

## Cu<sub>2</sub>Se – Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> – In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> SİSTEMİNİN NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNDƏ İKİQAT VƏ ÜÇQAT FAZALARIN YARANMASI

**A.Ç. MƏMMƏDOVA**

*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu*

*AZ-1143, H. Cavid pr. 131, Bakı, Azərbaycan*

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

Elektron difraksiyası üsulu ilə Cu<sub>2</sub>Se – Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> – In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sisteminin nazik təbəqələrində fazaəmələgəlmə prosesləri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, CuGa<sub>5</sub>(In<sub>5</sub>)Se<sub>8</sub> tərkibli üçqat birləşmələrin amorf təbəqələri otaq temperaturunda davamlıdır və 383 ÷ 393 K temperaturda kristallaşır.

**Açar sözlər:** Fazaəmələgəlmə, nazik təbəqə, kristallaşma

**UOT:** (546.56+546.22).539.24

### GİRİŞ

Günəş enerjisi çevricilərinin hazırlanması üçün optimal enerji diapazonu 1,2 - 1,4 eV olduğundan, son zamanlar A<sup>1</sup> - B<sup>3</sup> - C<sup>6</sup> sisteminə daxil olan Cu(In,Ga)<sub>5</sub>Se<sub>8</sub> birləşməsinə olan maraq artmışdır. Bu birləşmələrə olan yüksək maraq onların qadağan olunmuş zonalarının eni ilə bağlıdır. Belə ki, CuGa<sub>5</sub>Se<sub>8</sub> birləşməsinin qadağan olunmuş zonasının eni ( $E_g$ ) 1,85 eV-dur [1]. Heksaqonal CuIn<sub>5</sub>Se<sub>8</sub> birləşməsinin qadağan olunmuş zonasının eni ( $E_g$ ) temperaturdan (10-300 K) asılı olaraq 1,23-1,13 eV diapazonunda dəyişir [2]. Bu nöqteyi nəzərdən müstəqil saf fazaların əldə edilməsi üçün şəraitin və təbiətinin müəyyən edilməsi, komponentlərin fərqli nisbəti ilə Cu(In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)<sub>5</sub>Se<sub>8</sub> birləşməsinin əmələ gəlməsi və sonrakı böyüməsi heterogünəş elementlərinin parametrlərinin yaxşılaşmasına səbəb ola bilər.

Yeni nəsil yüksək effektivli günəş elementlərinin yaradılması üçün perspektivli materiallar hesab edilən Cu(In,Ga)<sub>5</sub>Se<sub>8</sub> [3] nanoqalınlıqlı nazik təbəqələrində fazaəmələgəlmə prosesləri yüksək enerjili elektron difraksiya üsulundan istifadə edilərək öyrənilmişdir.

### TƏCRÜBİ ÜSUL

Tamamilə struktur şəkildə formalaşmış və dəqiq steoxiometrik tərkibli Cu<sub>2</sub>Se – Ga<sub>2</sub>Se – In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sisteminin nazik təbəqələri alınması zamanı, bu sistemdə qarşılıqlı təsir proseslərini və fazaəmələgəlmə proseslərini öyrənmək üçün, Tl-Te sistemində binar sahə komponentlərinin və həmçinin Ag–Ga–S(Se) üçlü sistemində fazaəmələgəlmə prosesinin öyrənilməsi üsulundan istifadə edilib [4]. Yuxarıda qeyd olunan işlərdə və burada istifadə olunan üsul, maddənin sıxlığını bilməklə, çökdürülmüş təbəqələrin həndəsi qalınlığını ~5% dəqiqliklə idarə etməyə imkan verir.

Elektronografik quruluş analizinin tədqiqi üçün yararlı olan Cu–In(Ga)–Se sisteminin CuIn<sub>5</sub>Se<sub>8</sub>, CuGa<sub>5</sub>Se<sub>8</sub> nazik təbəqələri Cu<sub>2</sub>Se və Ga<sub>2</sub>Se, In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> ikiqat birləşmələrinin 1:5 nisbətində eyni zamanda və ardıcıl buxarlandıraraq, termiki çökdürülməsi üsulu ilə alınmışdır.

Kondensasiya müstəvisinin vahid səthinə düşən maddənin kəmiyyət paylanması tədqiq edilmiş və aşağıdakı formula müəyyən edilmişdir.

$$q = \frac{Q}{4\pi h^2} \frac{1}{(1 + \alpha)^{3/2}}$$

Cu<sub>2</sub>Se–Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>–In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sisteminin nazik təbəqələri 10<sup>-4</sup>Pa tərtibli vakuumba UVP-4 qurğusunda termiki çökdürmə üsulu ilə alınmışdır. Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> və In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> buxarlandırılan mənbələr bir-birindən 200mm məsafədə, kondensasiya müstəvisindən (altılıq kimi istifadə olunan NaCl monokristalı) 100 mm hündürlükdə yerləşdirilmişlər. Cu<sub>2</sub>Se buxarlandırılan üçüncü mənbə digər iki mənbənin tam ortasında yerləşdirilmişdir. Buxarlandırıcı mənbə qisminə konusvari şəkildə hörülmüş volfram məfillərdən istifadə edilmişdir. Monokristal altılıqlarının qazsızlaşdırılmaları üçün, onlar 473 K temperaturda 1.5-2 saat müddətində qızdırılmağa məruz qalmışlar. Buxarlandırıcı mənbələrin yuxarıda göstərilən qaydada yerləşdirilməsi ilə, nazik təbəqələrin tərkiblərinin müntəzəm şəkildə rəvan olaraq dəyişməsinə nail olunur. Tərkibində asanlıqla oksidləşən (Cu, In) və uçucu elementlər (Se) olan birləşmələrin təbəqələrinin eksperimental tədqiqatları, xüsusilə yüksək temperaturda termiki işlənməsi zamanı hava ilə təmasda oksidləşmə və parçalanma ehtimalı ilə çətinləşir. Təbəqələrin termik işlənməsi zamanı uçucu komponentin (selenin) oksidləşmə proseslərinin və təkrar buxarlandırmanın qarşısının alınması məqsədi ilə tədqiq olunan təbəqələr hər iki tərəfdən amorf karbon qoruyucu təbəqəsi ilə örtülmüşdür. Bu məqsədlə karbon təbəqələri ilkin olaraq NaCl monokristal altılıqların səthinə vakuumba çökdürülmüşdür. Sonra səthə tədqiq olunan təbəqələr çökdürülmüş, və yenidən üzərinə karbon təbəqələr çökdürülmüşdür. Beləliklə tədqiq olunan təbəqələr xüsusi olaraq kapsullaşdırılmışdır. Tədqiq olunan təbəqələrin ümumi qalınlığı, karbon təbəqələr nəzərə alınmaqla, 50 nm-dən çox olmamışdır. Karbon təbəqələrinin olması difraksiya nümunələrinin fonunda bir qədər artıma səbəb olmuşdur.

Eyni vaxtda və ardıcıl buxarlandırma şəraitində yaranan Cu<sub>2</sub>Se, Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> amorf və kristal fazaların faza tərkibi və quruluş xüsusiyyətləri EMR-102 elektronografında elektron difraksiya üsulu ilə tədqiq edilmişdir.

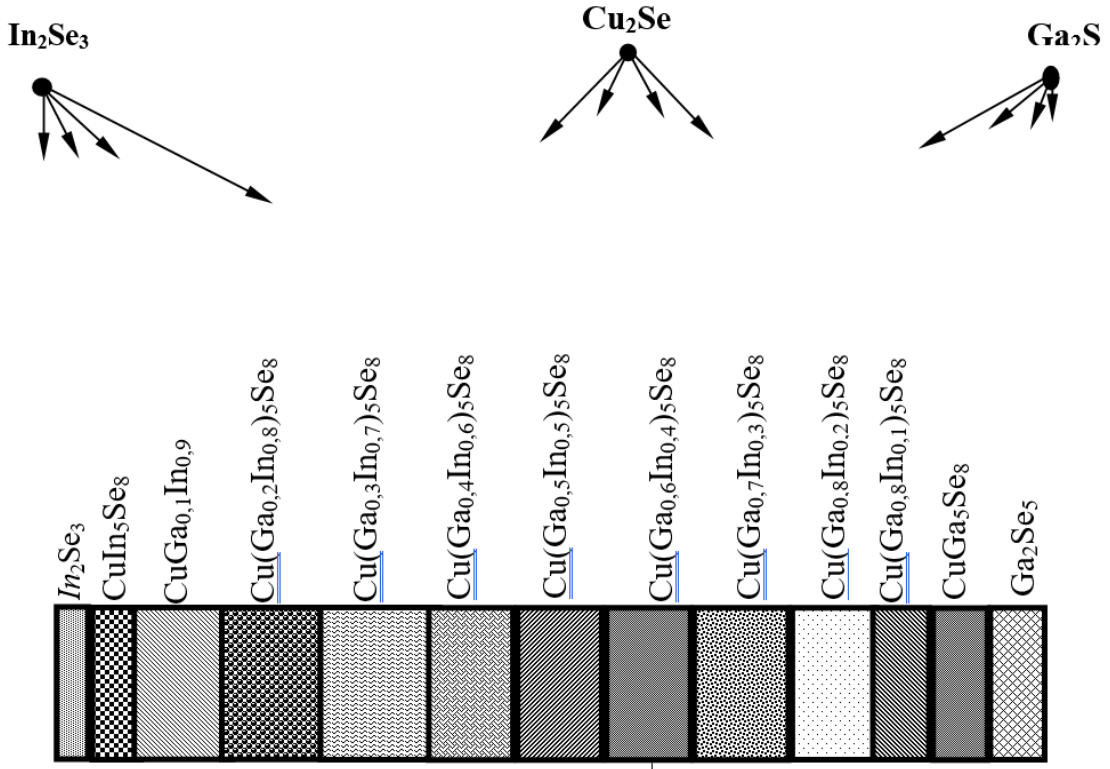
### TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN İZAHİ

Bir-birindən 5 mm məsafədə, ümumi uzunluğu 200mm olan NaCl monokristal altılığı üzərinə binar birləş-

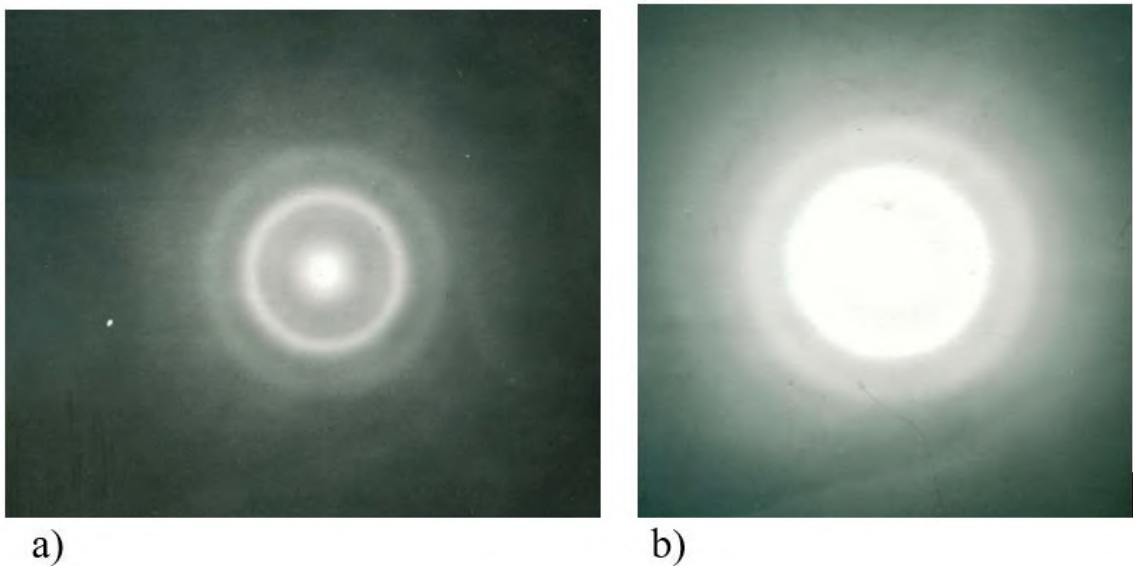
mələrin eyni zamanda buxarlandırılması nəticəsində əmələ gələn nazik təbəqələrin elektron difraksiyası analizi əsasında faza paylanma diaqramı qurulmuşdur (şəkil 1.).

Komponentlərin eyni zamanda çökdürülməsindən alınan nazik təbəqələrin elektronoqrafik analizi, kondensasiya müstəvisi üzərində ikiqat və üçqat amorf təbəqələr yarandığını göstərmişdir. Kondensasiya müstəvisinin çox dar sahəsində birbaşa  $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{Ga}_2\text{Se}_3$  və  $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{In}_2\text{Se}_3$  buxarlanma mənbələri altında əmələ gələn amorf təbəqələr  $S = 4\pi \sin \theta / \lambda = 19.4; 32.4; 54.0; 65.0 \text{ nm}^{-1}$  və  $20.30; 34.10; 54.30 \text{ nm}^{-1}$  və qəfəs parametrləri  $a=1.60, c=1.924 \text{ nm}$  olan heksoqonal və kubik qəfəslərdə kristalla-

şır və müvafiq olaraq  $c = 1.924 \text{ nm}$   $\alpha - \text{In}_2\text{Se}_3, \text{Ga}_2\text{Se}_3$  modifikasiyaları ilə uyğunlaşır [5]. Kondensasiya müstəvisinin kifayət qədər geniş hissəsində,  $\text{Cu}_2\text{Se}$  və  $\text{In}_2\text{Se}_3(\text{Ga}_2\text{Se}_3)$  maddələrinin buxarlandığı mənbələri arasında əmələ gələn amorf təbəqələr  $s = 4\pi \sin \theta / \lambda = 30.52; 40.43; 60.85$  və  $27.42; 35.87; 55.08 \text{ nm}^{-1}$  (şəkil 2 a, b) qiymətləri ilə xarakterizə olunan heksoqonal qəfəs əsasında kristallaşır, uyğun qəfəs parametrləri  $a=0.572; c=1.162 \text{ nm}; a=0.5483; c = 1.094 \text{ nm}$  olan  $\alpha - \text{CuIn}_5\text{Se}_8$  və  $\text{CuGa}_5\text{Se}_8$  üçün verilmiş məlumatlarla uyğunlaşır[1].



Şəkil 1. Kondensasiya müstəvisi üzərində  $\text{Cu}(\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1})_5\text{Se}_8 - \text{Cu}(\text{Ga}_{0.1}\text{In}_{0.9})_5\text{Se}_8$  tərkibli fazaların paylanma sxemi.



Şəkil 2.  $\text{CuIn}_5\text{Se}_8$ (a) və  $\text{CuGa}_5\text{Se}_8$ (b) amorf nazik təbəqəsindən alınmış elektronoqram

## **NƏTİCƏ**

Beləliklə Cu<sub>2</sub>Se və Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> ikiqat birləşmələrinin eyni zamanda və ardıcıl buxarlandırılmaları zamanı kondensasiya müstəvisi üzərində ikiqat və üçqat amorf fazalar yaranır. CuGa<sub>5</sub>(In<sub>5</sub>)Se<sub>8</sub> tərkibli üçqat birləşmələrin

amorf təbəqələri otaq temperaturunda davamlıdır və 383÷393 K temperaturda kristallaşır.

$$I_{hkl} = I_o \lambda^2 \left| \frac{\Phi_{hkl}}{\Omega} \right|^2 V \frac{d_{hkl} \Delta}{4\pi L \lambda} P$$

- 
- [1] *L. Duran, S.M. Wasim, C.A. Durante Rincon, et al. Phys.stat.sol. V.199, № 2, pp. 220-226, 2003.*
- [2] *C. Rincon, S.M. Wasim, G. Marin, et al. Journ. Appl. Phys., V.90, № 9, p. 4423 – 4428, 2001.*
- [3] *K. Ramanathan, M.A. Conreras, C.L. Perkins, et al. Prog.Photovolt.: Res. Appl., V.11. 225–227, 2003.*
- [4] *A.Ч. Мамедова. Образование наноразмерных аморфных и кристаллических фаз в системах Ag – Ga – S(Se), фазовые превращения в тонких пленках AgGaS<sub>2</sub>(Se<sub>2</sub>), дисс. Баку -2010, 150 с.*
- [5] *С.А. Семилетов. ФТТ, т. 3, № 3, с. 746– 753 (1961)*

**А.Ч. Мамедова**

### **ОБРАЗОВАНИЕ БИНАРНЫХ И ТРОЙНЫХ ФАЗ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ СИСТЕМЫ Cu<sub>2</sub>Se – Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> – In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>**

Электроннографическим методом исследованы процессы фазообразования фазовых переходов в тонких пленках системы Cu<sub>2</sub>Se – Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> – In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>. Установлено, что аморфные слои тройных соединений составов CuGa<sub>5</sub>(In<sub>5</sub>)Se<sub>8</sub> стабильны при комнатной температуре и кристаллизуются в интервале температур 383 ÷ 393 К.

**A.Ch. Mammadova**

### **FORMATION OF BINARY AND TERNARY PHASE IN THIN FILMS OF Cu<sub>2</sub>Se – Ga<sub>2</sub>Se – In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>**

By method of electron diffractometry phase formation process in thin films of Cu<sub>2</sub>Se – Ga<sub>2</sub>Se – In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> system have been investigated. It has been established that amorphous layers of ternary compounds of CuGa<sub>5</sub>(In<sub>5</sub>)Se<sub>8</sub> compositions are stable at room temperature and crystallize in the temperature range 383–393 K.

*Qəbul olunma tarixi: 13.05.2024*