

# MAQNİT SİSTEMLƏRİ SÜRÜŞDÜRÜLMÜŞ İKİ MAQNETRONDAN TOZLANDIRILMA ÜSULU İLƏ NAZİK TƏBƏQƏLİ GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİ ÜÇÜN $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ TƏBƏQƏLƏRİNİN ALINMASI VƏ TƏDQIQI

N.N. ABDULZADƏ, S.T. AĞALIYEVA, K.Ə. ƏSGƏROVA, D.A. ƏHMƏDOVA,  
Ç. E. SƏBZƏLİYEVA, A.K. ZAMANOVA, N.N. MURSAKULOV

AMEA-nın Fizika institutu, AZ-1143, Bakı, H.Cavid pr., 33

[nabdulzade@inbox.ru](mailto:nabdulzade@inbox.ru)

Maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetronun eyni zamanda tozlandırılma üsulu ilə nazik təbəqəli günəş elementlərində (GE) uducu təbəqə kimi tərkibi tələb olunan  $(\text{Ga}/(\text{Ga}+\text{In}))$  nisbətində malik  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  (CIGSe) nazik təbəqələrin alınması imkanları tədqiq edilmişdir. Bu üsuldən istifadə etməklə, texnoloji rejimin seçilməsindən asılı olaraq,  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  materialından ibarət təbəqənin qalınlaşması istiqamətində qadağan zonası böyüyən və ya kiçilən  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  (CIGSe) təbəqələrinin alınması imkanları araşdırılmışdır.

**Açar sözlər:** CIGS, halkopiritlər, nazik təbəqələr, fotovoltaika, günəş elementləri,  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  (CIGSe) uducu təbəqə.

**PACS:** 81.05.Hd, 84.60.Jt, 88.40.fc, 88.40.jn

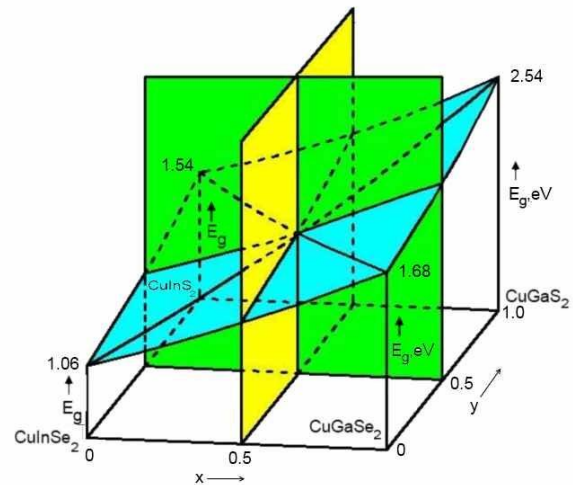
## GİRİŞ.

Günəş elementləri (GE) üçün ən perspektivli material kimi, yüksək optik uduculuq keyfiyyətlərinə malik, radiasiyaya davamlı, qadağanolma oblastı (şəkil 1 və şəkil 2) tərkibdən ( $x$  və  $y$ -in qiymətlərindən) asılı olaraq geniş diapazonda, yəni 1.0 eV-dan 2.4 eV-a qədər dəyişən  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x(\text{Se}_{1-y}\text{S}_y)_2$  (CIGSS) materialları istehsal dəyəri ucuz başa gələn III nəsəl günəş çeviricilərinin istehsalında geniş tətbiq olunur.

Bu sahədə elmi ədəbiyyatın tədqiqatından görünür ki,  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x(\text{Se}_{1-y}\text{S}_y)_2$  (CIGSS) nazik təbəqələrinin sənaye üsulu ilə alınmasının ən müasir üsulu müxtəlif altlıqlar üzərində əvvəlcədən çəkilmiş Cu-In-Ga nazik təbəqələrinin halkogen (selen, kükürd) atmosferində dəmlənməyə qoyulmasıdır [1-7]. CIGSS materialları əsasən ən yüksək effektivliyə malik günəş elementləri halkopirit strukturlu  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  dördqat mis birləşmələrinə əsaslanan uducu təbəqələri olan günəş elementləri əsasında alınmışdır (21.7%) [7]. Bu metodun əsas problemlərindən biri birləşməyə daxil olan elementlərin reaksiya sürətlərinin müxtəlifliyindən irəli gələn Ga elementinin arxa tərəfdəki kontakt funksiyasını daşıyan Mo-təbəqəyə tərəf diffuziyasının yüksək olması və eyni zamanda daha böyük seqreqasiya əmsalına malik olmasıdır. Bu hadisənin nəticəsində ikiqat təbəqənin, yəni  $\text{CuGaSe}_2$  fazası üzərində  $\text{CuInSe}_2$  təbəqəsinin formalaşmasına səbəb olur. Ga ilə zənginləşmiş oblastın mikrostrukturunun In ilə zənginləşmiş oblastından fərqi kiçik kristalciqlik (kristalciqlərin ölçüsü 0,2 mkm-i aşmır) və daha məsaməli olmasıdır. Bu xüsusiyyət kristallik zərrəciklərin ayrılma sərhədlərinin aktivliyinin yüksək olmasına gətirib çıxarır ki, bu da yaradılan fotoçeviricilərin effektivliyinin azalmasına səbəb olur. Bundan başqa, galliumun arxa kontakt oblastında toplanması təbəqənin qalınlığı boyu əvvəlcədən nəzərdə tutulmuş zona quruluşuna (qadağan olma zolağının eni, sürətləndirici elektrik sahəsi və s.) malik yarımkeçirici materialın alınmasına çətinlik yaradır və həmin materialın optik xassələrinin variasiya edilməsini imkansız edir.

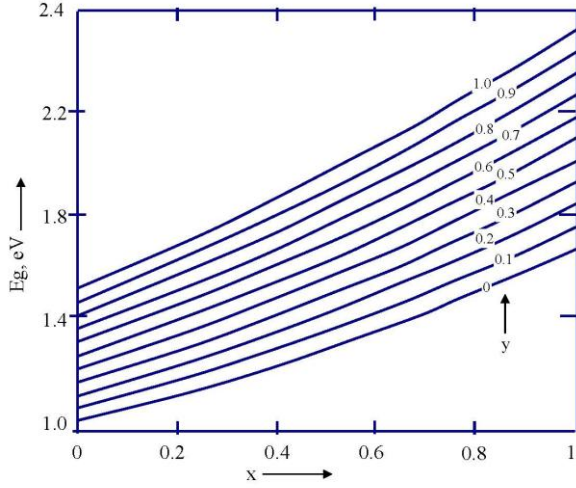
CIGSS materiallarının mikrostruktur, elektrik və optik xassələrinin onların alınma şəraitlərindən asılılığının tədqiqi əvvəlcədən verilmiş xassələrə malik materialların alınma texnologiyalarının optimallaşdırılmasına gətirə bi-

lər. Təcrübə zamanı Mo kontakt materialı üzərində Ga ilə zəngin CIGSS təbəqənin deyil, daha kiçik  $E_g$ -yə malik, In ilə zəngin materialın alınması texnologiyası işlənmişdir. İşdə maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetronun eyni zamanda tozlandırılma üsulu ilə nazik təbəqələrin alınma texnologiyasının işlənməsinə qarşımıza məqsəd qoymuşuq və yuxarıda [7] və digər işlərdə [2-6] Ga elementinin diffuziyası ilə qarşıya çıxan çatışmazlıqları aradan götürməyə çalışmışıq. Metal folqadan düzəldilmiş maskalardan istifadə etməklə, daitə şəklində alınan günəş elementlərinin səthinin sahəsi  $\sim 28 \text{ mm}^2$  təşkil etmişdir.



Şəkil 1. Mürəkkəb  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x(\text{Se}_{1-y}\text{S}_y)_2$  materiallarında qadağanolma oblastının materialın tərkibindən ( $x, y$ ) asılılığı.

Texnologiyanın təkmilləşdirilməsi ilə  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  materialının böyüməsi istiqamətində materialın qadağanolma zonasının dəyişən olması üçün texnoloji rejimlər araşdırılmış və təkmilləşdirilmişdir. Belə ki, texnoloji rejimin seçilməsindən asılı olaraq, təbəqənin qalınlaşması istiqamətində qadağan zonasının böyüməsi və ya kiçilməsi, yəni varizon strukturun alınması imkanları araşdırılmışdır. Alınmış təbəqələrin və onlar əsasında yaradılmış strukturların optik və fotoelektrik xassələri tədqiq olunmuşdur.



Şəkil 2.  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x(\text{Se}_{1-y}\text{S}_y)_2$  materiallarında qadağanolma oblastının materialın tərkibindən  $(x, y)$  asılılığı.

## TƏCRÜBƏNİN TEXNİKİ ÜSULLARI.

$\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  materialının alınması üsullarına, quruluşunun, fiziki xassələrinin tədqiqatına böyük miqdarda elmi işlər həsr olunmuşdur [1]. Eyni zamanda, belə bir mürəkkəb dördqat yarımqeçiricinin lazımı struktur və fiziki xassələri ilə yaradılması məsələsi adi bir məsələ deyildir. Buna görə, müxtəlif tədqiqat qrupları günəş elementləri üçün halkopirit təbəqələrinin sintezi üçün molibden, paslanmayan poladdan və ya şəffaf keçirici oksid təbəqələrin səthində və şüşə oturacaqlar üzərində sintez üsullarını geniş şəkildə inkişaf etdirir. Fiziki metodlar arasında halkopiritlərə daxil olan metalların prekursorlarının vakuuda termik buxarlandırma ilə və ya maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınması və sonradan həmin metal təbəqələrin selen buxarı mühitində selenizasiyası metodu daha geniş tətbiq olunur [2-7].

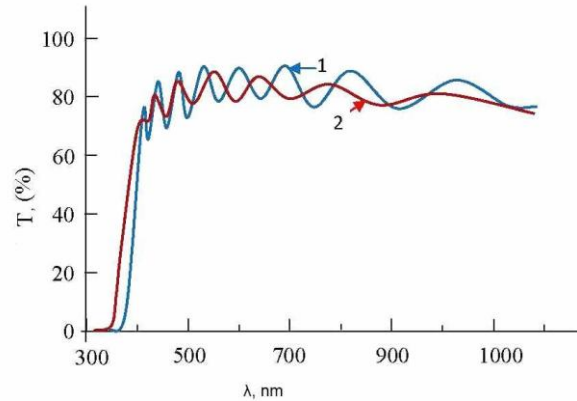
$\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$  nazik təbəqələri maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetron  $\text{CuInSe}_2$  və  $\text{CuGaSe}_2$  hədəflərinin eyni zamanda tozlandırılması üsulu ilə alınmışdır. Qalınlığı  $\sim 3\text{nm}$ , diametrlərləri isə  $50\text{mm}$ -ə bərabər olan  $\text{CuInSe}_2$  və  $\text{CuGaSe}_2$  materiallarından ibarət hədəflər materialların nanotozunun  $16\text{t}$  təzyiq altında pressləməklə alınmışdır.  $\text{CuInSe}_2$  və  $\text{CuGaSe}_2$  materiallarından ibarət hədəflərdən maqnetron tozlandırılması arqon mühitində aparılmışdır. Nazik  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$  təbəqələrinin tərkibindəki gallium və indiumun miqdarlarının  $(\text{Ga}/(\text{Ga}+\text{In}))$  nisbəti  $\text{CuInSe}_2$  və  $\text{CuGaSe}_2$  materiallarından təşkil edilmiş hədəflərdən eyni zamanda maqnetron tozlandırılması zamanı cərəyan boşalmalarının gücləri nisbəti ilə müəyyən edilir. Təbəqənin qalınlığı maqnetron tozlandırılması prosesinin müddəti ilə təyin olunur. Nazik  $\text{CuInSe}_2$  təbəqələrinin qalınlığının maqnetron tozlandırılması zamanı qaz boşalmasındakı cərəyandan və tozlandırma müddətindən asılılığı

$$h_{\text{CuInSe}_2}(\text{nm}) = 0.28 \cdot I_1(\text{mA}) \cdot t(\text{dəq}) \quad (1)$$

$$h_{\text{CuGaSe}_2}(\text{nm}) = 0.25 \cdot I_2(\text{mA}) \cdot t(\text{dəq}) \quad (2)$$

düsturları ilə müəyyən edilir. Burada, effektiv maqnetron tozlandırılması alışma cərəyanlarının  $I_1 \sim (120-160)\text{mA}$ ,  $I_2 \sim (100-130)\text{mA}$  qiymətlərində baş verir.

Molibden həm alt  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$  təbəqəsi, həm də üst  $\text{ZnO}:\text{Al}$  təbəqəsi ilə omik kontakt əmələ gətirdiyindən, bu kontakt maqnetron tozlandırılması üsulu ilə molibden hədəfdən tozlandırma üsulu ilə alınmışdır. İşdə GE-nin yaradılması üçün bufer layı qismində  $\text{ZnO}$  istifadə edilmişdir. Zənnimizcə, bu material toksik texnologiyaya malik  $\text{CdS}$  və  $\text{ZnCdS}$  materiallarının alternativi ola bilər. Şəffaflaşdırıcı və yüksək elektrik keçiriciliyinə malik üst qat kimi isə alüminiumla aşqarlanmış  $\text{ZnO}:\text{Al}$  materialından istifadə edilmişdir. Nazik  $\text{ZnO}$  təbəqələri metallik  $\text{Zn}$  hədəfdən  $\text{Ar}+\text{O}_2$  mühitində maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmışdır. Üst  $\text{ZnO}:\text{Al}$  təbəqəsi isə iki maqnetron eyni zamanda  $\text{Zn}$  və  $\text{Al}$  hədəflərinin  $\text{Ar}+\text{O}_2$  qaz mühitində maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmışdır. Bu zaman  $\text{ZnO}:\text{Al}$  təbəqəsində alüminiumun konsentrasiyası  $\text{Zn}$  və  $\text{Al}$  materiallarından təşkil edilmiş hədəflərdən eyni zamanda maqnetron tozlandırılması zamanı cərəyan boşalmalarının gücləri nisbəti ilə müəyyən edilir. Təbəqənin qalınlığı maqnetron tozlandırılması prosesinin müddəti ilə təyin olunur.  $\text{ZnO}$  və  $\text{ZnO}:\text{Al}$  nazik təbəqələrinin optik buraxmasının elektromaqnit şüalanmasının dalğa uzunluğundan asılılığı şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. Müxtəlif katod potensiallarında çökdürülmüş  $\text{ZnO}$  (1) və  $\text{ZnO}:\text{Al}$  (2) nazik təbəqələrinin optik buraxma spektrləri

## EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ.

Şüşə oturacaqlar üzərinə çəkilmiş etalon  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  nazik təbəqələrinin optik xassələri təbəqələrin işığı buraxma ( $T$ ) və əksətmə ( $R$ ) spektrlərinin ölçülməsi vasitəsi ilə öyrənilmişdir. Otaq temperaturunda  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  nazik təbəqəsinin buraxma ( $T$ ) spektrindən nümunələrin  $T$  əmsalının yaxın infraqırmızı ( $\text{İQ}$ ) oblastdakı buraxılma əmsalı  $\sim 35-40\%$  təşkil edir, və məxsusi udulma kəndarında udulma qısa dalğalar istiqamətində kəskin artır.  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  materialında  $\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$  nisbəti artdıqca, udulma kəndarı qısa dalğalar oblastına sürüşür.  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  nazik təbəqələrində udulma əmsalı materialdan keçən və ondan əks olunan şüaların spektrlərdən istifadə etməklə (3) ifadəsinin vasitəsi ilə hesablanmışdır [8-10]:

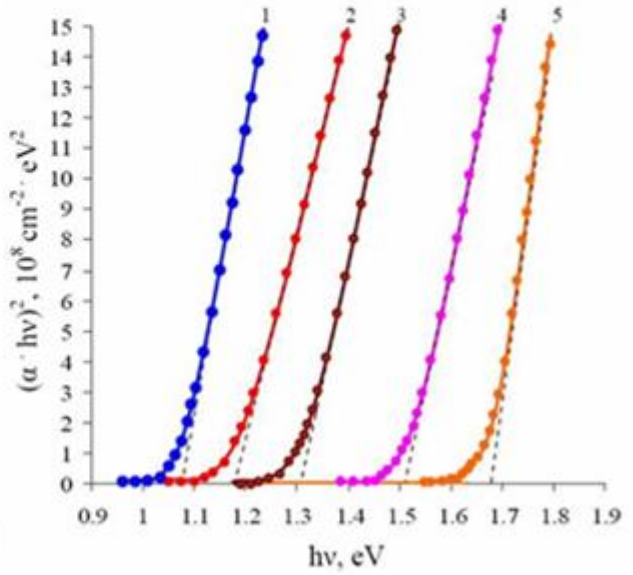
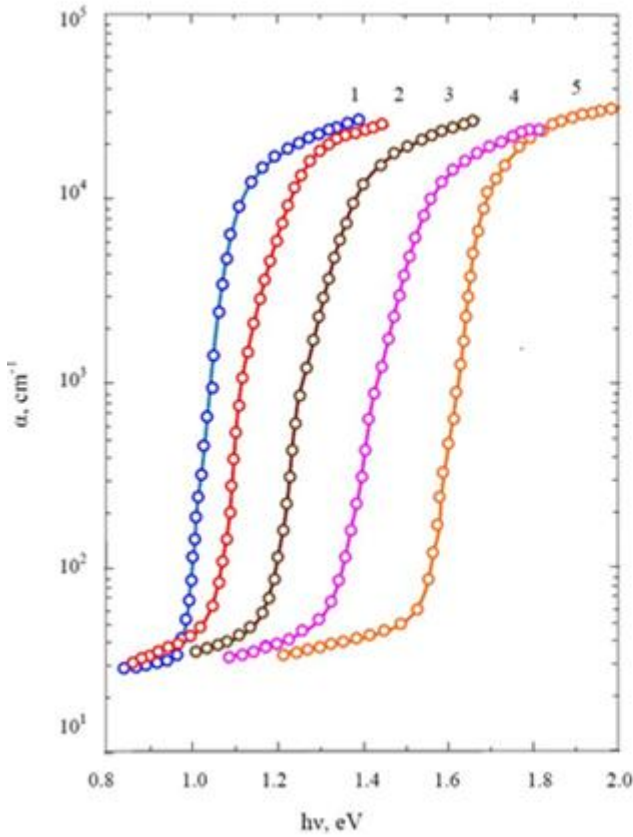
$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \frac{\sqrt{(1-R)^4 + 4T^2R^2} + (1-R)^2}{2T}, \quad (3)$$

burada  $\alpha$  – udulma əmsalı,  $d$  – təbəqənin qalınlığı,  $T$  və  $R$  – şüanın uyğun olaraq materialdan keçmə və əks olunma əmsallarıdır. Əksətmə spektri fotonların 1-2 eV diapazonunda aparılmışdır və  $R$  əksətmə əmsalının qiyməti bu oblastda  $Ga/(Ga+In) \sim 0.2$  tərkibə malik təbəqə üçün 0.2 ətrafındadır. Yarımkəçirici materialın energetik zonasında keçid düzünə baş verirsə, işığın udulma əmsalı düşün fotonun  $h\nu$  enerjisininin funksiyasıdır və aşağıdakı tənliklə ifadə olunur. [8]:

$$\alpha = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (4)$$

Burada  $E_g$  - optik qadağan zonasının eni,  $A$  – sabitdir.  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$  təbəqəsinə məxsus optik qadağanolma zonası  $(\alpha(h\nu))^2$  spektral asılılığın xətti hissəsinin fotonluq enerjisini xarakterizə edən  $(h\nu, (eV))$  oxuna ekstrapolyasiyası vasitəsi ilə təyin edilmişdir. Tərkibi  $x=0$  olan təbəqələr üçün buraxma spektri vasitəsi ilə təyin edilən  $E_g \sim 1,08 eV$  təşkil edir.  $E_g$  - nin bu qiyməti nümunələrin (3-4 dəfə) nazik olması ilə əlaqədardır. Şəkil 4-də şüşə altlıq üzərində tərkibi  $x=0$  (1), 0.2 (2), 0.4 (3), 0.7(4), 1.0 (5) olan  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$  təbəqələrinə aid  $(\alpha h\nu)^2$  kəmiyyətlərinin  $h\nu$ -dən asılılığı verilmişdir. Şəkiləndən müşahidə etmək olur ki,  $x$ -in artması ilə  $E_g$ -artır və bu artma (5) ifadəsindəki kimi xətti qanunla baş verir:

$$E_g(CuIn_{1-x}Ga_xSe_2) = 1.08 + 0.6x \quad (5)$$



Şəkil 4. Şüşə oturacaqlar üzərində alınmış nazik  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$  təbəqələrində udulma əmsalı (a) və  $(\alpha h\nu)^2$ -nin (b) fotonun  $h\nu$  enerjisindən asılılıqları. Burada təbəqədə komponentlərin nisbəti:  $Ga/(Ga+In)=0$  (1), 0,2 (2), 0,4 (3), 0,7 (4) və 1,0 (5) təşkil edir.

İki maqnetronun eyni zamanda maqnetron tozlandırılması üsulu ilə alınmış nazik  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$  təbəqələrinin optik xassələrinin tədqiqinin nəticələrinə əsasən o qənaətə gəlmək olur ki, tətbiq olunan metodla keyfiyyətcə tələb olunan xassələrə malik təbəqələr almaq olur və  $Ga$  elementinin diffuziyası ilə qarşıya çıxan çatışmazlıqları aradan qaldırmaq mümkündür. Ayrıca  $CuInGa$  prekursorlarının alınmasına və onların  $Se$  və  $S$  mühitində yüksək temperaturlarda uzunmüddətli temperatur işlənməsinə ehtiyac yoxdur.

Təqdim etdiyimiz bu iş maqnet sistemləri bir-birinə tərəf sürüşdürülmüş iki maqnetronun eyni zamanda maqnetron tozlandırılması üsulu ilə  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$  (CIGS) təbəqələrin alınması imkanları tədqiq edilmişdir. Texnolo-

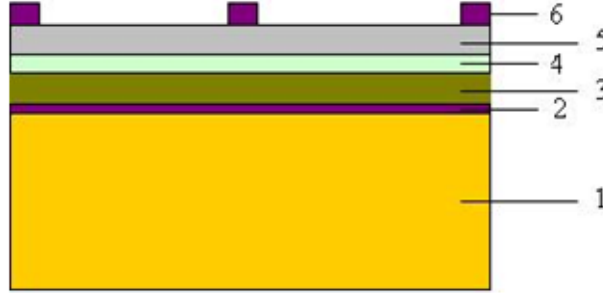
giyanın təkmilləşdirilməsi ilə  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$  materialının böyüməsi istiqamətində materialın qadağanolma zonasının dəyişən olması üçün texnoloji rejimlər araşdırılmış və təkmilləşdirilmişdir. Belə ki, texnoloji rejimin seçilməsindən asılı olaraq, təbəqənin böyümə istiqamətində qadağanolma zonasının böyüməsinin və ya kiçildilməsinin, yəni varizon strukturun alınması imkanları araşdırılmışdır. Alınmış təbəqələrin və onlar əsasında yaradılmış strukturların optik və fotoelektrik xassələri tədqiq olunmuşdur.

#### GÜNƏŞ ELEMENTİNİN (GE) QURULUŞU.

Uducu layı  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$  materialından ibarət GE-nin tipik quruluşu şəkil 5-də verilmişdir. GE-ləri ən çox

şüşə, paslanmayan poladdan olan metallik folqa və polimid plyonkalardan ibarət oturaclar üzərində yaradılmışdır. Günəş elementində alt kontakt qismində molibden təbəqəsindən istifadə edilmişdir. Molibden təbəqəsinin üzərinə aktiv təbəqə, yəni əsas uducu təbəqə qismində  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  təbəqəsi çəkilir. Növbəti, ~100 nm qalınlığa malik ZnO-dan ibarət bufer təbəqə hopdurulur. Bufer tə-

bəqənin üzərində isə 50-100 nm qalınlıqlı Al-un konsentrasiyası az olan ZnO:Al təbəqəsi çəkilir. Omik kontaktın formalaşdırılması üçün, tərkibində Al-un konsentrasiyası yüksək, qalınlığı 200-500 nm olan üst ZnO:Al təbəqəsi çəkilir. Ən sonuncu, molibdendən ibarət tor şəkilli omik kontakt təbəqə çəkilir.

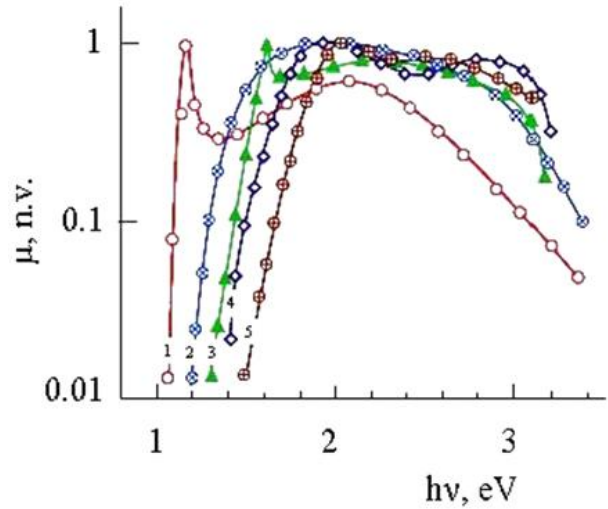


Şəkil 5. Nazik təbəqəli günəş elementinin quruluşu. Burada 1- oturaq (şüşə, paslanmayan dəmirdən folqa və ya poliamid plyonka) 2-omik alt kontakt (Mo), 3- uducu lay  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ , 4- bufer təbəqə (ZnO), 5- üst ZnO:Al kontakt təbəqə, 6- nazik təbəqəli molibdendən ibarət şəbəkəşəkilli üst kontakt.

Heteroquruluşlu GE-də bufer təbəqəsi qismində ədəbiyyatdan görüldüyü kimi, adətən CdS və ya CdZnS təbəqəsindən istifadə edilir. Qeyd etmək lazımdır ki, Cd və onun birləşmələri çox zəhərlidir. Bu işdə biz çalışmışıq ki, GE-ri üçün bufer layı qismində onlara alternativ kimi ZnO nazik təbəqələrindən istifadə edək və bunun əsas səbəbi kimi ZnO nazik təbəqələrinin kimyəvi cəhətdən dayanıqlı olması ilə bərabər, istehsal texnologiyasının ucuz və zəhərli olmamasını göstərə bilirik. ZnO-un üstün cəhətlərindən biri onlarda eksiton rabitə enerjisinin (60meV) böyük olmasıdır [6]. Eksiton rabitə enerjisinin bu cür böyük qiymətə malik olması ZnO nazik təbəqələrinin emissiya qabiliyyətini artırır ki, bu da onların optoelektronikada tətbiq imkanlarını mümkün edir. Alınma texnologiyalarının təkmilləşdirilməsinə baxmayaraq, ZnO nazik təbəqələrinin zəruri keçiriciliyə malik nümunələrinin alınması problem olaraq qalmaqdadır. N-tip keçiriciliyə malik ZnO-da III qrup elementlərinin valent elektronlarının sayının Zn atomundakılardan çox olması səbəbindən Al, Ga və In ZnO-da donordurlar. Biz donor kimi alüminiumdan istifadə etmişik. Bəzi işlərdə, müxtəlif metallarla aşqarlanmasına baxmayaraq [9], zəruri parametrlərə malik nazik təbəqələr alınmamışdır. Biz ZnO və alüminiumla aşqarlanmış ZnO:Al təbəqələrinin reaktiv maqnetron tozlandırma üsulu ilə alınmasına əvvəlki işlərimizdə nail olmuşuq [6]. Qeyd edilən üsulla alınan təbəqələrdə tələb olunan elektrik keçiriciliyini təmin etmək üçün nümunələrin hava mühitində 570 K temperaturda uzun müddətli (10-12 saat) temperatur işlənməsi tələb olunur.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  materialının  $E_g$  qadağanolma oblastı  $x$ -in qiymətindən asılı olaraq 1,04-1,68 eV aralığında dəyişir və (6) qanununa uyğun olaraq təyin edilir. Qeyd etmək lazımdır ki,  $E_g$  nin qiymətini materialın tərkibinə digər III qrup elementlərini (məsələn, Al) və ya VI qrup elementlərini (məsələn, S və Te) əlavə etməklə dəyişmək olar. Nazik təbəqəli  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  (CIGSe) əsaslı günəş elementlərinin effektivliyinin artırılması yollarından biri (CIGSe) materialın qadağanolma oblastının enini dəyişməklə onun optimal qiymətini təyin etməkdir ki,  $E_g$ -nin bu qiymətində GE-nin

effektivliyi GE-nin bu quruluşu üçün maksimal qiymət alır. Alınmış,  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  əsaslı günəş elementlərinin nisbi vahidlərlə kvant effektivliyi müxtəlif  $x=\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$  üçün şəkil 6.-də göstərilmişdir.



Şəkil 6. Müxtəlif  $x=\text{Ga}/(\text{In}+\text{Ga})$  üçün  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  əsaslı günəş elementlərinin nisbi vahidlərlə kvant effektivliyinin spektral asılılığı

Bizim bu işdə tətbiq etdiyimiz  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  materialında  $E_g$  (1,04-1,68) eV aralığında dəyişir. İlkin təcrübələr göstərdi ki, tətbiq olunan metodla varizon  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  əsaslı nazik təbəqələr almaq olar.

Bu işi genişləndirməklə CIGSSe nazik təbəqələrində galliumun və ya kükürdün təbəqənin qalınlaşması ilə tədricən konsentrasiyalarının dəyişməsilə qadağanolma zolağı dəyişən profilə malik aktiv oblast yaratmaq olar ki, GE-nə düşən şüaların təsiri nəticəsində generasiya edən fotocütlərin p-n heterosərhəddində effektiv ayrılmasına qadağan olma zonasının varizon olmasından irəli gələn "dartıcı sahə" effekti də əlavə olunsun və bunun nəticəsində, bu materiallar əsasında daha effektiv günəş elementlərinin alınmasına imkan yaratsın.

**NƏTİCƏ.**

İşdə maqnit sistemləri bir-birinə tərəf sürüsdürülmüş iki maqnetronun tozlandırılması üsulu ilə  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  nazik təbəqələrinin alınma texnologiyası işlənmiş, nazik təbəqələrin optik xassələri tədqiq olunmuşdur. Günəş elementi üçün bufer layı qismində həmin metodla alınmış nazik ZnO təbəqəsindən istifadə edilməsi imkanları araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, ZnO nazik

təbəqəsi bufer layı, ZnO:Al üst layı isə kontakt materialı, həmçinin anti əksetdirici material kimi istifadə etmək olar.

**MİNNƏTDARLIQ**

hissi ilə bildiririk ki, iş Ukrayna Elm və Texnologiya Mərkəzinin (UETM) maliyyə dəstəyi ilə #6148 sayılı layihə çərçivəsində yerinə yetirilmişdir.

- [1] *B.Ф. Гременок, В.Б. Залесский, Н.Н. Мурсакулов, М.С. Тиванов.* Тонкопленочные солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов  $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{Se,S})_2$  со структурой халькопирита. Баку “ЭЛИМ”, 2013.
- [2] *P. Zaretskaya, V.F. Gremenok, I.A. Ivanov, V.B.Zalesski, N.N. Mursakulov, N.N. Abdulzade, Ch.E. Sabzaliyeva.* AJP “Fizika”, 2010, vol. XVI, N2, Series: En, 2010, p. 403-407.
- [3] *A.V. Mudryi, A.V. Korotki, V.F. Gremenok, E.P. Zaretskaya, V.B. Zalesski, N.N. Mursakulov, N.N. Abdulzade, Ch.E. Sabzaliyeva.* AJP “Fizika”, 2010, vol. XVI, N2, Series: En, p.408-413.
- [4] *V.F. Gremenok, A.V. Mudryi, A.V. Korotki, E.P. Zaretskaya, I.A. Ivanov, N.N. Abdulzade, N.N. Mursakulov, Ch.E. Sabzaliyeva.* Characterization of  $\text{CuInSe}_2$  thin films from nanoparticle precursors. The First International Scientific Conference “Nano-technology and its use in Technique”. ATU, 15-16 December, 2010 Baku, p. 132-137.
- [5] *E.P. Zaretskaya, V.F. Gremenok, A.P. Odrinsky, N.N. Abdulzade, N.N. Mursakulov, Ch.E. Sabzaliyeva.* Structure AJP “Fizika”, 2012, vol. XVIII, N2, Series: En, p. 20-23.
- [6] *E.P. Zaretskaya, I.A. Victorov, O.V. Goncharova, T.R. Leonova, M. Gartner, N.N. Mursakulov, N.N. Abdulzade, Ch.E. Sabzaliyeva.* AJP, 2012, vol. XVIII, N4, p. 26-30.
- [7] *P. Jackson, D. Hariskos, R. Wuerz, O. Kiowski, A. Bauer, T.M. Friedlmeier and M. Powalla.* Properties of  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  solar cells with new record efficiencies up to 21.7%. Phys. Status Solidi RRL, 2015, 9, N. 1, p. 28-31.
- [8] *D.K. Schroder.* Semiconductor Material and Device Characterisation, Wiley, New York, 1990.
- [9] *J.I. Pankove.* Optical Processes in Semiconductors, Prentice Hall, Englewood, New York, 1971.
- [10] *Su. Xueqiong, W. Li, Ch. Jiangbo, W. Xiaojing, Zh. Xin Ping.* J.Phys.D:Appl.Phys.,2011, vol. 44, p. 265-267.

**N.N. Abdulzade, S.T. Agaliyeva, K.A. Askerova, D.A. Ahmedova,  
C.H. Sabzaliyeva, N.N. Mursakulov**

**OBTAINING AND INVESTIGATION OF  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$  FILMS, FOR THIN FILM SC<sup>s</sup>, BY MAGNETRON SPUTTERING METHOD FROM TWO MAGNETRONS WITH MOVED MAGNETIC SYSTEMS**

The possibility of obtaining  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$  thin absorbing layers with the required ratios of gallium and indium  $x=\text{Ga}/(\text{Ga}+\text{In})$  for solar cells (SE) by the method of simultaneous magnetron sputtering from two magnetrons with displaced magnetic systems is shown. This method makes it possible to obtain thin varizone semiconductor films in the direction of film growth both with a decrease in the width of the forbidden band and with increasing.

**Н.Н. Абдулзаде, К.А. Аскерова, С.Т. Агалиева, Д.А. Ахмедова,  
Ч.Э. Сабзалиева, Н.Н. Мурсакулов**

**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$ , ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СЭ, МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ИЗ ДВУХ МАГНЕТРОНОВ СО СМЕЩЕННЫМИ МАГНИТНЫМИ СИСТЕМАМИ**

Показана возможность получения тонких поглощающих слоев  $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$  (CIGS) с требуемыми соотношениями содержания галлия и индия ( $\text{Ga}/(\text{Ga}+\text{In})$ ) для солнечных элементов (СЭ) методом одновременного магнетронного распыления из двух магнетронов со смещенными магнитными системами. Этот метод позволяет получить варизонные пленки в направлении роста пленки как с уменьшением ширины запрещенной зоны, так и с возрастанием.

*Qəbul olunma tarixi: 21.12.2017*