHANGIROV**

A theoretical (SRIM program) and experimental study of the surface components and radiation defects in the surface regions of GaSe monocrystals implanted with 70keV ion energy have been conducted using Rutherford backscatter and combinative light dispersion methods. It has been determined the distribution of the crystal components according to the thickness, the thickness of the irregular region and the number of defects during the radiation of GaSe crystals with 140keV-energy  $H_2^+$  ions at the doses of  $(1\div 5) \cdot 10^{15} \text{cm}^{-2}$  in the surface region. It has been shown that stoichiometric changes in the distribution of elements in a crystalline lattice at the irradiation doses of  $\Phi > 5 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-2}$  have been led to an irregular region.

**ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ  $H_2^+$  НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОИСТЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР GaSe**

**Р.С.МАДАТОВ, Ф.И.АХМЕДОВ, С.А.ГАДЖИЕВА, М.М.ДЖАХАНГИРОВ**

Проведено теоретическое (программа SRIM) и экспериментальное исследование поверхностных компонентов и радиационных дефектов в поверхностных областях монокристаллов GaSe, имплантированных с энергией ионов 70кэВ, методами рассеяния света и резерфордовского отражения. Определены распределение компонентов кристалла по толщине, толщина нерегулярной области и количество дефектов в кристаллах GaSe, облученных дозой  $(1\div 5) \cdot 10^{15} \text{см}^{-2}$  ионами  $H_2^+$  с энергией 140кэВ.

Показано, что стехиометрические изменения в распределении элементов в кристаллической клетке при дозах облучения  $\Phi > 5 \cdot 10^{15} \text{см}^{-2}$  вызывают нерегулярную область.