

GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ HETEROKEÇİDLƏRİNİN ELEKTRİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

Ç.E. SƏBZƏLİYEVƏ¹, N.N. ABDULZADƏ¹, A.M. XANKİŞİYEVƏ¹,
N.N. MURSAKULOV^{1,2}

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

²Azərbaycan 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 heteroqəçidlər maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetronun tozlandırma üsulu ilə alınmışdır. Bu məqalədə (CIGSS) GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ heteroqəçidlərinin elektrik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqindən alınan nəticələr verilmişdir. Heteroqəçidləri əldə etmək üçün maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmış n- və p- tip keçiriciliyi olan, yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası $9 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$ 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, heteroqəçidlər.
PACS: 81.05.Hd, 84.60.Jt, 88.40.jn

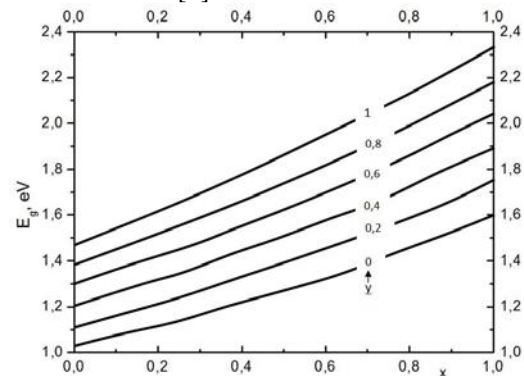
Giriş

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

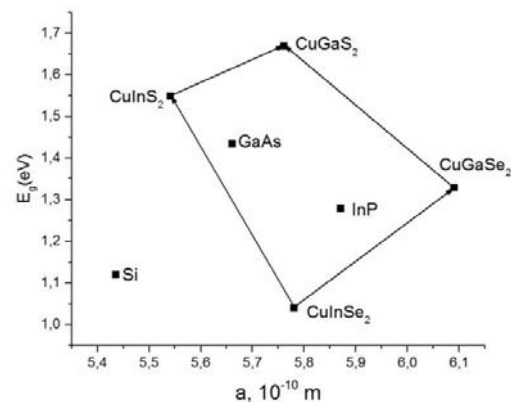
Günəş elementləri üçün ən perspektivli material kimi, yüksək optik uduculuq qabiliyyətinə malik, qadağan zonası (şəkil 1) tərkibdən asılı olaraq 1.0 eV-dan 2.4 eV-a qədər dəyişən Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ (CIGSS) materialları istehsal dəyəri ucuz başa gələn III nəsil günəş elementlərinin istehsalında geniş tətbiq olunur. CIGSS nazik təbəqələrində Ga və ya S-in təbəqələrin qalınlaşması ilə tədricən konsentrasiyalarının 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 ayrılmasına E_g -nin varizon olmasından irəli gələn "dərəcəli 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 $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga}) < 1$ 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 heteroqəçidlər hazırlanmışdır. Təqdim edilən məqalədə arqon atmosferində maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmış GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ heteroqəçidlərinin elektrik və fotoelektrik xassələrinin tədqiqi 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 görüldüyü 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 çoxkəskin 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 zonasının tərkibdən (x,y) asılılığı.



Şəkil 2. A₃B₅, A₂B₆, A₂B₃C₆² yarımkeçiriciləri üçün E_g -nin kristallik qəfəs parametrlərinin qiymətindən asılılığı.

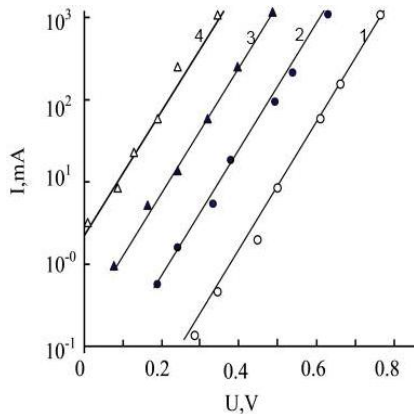
Təcrübənin texniki üsulları

GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ heteroqəçidləri Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ təbəqələrini yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası ($n=9 \cdot 10^{15} \text{sm}^{-3}$) 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 səthində (112) müstəvisində üstün oriyentasiyaya malik monokristal Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ təbəqələri böyüyür [7, 12].

Bu heteroqəçidləri 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 heteroqəçid alınır. Ancaq maqnetron tozlandırılması prosesinin yüksək temperaturda getmədiyinə görə həmin elementlərin altlığa diffuziyası baş vermir. Bu üsulla hazırlanmış epitaksial təbəqələr güzgü səth morfolojiyasına malik olur [2,4].

Ekspərimental nəticələr və onların müzakirəsi

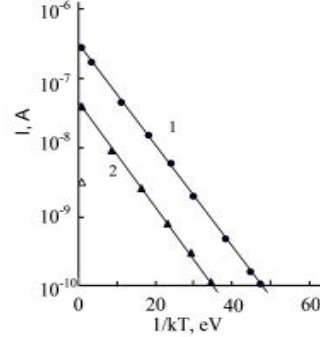
Tədqiq etdiyimiz n-GaAs/p-Cu(In_{0.86}Ga_{0.14})(Se_{0.8}S_{0.2})₂ heteroqəçidlərinin volt- amper xarakteristikası şəkil 3-də verilmişdir. Cərəyanın düz istiqaməti heteroqəçidinn Cu(In_{0.86}Ga_{0.14})(Se_{0.8}S_{0.2})₂ təbəqəsinin cərəyan mənbəyinin müsbət qütübünə qoşulması ilə alınmışdır. Göründüyü kimi temperatur və gərginliyin aşağı qiymətlərində ($T=288 \text{ K}$ -da $U < 0.7 \text{ V}$) cərəyan eksponensial şəkildə artır. Eksponensial hissələri meylləri temperaturdan asılı deyil [4].



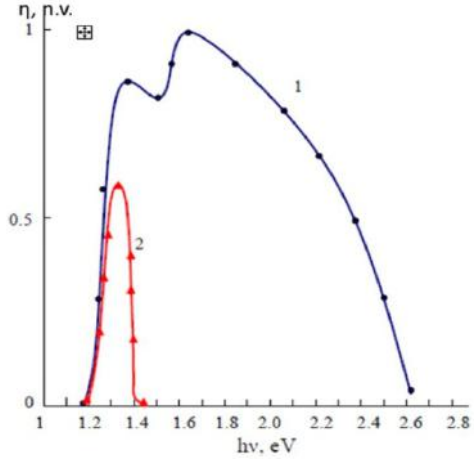
Şəkil 3. p-Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ heteroqəçidinin yarımqərifmik miqyasda volt- amper xarakteristikasının düz budaqlarının temperatur asılılığı. Burada $T=300 \text{ K}$ (1), 340 K (2), 30 K (3), $T=420 \text{ K}$ (4)

Şəkil 4-də n-GaAs/p- Cu(In_{0.86}Ga_{0.14})Se_{0.8}S_{0.2})₂ heteroqəçidinin tərs cərəyan (əyri 1, $U=1,0 \text{ V}$ -də) və

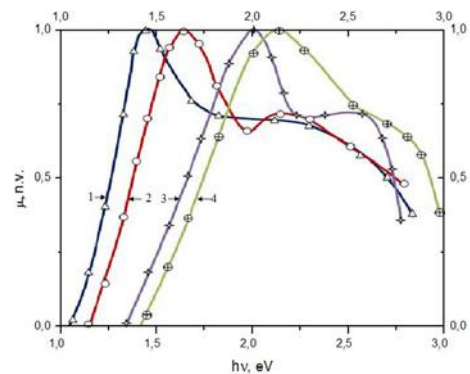
doyma cərəyanının (əyri 2) temperaturdan asılılıqları göstərilmişdir. Şəkildən görürük ki, tərs cərəyan və doyma cərəyanı $J \sim \exp(-E_a/kT)$ qanunu ilə dəyişir. Burada, $E_a = 0.80 \text{ eV}$ aktivləşmə enerjisidir. Bu enerji baryerlərinin hündürlüyünə uyğundur. Qısaqapanma zamanı cərəyan sıxlığı və açıq dövrə gərginliyi uyğun olaraq $J_{q.c} = 30 \text{ mA/sm}^2$, $U_{a.d} = 0.7 \text{ V}$ -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 heteroqəçidində düz (1) və əks cərəyanın (2) temperatur asılılığı.



Şəkil 5. $T = 300 \text{ K}$ -da p-Cu(In_{0.86}Ga_{0.14})(Se_{0.8}S_{0.2})₂/n-GaAs heteroqəçidinin qısaqapanma cərəyan sıxlığının spektral asılılıqları. 1 və 2 ayrılırı 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. $T=300 \text{ K}$ -da GaAs/Cu(In_{1-x}Ga_x)(Se_{1-y}S_y)₂ heteroqəçidlərinin 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 ftohəssaslığın spektral asılılığı verilmişdir. Göründüyü kimi heterokeçid (0.48 – 1) mkm dalğa uzunluğu diapazonunda ftohəssaslıq göstərir. Heterokeçidin ftohəssaslığının 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 ftohəssaslıq altlıq tərəfdən işıqlandırılma zamanı alınan ftohəssaslıqdan 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 dəşik daşıyıcılarının konsentrasiyasının yüksək (10¹⁷sm⁻³-dən çox) olmasına görə diffuziya potensialının əsas hissəsi GaAs tərəfə düşür. Buna görə də GaAs-də yaranmış fotodaşıyıcılar daha effektiv 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 morfolojiyasına 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 ftohəssaslığı göstərmişdir ki, epitaksial təbəqələrin təsvir olunan böyümə rejimlərində alınan heterokeçidlər kəskin olub və sərhəd hallarının rolu əhəmiyyətsizdir.

- [1] Ч.Э. Сабзалиева. Энергетиканын problemləri №1, 2020, s.60-64.
- [2] Ч.Э. Сабзалиева. Энергетиканын 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 International and Physical Problems of Electrical Engineering” Istanbul Rumeli University, Istanbul, Turkey 12-13 October 2020 Number 01 . p.1-6.
- [4] H.H. Абдулзаде, С.Т. Агалиева, Д.А. Ахмедова, H.H. Мурсакулов, Ч.Э. Сабзалиева. Соглашающиеся по параметру кристаллической решетки GaAs/CuIn_xGa_{1-x}(Se_yS_{1-y}) гетеропереходы. Энергетиканын 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. Od-rinsky, 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. 17th International Conference on Ternary and Multinary Compounds Abstracts, Institute of Physics Azerbaijan National Academy of Science Baku. 27-30 September, 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. Sabzaliyeva. Investigation of CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ 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, H.H. Мурсакулов, М.С. Тиванов. Тонкопленочные 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)Se₂ 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 $9 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, 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 смешанными 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 $9 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, 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