

Ge – Si BƏRK MƏHLULLARININ BƏZİ TƏTBİQLƏRİV.İ.TAHIROV*, V.Q.ƏLİYEV**, T.Q.CƏFƏROV*,
S.R.SADIQOVA**, N.F.QƏHRƏMANOV*** *Bakı Dövlət Universiteti*** *Sunqayt Dövlət Universiteti*

İşdə Ge – Si bərk məhlullarının praktik tətbiqinə aid qısa ədəbiyyat xülasəsi verilmiş və sistemin tətbiq perspektivləri göstərilmişdir.

Ge – Si bərk məhlullarının tətbiqi baxımdan çox geniş imkanlara malik olmasına baxmayaraq, uzun müddət onların təkmil monokristallarının alınmasının mümkün olmaması bu məhlulların praktiki tətbiqini xeyli məhdudlaşdırmışdır. Bununla belə, bir sıra hallarda bu bərk məhlulların hətta polikristal halında belə tətbiqi böyük səmərə vermişdir. Bu sistemin ilk uğurlu tətbiqi yüksək temperatur oblastında işləyən termogenerator şəklində həyata keçirilmişdir [1]. Termogeneratorun yüksək effektivliyi (~10 %) termoelektrik hərəkət qüvvəsinin və elektrik keçiriciliyinin böyük olması, istilik keçirmənin isə kiçik olması ilə təmin olunur. Bərk məhlul kristallarında, təmiz komponentlərdən fərqli olaraq, xəlitə nizamsızlıqlarından həm yükdaşıyıcıların, həm də fononların səpilməsi baş verir. Yükdaşıyıcıların səpilməsi elektrik keçiriciliyinin kiçilməsinə, fononların səpilməsi isə istilik keçirməsinin kiçilməsinə səbəb olur. Ancaq yükdaşıyıcılarının xəlitə nizamsızlıqlarından səpilməsi yalnız aşağı (otaq temperaturundan xeyli aşağı) temperaturlarda nəzərə çarpacaq rol oynaya bilər. Termogeneratorun işlədiyi yüksək temperaturlarda isə əsas səpilmə mexanizmi olan istilik rəqslərindən səpilmə ilə müqayisədə o, çox cüzdür. Ona görə də bu səpilmə mexanizmi yuxarı temperaturlarda bərk məhlulların elektrik keçirməsinə pay vermir. Lakin bu səpilmə mexanizmi fononlar üçün yuxarı temperaturlarda mühüm rol oynayır. Bu səbəbdən də bərk məhlulların istilikkeçirməsi kiçilmiş olur. Bu isə *Ge – Si* əsasında düzəldilmiş termogeneratorların effektivliyinin kifayət qə-

dər böyük olmasını təmin edir (termogeneratorlar silisiumun qatılığı daha çox olan bərk məhlullar əsasında düzəldilir).

Ge-Si bərk məhlullarının başqa tətbiqləri $p-n$, $p-n-p$, $n-p-n$ strukturları əsasında düzəldilmiş diod, tranzistor və s. kimi çeviricilərdən ibarətdir [2 – 5].

Burada *Ge-Si* bərk məhlulları əsasında düzəldilən fotodiodların daha böyük maraq kəsb etdiyini xüsusi qeyd etmək lazımdır. Bərk məhlulların fotehəssaslıq spektri *Ge*-lə *Si*-un həssaslıq spektrlərinin arasında dəyişir və *Si*-un 15 at. %-nə bərabər tərkibdə atmosferin birinci şəffaflıq pəncərəsinə ($\lambda \approx 1,12 \text{ mkm}$) düşür. Bu isə kosmik rabitə işlərində çox böyük əhəmiyyətə malikdir.

Ge-Si bərk məhlullarında $p-n$ keçidləri əsasında düzəldilmiş çeviricilərdə *Si*-un qatılığı artdıqca düz və əks istiqamətdə $p-n$ keçiddən keçən cərəyan sıxlığı azalır, onların tezlik xarakteristikası isə yaxşılaşır. Beləliklə, bu cihazların tezlik xarakteristikası *Si*-dan düzəldilmiş cihazlarından daha yaxşı, onların işləyə biləcəyi temperatur oblastı isə *Ge* - dan düzəldilmiş cihazlarından daha yüksək olur. Bu onunla izah olunur ki, *Ge-Si* bərk məhlullarında *Ge* tərəfdə yükdaşıyıcıların yüüklüyü *Si*-dakından daha böyük və məxsusi keçiriciliyin baş vermə temperaturu *Ge*-dakına nisbətən daha yüksəkdir (sonuncu qadağan olunmuş zonanın eninin *Ge* - dakına nisbətən artması ilə bağlıdır).

Ge-Si bərk məhlullar sistemində qadağan olunmuş zonanın xətti dəyişməsi, onların əsasında yeni prinsiplə işləyən çeviricilərin düzəldilməsi ideyasının yaranmasına səbəb olmuşdur [6]. Bunlardan biri, kristal boyunca qadağan olunmuş zonasının eni dəyişən $p-n$ keçid əsasında işıq şüası qəbuledicisinin düzəldilməsidir. Bunun üçün kristal boyunca tərkibi müəyyən qanunla (məs., xətti) dəyişən monokristal yetişdirilir. Kristal boyunca lövhə şəklində kəsilmiş nümunədə diffuziya yolu ilə $p-n$ keçidi yaradılır. Bu lövhədə 12 mm uzunluqda kristalda *Si*-un faiz miqdarı 0 -dan 15 at. % -dək xətti dəyişir.

Nümunə boyunca ona perpendikulyar istiqamətdə en kəsiyin hər bir nöqtəsinin özünəməxsus fundamental xassələri mövcuddur və onlar (qadağan olunmuş zonanın eni, yüüklük və s.) nöqtədən nöqtəyə dəyişir. Bu dəyişmə *Ge*-dakı qiymətlərlə *Si*-un atom faizi 15 – ə bərabər olan bərk məhluldakı qiymətlər arasında kəsilmədən müntəzəm dəyişir.

$p-n$ keçid yetişdirilmiş p - tip monokristaldan kəsilmiş lövhənin bir üzündə diffuziya yolu ilə $5 \div 10$ mkm qalınlığında n - tip təbəqə

yaratmaqla əldə edilir. Belə nümunənin p tərəfinə bütünlüklə kəsilməz omik kontakt, n tərəfində isə mümkün qədər çoxsaylı nöqtəvi kontakt yaradılır. Bu cür elementin həssaslıq spektri $300K$ -də onun üzərinə perpendikulyar istiqamətdə düşən şüanın $(0,5 \div 2)$ mkm dalğa uzunluğu intervalında dəyişir. Belə varizionalı fotodiodun üzərinə monoxromatik şüa düşdükdə onun yalnız düşən dalğa uzunluğuna uyğun gələn hissəsi işləyəcək. Lakin onun üzərinə inteqral işıq (dalğa uzunluğu müəyyən intervalda dəyişən işıq) saldıqda onun spektral xarakteristikası bütün həssaslıq intervalını əhatə edəcək. Bu cür bir varizona quruluşlu fotodiod çoxkəsdli elementi əvəz edir.

Aşqarlanmış $Ge-Si$ bərk məhlullarının infraqırmızı şüaların qəbul edicisi kimi istifadə olunması xüsusi maraq kəsb edir [7]. Yer atmosferindən kənarda yerləşən və özündən infraqırmızı şüalar buraxan obyektlərin Yerdə müşahidə edilməsi üçün qəbuledici atmosferin şəffafıq pəncərəsinə uyğun gələn dalğaları qeydə ala bilməlidir. Bu məqsədlər üçün, adətən, müxtəlif elementlərlə aşqarlanmış Ge və Si -dan istifadə edirlər. Atmosferin uzun-dalğalı pəncərəsi dalğa uzunluğunun $\lambda = 14$ mkm qiymətinə uyğun gəlir.

Bu cür cihazlar hərbi məqsədlər üçün də geniş miqyasda istifadə edilir (düşmən obyektlərinin aşqarlanması, onların məhv edilməsi və ya düşmən hücumlarının qarşısının alınması üçün). Çox vaxt uzaq məsafələrdə yerləşən bu obyektlərin temperaturu onları əhatə edən mühitin temperaturundan azacıq fərqlənir. Bunlar uçan təyyarələr, mərmilər, tanklar, gəmilər və yerin süni peykləri, kosmik gəmilər ola bilər. Yer atmosferi bu obyektlərin buraxdığı dalğaların əsas hissəsini udur və onların qeydə alınmasını çətinləşdirir. Lakin, yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, infraqırmızı şüaların müəyyən dalğa uzunluğunu əhatə edən spektrində Yer atmosferi bu dalğalar üçün şəffafdır. Bu interval $8,5 \div 13,5$ mkm dalğa uzunluqlarını əhatə edir (bəzi mənbələrə görə, bu interval uzun dalğalar tərəfdən 14 mkm qədər davam edir). Bu cür siqnallar, bir qayda olaraq, zəif olduğu üçün onların qəbul edilməsində müxtəlif gücləndiricilərdən istifadə edilir. Bu isə yeni küylərin yaranmasına səbəb olur. Beləliklə, əsl siqnal üç səbəbdən yaranan küylə qarışır. Həmin küylər bunlardır: 1) obyektin özünün şüalandırmasının təbiət tərəfindən yaranan fon küyü; 2) fotomüqavimətin təbiətindən yaranan küy; 3) gücləndiricinin və birləşdirici naqillərin yaratdığı küy.

Obyektin şüalanmasından yaranan küy onun kvant təbiətindən irəli gəlir. Məsələn burasındadır ki, işığın fotomüqavimətlə qarşılıqlı təsiri zamanı udulan fotonların sayı heç də zamana görə müntəzəm paylanmır, yəni foto-

cərəyan zamana görə təsadüfi sayda gələn fotonlar tərəfindən həyəcanlandırılır.

Fotonların sayı bu səbəbdən flüktuasiyaya uğrayır. Orta qiymətdən kənara çıxma küy fonunun yaranmasına səbəb olur. Fononların sayının orta qiymətdən kənara çıxması onların ümumi sayının kvadrat kökü ilə mütənasibdir. Aydın ki, siqnalı etibarlı qəbul etmək üçün o, flüktuasiyanın yaratdığı fondan böyük olmalıdır. İkinci növ küy fotoqəbuledicidə baş verən həyəcanlaşmanın flüktuasiyası ilə bağlıdır. Hesablamalar göstərir ki, bu küyün səviyyəsi $\frac{1}{T\lambda_m}$ -lə ifadə olunur (T - qəbuledicinin mütləq temperaturu, λ_m - onun uzundalğalı tərəfdən həssaslığının kənarına uyğun gələn dalğa uzunluğunun maksimum qiymətidir). Bu küyü azaltmaq üçün qəbuledicini soyutmaq və mümkün qədər uzundalğalı oblastda işləmək lazım gəlir.

Gücləndirici sxemdə yaranan üçüncü növ küyü azaltmaq üçün birləşdirici məftilləri ekranlaşdırmaq və onların uzunluğunu mümkün qədər kiçik götürmək tələb olunur.

Qəbuledicinin yararlı olması üçün faydalı siqnalın gücü yuxarıda saydığımız küylərin yaratdığı güclərin cəmindən böyük (və ya heç olmasa ona bərabər) olmalıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, fotomüqavimətlər həm məxsusi, həm də aşqar keçiriciliyi oblastlarında işləyə bilirlər. Birinci halda fotonun udulması elektron və deşik cütünün yaranmasına səbəb olur, onlar bir-biri ilə və ya başqa əks adlı yüklə rekombinasiya edənə qədər nümunəyə verilmiş xarici gərginliyin təsiri ilə hərəkət edərək dövrədən cərəyan axmasına və ya dövrədən axan cərəyanın artmasına səbəb olur. Belə cütün yaranması üçün fotoelementin üzərinə düşən fotonun enerjisi yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eninə bərabər və ya ondan böyük olmalıdır. Aşqarlanmış yarımkeçirici əsasında düzəldilmiş fotomüqavimətdə fotocərəyanın yaranması üçün onun üzərinə enerjisi aşqarın ionlaşma enerjisinə bərabər və ya ondan böyük olan foton seli düşməlidir. Bu zaman donor səviyyəsindən elektronlar keçiricilik zonasına və ya akseptor səviyyəsindən deşiklər valent zonasına keçərək sərbəst hala gəlir və xarici gərginliyin təsiri ilə hərəkətə gələrək fotocərəyan yaranmasına səbəb olur. Bu cərəyan da yükdaşıyıcısının əks işarəli mərkəzlə rastlaşıb onunla rekombinasiya edənə qədər davam edir. Hər iki halda fotocərəyanla yanaşı dövrədə "qaranlıq" cərəyan da mövcuddur.

Qaranlıq cərəyanın yaranmasına səbəb atomların istilik rəqslərinin uyğun səviyyələrdəki yükdaşıyıcıları həyəcanlaşdıraraq sərbəst hala gətir-

məsədir. Aşqarlanmış yarımkeçirici əsasında düzəldilmiş fotomüqavimətin həssaslığı (D^*), göstərmək olar ki, belə ifadə olunur:

$$D^* = KM^* \exp\left(\frac{hc}{2k} \cdot \frac{1}{\lambda_m T}\right) \quad (1)$$

Buradan:

$$\lg D^* = \lg K + \lg M^* + 0,434 \cdot \frac{hc}{2k} \cdot \frac{1}{\lambda_m T} \quad (2)$$

Burada K parametri fotomüqavimətin təbiətindən asılı olmayan kəmiyyətlərdən asılıdır. M^* - udma kəsiyindən, yükdaşıyıcının yaşama müddətindən asılı olub, fotomüqavimətin təbiətindən asılı olan sabit, h - Plank sabiti, k - Bolsman sabiti, c - işığın boşluqdakı sürəti, λ_m - fotomüqavimətin uzundalğalı sərhədində dalğa uzunluğunun maksimum qiyməti, $E_i = \frac{hc}{\lambda_m}$ - aşqar səviyyəsinin aktivləşmə enerjisi, T - fotomüqavimətin mütləq temperaturudur.

(1) və ya (2) düsturu müxtəlif maddələr əsasında düzəldilmiş fotomüqavimətlərin hansının xarakteristikasının daha əlverişli olduğunu müəyyən etməyə imkan verir.

Silisiyum və germanium yarımkeçiriciləri öz mexaniki xassələrinə görə onların əsasında bərk cisimlər elektronikasına sahəsində işlədilən çevirici və cihazların düzəldilməsi üçün olduqca yararlıdır. Təmiz komponentlərin unikal fiziki xassələrinin də bərk məhlullarda saxlanıldığını və onların məqsədyönlü şəkildə tənzim olunmasının mümkün olduğunu nəzərə alsaq, bu bərk məhlullar sisteminin tətbiqi baxımdan nə qədər maraqlı olduğunu asanlıqla müəyyən etmiş olarıq.

Bir sıra işlərdə $Ge-Si$ bərk məhlul kristalları həcmdə başdan-başa ayrı-ayrı Ge və Si klasterlərinin paylanması ibarət olduğu güman (və ya iddia) edilir. Bizim fikrimizcə, bu cür iddialar tamamilə yanlışdır. Çünki bu cür quruluşda heç bir vəchlə monokristal yetişdirmək mümkün olmazdı. Halbuki bir sıra işlərdə $Ge-Si$ bərk məhlullar sisteminin mükəmməl monokristalları yetişdirilmişdir. Rentgen-difraksiya mənzərələrinin quruluşu və difraksiya maksimumlarının kəskin və iti olması atomların həcmdə müntəzəm (statistik) paylandığını, kristalın daxilində heç bir fərqli quruluşun olmadığını göstərir. Monokristallardan alınmış laueqramlarda nöqtələrin simmetrik düzülüşü və onların həndəsi nöqtəyə çox yaxın olması monokristalların təkmil olmasına dəlalət edir.

Aşqarlanmış *Ge* və *Si* yarımkeçiriciləri onlardan spektrin infraqırmızı oblastında işləyən çeviricilər düzəltmək üçün böyük imkanlara malik olduğunu göstərir. Cədvəldə bu məqsəd üçün maraq kəsb edən bir sıra aşqarın *Ge* -un qadağan olunmuş zonasında yaratdığı enerji səviyyələri göstərilmişdir.

Cədvəldən aydın olduğu kimi, seçilmiş aşqarlar germaniumda bir neçə enerji səviyyəsi yaradır. Özü də bu səviyyələrin əksəriyyəti akseptor mərkəzləridir. Belə mərkəzlərdən daha yüksəkdə yerləşən səviyyədən istifadə etmək istədikdə elə etmək lazımdır ki, ondan aşağıda yerləşən səviyyə fəal olmasın (seçilmiş səviyyənin işləməsinə maneçilik törətməsin). Bu isə o deməkdir ki, yaxşı fotomüqavimət hazırlamaq üçün mükəmməl texnologiyadan istifadə etmək lazım gəlir.

Cədvəl

Bəzi aşqarların *Ge* - un qadağan olunmuş zonasında yaratdığı enerji səviyyələri

Aşqar	Akseptor səviyyələri, (eV)			Donor səviyyələri, (eV)	
	I	II	III	I	II
Au	0,05 (<i>k</i>)	0,20 (<i>v</i>)	0,16 (<i>v</i>)	0,05 (<i>v</i>)	
Ag	0,09 (<i>k</i>)	0,28 (<i>v</i>)	0,13 (<i>v</i>)		
Cu	0,26 (<i>k</i>)	0,33 (<i>v</i>)	0,04 (<i>v</i>)		
Fe	0,27 (<i>k</i>)	0,35 (<i>v</i>)			
Co	0,30 (<i>k</i>)	0,25 (<i>v</i>)			
Ni	0,30 (<i>k</i>)	0,28 (<i>v</i>)			
Mn	0,37 (<i>k</i>)	0,16 (<i>v</i>)			
Cd		0,16 (<i>v</i>)			
Zn		0,16 (<i>v</i>)	0,05 (<i>v</i>)		
S		0,095 (<i>v</i>)	0,035 (<i>v</i>)		0,18 (<i>k</i>)
Se				0,28 (<i>k</i>)	0,14 (<i>k</i>)
Te				0,30 (<i>k</i>)	0,11 (<i>k</i>)

(*k*) - səviyyə keçiricilik zonasının dibindən hesablanır
(*v*) - səviyyə valent zonasının maksimumundan hesablanır

Aşqar mərkəzinin yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasında neçə müxtəlif diskret enerji səviyyəsi yaratması (yəni aşqar mərkəzinin singlet, duplet və triplet olması) onun Mendeleev cədvəlində hansı qrupda yerləşməsindən asılıdır. Aşqarın verilmiş yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zona-

sında hansı tip mərkəz yaradacağı hazırda prinsipcə məlum olsa da, bu mərkəzin yaratdığı səviyyənin dərinliyini qabaqcadan təyin etmək mümkün deyil. Bunun səbəbi, yarımkeçiricilər fizikasında dərin aşqar mərkəzlərinin nəzəriyyəsinin hələlik işlənilib hazırlanmasıdır. Doğrudur, dayaz aşqar səviyyələrini hidrogenəbənzər model əsasında az-çox dərəcədə düzgün təsvir etmək olur, lakin dərin aşqar səviyyələrini kəmiyyətcə təsvir etmək uğursuzluqla nəticələnir.

Germaniumda kristalın düyün nöqtəsində yerləşən atomlardan birini birinci *B* qrup elementi olan qızılla (*Au*) əvəz etdikdə çox maraqlı bir mənzərə yaranır. Bu halda bir donor səviyyəsi və üç akseptor səviyyəsi müşahidə olunur. Donor səviyyəsi qadağan olunmuş zonada valent zonasının maksimumundan $0,05eV$ məsafədə yerləşir. Bu, *Au* - un yeganə valent elektronunu verməsinə (itirməsinə) uyğun gəlir. Ancaq bu donor səviyyəsini elektronun ondan birbaşa keçiricilik zonasına keçməsi ilə müşahidə etmək mümkün deyil. Bunun iki səbəbi vardır. Onlardan biri qızılın *Ge* - da maksimal həllolma konsentrasiyasının məhdudluğudur. Bu kəmiyyət təqribən $10^{16} \frac{1}{sm^3}$ tərtibindədir. Digəri və başlıcası isə onun valent zonasına çox yaxın yerləşməsidir. Qızılın donor səviyyəsindən və valent zonasından elektronun keçiricilik zonasına keçid ehtimallarının nisbəti onların konsentrasiyalarının nisbəti ilə mütənəsbidir (onların enerjiləri bir-birindən çox az fərqlənir). Valent zonasında elektronların konsentrasiyası $10^{22} \div 10^{23} \frac{1}{sm^3}$ tərtibindədir. Ona görə valent zonasından keçiricilik zonasına keçən elektronların fonunda elektronların qızılın donor səviyyəsindən keçiricilik zonasına keçməsi təcrübədə hiss olunmur. Elə bu səbəbdən də birinci dəfə 1953 – cü ildə qızılla aşqarlanmış *Ge* - un tədqiqi zamanı qızılın donor səviyyəsi müşahidə edilməmişdir. Bununla belə, kristalda elə şərait yaratmaq olar ki, *Au*-un *Ge*-da yaratdığı donor səviyyəsini həm elektrik xassələrinin tədqiqi zamanı, həm də optik ölçmələrdə müşahidə etmək mümkün olsun.

Bunun üçün *Ge* qızıldan başqa elə bir digər akseptor tipli dayaz aşqarla aşqarlanmalıdır ki, onun enerji səviyyəsi qızılın donor səviyyəsindən heç olmasa kT qədər aşağıda, (valent zonasının maksimumuna doğru) yerləşsin. Belə olduqda, *Au* atomundakı yeganə valent elektronu özündən aşağıda yerləşən dayaz akseptor səviyyəsinə keçir, qızıl atomu isə qiymətcə elektronun yükünə bərabər olan müsbət yüklə yüklənmiş olur. Belə müsbət yüklənmiş mərkəzə valent zonasından bir elektron keçə bilər. Bunun üçün elektronun enerjisi *Au*-un donor səviyyəsinin enerjisinə bərabər və ya ondan

böyük olmalıdır. Belə olduqda, kristalın düyün nöqtələrində olan müsbət yüklənmiş Au atomları özlərini akseptor mərkəzi kimi aparır. Ona görə onlara bu halda psevdokseptor mərkəzləri deyirlər. Qızılın bütün atomlarının psevdokseptor mərkəzinə çevrilməsi üçün kristalı aşqarlayarkən elə etmək lazımdır ki, nümunədə qızıl atomlarının konsentrasiyası (N_{Au}) onda olan dayaz akseptor mərkəzlərinin konsentrasiyasına (N_a) bərabər olsun ($N_{Au} = N_a$). Belə olduqda dayaz akseptor mərkəzləri qızılın atomlarının valent elektronları ilə tamamilə kompensasiya olunur. Onlar qızıl mərkəzlərinin psevdokseptor mərkəzləri kimi işləməsinə mane olmur.

Burada təcrübəçi incə bir texnoloji məsələni həll etməli olur. Əvvəlcə monokristal yetişdirmə prosesində Ge onda dayaz aşqar mərkəzləri yaradan üçüncü qrup elementlərindən (Ga, Al, In) biri ilə elə aşqarlanır ki, kristalda dayaz akseptorun konsentrasiyası Au -un Ge -da həll olmasından böyük olmasın, yəni dayaz akseptorun konsentrasiyası $(10^{15} \div 10^{16}) \frac{1}{sm^3}$ intervalını əhatə etsin. Belə kristaldan nümunələr kəsilir və onlarda dayaz akseptor mərkəzlərinin dəqiq konsentrasiyası Holl əmsalının ölçülməsi ilə təyin edilir. Sonra bu nümunələr diffuziya yolu ilə qızılla aşqarlanır.

Üçüncü qrup elementlərinin diffuziya əmsalı çox kiçik olduğu üçün germaniumu onlarla diffuziya yolu ilə aşqarlamaq mümkün deyil (bunun üçün illərlə vaxt sərf etmək tələb olunur, bu isə praktiki cəhətdən əlverişli deyil).

Qeyd etdiyimiz kimi, Au germaniumda üç akseptor səviyyəsi yaradır. Onlardan birincisi valent zonasının maksimumundan $0,16eV$ məsafədə qadağan olunmuş zonanın aşağı hissəsində yerləşir. Bu səviyyənin müşahidə olunması üçün Ge -a ikinci bir aşqarın vurulmasına ehtiyac yoxdur. Əksinə, kristalda digər aşqarın olması bu səviyyənin müşahidə edilməsinə maneçilik törədə bilər. Au -un birinci akseptor səviyyəsi birbaşa müşahidə olunur və onun donor səviyyəsi bu zaman özünü göstərə bilmir. Bu səviyyənin müşahidə olunması kristalın həm elektrik xassələrinin, həm də optik xassələrinin ölçülməsində özünü göstərir.

Qızılın Ge -da ikinci akseptor səviyyəsi qadağan olunmuş zonada keçiricilik zonasının dibindən $0,20eV$ aşağıda yerləşir. Bu səbəbdən onu psevdodonor səviyyəsi kimi tədqiq etmək daha əlverişlidir.

Germaniumda donor tip aşqar kimi, adətən, stibiumdan (Sb) istifadə olunur. Əvvəl monokristal yetişdirmə prosesində Ge -a Sb aşqarı vurulur. Sonra diffuziya yolu ilə həmin kristal Au -la aşqarlanır. Bu aşqarların nisbəti

elə seçilir ki, Au -un konsentrasiyası Sb - un konsentrasiyasından iki dəfə kiçik olsun. Belə olduqda Sb -un dayaz donor səviyyəsindən elektronlar ondan çox aşağıda yerləşən Au -un birinci və ikinci səviyyələrinə keçir, Sb - un öz mərkəzləri isə tamamilə tükənir. Beləliklə, Au - un birinci akseptor səviyyəsi tam kompensasiya olunduğu üçün valent zonasından bu səviyyəyə elektronlar keçə bilmir və o elektrik keçiriciliyinə pay verə bilmir. Au -un elektronlarla tam dolmuş ikinci akseptor səviyyəsi keçiricilik zonasından $0,20eV$ məsafədə yerləşdiyi üçün temperatur artdıqca bu elektronlar keçiricilik zonasına keçə bilir, yəni bu səviyyə artıq özünü akseptor səviyyəsi kimi deyil, donor səviyyəsi kimi aparır (ona görə də onu psevdo-donor səviyyəsi adlandırırlar). Au -un Ge -da yaratdığı üçüncü akseptor səviyyəsi də psevdo-donor səviyyəsinə keçirildikdən sonra daha asanlıqla tədqiq edilə bilər. Burada da köməkçi donor tipli dayaz aşqar mərkəzlərindən istifadə edilir (Sb - aşqarı bu halda da yararlıdır). Au -un Ge -dakı üçüncü akseptor səviyyəsini tədqiq edə bilmək üçün Sb və Au -un kristalda konsentrasiyalarının nisbətini elə seçmək lazımdır ki, Sb -un konsentrasiyası Au - unkundan üç dəfə böyük olsun. Bu şərt ödənildikdə hər üç akseptor səviyyəsi elektronlarla tam doldurulmuş olur. Birinci akseptor səviyyəsi yenə də elektrik keçiriciliyinə pay verməyəcək. İkinci və üçüncü akseptor səviyyələrinin hər ikisi bu halda özlərini psevdo-donor səviyyəsi kimi aparır. Onu da qeyd edək ki, Au -la Sb -un konsentrasiyalarının bu nisbətində kristalın düyün nöqtələrində yerləşmiş hər bir Au atomu tetroedrik kovaent rabitəni (aşağı temperaturlarda) tam doldurmuş olur. Au atomları isə üçqat yüklənmiş mənfi iona çevrilir.

Qızılın Ge -da üçüncü səviyyəsi fəal olan kristalda onun ikinci akseptor səviyyəsini də tədqiq etmək mümkün olur. Belə kristalın elektrik xassələrinin temperatur asılılığını tədqiq edərkən aşağı temperatur oblastında əvvəl üçüncü səviyyə aktiv olur. Temperatur artdıqca bu səviyyədən elektronlar tədricən keçiricilik zonasına keçir, onlar tükəndikdən sonra yükdaşıyıcıların konsentrasiyası doymaya çatır. Temperaturun sonrakı artımı ilə artıq ikinci səviyyədən elektronlar keçiricilik zonasına keçməyə başlayır. Temperaturun artması ilə bu səviyyə də tükənir və yükdaşıyıcıların konsentrasiyası yenidən doymaya çatır. Beləliklə, bir nümunədə hər iki səviyyəni tədqiq etmək mümkün olur.

Cədvəldən aydın olduğu kimi, Au aşqarından başqa infraqırmızı oblastda sinklə aşqarlanmış Ge da çevirici kimi istifadə olunmaqda böyük maraq kəsb edir. Qeyd etdiyimiz kimi, Zn Ge -da iki akseptor səviyyəsi ($0,035$ və $0,095eV$) yaradır. Onlardan ikincisi bu məqsəd üçün daha yararlıdır. Ona görə onun birinci səviyyəsi donor tipli aşqarla kompensasiya edilməlidir.

Bununla belə, bu cür infraqırmızı şüalar qəbuledicisinin uzundalğalı sərhədi 17mkm –ə bərabər olur ki, bu da atmosferin ikinci şəffaflıq pəncərəsinin uzundalğalı sərhədindən (14mkm) kənara çıxır. Bu səbəbdən də belə qəbuledicini daha da çox (maye azotun qaynama temperaturundan aşağı) temperaturalara qədər soyutmaq tələb olunur.

Bu məqsədlə *Ge*-da *Au*-un ikinci akseptor səviyyəsindən istifadə etdikdə onun uzundalğalı kənarı 10mkm dalğa uzunluğuna düşür.

Bu halda qəbuledicini maye azotun qaynama temperaturuna qədər soyutmaq kifayət edir.

Qəbuledicinin effektivliyinin daha da yüksək olması üçün onun həssaslıq spektrinin uzundalğalı kənarı atmosferin uzundalğalı sərhədi ilə üst-üstə düşməlidir. Bu şərti təmin etmək üçün *Ge*–*Si* bərk məhlullarından istifadə etmək çox əlverişlidir. Çünki, məlum olduğu kimi, aşqar səviyyələrinin dərinliyi bərk məhlulun konsentrasiyasından asılı olaraq dəyişir [8]. Bərk məhlulun elə tərkibini seçmək olar ki, orada *Au* - un və ya *Zn* - in aşqar səviyyəsinin dərinliyi atmosferin şəffaflıq pəncərəsinə daha düzgün uyğun gəlsin.

Bərk məhlulda *Ge* tərəfdən silisiumun atom faizi artdıqca qızılın qadağan olunmuş zonada yaratdığı səviyyələr öz yerini keçiricilik zonasına doğru dəyişir. Bu zaman qızılın *Ge*–*Si* bərk məhlullarında psevdo-akseptor (donor) səviyyəsinin dərinliyi elə dəyişdirilir ki, tərkibin müəyyən qiymətində ondan fotomüqavimət kimi istifadə etmək daha əlverişli olsun. Burada qızılın ikinci akseptor səviyyəsindən də istifadə etmək olar. Çünki, bərk məhlulda *Si* - un faiz miqdarı artdıqca bu səviyyə valent zonasının maksimumundan aralanır və onun aktivləşmə enerjisinə uyğun gələn fotonun dalğa uzunluğu atmosferin şəffaflıq oblastına düşür.

Sinklə aşqarlanmış *Ge*–*Si* bərk məhlulları haqda da eyni fikri söyləmək olar. Sinkin də aşqar səviyyələri bərk məhlulda *Si* - un konsentrasiyası artdıqda onun hər ikisi valent zonasının maksimumundan yuxarı doğru sürüşür. Bununla da tətbiqi baxımdan daha əlverişli tərkibi seçmək çətinlik törətmir.

Son zamanlar *Ge*–*Si* bərk məhlulları üzərində aparılan bir sıra işlərdə [9] praktiki cəhətdən maraq kəsb edən nəticələr əldə edilmişdir. Bu bərk məhlullar əsasında yüksək həssaslığa malik olan tenzo, təzyiqlik və temperatur çevrəcilərinin düzəldilməsinin böyük perspektivə malik olması göstərilmişdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Abeles B., Cohen R. Thermoelectric generator on $Ge-Si$ alloys. J. Appl. Phys., 35, 247, 1965.
2. Лютович В. Л., Стрельцов Л. Н., Лютович А. С. Некоторые фотоэлектрические свойства твердых растворов Si_xGe_{1-x} . ФТП, 6, 199, 1972.
3. Бекиров М.Я., Мамедов Г.М. Фоточувствительность диодов на основе $Ge-Si$. «Известии АН Азербайджанской ССР», серия физико-математических и технических наук, № 6, 1975.
4. Саидов М.С., Чиркова В.П., Умеров Р.С., Морозкин В.В., Кулагин А.И. Фотоэлементы на основе сплавов $Ge-Si$. «Гелиотехника», № 5, 10, 1975.
5. Бекиров М.Я., Мадатов Р.С., Мустафаев Ю.М. Фотодиоды на основе сплавов $Ge-Si$. ДАН Аз. ССР, 34, 32, 1978.
6. Абдуллаев Г.Б., Бекиров М.Я., Мадатов Р.С., Джафаров К.А., Мустафаев Ю.М. Варизонная структура на основе $Ge-Si$. Авторское свидетельство. СССР, № 2397360, 1979.
7. Байцер Р.И., Варшава С.С., Красножонов Е.П., Островская А.С. Электромеханические, тепловые и фотоэлектрические преобразователи на основе монокристаллов $Ge-Si$. «Известии РАН», Неорганические материалы., том 32, страница 789-793. 1996
8. Тагиров В.И. Полупроводниковые твердые растворы $Ge-Si$. Издательство «Элм», Баку, страница 208. 1983
9. Аббасов Ш.М. Радиационные дефекты в твердых растворах $Ge-Si$, создаваемые высокоэнергетическими ускоренными электронами и гамма квантами. Диссертация на соискании ученой степени доктора физико-математических наук., Баку, 2004

О НЕКОТОРЫХ ПРИМЕНЕНИЯХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Ge-Si$.

**В.И.ТАГИРОВ, В.Г.АЛИЕВ, Т.Г.ДЖАФАРОВ,
С.Р.САДЫХОВА, Н.Ф.ГАХРАМАНОВ**

АННОТАЦИЯ

В работе приведен краткий обзор работ о практическом применении твердых растворов $Ge-Si$ и показаны перспективы их дальнейшего применения.

A BRIEF SURVEY ON $Ge-Si$ SOLID SOLUTION

**V.I.TAHIROV, V.Q. ALIYEV, T.Q.DJAFAROV,
S.R.SADIKHOVA, N.F.QAKHRAMANOV**

ABSTRACT

The work gives a brief survey on the applications of $Ge-Si$ solid solutions and shows further perspectives of their application.