

LANTANOİDLƏRLƏ AŞQARLANMIŞ LAYLI A^{III}B^{VI} KRİSTALLARI ƏSASINDAKI HETEROKEÇİDLƏRDƏ ELEKTRON PROSESLƏRİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ

R.F. BABAYEVA

Bakı Dövlət Universiteti, Z.Xəlilov 23,
Az 1148, Bakı, Azərbaycan,

Təqdim olunan iş bəzi lantanoidlərlə müxtəlif atom faizi miqdarında aşqarlanmış qallium və indium monoselenidləri əsasında yaradılmış müxtəlif heteroqəçidlərin elektrik və fotoelektrik xassələrinin kompleks tədqiqinə həsr olunmuşdur. Alınmış təcrübi nəticələrin təhlili əsasında laylı quruluşlu qismən nizamsız kristallar əsasında heteroqəçidlərin xüsusiyyətləri ümumiləşdirilmişdir.

В представленной работе даны результаты комплексного исследования электрических и фотоэлектрических свойств различных гетеропереходов, созданных на основе моноселенидов галлия и индия, легированных некоторыми лантаноидами с различным процентным содержанием. На основе полученных экспериментальных результатов обобщены свойства гетеропереходов на основе неупорядоченных кристаллов со слоистой структурой.

The paper is devoted to combined investigation of electric and photoelectric properties of several heterojunctions manufactured on the basis of monoselenides of gallium and indium doped by any lanthanides with several atomic percent. The peculiarities of heterojunctions on the basis of disordered crystals with layered structure were summed up by discussion of prepared results.

Laylı A^{III}B^{VI} monokristalları tipli qismən-nizamsız kristallarda elektron proseslərinin xüsusiyyətləri haqqında məlumatları daha da zənginləşdirmək məqsədi ilə təqdim olunan işdə Gd, Ho və Dy-la (lantanoidlərlə) müxtəlif səviyyədə aşqarlanmış qallium və indium monoselenidlərini optik kontakta gətirməklə [1] yaradılmış heteroqəçidlərin elektrik və fotoelektrik xassələrinin kompleks tədqiqi aparılmışdır. Bu məqsədlə təmiz (xüsusi olaraq aşqarlanmamış) və 10⁻⁵; 10⁻⁴; 10⁻³; 5·10⁻³; 10⁻²; 10⁻¹ at.% lantanoid atomları (Ld) daxil edilmiş p-GaSe və n-InSe monokristallarından istifadə olunmuşdur. İzotip n-InSe/n-CuInSe₂ və anizotip p-GaSe/n-InSe heteroqəçidlərinin elektrik (şəkil 1 və 2), tutum (şəkil 3) və fotoelektrik (şəkil 4) xassələrinin tədqiqindən alınmış nəticələrin müqayisəli təhlili əsasında, laylı kristallar əsasında heteroqəçidlərin xüsusiyyətləri ümumiləşdirilmişdir.

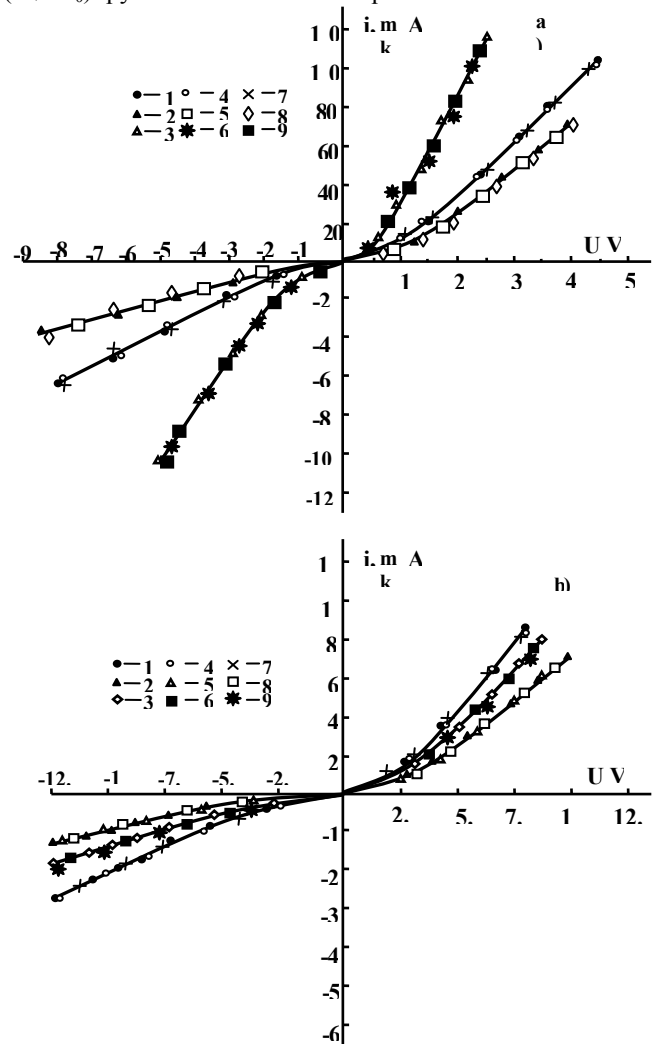
Laylı A^{III}B^{VI} kristallarında səth hallarının sıxlığı çox kiçik olduğundan [2] və optik kontakt üsulu ilə əlavə səth halları əmələ gətirmədiyindən [1] lantanoid atomları daxil edilmiş n-InSe kristalları əsasında səth hallarına daha həssas olan izotip heteroqəçidlərin (n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂) elektrik xassələrini tədqiq etməklə, həcmdə məhz aşqarlama hesabına baş verən proseslər haqqında məlumat toplamaq mümkün olmuşdur.

n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂ heteroqəçidlərinin 77÷350K intervalında VAX-ın tədqiqi (şəkil 1) həmin strukturların diod xarakterli olduğunu, parametr və xarakteristikalarının isə n-InSe kristallarına daxil edilmiş lantanoid atomlarının kimyəvi təbiətindən asılı olmayıb, yalnız aşqarlama səviyyəsi ilə təyin edildiyi göstərilmişdir.

n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂ heterostrukturlarında VAX-ın düzünə istiqaməti, müsbət potensialın daha enli qadağan olunmuş zonaya malik komponentə (n-InSe<Ld>) qoşulduğu hala uyğun gəlir. Bu heterostrukturların tutumunun tədqiqi isə onların kəskin keçid olduğuna dəlalət edir ki, bu da optik kontakt üsulunun xüsusiyyətlərindən irəli gəlir.

n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂ heteroqəçidinin alınmış təcrübi nəticələrə və elmi ədəbiyyatda mövcud olan məlumatlara əsasən qurulmuş zona-enerji diaqramına görə keçirici zonaların kənarlarında ayırma sərhədi yaxınlığında kiçik enerji pikləri əmələ gəlir. 77÷350K intervalında qaranlıq VAX düzünə gərginliyin (U₊) cərəyanına görə kəsilmə

gərginliyindən (U₀) kiçik qiymətlərində eksponensial, böyük (U₊>U₀) qiymətlərində isə – xətti qanuna tabe olur.



Şəkil 1. Müxtəlif atom faizi miqdarlarında Gd (1-3), Ho (4-6) və Dy (7-9) atomları daxil edilmiş n-InSe kristalları əsasında yaradılmış izotip n-InSe/n-CuInSe₂ heteroqəçidlərinin volt-ampere xarakteristikaları. N, at. %: 1 - 0; 2 - 10⁻⁴; 3 - 10⁻¹. T, K: a - 300; b - 77.

Bu nəticələr həmin heteroqəçidlərin ideal kəskin heteroqəçidlərə çox yaxın olduğuna dəlalət edir [3]. n-InSe<Ld> komponentinin aşqarlanma səviyyəsindən (N-in qiymətindən) asılı olaraq, qəçidin düzünə istiqamətdəki müqaviməti 77 və 300K-də uyğun olaraq $R_+=(10^5\div 10^8)$ Om və $R_+=(10^3\div 10^5)$ Om hədudlarında dəyişir. VAX-ın xətti olduğu hissədə tətbiq edilən gərginlik, demək olar ki, tamamilə yüksəkmüqavimətli komponentin (n-InSe<Ld> təbəqəsinin) ballast hissəsində düşür və N-dəyişdikcə, VAX-ın stabililik dərəcəsi və düzünə istiqamətdəki qolunun meyli dəyişir. $N\leq 10^{-3}$ at.% olduqda 77K-də gərginliyin müəyyən kritikdən kiçik olmayan qiymətlərində ($U\geq U_{kr}$) hər iki istiqamətdə keçiddən axan cərəyan asta-asta artır. Çox güman ki, bu n-InSe<Ld> komponentində elektrik sahəsi ilə stimullaşmış keçiriciliyin yaranması ilə bağlıdır. N-in böyüməsi ilə həmin proses əvvəlcə ($N\leq 10^{-5}$ at.%) güclənir, sonra ($10^{-5}<N\leq 5\cdot 10^{-3}$ at.%) zəifləyir və nəhayət, $N=10^{-1}$ at.% olduqda tamamilə baş vermir. U_{kr} -in qiyməti həm N-dən, həm də temperaturdan asılıdır. N-in dəyişməsi VAX-ın formasına da təsir göstərir. Ən stabil və diod üçün xarakterik VAX $N=10^{-1}$ at.% olan heteroqəçidlərdə müşahidə edilir. Düzünə gərginliyin böyük qiymətlərində strukturun müqaviməti n-InSe<Ld> komponentinin müqavimətinə bərabər olur, VAX isə - başlanğıc eksponensial və xətti hissələrdən sonra həcmi yüklə məhdudlanmış cərəyanlar (HYMC) üçün xarakterik olan şəkllə düşür. Nəhayət, gərginliyin daha böyük qiymətlərində çeviricilik effekti [4, 5] baş verir və tədqiq edilən strukturların müqaviməti və ondan axan cərəyan yalnız n-CuInSe₂ qatı ilə təyin olunur.

Müəyyənləşdirilmişdir ki, 300K-də n-InSe<Ld> komponentinin qalınlığının və N-in müxtəlif qiymətlərində n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂ strukturları üçün $U_0\approx(0.25\div 0.30)$ V və bu kəmiyyətin qiyməti N-dən qeyri-monoton asılıdır. Yalnız $N=0$ və $N\approx 10^{-1}$ at.% olduqda U_0 -ın qiyməti kontakt potensialları fərqi ilə yaxşı uzlaşır.

77K-də $U_0\approx 2.5$ eV olur və N artırıldıqca, əvvəlcə ($N\leq 10^{-5}$ at.%) hətta 3.0 V-a çatır, sonra isə azalır və $N=10^{-1}$ at.% olduqda 1.5 V-a qədər enir. U_0 -ın bu qiymətlərinin hamısı kontakt potensialları fərqi ilə kifayət qədər böyükdür. Bunun tətbiq edilən gərginliyin bir hissəsinin həmin şəraitdə n-InSe<Ld> qatının həcmindəki irimiqyaslı qeyri-bircinsliklərdə düşməsi ilə bağlı olduğu fərz edilir. Əksinə gərginliyin kiçik qiymətlərində bu heteroqəçidlərin qaranlıq statik VAX-ı eksponensial qanuna tabedir və həcmi yüklər təbəqəsinin n-CuInSe₂ tərəfindəki qalınlığı keçirici zona yaxınlığında çox kiçikdir (10^{-5} sm-dən də az). Ona görə də fərz etmək olar ki, sərbəst yükdaşıyıcılar (elektronlar) kontaktdakı enerji «pik»indən tunel edərək keçə bilər. Əksinə gərginliyin böyük, daha doğrusu tunel müqaviməti, n-InSe<Ld> qatının müqavimətindən böyük olmadığı qiymətlərində VAX düzünə istiqamətdə olduğu kimi, xətti hissəyə çıxır.

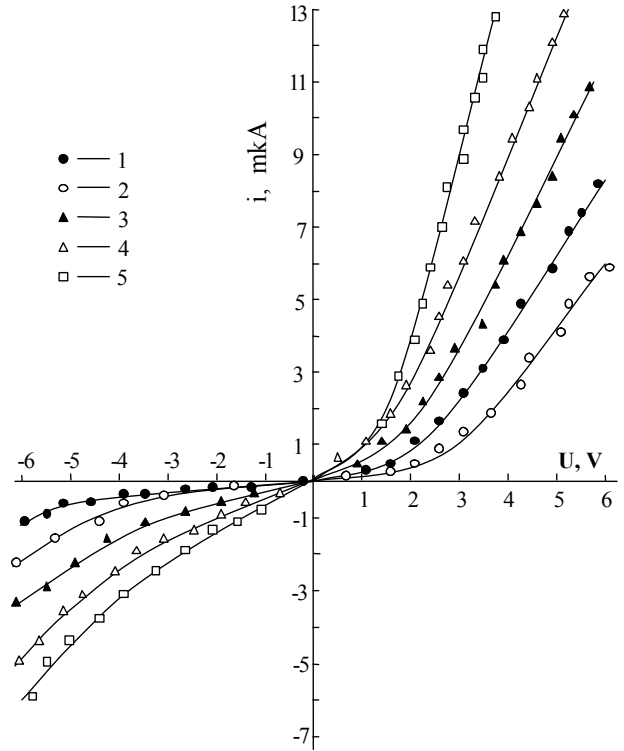
77K-də əksinə gərginliyin böyük qiymətlərində n-InSe<Ld> qatının ballast hissəsinə injeksiya nəticəsində VAX-ın superxəttiliyi müşahidə olunur. n-InSe<Ld> layının qalınlığı $d\geq 10^{-4}$ sm olduğundan həm düzünə, həm də əksinə istiqamətdə yükdaşıyıcıların keçiddən tunel etməsini nəzərə almamaq mümkündür.

Gərginliyin böyük qiymətlərində hər iki istiqamətdə strukturun axan cərəyanı yalnız n-InSe<Ld> qatının müqaviməti ilə məhdudlandıqından yüksək fəthəssaslığa

malik həmin qat tərəfdən işıqlandırıldıqda cərəyanın kəskin artması, U_0 -ın isə bir neçə dəfə kiçilərkə, kontakt potensialları fərqi ilə yaxınlaşması baş verir.

Təmasa gətirilmiş komponentlərin hər ikisi lantanoidlə aşqarlanmış laylı A^{III}B^{VI} kristalı olduqda optik kontakt üsulu ilə yaradılmış heteroqəçidlər daha keyfiyyətli, ideala yaxın olmaqla bərabər, həm də hər iki komponentin qeyri-adi elektron xassələrinə malik olması hesabına böyük maraq kəsb edir. p-GaSe<Ld>/n-InSe<Ld> heteroqəçidlərinin müqaviməti müxtəlif amillərdən asılı olaraq $R_0\approx(1.5\div 2.0)\cdot 10^6$ Om intervalında dəyişir və hər iki istiqamətdə gərginliyin böyük qiymətlərində ikipilləli bistabil çeviricilik effekti baş verir.

Əksinə istiqamətdə $U<U_{cev}$ olduqda, cərəyan əvvəlcə çox zəif ($i\sim U^{0.5\div 0.8}$ qanunu ilə), sonra isə kvadratik qanunla artır. N- yüksəldikcə strukturun diod xassələri yaxşılaşır (şəkil 2).



Şəkil 2. Müxtəlif atom faizi miqdarlarında Gd atomları daxil edilmiş p-GaSe və n-InSe kristalları əsasında yaradılmış p-GaSe/n-InSe heteroqəçidlərinin volt-ampere xarakteristikaları. N, at. %: 1 - 0; 2 - 10^{-4} ; 3 - 10^{-3} ; 4, 5 - 10^{-1} . T=300 K.

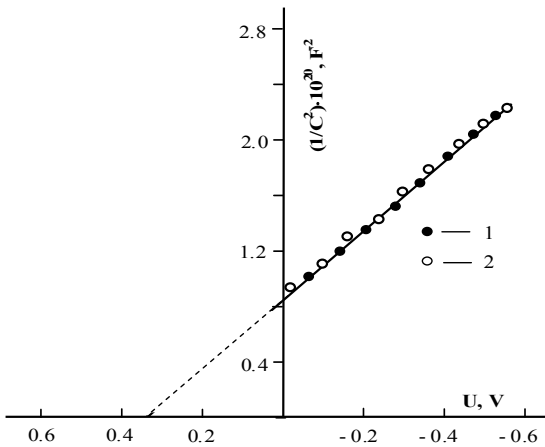
Temperatur azaldıqca, hər iki istiqamətdə müqavimətin qiyməti böyüyür, strukturun diod xassələri pisləşir və 77K-də $U=3$ V olduqda düzləndirmə əmsalı (k_d) 2-dən böyük olur. Böyük gərginliklərdə isə bistabil çeviricilik effekti baş verir. 300K-də $U\leq 3$ V olduqda N-in qiymətindən asılı olaraq $k_d\approx 4\div 6$ aralığında dəyişir və N-dən asılı olaraq artır. $T>300$ K-də temperaturun yüksəlməsi ilə bu strukturların diod xassələri əvvəlcə bir qədər yaxşılaşır, sonra isə ($T>350$ K olduqda) yenidən pisləşir, lakin cərəyan 300 K-dəkinə nisbətən nəzərəcarpacaq dərəcədə böyük olur.

Strukturları məxsusi işıqla p-GaSe<Ld> tərəfdən işıqlandırıldıqda U_0 çox cüzi, n-InSe<Ld> tərəfdən işıqlandırıldıqda isə - əhəmiyyətli dərəcədə kiçilir. Temperaturun aşağı düşməsi ilə işığın U_0 -a təsirindəki asimetriya güclənir.

p-GaSe<Ld>/n-InSe<Ld> heteroqəçidlərində düzünə istiqamətdə kiçik gərginliklərdə VAX-ın ifadəsindəki i_0 -kəmiyyəti [3] temperaturdan asılı olaraq $i_0 \sim \exp(-\Delta\varepsilon/kT)$ qanunu ilə dəyişir. Bu asılılıqdan $\Delta\varepsilon$ -nin təyin edilmiş qiyməti (~0.40 eV) aşqarlanmadan asılı deyil və p-GaSe<Ld>-də dayaz α -tutma mərkəzlərinin HYMC-a əsasən tapılmış enerji dərinliyinin qiyməti ilə yaxşı uyğun gəlir.

Tutum tədqiqatları (şəkil 3) ilə müəyyənləşdirilmişdir ki, lantanoid aşqarlarının faizlə miqdarından və kimyəvi təbiətindən asılı olmayaraq, p-GaSe<Ld>/n-InSe<Ld> heterostrukturları kəskin heteroqəçidlər, keçid oblastunda zona əylməsinin yekun qiyməti ~0.50eV və ayırma sərhədində səth hallarının sıxlığı minimumdur (~10⁶sm⁻²). Bu strukturların da zona-enerji diaqramları qurulmuş, keçirici və valent zonada uyğun olaraq $\Delta\varepsilon_c \approx 1.20$ eV və $\Delta\varepsilon_v \approx 0.45$ eV enerji kəsilmələrinin əmələ gəldiyi göstərilmişdir.

Fotocərəyanın və fotogərginliyin spektral və işıq xarakteristikalarının tədqiqi zamanı aşkar edilmişdir ki, n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂ strukturlarının fotovoltaiq effekt rejimində n-InSe<Ld> komponenti tərəfdən işıqlandırıldıqda N=0 halında spektral paylanma 77 və 300 K-də uyğun olaraq 0.35≤λ≤1.25 mkm və 0.40≤λ≤1.10 mkm oblastlarını əhatə edir. 77 K-də spektrin λ_m=0.95mkm-də əsas maksimumu ilə yanaşı, λ₂=1.20 mkm-də zəif maksimumu da müşahidə olunur. n-InSe<Ld> komponentində N-in qiyməti ~10⁻⁴at.%-ə qədər artırıldıqca, spektrin eni hər iki tərəfdən N=0 halındakına nisbətən genişlənir.



Şəkil 3. Gadolinium (1) və holmium (2) atomları daxil edilmiş p-GaSe/n-InSe anizotip heteroqəçidlərinin volt-farad xarakteristikası. T=77K; N= 10⁻²at.%

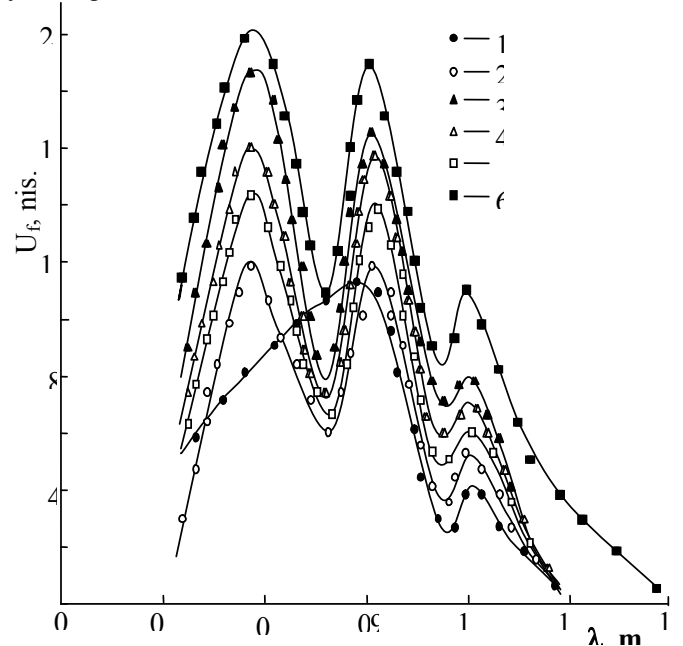
77K-də n-InSe<Ld> tərəfdən işıqlandırılmış n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂ strukturlarının fətohəssaslığının spektri N=10⁻⁵at.%-də 0.30≤λ≤1.35 mkm oblastını əhatə edir. Spektrin əsas maksimumu λ_m=1.00mkm-ə uyğun gəlir, ikinci maksimum isə yox olur. N-in sonrakı böyüməsi ilə qısaqapanma cərəyanının spektrin eni daralır və N=10⁻¹at.%-də maksimumları λ_m=0.90 mkm və λ=1.00 mkm-də yerləşməklə 0.40≤λ≤1.10 mkm oblastını əhatə edir. Bu strukturların fətohəssaslığı yalnız N-dən asılı olur, aşqarların kimyəvi təbiətindən asılılıq isə müşahidə edilmir.

n-InSe<Ld>/n-CuInSe₂ heteroqəçidlərində ε_{g1}≤hv≤ε_{g2} enerjili (burada ε_{g1} və ε_{g2} -uyğun olaraq n-CuInSe₂ və n-InSe-

in qadağan olunmuş zonalarının enidir) işıqla işıqlandırıldıqda fotosiqnal müşahidə edilmir. hv>ε_{g2} enerjili işıqla işıqlandırıldıqda qısaqapanma cərəyanının spektri n-InSe<Ld>-in fotoqəçiriciliyinin spektrindən fərqli olaraq qısa dalğalar tərəfdən kəskin şəkildə kəsilir. n-CuInSe₂ tərəfdən işıqlandırıldıqda isə hər iki rejimdə 77K-də fotosiqnal n-InSe<Ld> tərəfdən işıqlandırıldığı haldakı ilə müqayisədə kiçilir.

Fotoe.h.q.-nın (U_f) işıqın intensivliyindən (Φ) asılılığının diodlardakına yaxşı uyğun gəlməsi, n-InSe<Ld> və n-CuInSe₂ kristallarını optik kontakta gətirdikdə diod strukturlarının yaranmasını bir daha sübut edir.

Fotovoltaiq effektin baş verməsi və yaranan fotogərginliyin mənfi qütübünün n-InSe<Ld>-na uyğun olması n-InSe<Ld> və p-GaSe<Ld> kristallarını optik kontakta gətirdikdə onların təmas sərhədində anizotip heteroqəçidin yarandığına daha bir sübutdur.



Şəkil 4. Müxtəlif atom faizi miqdarlarında Gd atomları daxil edilmiş n-InSe və p-GaSe kristalları əsasında p-GaSe/n-InSe anizotip heteroqəçidlərinin fətohəssaslığının spektral paylanması. N, at.%. 1 - 0; 2, 3 - 10⁻⁴; 4 - 10⁻³; 5, 6 - 10⁻¹. T=300 K

1-də işıq n-InSe; 2-6-da isə p-GaSe komponenti tərəfdən düşür.

n-InSe<Ld>/p-GaSe<Ld> heteroqəçidlərində fotogərginliyin spektrin (şəkil 4) həm N-dən, həm də işıqlandırılmanın istiqamətindən asılı olduğu aşkar edilmişdir. n-InSe<Ld> tərəfdən işıqlandırıldıqda qısaqapanma cərəyanının spektri n-InSe<Ld>-in fotoqəçiriciliyinin spektri ilə üst-üstə düşür. N≈10⁻⁵at.% olduqda isə, heteroqəçidin fətohəssaslığı təmiz n-InSe əsasındaakilərə nəzərən xeyli böyüyür. N-in sonrakı artması ilə, fətohəssaslıq əvvəlcə (N=10⁻⁴at.%-ə qədər) böyüməkdə davam edir, sonra isə (10⁻⁴<N≤10⁻¹at.%) azalaraq, təmiz kristallardakına yaxınlaşır. N-in dəyişməsi ilə fətohəssaslığın spektrin eni də fətohəssaslığın ədədi qiyməti kimi, əvvəlcə ilkin haldakına nəzərən artır, sonra isə azalır. Bu zaman heterostrukturun parametr və xarakteristikalarının stabillik, eləcə də təkrarlanma dərəcəsi də qeyri-monoton dəyişir və N=10⁻²÷10⁻¹at.% olduqda özünün ən yüksək qiymətini alır.

$n\text{-InSe}<Ld>/p\text{-GaSe}<Ld>$ strukturlarını $p\text{-GaSe}<Ld>$ tərəfdən işıqlandırdıqda qısaqapanma cərəyanının spektri, $n\text{-InSe}<Ld>$ tərəfdən işıqlandırılan haldakına nəzərən əhəmiyyətli dərəcədə genişlənir və müxtəlif strukturlar üçün $0.30\text{ mkm-dən } 1.30\div 1.45\text{ mkm-ə}$ qədər geniş bir oblastı əhatə edir. $N\leq 10^{-5}\text{ at.\%}$ -də spektrin qırmızı sərhədi $\lambda\approx 1.45\text{ mkm-ə}$ uyğun gəlir, $N\text{-in}$ sonrakı ($N\approx 10^{-1}\text{ at.\%-ə}$ qədər) artmasında isə tədricən $\lambda\approx 1.30\text{ mkm-ə}$ qədər sürüşür. $p\text{-GaSe}<Ld>$ tərəfdən işıqlandırdıqda spektrdə $p\text{-GaSe}<Ld>$ -ə və $n\text{-InSe}<Ld>$ -ə uyğun iki ($\lambda_1\approx 0.58\text{ mkm}$ və $\lambda_2\approx 0.95\div 1.08\text{ mkm}$) maksimum müşahidə olunur. $n\text{-InSe}<Ld>$ -in aşqarlanma səviyyəsini dəyişdikcə λ_2 öz yerini $0.95\div 1.08\text{ mkm}$ intervalında dəyişir. Bu strukturları $p\text{-GaSe}<Ld>$ tərəfdən işıqlandırdıqda qısa dalğalar oblastında dalğa uzunluğunun kiçilməsi ilə fətohəssaslıq kəskin düşür, əks tərəfdən işıqlandırdıqda isə belə kəskin düşmə tədrici azalma ilə əvəz olunur.

$n\text{-InSe}<Ld>/p\text{-GaSe}<Ld>$ heterostrukturlarının işıq xarakteristikalarının fotodiod və ventil rejimlərində tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, hər iki halda fotogərginliyin işığın intensivliyindən asılılığı subxətti xarakterə malik olsa da, fotodiod rejimində daha dikedir.

Fotodiodun maksimal qiyməti $p\text{-GaSe}<Ld>$ tərəfdən işıqlandırıldıqda təmin olunur. İşıqlandırılma dar qadağan olunmuş zonalı komponent ($n\text{-InSe}<Ld>$) tərəfdən həyata keçirildikdə fətohəssaslığın spektri bu materialın fətohəssaslığının spektrindən yalnız qısa dalğalar ($\lambda\leq 0.50\text{ mkm}$) oblastında kəsilməsi ilə fərqlənir. Bu kəsilmə uyğun komponentin qalınlığının yükdaşıyıcıların diffuziya uzunluğundan böyük olması ilə əlaqələndirilir. $p\text{-GaSe}<Ld>$ tərəfdən işıqlandırdıqda isə fotodiodun spektrində iki oblast müşahidə olunur. Optimal şəraitdə $p\text{-GaSe}<Ld>/n\text{-InSe}<Ld>$ heterostrukturlarında boşuna gedən gərginliyi və qısaqapanma cərəyanı uyğun olaraq $\sim 0.34\text{ V}$ və $\sim 32\text{ mA/sm}^2$ -ə çatır.

$n\text{-InSe}<Ld>/p\text{-GaSe}<Ld>$ heterostrukturlarında əksinə cərəyanın VAX-ın başlanğıc hissəsində zəif artması, əksinə sızma cərəyanının təyinedici rol oynaması ilə, qeyri-ideallıq əmsalının böyük ($\beta=2\div 4$) olması isə həcmi yüklər oblastında yükdaşıyıcıların rekombinasiyası ilə izah oluna bilər. Bu heterostrukturlarda U_0 üçün daha yüksək dərəcədə təkrarlanan qiymətlər alınır və bu qiymətlər uyğun doyma fotogərginliyi ilə üst-üstə düşür. $N\text{-in}$ böyüməsi ilə U_0 -in dəyişməsi, ilk növbədə, $n\text{-InSe}<Ld>$ layının fəzaca nizamsızlıq dərəcəsinin $N\text{-dən}$ asılılığı ilə izah oluna bilər. Baxmayaraq ki, $p\text{-GaSe}<Ld>$ monokristalları da fəzaca nizamsızdır, lakin ölçmələrin aparıldığı nisbətən yüksək temperaturalarda bunu nəzərə almamaq olar. Ona görə də $n\text{-InSe}<Ld>$ kristallarının qismən-nizamsızlıq dərəcəsinin $N\text{-in}$ artması ilə dəyişməsi tədqiqatlarda məhz düzünə cərəyanın VAX-ın qeyri-eksponensial hissəsindəki qiymətinin dəyişməsində və U_0 -in qiymətlərində təzahür edir.

$p\text{-GaSe}<Ld>/n\text{-InSe}<Ld>$ heterostrukturlarının VAX-ının ifadəsində A-parametrinin temperaturdan asılı olmaması yükdaşıyıcıların bu keçidlərdən tunel yolu ilə daşınmasının üstünlük təşkil etdiyini göstərir. Lakin bu halda təmasa gətirilmiş $p\text{-GaSe}<Ld>$ və $n\text{-InSe}<Ld>$ monokristallarının qadağan olunmuş zonalarındakı lokal səviyyələrin rolunu da nəzərə almamaq olmaz. Həmin səviyyələr, baxılan şəraitdə keçiddən yükdaşıyıcıların tunel-rekombinasiya mexanizmini təmin edir. $N\text{-in}$ artırılması ilə əksinə cərəyanın qiymətinin

böyüməsi göstərir ki, lantanoid ionları $p\text{-GaSe}$ və $n\text{-InSe}$ kristallarındakı elektron proseslərində dayaz α -tutma mərkəzlərinin rolunu artırır. Bu zaman həmin kristalların nizamsızlıq dərəcəsinin $N\text{-dən}$ asılılığını da nəzərə almaq lazımdır.

$n\text{-InSe}<Ld>/n\text{-CuInSe}_2$ heteroqəçidlərinin fotoelektrik xassələrinin xüsusiyyətlərini isə valent zonada enerji çəpərinin mövcudluğu ilə izah etmək olar. Bu çəpər strukturu $n\text{-CuInSe}_2$ tərəfdən işıqlandırdıqda yaranan elektron-deşik cütünün fəzaca bir-birindən ayrılmasına mane olur. Bu halda, keçirici zonanın daha yüksək səviyyələrinə düz keçidlərin baş verməsi ilə əlaqədar $n\text{-InSe}<Ld>$ layında yüksək enerjili fotonların nüfuz etmə dərinliyinin kiçilməsini və $n\text{-InSe}<Ld>$ komponentinin fəzaca nizamsızlıq dərəcəsinin $N\text{-dən}$ asılılığını da nəzərə almaq lazımdır. Alınmış nəticələr göstərir ki, $n\text{-InSe}<Ld>/n\text{-CuInSe}_2$ heterostrukturlarının parametrləri xarakteristikalarının $N\text{-i}$ dəyişməklə idarə etmək mümkündür. $n\text{-InSe}<Ld>/n\text{-CuInSe}_2$ heterostrukturlarının xassələrinin yalnız $N\text{-dən}$ asılı olub, daxil edilən lantanoidlərin kimyəvi təbiətindən asılı olmaması göstərir ki, $n\text{-InSe}$ -nin lantanoidlərlə aşqarlanmasının bu kristallarda baş verən generasiya və rekombinasiya proseslərinə təsiri, həmin atomların fərdi elektron strukturları ilə (mərkəzdaxili effektlərlə) bağlı olmayıb, yalnız $n\text{-InSe}$ kristallarının xüsusiyyətləri ilə təyin edilir. $n\text{-InSe}<Ld>/n\text{-CuInSe}_2$ strukturlarını enli (ϵ_{g1}) qadağan olunmuş zonalı ($n\text{-InSe}<Ld>$) komponent tərəfdən işıqlandırdıqda onun fətohəssaslığının spektrində ikinci daha zəif maksimumun əmələ gəlməsi "pəncərə effekti" [3] ilə bağlıdır.

$n\text{-InSe}<Ld>/n\text{-CuInSe}_2$ strukturlarını $n\text{-CuInSe}_2$ tərəfdən, $\epsilon_{g2}\leq h\nu<\epsilon_{g1}$ enerjili fotonlarla işıqlandırdıqda fotosiqnalın müşahidə olunmaması isə, işığın tamamilə $n\text{-CuInSe}_2$ komponentində udulması ilə izah edilə bilər. Bu halda baxılan strukturun valent zonasında potensial çəpərin yaranması nəticəsində $n\text{-CuInSe}_2$ təbəqəsində generasiya olunmuş tarazlıqda olmayan deşiklər $n\text{-InSe}<Ld>$ təbəqəsinə keçə bilmir. Ona görə də strukturda fotogərginlik yaranmır. $n\text{-CuInSe}_2$ komponenti tərəfdən işıqlandırılma halında fətohəssaslığın çox kiçik olması da məhz bu mövqedən izah edilə bilər. $n\text{-InSe}<Ld>$ tərəfdən $h\nu>\epsilon_g$ enerjili fotonlarla işıqlandırıldıqda spektrin qısa dalğalı hissəsinin $n\text{-InSe}<Ld>$ -in spektrindən fərqlənməsi isə, qısa dalğalı fotonların nüfuz etmə dərinliyinin kiçilməsi ilə əlaqədardır. Bunun nəticəsində işığın təsiri ilə yaradılmış elektron-deşik cütü həmin komponentin keçiddən çox uzaq olan hissəsində generasiya olunur və onların heteroqəçidin çəpəri vasitəsi ilə bir-birindən ayrılması baş vermir.

$n\text{-InSe}<Ld>/p\text{-GaSe}<Ld>$ heteroqəçidlərini müxtəlif tərəfdən işıqlandırdıqda işıqlandırmanın VAX-a və U_0 -in qiymətinə təsirinə bir-birindən fərqlənməsi, çox güman ki, təmasa gətirilmiş komponentlərin fətohəssaslığının müxtəlif olmasından irəli gəlir. Bu halda da heteroqəçidin enli qadağan olunmuş zonaya malik komponent ($p\text{-GaSe}<Ld>$) tərəfdən işıqlandırılmasında fətohəssaslığın spektrinin enlənməsi "pəncərə effekti", fətohəssaslığın qısa dalğalar oblastında kəskin düşməsini isə - $p\text{-GaSe}<Ld>$ -də işığın yaratdığı yükdaşıyıcıların «C» oxu istiqamətində diffuziya uzunluğunun təbəqənin qalınlığından kiçikliyi ilə bağlıdır. $n\text{-InSe}<Ld>$ komponenti üçün isə vəziyyət bir qədər başqadır. Bu təbəqə daha nazikdir və tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların buradakı diffuziya uzunluğu, $p\text{-GaSe}<Ld>$ -

dəkinə nisbətən böyükdür. Bu səbəbdən də n-InSe<Ld>/p-GaSe<Ld> heterokeçidlərini n-InSe<Ld> komponenti tərəfdən işıqlandırdıqda fətohəssaslığın qısdalğalı sərhədi yastı olur.

n-InSe<Ld>/p-GaSe<Ld> heterostrukturlarını n-InSe<Ld> tərəfdən işıqlandırdıqda fətohəssaslığın spektrinin n-InSe<Ld> kristallarının fətohəssaslıq diapazonu ilə məhdudlanmasını işığın dar qadağan olunmuş zonaya malik

n-InSe<Ld> təbəqəsində udulması və p-GaSe<Ld> təbəqəsinə keçə bilməməsi ilə bağlamaq olar.

Bu strukturlar fotodiod rejimində olduqda, işığın yaratdığı elektron-deşik cütünün ayrılması prosesi keçiddəki sahənin təsiri ilə güclənir. Ona görə fotosiqnalın işıq xarakteristikaları ventill rejimindəkindən daha dik olur.

-
- [1]. *В.Л. Бакуменко, В.Ф. Чишко* // Физ. и техн. полупроводников, Т.11, 11, с. 2000 (1977)
- [2]. *З.С. Медведева* Халькогениды элементов III Б подгруппы периодической системы. М.: Наука, 214 с. (1968)
- [3]. *Б.Л. Шарма, Р.К. Пурохит* Полупроводниковые гетеропереходы. М.: Советское радио, 228 с. (1979)
- [4]. *А.Ш. Абдинов, Р.Ф. Бабаева, Р.М. Рзаев, А.Т. Багирова, Ш.А. Аллахвердиев* // Изв. НАН Азербайджана, Баку, Т. XXVI, 5, с. 70 (2006)
- [5]. *А.Ш. Абдинов, Р.Ф. Бабаева, А.Т. Багирова, Р.М. Рзаев, Г.Х. Эйвазова* // Ж. «Неорганические материалы». Т.42. 9. С.1035. (2006)