$GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ HETEROKEÇİDLƏRİNİN ELEKTRİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

Ç.E. SƏBZƏLİYEVA[1], N.N. ABDULZADƏ[1], A.M. XANKİŞİYEVA[1], N.N. MURSAKULOV[1, 2]

[1]*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin H.B. Abdullayev adına Fizika İnstitutu AZ-1143, Azərbaycan, Bakı, H. Cavid pr.131*

[2]*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Radiasiya Tədqiqatları İnstitutu*

E-mail: ch.sabzaliyeva@mail.ru tel.: +994 538 04 96

$GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ heterokeçidlər maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetrondan tozlandırma üsulu ilə alınmışdır. Bu məqalədə (CIGSS) $GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ heterokeçidlərinin elektrik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqindən alınan nəticələr verilmişdir. Heterokeçidləri əldə etmək üçün maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmış n- və p- tip keçiriciliyi olan, yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası $9 \cdot 10^{16}$ sm^{-3} olan, (100) və (111) üstün istiqamətli müstəvilərə malik GaAs altlıqlarından istifadə edilmişdir. Eyni vaxtda optik ölçmələr, keyfiyyətə nəzarət, qalınlıq və təbəqə tərkibini müəyyən etmək üçün şüşə və poliamid altlıqlar üzərində $Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ nazik təbəqələri alınmışdır.

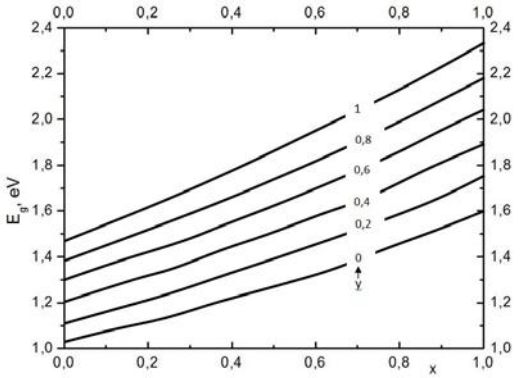
Açar sözlər: Maqnetron tozlandırılması, effektiv günəş elementləri, heterokeçidlər.
DOI:10.70784/azip.2.2024231

Giriş

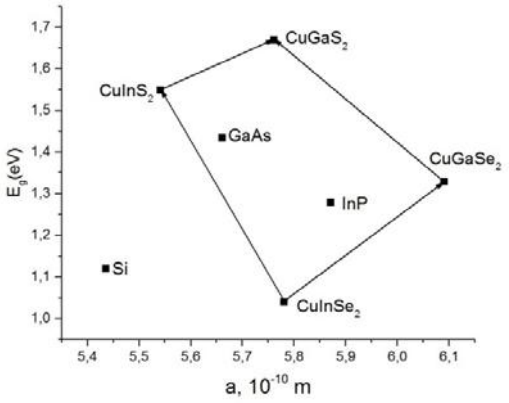
Bərpa olunan enerji mənbələrindən enerji alınmasının ən perspektivli üsullarından biri günəş enerjisinin yüksək effektivli yarımkeçirici mis tərkibli xalkogenid yarımkeçirici materialları əsasında fotoelektrik çeviricilərinin işlənib hazırlanması hesab olunur. Bu sistemlərin effektivliyinin, enerjiyə sərf olunan xərclərin gözlənilən miqdarda azaldılması ilə enerjinin çevrilmə effektivliyinin ənənəvi silisium günəş elementlərinin effektivliyinə nisbətən 2 - 3 dəfə artırılması nəzərdə tutulur [8,10].

Günəş elementləri üçün ən perspektivli materiallar kimi, yüksək optik uduculuq qabiliyyətinə malik, qadağan zonası (şəkil 1) tərkibdən asılı olaraq 1.0 eV-dan 2.4 eV-a qədər dəyişən $Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ (CIGSS) materialları istehsal dəyəri ucuz başa gələn III nəsil günəş elementlərinin istehsalında geniş tətbiq olunur. CIGSS nazik təbəqələrində Ga və ya S-in təbəqələrin qalınlaşması ilə tədricən konsentrasiyalarınn artması ilə E_g-si dəyişən profilə malik aktiv oblast yaratmaq olar ki, günəş elementlərində düşən şüalarının təsiri nəticəsində generasiya edən fotoçütlərin p-n heterosərhəddində effektiv ayrılmalarına E_g-nin varizon olmasından irəli gələn "dartıcı sahə" effekti də əlavə olunur və bunun nəticəsində bu materiallar əsasında daha effektiv günəş elementlərinin alınmasına şərait yaranır [7, 11]. Nazik təbəqəli CIGSS əsaslı günəş elementlərində Ga/(In + Ga) nisbətini dəyişməklə də bu materialların qadağan zonasının qiymətini idarə etmək mümkündür. Effektiv günəş elementlərinin alınması üçün Ga/(In+Ga)<1 olmalıdır. Bu nisbət günəş elementlərinin keyfiyyət kriteriyası hesab olunmalıdır.

Bu günə qədər beşqat $Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ birləşmələri əsasında müxtəlif heterokeçidlər hazırlanmışdır. Təqdim edilən məqalədə arqon atmosferində maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmış $GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ heterokeçidlərinin elektrik və fotoelektrik xassələrinin tətqiqi yer alır. İşdə altlıq material kimi həm n, həm p tip keçiriciliyə, (100) və (111) müstəvisi istiqamətində üstün oriyentasiyaya malik GaAs - dən istifadə edilmişdir [1, 3]. Şəkil 2-dən göründüyü kimi GaAs kristalının qəfəs parametrləri $Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$-in qəfəs parametrləri ilə üst-üstə düşür. Bu da alınan $Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ nazik təbəqələrinin çoxkaskadlı günəş elementlərində uducu təbəqə kimi istifadəsini aktual edir [5].



Şəkil 1. Cu $(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)_2$ materiallarında qadağan zonanın tərkibdən (x,y)asılılığı.



Şəkil 2. A_3B_5, A_2B_6, $A_2B_3C_6^2$ yarımkeçiriciləri üçün E_g-nin kristallik qəfəs parametrinin qiymətindən asılılığı.

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

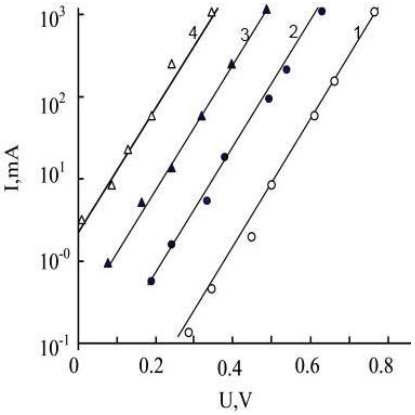
Təcrübənin texniki üsulları

GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterokeçidləri Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ təbəqələrini yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası ($n=9\cdot10^{15}sm^{-3}$) tərtibində olan GaAs-in səthinə maqnetron tozlandırılması metodu ilə çökdürülərək alınmışdır. Eyni vaxtda optik ölçmələr, keyfiyyətə nəzarət, qalınlıq və təbəqə tərkibini müəyyən etmək üçün şüşə və poliamid altlıqlar üzərində Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ nazik təbəqələri alınmışdır. Hədəf kimi müxtəlif tərkibli Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ materialların preslənmiş tozlarından istifadə edilmişdir. Təbəqələrin Rentgen difraksiya təsvirləri göstərmişdir ki, (111) müstəvisində üstün istiqamətə malik GaAs-in səhtində (112) müstəvisində üstün oriyentasiyaya malik monokristal Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ təbəqələri böyüyür [7, 12].

Bu heterokeçidləri digər üsullarla, məsələn GaAs altlığı üzərində əvvəlcədən çəkilmiş Cu-In-Ga metal prekursorlarının xalkogen (selen, kükürd) atmosferində yüksək temperaturda (800-900 K-dən çox) termik işlənməsi ilə almaq mümkündür. Ancaq bu zaman temperaturun artması ilə selen və kükürdün GaAs materialına diffuziyası baş verir. Bu zaman kəskin heterokeçid alınmır. Ancaq maqnetron tozlandırılması prosesinin yüksək temperaturda getmədiyinə görə həmin elementlərin altlığa diffuziyası baş vermir. Bu üsulla hazırlanmış epitaksial təbəqələr güzgü səth morfologiyasına malik olur [2,4].

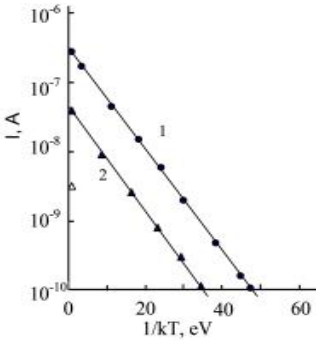
Eksperimental nəticələr və onların müzakirəsi

Tədqiq etdiyimiz n-GaAs/p-Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$ heterokeçidlərinin volt- amper xarakteristikası şəkil 3-də verilmişdir. Cərəyanın düz istiqaməti heterokeçidinn Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$ təbəqəsinin cərəyan mənbəyinin müsbət qütbünə qoşulması ilə alınmışdır. Göründüyü kimi temperatur və gərginliyin aşağı qiymətlərində (T 288 K-da U<0.7V) cərəyan eksponensial şəkildə artır. Eksponensial hissələri meylləri temperaturdan asılı deyil [4].

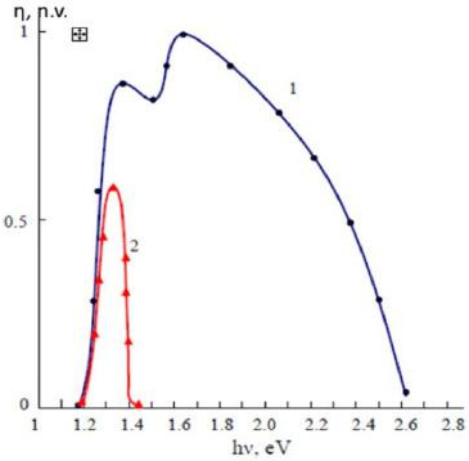


Şəkil 3. p-Cu(In_{1-x}Gax)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterokeçidinin yarımloqarifmik miqyasda volt-amper xarakteristikasının düz budaqlarının temperatur asılılığı. Burada T=300 K (1), 340 K (2), 30 K (3), T=420 K (4)

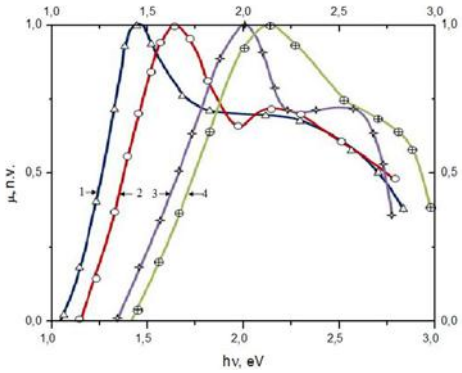
Şəkil 4-də n-GaAs/p- Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)$Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$ heterokeçidinin tərs cərəyan (əyri 1, U=1,0 V-də) və doyma cərəyanının (əyri 2) temperaturdan asılılıqları göstərilmişdir. Şəkildən görürük ki, tərs cərəyan və doyma cərəyanı J ~exp (-E_a / kT) qanunu ilə dəyişir. Burada, E_a - 0.80 eV aktivləşmə enerjisidir. Bu enerji baryerlərinin hündürlüyünə uyğundur. Qısaqapanma zamanı cərəyan sıxlığı və açıq dövrə gərginliyi uyğun olaraq $J_{q.c}$ = 30mA/sm^2, $U_{a.d}$ = 0.7 V-dur [2].



Şəkil 4. 1.0 V gərginlik altında p-CuIn$_{0.86}$Ga$_{0.14}$(Se$_{0.8}$S$_{0.2}$)$_2$/n-GaAs heterokeçidində düz (1) və əks cərəyanın (2) temperatur asılılığı.



Şəkil 5. T = 300 K-da p-Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$/n-GaAs heterokeçidinin qısaqapanma cərəyan sıxlığının spektral asılılıqları. 1 və 2 əyriləri uyğun. olaraq Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$ təbəqəsi və GaAs altlığı tərəfdən işıqlandırılmaya uyğundur.



Şəkil 6. T=300 K-da GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterokeçidlərinin nisbi vahidlərlə kvant effektivliyi. Burada 1) x=0, y=0; 2) x=0,07, y=0,1; 3) x=0,22, y=0,3; 4) x=0,32; y=0,4; 5) x = 0,8, y = 0,7.

Şəkil 5-də n-GaAs/p-Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$ heterokeçidinin təbəqə və altlıq tərəfdən işıqlandırılması zamanı fotohəssaslığın spektral asılılığı verilmişdir. Göründüyü kimi heterokeçid (0.48 – 1) mkm dalğa uzunluğu diapazonunda fotohəssaslıq göstərir. Heterokeçidin fotohəssaslığının qısa dalğalar tərəfə sürüşməsi Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$ təbəqələrinin kifayət qədər nazik (~100 nm) olması ilə əlaqədardır. GaAs-in qadağan zonasının qiymətindən kiçik enerjili kvantlar nazik Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$ təbəqələrindən keçərək GaAs-də udulur. Təbəqə tərəfdən işıqlandırılma zamanı alınan fotohəssaslıq altlıq tərəfdən işıqlandırılma zamanı alınan fotohəssaslıqdan xeyli böyük olur (əyri 2). Spektral həssaslığın belə olması elektromaqnit şüalanmasının (0.9 - 1,0) mkm dalğa uzunluqları diapazonunda həssas seçici (selektiv) işıq fotodiodlarının yaradılmasına imkan verir. Bundan başqa Cu($In_{0.86}Ga_{0.14}$)($Se_{0.8}S_{0.2}$)$_2$-də deşik daşıyıcılarının konsentrasiyasının yüksək ($10^{17}sm^{-3}$-dən çox) olmasına görə diffuziya potensialının əsas hissəsi GaAs tərəfə düşür. Buna görə də GaAs-də yaranmış fotodaşıyıcılar daha effektli şəkildə ayrılır [3].

Şəkil 6-da GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterokeçidlərinin nisbi vahidlərlə kvant effektivliyi göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ nazik təbəqələrinin qadağan zonasının eninin qiyməti tərkibdə Ga və S - in miqdarının çoxalması ilə artır. Buna görə də, onların artması ilə həssaslığın kənarı qısa dalğalara doğru sürüşür. Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ əsaslı heterokeçidlərin spektral tərkibi onların çoxkaskadlı heterokeçidli günəş elementlərində bufer təbəqə kimi istifadəsini mümkün edir [1, 10].

Nəticə

GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterokeçidlərinin alınması, onların elektrik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqi göstərdi ki, maqnit sistemləri sürüşdürülmüş iki maqnetrondan eyni zamanda tozlandırma üsulu güzgü səth morfologiyasına malik mürəkkəb tərkibli xalkopirit birləşmələrin epitaksial nazik təbəqələrinin yetişdirilməsi üçün istifadə oluna bilər. Alınmış GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterokeçidlərinin yüksək fotohəssaslığı göstərmişdir ki, epitaksial təbəqələrin təsvir olunan böyümə rejimlərində alınan heterokeçidlər kəskin olub və sərhəd hallarının rolu əhəmiyyətsizdir.

[1] *Ч.Э. Сабзалиева.* Energetikanın problemləri №1, 2020, s.60-64.

[2] *Ч.Э. Сабзалиева.* Energetikanın problemləri №4, 2019, s.31-35.

[3] *N.N.Mursakulov,N.N.Abdulzade,S.G.Nuriyeva, Ch.E. Sabzaliyeva.* Electrical and Photovoltaic properties of GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterojunctions "16 th İnternational and Physical Problrms of Electrical Engineering" İstanbul Rumeli University, İstanbul, Turkey 12-13 October 2020 Number 01 . p.1-6.

[4] *Н.Н. Абдулзаде,С.Т. Агалиева,Д.А. Ахмедова, Н.Н. Мурсакулов, Ч.Э. Сабзалиева.* Согласующиеся по параметру кристаллической решетки GaAs/$CuIn_xGa_{1-x}$(Se_yS_{1-y}) гетеропереходы. Energetikanın problemləri №3, 2019, s. 53-58.

[5] *N.N. Abdulzadə, V.M. Andreev, D.A. Əhmədova, N.N. Mursakulov, Ç.E. Səbzəliyeva, M. Yakuşev.* CIGSS əsaslı konsentratorlu günəş çeviriciləri. AJP. v.XXIV, №3, 2018, s. 165-167.

[6] *N.N. Abdulzadə, S.T. Ağaliyeva, K.Ə. Əsgərova, D.A. Əhmədova, Ç. E. Səbzəliyeva, A.K.Zamanova, N.N. Mursakulov.* AJP FİZİKA, section: Az,2018, v. XXIV, p.13-17.

[7] *E.P. Zaretskaya, V.F. Gremenok, A.P. Odrinsky, N.N. Abdulzade, N.N.Mursakulov, Ch.E. Sabzaliyeva.* Structure and electrical activity of structure defects of Cu(In_xGa_{1-x})($S_{1-y}Se_y$)$_2$ thin films. Azerbaijan Journal of Physics. 2012, v. XVIII, p. 20-23.

[8] *E.P. Zaretskaya, V.F.Gremenok, N.N. Mursakulov, N.N.Abdulzade, Ch.E.Sabzaliyeva.* Influence of the preparation conditions on the properties of Cu(In,Ga)(S,Se) thin films obtained by two-step growth. 17 th International Conference on Ternary and Multinary Compounds Abstracts, İnstitute of Physics AzerbAijan National Academy of Science Baku. 27-30 Septemper, 2010. p.18.

[9] *E.P. Zaretskaya, V.F.Gremenok, I.A. Ivanov, V.B. Zalesski, N.N. Mursakulov, N.N. Abdulzade, Ch. E. Sabzaliyeva.* Experimental study of Cu(In_xGa_{1-x})($Se_{1-y}S_y$)$_2$ Thin film for Solar Cell application. AJP. v. XVI, № 2, 2010, p. 403-407.

[10] *Niyazi N. Mursakulov, Nigar N. Abdulzade, Sakin H. Jabarov, Chinara E. Sabzalieva.* Investigation of $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ thin films for solar cells obtained by the magnetron sputtering method from two magnetrons shifted to each other. New Materials, Compounds and Applications Vol.6, No2, 2022, p1-7.

[11] *В.Ф. Гременок, В.Б. Залесский, Н.Н. Мурсакулов, М.С. Тиванов.* Тонкопеночные элементы на основе полупроводниковых материалов Cu(In,Ga)(Se,S)$_2$ со структурой халькопирита. Баку, 2013, 655(07), с. 147-160.

[12] *N.N.Abdulzadə,V.F.Gremenok,N.N.Mursakulov, Ch.E. Sabzaliyeva, E.P. Zaretskaya.* Growth and optical properties of Cu(In,Ga)Se_2 thin films on flexible metallic foils. 20 th International Conference on Ternary and Multinary Compounds. 2016, Halle.

Ch.E. Sabzalieva, N.N. Abdulzade, A.M. khankishieva, N.N. Mursakulov

ELECTRICAL AND PHOTOELECTRIC PROPERTIES OF GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$

GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterojunction were obtained by magnetron sputtering method from two magnetrons shifted towards magnetic systems. In this paper, are given the results of the study of electrical and photoelectric properties of (CIGSS) GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ heterojunctions. To obtain heterojunctions, GaAs substrates with (100) and (111) orientation planes, with n - and p - type conductivity, charge carrier concentration $9\cdot10^{16}$ cm^{-3}, obtained by magnetron sputtering method were used. Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ thin films were obtained on glass and polyamide substrates for simultaneous optical measurements, quality control, and determination of thickness and layer composition.

Ч.Э. Сабзалиева, Н.Н. Абдулзаде, А.М. Ханкишиева, Н.Н. Мурсакулов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$, ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ

Твердые растворы Cu(In,Ga)(Se,S)$_2$ (CIGSS) были получены методом распыления из двух магнетронов со смещенными друг к другу магнитными системами. В данной статье приведены результаты исследования электрических и фотоэлектрических свойств гетеропереходов (CIGSS) GaAs/Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$. Для получения гетеропереходов использовались подложки GaAs с превосходящими ориентационными плоскостями (100) и (111), проводимостью n- и p-типа, концентрацией носителей заряда $9\cdot10^{16}$ $см^{-3}$, полученные методом магнетронного распыления. Тонкие пленки Cu($In_{1-x}Ga_x$)($Se_{1-y}S_y$)$_2$ были получены на стеклянных и полиамидных подложках для проведения одновременных оптических измерений, контроля качества, определения толщины и состава слоев.

Qəbul olunma tarixi: 22.05.2024