

## Yb(Sm)-As-S(Se,Te) SISTEMLƏRİNDƏ FAZA ƏMƏLƏGƏLMƏ, QURULUŞ VƏ KRISTALLAŞMA KINETİKASI

**E.Ş. HACIYEV**

*Azərbaycan MEA akademik H.M. Abdullayev adına*

*Fizika İnstitutu*

*AZ-1143, H. Cavid pr., 33*

Yb(Sm) – As – S(Se, Te) sistemlərinin komponentlərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində baş verən fazaəmələgəlmə öyrənilmişdir. Amorf halında alınan nanoqalınlıqlı təbəqələrin yaxın nizam parametrləri: atomarası məsafə və koordinasiya ədədləri təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, adi və elektrik sahəsinin təsiri altında alınmış amorf nazik təbəqələrin kristallaşması zamanı baş verən faza keçidləri Kolmoqorov – Avrami qanununa tabedir. Aktivasiya enerjilərinin qiymətləri və böyümə ölçüləri təyin edilmişdir.

Методом электронографии исследованы образования фаз при взаимодействия тонких пленок систем Yb(Sm) – As – S(Se, Te), полученных при одновременном и последовательном испарении компонентов. Определены параметры ближнего порядка: радиусы координационных сфер и парциальные координационные числа атомов в аморфных нанотолщинных пленках. Показано, что кристаллизация аморфных пленок полученных как в обычных условиях, так и в условиях воздействия внешнего электрического поля происходит по закономерностям установленным Аврами – Колмогоровым. Определены мерность роста и значения активационных энергии.

Phase formation have been investigated in interaction of thin films of Yb(Sm) – As – S(Se, Te) systems obtained by consequent and simultaneous evaporation of compounds. The radii of coordination sphere and the partial coordination numbers of atoms have been determined in amorphous nanothickness films. The crystallization of amorphous films obtained in usually and electric field condition is shown to occurs in accordance with Avrami – Kolmogorov law. The growth dimensionality and activation energies have been determined.

Müasir dövrdə ölçüləri onlarla nanometr tərtibində olan nazik təbəqələr yarımkeçirilər, opto və kvant elektronikasında geniş tətbiq olunur. Nanoqalınlıqlı nazik təbəqələrin əsasında hazırlanan cihazların parametrləri bu təbəqələrin alınma texnologiyası ilə səciyyələnir. Tələb olunan və təkrarlana bilən stabil xassələrə malik nanoölçülü nazik təbəqələrin alınma texnologiyasının elmi əsaslarını yaratmaq üçün bu təbəqələrdə baş verən fazaəmələgəlmə və faza çevrilmələri proseslərinin, həmin təbəqələrdə yaranan birləşmələrin quruluşunun tədqiqi vacibdir.

Tərkibində nadir torpaq elementləri olan xalkoqenid şüşə əsaslı iki və üçqat birləşmələrin, yüksək həssaslıqlı foto və termoelementlər, lazer şüaların qəbulediciləri və modulyatorları, qeyri-xətti optik çeviricilər və digər yarımkeçirici cihazların yaradılması üçün perspektivliyi haqda xarici və yerli mətbuatda geniş məlumat var. Ln-As-S(Ln-Sm, Yb) sistemlərinin şüşəvari yarımkeçirici birləşmələri akustooptik keyfiyyəti şərtləndirən əmsalların yüksək qiyməti ilə xarakterizə olunur və dalğa uzunluğunun  $\lambda=0,6-1,2$  mkm intervalında spektrin infraqırmızı oblastında şəffafdırlar. Yuxarıda qeyd olunan yarımkeçiricilərdən helium-neon lazer şüalarının idarə olunmasında akustooptik səs ötürücülər kimi istifadə olunur [1-3].

Təqdim olunan işdə Yb(Sm)-As-S(Se,Te) nanoölçülü sistemlərin nanoqalınlıqlı amorf təbəqələrində fazaların əmələgəlməsi, yaxın nizam quruluşu və amorf təbəqələrin kristallaşması zamanı baş verən faza keçidləri öyrənilmişdir.

### **Yb(Sm)-As-S(Se,Te) sistemlərində faza əmələgəlmə**

Bu bölmədə Yb(Sm)-As-S(Se,Te) sistemləri elementlərinin qarşılıqlı təsir reaksiyaları nəticəsində baş verən fazaəmələgəlmə proseslərinin tədqiqi, nazik təbəqələrin amorf və ya kristal halda alınma şərtləri müəyyən edilmişdir.

### **Yb(Sm)-As-S sistemi.**

$Yb_{1-x}Sm_x$  ( $x=0,02$  at.%) - As-S sisteminə daxil olan komponentləri yüksək vakuumda buxarlandıraraq alınmış nazik təbəqələrin yaranma şəraitləri, həmçinin müxtəlif strukturaya malik nazik təbəqələr arasında qarşılıqlı təsir nəticəsində əmələ gələn mümkün fazaların alınma xüsusiyyətləri və quruluşları tədqiq olunmuşdur.

Qalınlıqları 10 nm tərtibdə olan  $Yb_{1-x}Sm_x$ , As və S nazik təbəqələri  $10^{-4}$  Pa yüksək vakuumda müxtəlif mənbələrdən termiki buxarlandırılaraq təzə kəsilmiş NaCl, KCl duzlarının səthləri üzərinə çökdürülməklə alınmışdır [4]. As və S nazik təbəqələrini almaq üçün istifadə olunan mənbə volframdan hazırlanmış spiralvari konus formalı sobadan,  $Yb_{1-x}Sm_x$  nazik təbəqələrini almaq üçün isə volfram-reniyum xəltisindən hazırlanmış kvaziqapalı sobadan ibarətdir. Otaq temperaturunda yerləşən altlıqlar üzərində yaranan nazik təbəqələrdən alınmış elektronogrammlar göstərmişdir ki,  $As_2S_3$  nazik təbəqələri amorf,  $Yb_{1-x}Sm_x$  təbəqələri isə polikristaldır.

Əvvəlcə As, S və  $Yb_{1-x}Sm_x$  komponentlərini ardıcıl buxarlandırmaqla alınan nazik təbəqələr arasında qarşılıqlı təsir tədqiq olunmuşdur. NaCl, KCl altlıqları üzərində alınmış nazik təbəqələrin bir-biri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan mümkün fazaların mövcudluğunu aşkar etmək üçün üzərinə  $As + S + Yb_{1-x}Sm_x$  çökdürülmüş altlıqlar yüksək vakuumda otaq temperaturundan  $T=673$  K qədər qızdırılmış və hər 50 K temperaturda nümunələrdən elektronogrammlar alınmışdır. Sonrakı qızdırma zamanı tərkibində kükürd kimi tez uçucu komponentin təbəqəni tərk etməsinin qarşısını almaq üçün As və S əvvəl, onun üzərinə isə  $Yb_{1-x}Sm_x$  çökdürülmüşdür. Buxarlanmadan dərhal sonra, alınmış  $As+S+Yb_{1-x}Sm_x$  nazik təbəqəsindən çəkilmiş elektronogrammların analizi göstərmişdir ki, təbəqələr arasında qarşılıqlı təsir baş vermir və heç bir yeni faza müşahidə olunmur. Nazik təbəqənin sonrakı

qızdırılması nəticəsində təbəqələr arasında reaksiya baş verir və altlıq temperaturunun  $T=573$  K-də reaksiya nəticəsində  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  fazası alınır (şək.1, cədvəl 1). Nazik təbəqə şəklində ilk dəfə alınmış və rombik qəfəsdə kristallaşan fazanın quruluş parametrləri aşağıdakılardan ibarətdir:  $a=0,724$ ;  $b=0,568$ ;  $c=1,025$  nm, fəza simmetriya qrupu  $Pmna$  [5,6]. Temperaturun növbəti artırılması nümunələrdən alınan elektronogramlardakı difraksiya mənzərəsini dəyişməmiş, yəni nazik təbəqələrin quruluşu və tərkibi dəyişməz olaraq qalır.



Şək. 1.  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  polikristal fazasından alınmış elektronogramma

Cədvəl 1.

$Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  polikristal fazasından alınmış elektronogrammanın hesablanması  $2L\lambda=7,05$  mm-nm

No	İntensivlik	$d_{\text{eksp.}}$ (nm)	$d_{\text{noz.}}$ (nm)	h k l
1	Orta güclü	0,3234	0,3157	1 1 1
2	Çox güclü	0,2990	0,2997*	
3	Orta	0,2820	0,2734	0 2 1
4	Orta	0,2189	0,2230	2 2 0
5	Çox çox güclü	0,1958	0,1933	0 2 2
6	Çox çox güclü	0,1812	0,1843*	
7	Çox zəif	0,1699	0,1649	1 1 3
8	Orta	0,1670	0,1678	2 3 0
9	Orta	0,1546	0,1572*	
10	Çox çox zəif	0,1353	0,1368	0 4 2
11	Orta	0,1248	0,1224	3 4 0
12	Çox çox zəif	0,1152	0,1116	2 2 4
13	Çox çox zəif	0,1076	0,1024	4 4 4

\*  $Yb_2O_3$

Təqdim olunan işdə həmçinin komponentlərinin eyni anda müxtəlif sobalardan otaq temperaturunda olan NaCl, KCl altlıqları üzərinə çökdürməklə alınan nazik təbəqələr arasında qarşılıqlı nüfuz etmə nəticəsində baş verən fazaəmələgəlmə prosesləri öyrənilmişdir. Dərhal buxarlanmadan sonra alınan nazik təbəqələrin elektronqrafik analizi bu təbəqələrdə heç bir üçqat birləşmənin yaranmadığını göstərmişdir. Altlıq temperaturunu 473 K qədər yüksəltəndə  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  fazası əmələ gəlir. Qeyd etmək lazımdır ki, altlıq temperaturunun bu qiymətində eyni anda buxarlandırma zamanı alınan kondensatın tərkibində  $Yb_2O_3$  oksidinə rast gəlinmir. Bu onunla izah olunur ki, fazaəmələgəlmə prosesi buxar fazasında və ya altlıqda böyük sürətlə baş verir. Altlıq temperaturunu 673 K-nə qədər artırıqda nazik təbəqədən alınan elektronogrammada müşahidə edilən difraksiya xəttləri göstərir ki, laylar yalnız  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  fazasından ibarətdir;  $Yb_2O_3$  oksidinə aid reflekslər elektronogrammada yenə də müşahidə olunmur.

Beləliklə, As, S və  $Yb_{1-x}Sm_x$  nazik təbəqələrinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  kimyəvi tərkibli

birləşmə alınır. Bu birləşmə ardıcıl buxarlanma zamanı altlıq temperaturunun  $T=573$  K-də alındığı halda, eyni zamanda buxarlanma vaxtı altlıq temperaturunun  $T=473$  K qiymətində yaranır.

**Yb(Sm)-As- Se sistemi.**

$Yb(Sm) - As - Se$  sisteminin nazik təbəqələrində fazaəmələgəlmə prosesi yuxarıda qeyd olunan metodla öyrənilmişdir. Altlıq temperaturunun 363 K qiymətində kondensatda struktur dəyişikliyi baş verir, yəni  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4Se_7$  fazası əmələ gəlir. Rombik qəfəsdə kristallaşan fazanın quruluş parametrləri aşağıdakılardan ibarətdir:  $a=0,685$ ;  $b=2,352$ ;  $c=0,406$  nm [7,8] (Şək.2,cədv. 2). Altlıq temperaturunun 473 K qiymətində rombik qəfəsdə kristallaşan qəfəs sabitləri  $a=1,134$ ;  $b=1,304$ ;  $c=0,398$  nm olan  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2Se_4$  birləşməsi yaranır. [9] (Şək.3,cədv.3). 573 K temperaturda yaranan fazadan alınan elektronogrammalar elementar qəfəs sabitləri  $a=b=1,255$ ;  $c=0,883$  nm olan və tetraqonal qəfəsdə kristallaşan fazanın  $Yb_{1-x}Sm_xAsSe_3$  olduğunu subut edir. Nümunələrin daha yüksək temperaturda sonrakı qızdırılması heç bir yeni fazanın əmələ gəlməsinə səbəb olmur.



Şək. 2.  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4Se_7$  polikristall fazasından alınan elektronogramma

Cədvəl 2

$Yb_{1-x}Sm_xAs_4Se_7$  polikristall fazasından alınan elektronogrammanın hesablanması  $2L\lambda=7,238$  mm-nm.

	$I_{\text{int.}}$	2r (mm)	$d_{\text{eks.}}$ (nm)	$d_{\text{noz.}}$ (nm)	h k l
1.	çox güclü	17.23	0.420	0.428	2 1 1
2.	orta zəif.	21.0	0.344	0.349	2 1 2
3.	orta	21.6	0.335	0.331	3 0 1
4.	orta	25.5	0.284	0.280	3 1 2
5.	güclü	36.0	0.201	0.194	2 3 4
6.	zəif.	42.5	0.170	0.170	2 3 1
7.	orta	44.5	0.162	0.161	4 1 5
8.	çox zəif	50.0	0.144	0.140	5 5 2
9.	orta zəif	57.0	0.127	0.128	5 4 5
10.	zəif	62.5	0.115	0.113	5 6 5



Şək.3.  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2Se_4$  polikristall fazasından alınan elektronogramma

Cədvəl 3

Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>2</sub>Se<sub>4</sub> polikristall fazasından alınan elektronogrammanın hesablanması 2Lλ=7,04 mm·nm

Nö	I <sub>int.</sub>	d <sub>eks.</sub> (nm)	d <sub>nəz.</sub> (nm)	h k l
1.	güclü	0,530	0,520	2 1 0
2.	zəif	0,366	0,363	3 1 0
3.	çox güclü	0,332	0,327	3 2 0
4.	orta	0,257	0,259	4 2 0
5.	güclü	0,255	0,254	1 5 0
6.	güclü	0,228	0,223	5 1 0
7.	orta	0,207	0,213	4 4 0
8.	güclü	0,193	0,192	4 5 0
9.	orta	0,174	0,174	3 1 2
10.	güclü	0,163	0,162	4 0 2
11.	orta	0,150	0,152	4 3 2
12.	orta güclü	0,143	0,145	4 4 2
13.	orta	0,137	0,136	5 4 2
14.	zəif	0,130	0,130	6 2 3
15.	orta	0,123	0,123	3 2 3

Cədvəl 4.

Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> polikristall fazasından alınan elektronogrammanın hesablanması 2Lλ=7,023 mm·nm

Nö	I <sub>int.</sub>	d <sub>eks.</sub>	d <sub>nəz.</sub>	h k l
1.	zəif.	0,4083	0,4100	001
2.	Çox. güclü	0,3043	0,3035	131
3.	çox güclü.	0,2851	0,2826	311
4.	orta	0,2776	0,2796	231
5.	orta güclü	0,2601	0,2669	141
6.	orta	0,1692	0,1698	402
7.	zəif.	0,1652	0,1655	422
8.	güclü	0,1559	0,1560	162
9.	zəif.	0,1520	0,1522	262
10.	orta	0,1187	0,1190	063
11.	orta zəif.	0,1161	0,1157	533
12.	zəif.	0,1104	0,1104	553
13.	orta	0,1056	0,1057	653
14.	orta zəif	0,8780	0,8730	654

**Yb(Sm) – As - Te sistemi.**

Yb(Sm) – As–Te sistemi elementlərinin eyni anda və ardıcıl çökdürülmüş nazik təbəqələrinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində fazaəmələgəlmə prosesi tədqiq edilmişdir. Otaq temperaturunda yüksək vakuumda buxarlandıraraq alınan nazik təbəqələrin qarşılıqlı təsiri nəticəsində heç bir faza müşahidə olunmur. Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> fazası T=373 K əmələ gəlir. (Şək.4, cədv.4). Kondensasiya müstəvisinin geniş hissəsində yaranan Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> üçqat birləşmə tərkibli amorf təbəqə periodu a=1,214; b=1,470; c=0,410nm, rombik sinqoniyada kristallaşır, kristalların fəza simmetriya qrupu P<sub>man</sub> uyğundur [10]. Altıq temperaturunun 573 K qiymətində Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> fazası yaranır. Rombik qəfəsdə kristallaşan bu fazanın quruluş parametrləri: a=1,148; b=1,410; c=0,407nm, fəza simmetriya qrupu P<sub>man</sub>.

Həm komponentlərin ardıcıl çökdürülməsində və həm də Yb(Sm), As və Te –un eyni zamanda çökdürülməsi zamanı yaranan birləşmələrin paylanması intervalı əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənmirlər.

Qeyd etmək lazımdır ki, tədqiq olunan sistemlərin elementlərinin qarşılıqlı təsir reaksiyaları nəticəsində baş verən fazaəmələgəlmə proseslərinin tədqiqi zamanı ilkin yaranan fazalar Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>S<sub>7</sub> (Se<sub>7</sub>, Te<sub>7</sub>) –dir. Alınan fazalar massiv nümunələrdən fərqli olaraq nazik təbəqə şəklində daha aşağı temperaturlarda yaranır.



Şək.4. Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Te<sub>7</sub> polikristall fazasından alınan elektronogramma .

**Yb(Sm)-As-S(Se,Te) sistemlərinin amorf üçqat birləşmələrinin quruluşu**

Nazik amorf təbəqələrinin tətbiq imkanlarını aşkar etmək üçün, həmin birləşmələrin atom quruluşu haqqında aydın təsəvvür olmalıdır: bütün yarımkeçirici maddələrin və onların birləşmələrinin fiziki xassələri atomların yaxın nizam quruluşlarından asılı olduğundan, radial paylanma qanunauyğunluqlarının müəyyənəşdirilməsi həlledici amil və şərt olmaqla, amorf nazik təbəqələrin quruluş parametrləri elektronqrafik metod ilə tədqiq edilir. Bu baxımdan təqdim olunan işin bu bölməsi tədqiq olunan sistemlərin nanoqalınlıqlı amorf nazik təbəqələrinin yaxın nizam quruluşunun öyrənilməsinə həsr olunub.

Amorf təbəqələrin struktur parametrlərini təyin etmək üçün atomların radial paylanma metodundan istifadə olunmuşdur. Atomların radial paylanma əyrisini (ARPƏ) qurmaq üçün aşağıdakı məlum formuladan istifadə edilmişdir [11-12].

$$4\pi r^2 \sum_i \sum_j c_i k_i k_j \rho_{ij}(r) = 4\pi r^2 \rho_o \left( \sum_i c_i k_i \right)^2 + \frac{2r}{\pi} \alpha \int_0^s [\alpha(s) - 1] \sin sr ds \quad (1)$$

burada, ρ<sub>ij</sub>(r) – j-tip atomların i-tip atomlar ətrafında atom sıxlığının radial paylanma funksiyasıdır, α - normallaşdırma əmsalı, α(s)-struktur faktoru, s = 4πsinθλ (θ-səpilmə bucağıdır).

(1) ifadəsində “c” əmsalları tədqiq olunan birləşmənin kimyəvi formulunda olan atomların nisbi miqdarıdır. Hər bir kimyəvi elementin atomlarının səpilmə qabiliyyəti “k” aşağıdakı formula ilə təyin olunur.

$$k_i = \frac{k(s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 c_i f_i^2(s)}} \quad (2)$$

burada, f<sub>i</sub>(s) – i-elementinin səpilmə faktorudur.

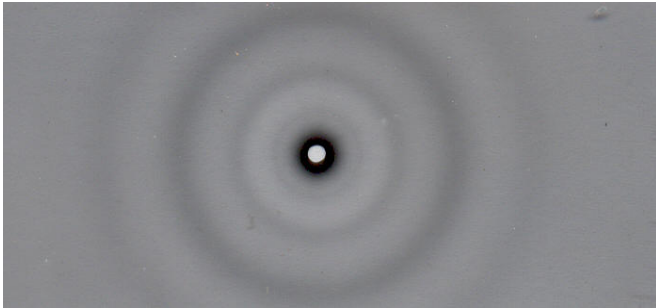
Tədqiq olunan amorf təbəqələrin orta atom sıxlığı ρ<sub>o</sub> verilmiş formula ilə hesablanmışdır:

$$\rho_0 = \frac{\rho N_A}{\sum_I c_i A_i} \quad (3)$$

$\rho$  – kristall maddənin sıxlığı ( $q/sm^3$ ),  $A_i$  – atom kütləsi,  $N_A$  – Avaqadro ədədidir ( $6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ).

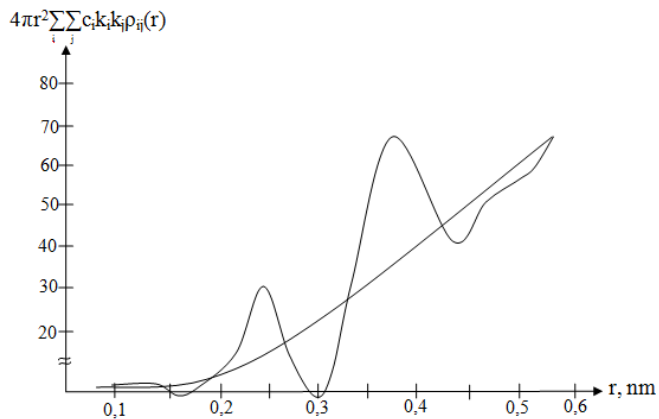
**Yb(Sm)-As-S sistemi**

$Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  birləşməsinin amorf nazik təbəqələri volfram-reniyum ərintisindən hazırlanmış xüsusi sobadan  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  monokristallarının yüksək vakuumda ( $\sim 10^{-4} \text{ Pa}$ ) termiki usulla buxarlandırmaqla alınmışdır (şək.5) [13]. Altıq olaraq otaq temperaturunda yerləşən NaCl, KCl və amorf selluloid istifadə olunmuşdur. Alınan amorf təbəqələr otaq temperaturunda stabildirlər və  $T=548K$ -də kristallaşırlar. Alınmış  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  birləşməsinin  $\sim 30 \text{ nm}$  qalınlıqlı nazik təbəqələrinin strukturu sürətli elektronların difraksiyası metodu ilə ( $U_{sür.}=75kV$ ) tədqiq edilmişdir. Sm aşqarları bu birləşmədə  $0,02at.\%$  təşkil edir.



Şək.5  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  amorf nazik təbəqəsindən alınan elektronoq-ramma

İntensivliyin nisbi qiymətlərindən mütləq qiymətlərinə keçmək üçün “ $\alpha$ ”-normallaşdırma əmsalı orta atom sıxlığından hesablanmış və  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  birləşməsi üçün  $\alpha=0,196$ -ya bərabərdir. Atomların orta sıxlığı (3) düsturu ilə hesablanmış və  $\rho_0=0,339 \text{ nm}^{-1}$  alınmışdır. İtterbiyum, arsen, kükürd atomlarının səpilmə qabiliyyəti üçün  $K_{Yb}=1,89$ ,  $K_{As}=1,03$ ,  $K_S=0,59$  qiymətləri hesablanmışdır. İntensivliyin eksperimental qiymətlərini və yuxarıdakıları (1) –də nəzərə alaraq ARPƏ-si qurulmuşdur. (şək.6).



Şək.6.  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  amorf birləşməsi üçün ARPƏ.

ARPƏ –dən birinci və ikinci koordinasiya sferalarının radiusları təyin olunmuşdur. Birinci koordinasiya

sferasının radiusu  $0,244 \text{ nm}$ -ə, ikinci koordinasiya sferasının radiusu isə  $0,372 \text{ nm}$ -ə bərabərdir. ARPƏ – dəki birinci maksimum As – S atomları arasındakı məsafəni əks etdirir. Bu ondan irəli gəlir ki, As və S atomlarının kovalent radiuslarının cəmi  $r_{As}^{kov} + r_S^{kov} = 0,121 \text{ nm} + 0,117 \text{ nm} = 0,238 \text{ nm}$  birinci koordinasiya sferasının radiusuna yaxındır.  $Yb^{2+}$  ionları ikinci koordinasiya sferasında yerləşir və S atomlarının yaxın ətrafındadır. Birinci koordinasiya sferasının radiusu və  $Yb^{2+}$  ionlarının radiusunun cəminin ( $r_1+r_{Yb}=0,244+0,107=0,351 \text{ nm}$ ), ikinci koordinasiya sferasının radiusuna ( $r_2 = 0,372 \text{ nm}$ ) yaxın olması buna sübutdur.  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  birləşməsində parsial koordinasiya ədədləri aşağıdakı formula ilə hesablanmışdır.

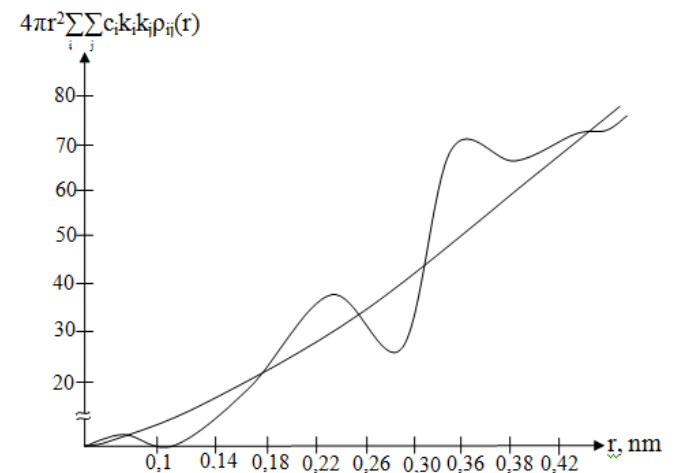
$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 c_i k_i k_j n_{ij} = Q \quad (4)$$

burada,  $n_{ij}$  - “i” tip atom ətrafında yerləşən “j” tip atomların sayıdır: ( $i=1 \div 3; j=1 \div 3$ ).

ARPƏ – də birinci və ikinci maksimumlara uyğun sahələri hesablamaqla  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  birləşməsinin nazik təbəqəsində koordinasiya ədədləri təyin edilmişdir. Parsial koordinasiya ədədləri aşağıdakılardır:  $n_{12}=3, n_{13}=0, n_{21}=2, n_{23}=4, n_{31}=0, n_{32}=1, n_{11}=n_{22}=n_{33}=0$  (1 – Yb, 2 – As, 3 – S).

$Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  birləşməsinin amorf nazik təbəqələrində koordinasiya sferalarının radiuslarının  $YbAs_2S_4$  amorf birləşməsinin nazik təbəqələrində koordinasiya sferalarının radiuslarına nisbətən kiçilməsi Sm aşqarlarının təsiri ilə izah olunur [14].

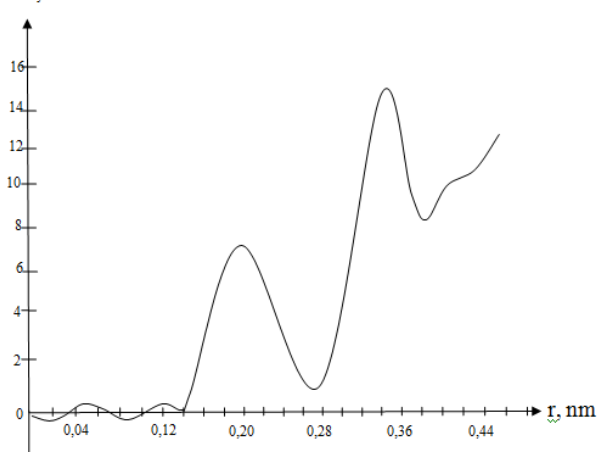
$Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  birləşməsinin  $\sim 30 \text{ nm}$  qalınlıqlı nazik təbəqələrindən səpilmə bucağının  $S=100 \text{ nm}^{-1}$  qiymətinə qədər intensivlik əyrisi alınmışdır [15]. İntensivliyin eksperimental qiymətlərindən ARPƏ-si qurulmuşdur (şək.7). ARPƏ – dən birinci koordinasiya sferasının radiusu ( $0,232 \text{ nm}$ ) və ikinci koordinasiya sferasının radiusu ( $0,360 \text{ nm}$ ) təyin olunmuşdur. ARPƏ-dəki birinci maksimum As – S atomları arasındakı məsafəni ikinci isə As – Yb əks etdirir. Maksimumlara uyğun sahələri hesablamaqla koordinasiya ədədləri təyin edilmişdir  $n_{13}=3, n_{23}=3, n_{32}=2, n_{31}=4, n_{11}=n_{22}=n_{12}=n_{21}=n_{33}=0$ .



Şək.7  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  amorf birləşməsi üçün ARPƏ.

Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>S<sub>9</sub> birləşməsinin nazik amorf təbəqələri volfram-reniyum ərintisindən hazırlanmış xüsusi sobadan Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>S<sub>9</sub> (x=0,02 at.%) monokristallarının yüksək vakuumda (~10<sup>-4</sup>Pa) termiki usulla buxarlandıraraq otaq temperaturunda yerləşən NaCl, KCl və amorf selluloid altlıqları üzərinə çökdürməklə alınmışdır. Alınmış Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>S<sub>9</sub> birləşməsinin ~ 30 nm qalınlıqlı nazik təbəqələrinin strukturu sürətli elektronların difraksiyası metodu ilə (U<sub>sür.</sub>=75kV) tədqiq edilmişdir. Kənar bucaqlardan səpilmə elektronların intensivliyini qeyd etməyə imkan verən fırlanan sektor metodunu tətbiq etməklə səpilmə bucağının S=120 nm<sup>-1</sup> qiymətinə qədər intensivlik əyrisi alınmışdır. Yüksək enerjili elektronların səpilmə intensivliyində S-in aşağıdakı qiymətlərinə uyğun 7 maksimum müşahidə olunur: S<sub>1</sub>=11,0; S<sub>2</sub>=22,0; S<sub>3</sub>=37,0; S<sub>4</sub>=58,0; S<sub>5</sub>=73,0; S<sub>6</sub>=92,0; S<sub>7</sub>=113,0 nm<sup>-1</sup>. İtterbiyum, arsen, kükürd atomlarının səpilmə qabiliyyəti üçün K<sub>Yb</sub>=1,768, K<sub>As</sub>=0,958, K<sub>S</sub>=0,541 qiymətləri hesablanmışdır. Tədqiq olunan amorf təbəqələrin ρ<sub>o</sub> = 0,423 nm<sup>-3</sup> -dir. Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>S<sub>9</sub> birləşməsi üçün α=0,123-ə bərabərdir. İntensivliyin eksperimental qiymətlərini və yuxarıdakıları (1) – də nəzərə alaraq ARPƏ – si qurulmuşdur (şək.8). ARPƏ – dən birinci və ikinci koordinasiya sferalarının radiusları təyin olunmuşdur.

$$4\pi r^2 \sum_j c_j k_j \rho_{ij}(r)$$



Şək.8. Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>S<sub>9</sub> amorf birləşməsi üçün ARPƏ.

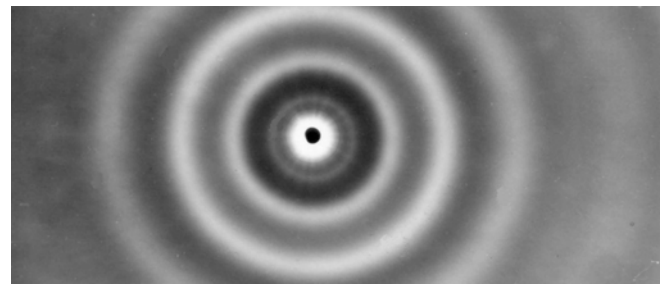
Birinci koordinasiya sferasının radiusu 0,228 nm-ə, ikinci koordinasiya sferasının radiusu isə 0,350 nm-ə bərabərdir. ARPƏ – dəki birinci maksimum As – S atomları arasındakı məsafəni əks etdirir. Bu ondan irəli gəlir ki, As və S atomlarının kovalent radiuslarının cəmi  $r_{As}^{kov} + r_S^{kov} = 0,121nm + 0,117nm = 0,238 nm$ , birinci koordinasiya sferasının radiusuna yaxındır. İzolə olunmuş birinci maksimuma uyğun orta məsafə bu məsafədə yerləşən atomların kovalent rabitə ilə bir-biri ilə bağlı olduğunu göstərir. Yb<sup>2+</sup> ionları ikinci koordinasiya sferasında yerləşir və kükürd atomlarının yaxın ətrafındadır. Birinci koordinasiya sferasının radiusu və Yb<sup>2+</sup> ion radiusunun cəminin (r<sub>1</sub>+r<sub>Yb</sub>=0,228+ 0,107=0,335 nm), ikinci koordinasiya sferasının radiusuna (r<sub>2</sub> = 0,350 nm) yaxın olması buna sübutdur

ARPƏ – də birinci və ikinci maksimumlara uyğun sahələri hesablamaqla Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>S<sub>9</sub> birləşməsinin nazik amorf təbəqəsində koordinasiya ədədləri təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, arsen və kükürd

atomları yaxın qonşu atomlardır, Yb ionları isə arsen atomlarının II koordinasiya sferasında yerləşir və 3 kükürd atomu ilə əhatə olunur.

#### Yb(Sm)-As-Se sistemi

Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> birləşməsinin nazik amorf təbəqələrinin strukturu analoji üsulla öyrənilmişdir. Fırlanan sektor metodunu tətbiq etməklə elektronların səpilmə intensivliyinin səpilmə bucağından (S<sub>max</sub>=112nm<sup>-1</sup>) asılılıq əyriləri alınmışdır[16]. İntensivliyin eksperimental qiymətlərini, ρ<sub>o</sub>, α, K<sub>Yb</sub>, K<sub>As</sub>, K<sub>Se</sub> (1)-də nəzərə alaraq ARPƏ-si hesablanmışdır.ARPƏ-dən As – Se atomları arasındakı məsafə 0,245 nm, As – Yb<sup>2+</sup> atomları arasındakı məsafə isə 0,365 nm təyin edilmişdir. Birinci və ikinci koordinasiya sferasında koordinasiya ədədləri (4) formulu ilə hesablanmışdır n<sub>12</sub>= 0, n<sub>13</sub> = 3, n<sub>21</sub>= 0, n<sub>23</sub> = 3, n<sub>31</sub>=1, n<sub>32</sub> = 3, n<sub>11</sub>= n<sub>22</sub>= n<sub>33</sub>= 0.



Şək.9. Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Se<sub>7</sub> amorf nazik təbəqəsindən alınan elektro-noqramma

Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Se<sub>9</sub> nazik təbəqələrindən səpilmə bucağının S=210 nm<sup>-1</sup> qiymətinə qədər intensivlik əyrisi alınmışdır [17]. ARPƏ – dən As – Se və As – Yb<sup>2+</sup> atomları arasındakı məsafə təyin edilmişdir.Bu məsafə müvafiq olaraq 0,240 və 0,365 nm -ə bərabərdir. Müəyyən edilmişdir ki, Yb<sub>3-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>4</sub>Se<sub>9</sub> amorf təbəqələrində Yb ionununun yaxın ətrafında 3 selen atomu yerləşir.

#### Yb(Sm)-As-Te sistemi

Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> amorf nazik təbəqələrindən elektro-noqrammalar alınmış (şək.10) və elektronların səpilməsinin intensivlik əyriləri səpilmə bucağından (S<sub>max</sub>=120 nm<sup>-1</sup>) asılı olaraq qurulmuşdur. Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> nazik təbəqələrində atomların radial paylanma əyrisi hesablanmış və koordinasiya sferalarının radiusları təyin edilmişdir[18]. Birinci koordinasiya sferasının radiusu 0,245 nm-ə, ikinci koordinasiya sferasının radiusu isə 0,372 nm-ə bərabərdir



Şək.10. Yb<sub>1-x</sub>Sm<sub>x</sub>As<sub>2</sub>Te<sub>4</sub> amorf nazik təbəqəsindən alınan elektro-noqramma

$Yb_{1-x}Sm_xAs_4Te_7$  birləşməsinin  $\sim 30$  nm qalınlıqlı nazik təbəqələrindən səpilmə bucağının  $S=152,0nm^{-1}$  qiymətinə qədər intensivlik əyrisi alınmışdır. Atomların radial paylanma funksiyası hesablanmış və koordinasiya sferalarının radiusları təyin edilmişdir. Birinci koordinasiya sferasının radiusu  $0,270$  nm-ə, ikinci koordinasiya sferasının radiusu isə  $0,425$  nm-ə bərabərdir.

**Yb(Sm)-As-S(Se,Te) sistemlərinin amorf təbəqələrinin kristallaşma kinetikasi**

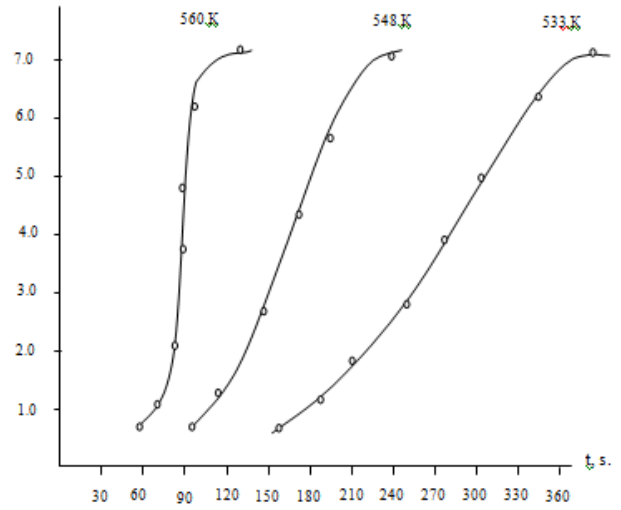
Bu bölmədə həm adi şəraitdə, yəni heç bir xarici təsir olmadan, həm də intensivliyi  $3000 V \cdot sm^{-1}$  olan elektrik sahəsinin təsiri altında alınmış və qalınlığı  $25 - 30$  nm olan amorf təbəqələrin kristallaşma kinetikasi öyrənilmişdir. Nazik amorf təbəqələr vakuumdə təzyiqli  $10^{-4}$  Pa olan mühitdə sintez olunmuş maddələrin termiki buxarlandırılması üsulu ilə yanaşı, həmçinin üç mənbədən eyni zamanda buxarlandırılması nəticəsində alınmışdır. Amorf təbəqələrin kristallaşması zamanı baş verən faza çevrilmələrinin kinetikasi kinematik elektronografiya metodunun tətbiqi ilə yerinə yetirilmişdir. [19-20]. Bu metod istənilən tərkibli amorf təbəqələrin kristallaşması və ya bir kristallik modifikasiyadan digər kristallik modifikasiyaya çevrilməsi üçün tələb olunan aktivasiya enerjilərinin stasionar qiymətlərinin təyin edilməsinə imkan verir.

**$Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$ .** Xarici təsir olmadıqda və sabit intensivliyi  $3000V/sm$  olan elektrik sahəsində alınan  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  amorf təbəqələrinin kristallaşma kinetikasi prosesini tədqiq etmək üçün,  $533-560$  K temperatur intervalında kristallaşan təbəqələrdən alınan kinematik elektronogramlar (şək.11.) əsasında kristallaşma kinetikasının izotermik əyriləri tədqiq olunan temperatur intervalında qurulmuşdur (şək.12.).  $\ln \ln(V_0/(V_0 - V_t))$ -nin  $\ln t$ -dən asılılıqları  $533$  K,  $548$  K,  $560$  K temperaturlarında kristallaşan amorf təbəqələr üçün hesablanmışdır (şək.13). Müxtəlif temperaturlar üçün alınan eksperimental nöqtələrin bir düz xətt üzrə yerləşməsi onu göstərir ki, termik işləmə zamanı faza çevrilmələrinin kinetikasi Avrami – Kolmoqorovun qanunauyğunluğuna tabe olub,  $V_t=V_0[1 - \exp(-kt)^m]$  analitik tənliyi ilə təsvir olunur. Bu tənlikdə  $m$ -in qiymətləri üçün aşağıdakılar tapılmışdır.  $m=4,05$   $T=560$  K;  $m=3,98$   $T=548$  K;  $m=3,92$   $T=533$  K. Alınan qiymətlər kristalliklərin üçölçülü böyüməsini göstərir.

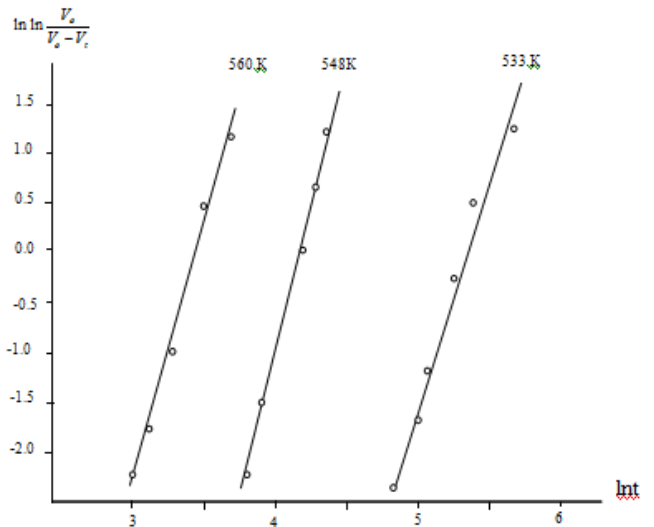


Şək.11.  $548$  K temperaturda kristallaşan amorf  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  təbəqənin izotermik kinematik elektronogramması

$V_t \cdot 10^{-9}, sm^3$



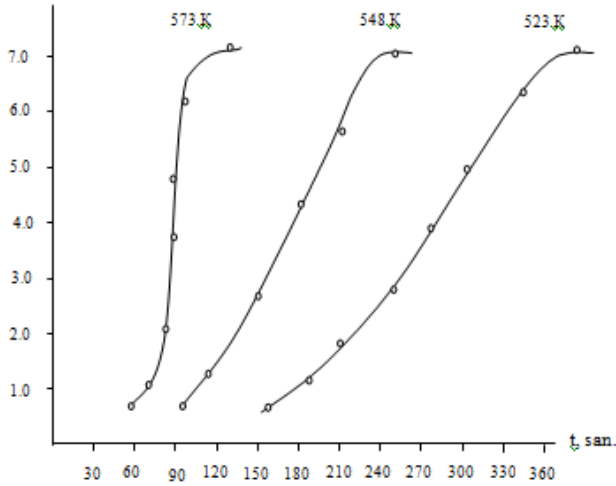
Şək.12.  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  amorf nazik təbəqələrin kristallaşmasının kinetik əyriləri



Şək.13.  $\ln \ln(V_0/(V_0 - V_t))$ -in  $\ln t$ -dən asılılığı

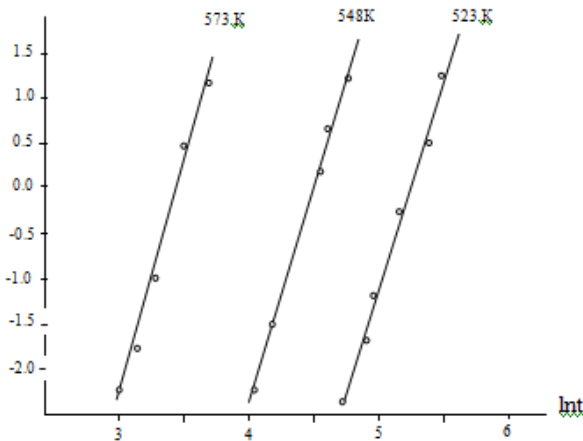
**$Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$ .**  $523-573$  K temperatur intervalında kristallaşan təbəqələrdən kinematik elektronogramlar əsasında kristallaşma kinetikasının izotermik əyriləri tədqiq olunan temperatur intervalında qurulmuşdur (şək.14.).  $\ln \ln(V_0/(V_0 - V_t))$ -nin  $\ln t$ -dən asılılıqları  $523$  K,  $548$  K,  $573$  K temperaturlarında kristallaşan amorf təbəqələr üçün hesablanmışdır (şək.15). Müxtəlif temperaturlar üçün alınan eksperimental nöqtələrin bir düz xətt üzrə yerləşməsi onu göstərir ki, termik işləmə zamanı faza çevrilmələrinin kinetikasi Avrami – Kolmoqorovun qanunauyğunluğuna tabe olub,  $V_t=V_0[1 - \exp(-kt)^m]$  analitik tənliyi ilə təsvir olunur. Bu tənlikdə  $m$ -in qiymətləri üçün aşağıdakılar tapılmışdır.  $m=3,10$   $T=573$  K;  $m=3,05$   $T=548$  K;  $m=2,90$   $T=523$  K. Alınan qiymətlər kristalliklərin ikiölçülü böyüməsini göstərir. Kristallaşma prosesinin ümumi ( $E_{üm}$ ), rüseymlərin əmələ gəlməsinin ( $E_r$ ) və rüseymlərin böyüməsinin ( $E_b$ ) aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır:  $E_{üm}=112,4$  kkal/mol,  $E_r=39,1$  kkal/mol,  $E_b=34,2$  kkal/mol.

$V_{t_0} \cdot 10^{-9}, \text{sm}^3$



Şək.14.  $\text{Yb}_{1-x}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{S}_7$  amorf nazik təbəqələrin kristallaşmasının kinetik əyriləri

$\ln \ln \frac{V_0}{V_0 - V_t}$



Şək.15.  $\ln \ln(V_0/(V_0 - V_t))$ -in  $\ln t$ -dən asılılığı

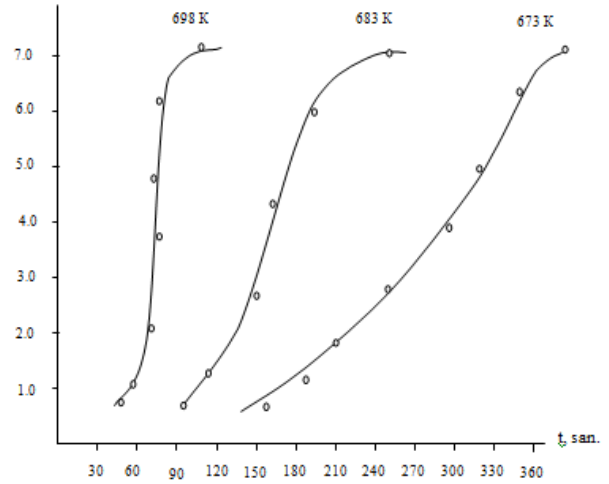
**$\text{Yb}_{3-x}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{S}_9$ .** Adi şəraitdə və elektrik sahəsinin təsiri altında alınan amorf təbəqələrin kristallaşma kinetikasının izotermik əyriləri tədqiq olunan temperatur intervalında qurulmuş (şək.16.) və  $\ln \ln(V_0/(V_0 - V_t))$ -nin  $\ln t$ -dən asılılıqları hesablanmışdır (şək.17.). Göstərilmişdir ki, kristallaşma kinetikasi Avrami – Kolmoqorov qanunauyğunluğuna tabedir.  $m$ -in qiymətləri üçün aşağıdakılar tapılmışdır.  $m=4,05$   $T=698,0$  K;  $m=3,98$   $T=683$  K;  $m=3,92$   $T=673$  K. Alınan qiymətlər kristalliklərin üçölçülü böyüməsini göstərir. Aktivləşmə enerjilərinin qiymətləri üçün aşağıdakılar hesablanmışdır  $E_{\text{üm}}=124,6$  kkal/mol,  $E_r=36,4$  kkal/mol,  $E_b=29,4$  kkal/mol.

**$\text{Yb}_{1-x}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_7$**  Adi şəraitdə və elektrik sahəsinin təsiri altında formalaşan amorf nazik təbəqələrin kristallaşma kinetikasının parametrlərini təyin etmək üçün 373K, 393K, 423 K temperaturlarda kinematik elektronogrammlar alınmış və izotermik əyrilər qurulmuşdur. [21]. Alınan eksperimental nəticələr əsasında kristalliklərin böyümə ölçüsü  $m=4$  və aktivləşmə enerjilərinin qiymətləri müəyyən edilmişdir:  $E_{\text{üm}}=80,8$  kkal/mol,  $E_r=26,2$  kkal/mol,  $E_b=18,2$  kkal/mol.

**$\text{Yb}_{3-x}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_9$**   $T=523, T=548, T=573$  K temperaturlarda kristallaşan, adi şəraitdə və elektrik sahəsinin təsiri altında alınan  $\text{Yb}_{3-x}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Se}_9$  amorf təbəqələrin kristallaşma kinetikasının izotermik əyriləri alınmış,  $\ln \ln(V_0/(V_0 - V_t))$ -nin

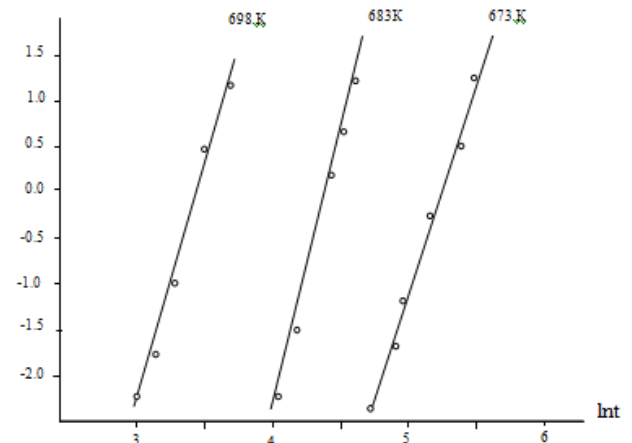
$\ln t$ -dən asılılıqları qurulmuşdur. Göstərilmişdir ki, kristallaşma kinetikasi  $m$ -in 3,80; 3,95; 3,93 qiymətlərində Avrami-Kolmoqorov qanunauyğunluğuna tabedir. Kristallaşma zamanı aktivləşmə enerjilərinin qiymətləri hesablanmışdır :  $E_{\text{üm}}=98,2$  kkal/mol,  $E_r=30,4$  kkal/mol,  $E_b=22,6$  kkal/mol.

$V_{t_0} \cdot 10^{-9}, \text{sm}^3$



Şək.16.  $\text{Yb}_{3-x}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{S}_9$  amorf təbəqələrində kristallaşma kinetikasının izotermik əyriləri

$\ln \ln \frac{V_0}{V_0 - V_t}$



Şək. 17.  $\ln \ln(V_0/(V_0 - V_t))$ -nin  $\ln t$ -dən asılılığı.

**$\text{Yb}_{1-x}\text{Sm}_x\text{As}_2\text{Te}_4$**  Elektrik sahəsi olmadıqda və həm də elektrik sahəsinin intensivliyi 3000 V/sm olduğu halda alınan  $\text{Yb}_{1-x}\text{Sm}_x\text{As}_2\text{Te}_4$  amorf təbəqələrdə faza keçidlərinin kinetikasi kinematik elektronografiya üsulu ilə tədqiq olunmuşdur. İlk dəfə olaraq amorf təbəqələrin kristallaşmasının kinetik parametrləri təyin olunmuşdur:  $E_{\text{üm}}=78,2$  kkal/mol,  $E_r=25,7$  kkal/mol  $E_b=17,5$  kkal/mol, kristalliklərin böyümə ölçüsü  $m=4$ .

**$\text{Yb}_{1-x}\text{Sm}_x\text{As}_4\text{Te}_7$**  Adi şəraitdə və elektrik sahəsinin təsiri altında formalaşan amorf nazik təbəqələrin kristallaşma kinetikasının parametrlərini təyin etmək üçün 523 K, 548 K, 573 K temperaturlarda kinematik elektronogrammlar alınmış və izotermik əyrilər qurulmuşdur [22]. Alınan eksperimental nəticələr əsasında kristalliklərin böyümə ölçüsü  $m=4$  və aktivləşmə enerjilərinin qiymətləri müəyyən edilmişdir:  $E_{\text{üm}}=79,6$  kkal/mol,  $E_r=26,2$  kkal/mol,  $E_b=17,8$  kkal/mol.

## Amorf təbəqələrin kristallaşmasının kinetik parametrləri

Birləşmələr	Elek. sahəsinin intensivliyi	Böyümə dərəcəsi	$E_{um}$ kkal/mol	$E_r$ kkal/mol	$E_b$ kkal/mol
$Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$	$U=0$	$m=4$	128,4	37,2	30,4
	$U=3000v \cdot sm^{-1}$	$m=4$	115,8	32,4	27,8
$Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$	$U=0$	$m=3$	112,4	39,1	34,2
	$U=3000v \cdot sm^{-1}$	$m=3$	100,2	35,3	29,6
$Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_9$	$U=0$	$m=4$	124,6	36,4	29,4
	$U=3000v \cdot sm^{-1}$	$m=4$	112,2	32,7	26,5
$Yb_{1-x}Sm_xAs_4Se_7$	$U=0$	$m=4$	80,8	26,2	18,2
	$U=3000v \cdot sm^{-1}$	$m=4$	73,2	23,7	16,5
$Yb_{1-x}Sm_xAs_4Se_9$	$U=0$	$m=4$	98,2	30,4	22,6
	$U=3000v \cdot sm^{-1}$	$m=4$	89,3	26,9	20,8
$Yb_{1-x}Sm_xAs_2Te_4$	$U=0$	$m=4$	78,2	25,7	17,5
	$U=3000v \cdot sm^{-1}$	$m=4$	70,6	23,2	15,8
$Yb_{1-x}Sm_xAs_4Te_7$	$U=0$	$m=4$	79,6	26,2	17,8
	$U=3000v \cdot sm^{-1}$	$m=4$	70,8	23,1	15,9

Cədvəldən görüldüyü kimi, elektrik sahəsinin təsiri altında alınmış amorf nazik təbəqələrin kristallaşmasının aktivləşmə enerjilərinin qiymətləri adi şəraitdə alınan amorf nazik təbəqələrin kristallaşmasının aktivləşmə enerjilərinin qiymətlərindən ~ 10 - 12% kiçikdir.

Elektrik sahəsinin amorf təbəqələrin kristallaşmasına göstərdiyi bu cür effekti elektrik sahəsinin buxar fazasında olan ionlaşmış atomlara və altlıqda mövcud olan elektrikle yüklənmiş nöqtəvi defektlərə təsiri ilə izah olunur. Bizim eksperimentlərdə elektrik yük mənbələri qismində altlıq şəklində istifadə etdiyimiz NaCl, KCl tipli qələvi – halogen ion kristalının məxsusi potensialı, həmçinin də kondensə edilmiş maddənin ionlaşmış atomlarının özləri iştirak edirlər. Bəzə belə hesab edir ki, NaCl duzlarının səthində intensivliyi  $10^5 - 10^6$  V/m tərtibdə olan elektrik sahəsi mövcud ola bilər [23]. Distlərin fikrincə rüşeyməmələgəlmə ilk növbədə elektrik yüklü nöqtəvi defektlərdə yəni “elektrik aktiv” nöqtələrdə baş verir [24]. Məlumdur ki, altlıqda yaranan kristalliklər elektrikle stimullaşdırılmış və ya termiki

aktivləşdirilmiş miqrasiyaya məruzdurlar. Miqrasiya nəticəsində mikrokristalların əmələgəlmə mərkəzlərindən yerini dəyişməsi yeni rüşeymələrin əmələgəlmə aktının təkrarlanmasına səbəb olur. Elektrik sahəsinin təsiri altında miqrasiya güclənir və kristallaşma prosesi sürətlənir.

## NƏTİCƏ

$Yb(Sm) - As - S(Se, Te)$  sistemlərinin komponentlərinin ardıcıl və eyni anda müxtəlif sobalardan buxarlandırılaraq NaCl və KCl altlıqları üzərinə çökdürməklə alınan nazik təbəqələr arasında qarşılıqlı təsir nəticəsində yaranan fazalar tarazlığı tədqiq edilmişdir. Tədqiq olunan sistemlərdə ilkin yaranan faza  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7(Se_7, Te_7)$ -dir. Göstərilmişdir ki, nazik təbəqə şəklində yaranan fazalar massiv halından daha aşağı temperaturda formalaşır.

$Yb(Sm) - As - S(Se, Te)$  sistemlərinin amorf nazik təbəqələrinin yaxın nizam quruluşu: atomları məsafə və koordinasiya ədədləri təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir, kristallik və amorf təbəqələrin yaxın nizam quruluşu oxşardır, fərq əlaqələr arasındakı məsafədədir. A morf təbəqələrin matrisləri tetraedrik və oktaedrik ətraflı atomlardan ibarətdir.  $Yb(Sm) - As - S(Se, Te)$  sistemlərinin adi və elektrik sahəsinin təsiri altında alınan amorf nazik təbəqələrin kristallaşması zamanı faza keçidlərinin kinetikasi Avrami – Kolmoqorov qanununa uyğunluğuna tabedir və  $V_t = V_0(1 - \exp(-kt)^m)$  analitik tənliyi ilə ifadə olunur. Göstərilmişdir ki, elektrik sahəsinin təsiri altında alınan amorf təbəqələrin kristallaşması daha böyük sürətlə baş verir və rüşeyməmələgəlmənin və böyümənin aktivləşmə enerjilərinin qiyməti adi halda alınan amorf təbəqələrin kristallaşmasının uyğun qiymətlərindən ~10÷12% kiçikdir.

- [1]. И. В. Золотухин Физические свойства аморфных металлических материалов. М. Металлургия, 1986, 176 с.
- [2]. П. Г. Рустамов, О. М. Алиев, Т. Х. Курбанов Тройные халькогениды редкоземельных элементов. Баку, Елм, 1981, 214 с.
- [3]. В. И. Балакий, В. И. Парыгин, Л. Е. Чирков Физические основы акустооптики. М. Радио и связь, 1985, 278 с.
- [4]. E.Ş. Hacıyev, A.İ. Mədədzadə, C.İ. İsmayilov  $As_2S_3 - Yb_{1-x}Sm_x$  sisteminin nazik təbəqələrində fazaəmələgəlmə Fizika, c. XIV, №2, 2008, s.56-58
- [5]. П. Г. Рустамов, Т.М. Ильясов и Л.А. Мамедова Журнал неорг. химии, 30 (1985), 2987.
- [6]. П. Г. Рустамов, Т.М. Ильясов. Журнал неорг. химии, 29 (1984), 2975.
- [7]. А.с. № 1374695. Халькогенидные стекло. Рустамов П.Г., Сардарлы Р.М., Ильясов Т.М., Мамедов А.И., Шарифов Я.Н., 1987
- [8]. Э.Ш. Гаджиев, А.И. Мададзаде, Д. И. Исмаилов Фазообразование в тонких пленках систем  $As_2Se_3 - Yb_{1-x}Sm_x$  Изв.АН Азерб.сер.физ. – техн.и.мат.наук, Т. XXVIII, №2, 2008, с. 83 – 85
- [9]. Рустамов П. Г., Ильясов Т.М. Система  $As_2Se_3 - YbSe$  // Журн. неорг. химии. 1984, Т.29. №11. с.2975 – 2977.
- [10]. Э.Ш. Гаджиев Образование фаз при взаимодействии пленок систем  $As_2Te_3 - Yb_{1-x}Sm_x$  Изв.АН Азерб.сер.физ.–техн. и.мат.наук, Т. XXVIII, №5, 2008, с.158– 160
- [11]. А. Ф. Скрышевски Структурный анализ жидкостей и аморфных тел. М.: Высшая школа, 1980. С. 328.
- [12]. Л. И. Татарина Структура твердых аморфных и жидких веществ. М.: Наука, 1983, 151 с.
- [13]. Э.Ш. Гаджиев, А.И. Мададзаде Электронографическое исследование ближнего порядка в аморфных пленках соединений  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2S_4$  ФТП, т.42, в.5, 2008, с.608-611
- [14]. E. G. Efendiyev and E. Sh. Hacıyev. Short – range order parameters in amorphous  $YbAs_2S_4$  and  $YbAs_4S_7$  films. J. of Non – Crystalline Solids 163 (1993), p. 29– 34.
- [15]. Э.Ш. Гаджиев, А.И. Мададзаде, Д. И. Исмаилов Ближний порядок в пленках соединений  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4S_7$  Fizika, XIII, №1-2, 2007, s.282-283
- [16]. Э.Ш.Гаджиев, А.И.Мададзаде, Д.И. Исмаилов Электронографи-ческое исследование структуры ближнего порядка в аморфных пленках  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4Se_7$  Неорганические материалы, №8, том 44, 2008, ст.1151-1153



- [17]. *Э.Ш. Гаджиев, А.И. Мададзаде, Д. И. Исмаилов* Ближний порядок в тонких аморфных пленках  $Yb_{3-x}Sm_xAs_4Se_9$  ( $x=0,02$  ат.%) XIII Национ. Конф. по росту кристалликов. НКРК – 2008. Москва 17-22 ноябрь ст.399
- [18]. *E.Sh.Hajiyev S.Z.Jafarova I.Kh.Mamedov* Atom radial distribution in amorphous films of  $Yb_{1-x}Sm_xAs_2Te_4$  ( $x=0,02$  ат.%). *Fizika*, XIV, №4, 2008, s.46-47
- [19]. *Р.Б. Шафизаде* Фазообразование и кинетика фазовых превращений в тонких пленках  $A^I - B^{VI}$ , Баку. ЭЛМ, 1983, 168 с.
- [20]. *Э.Ш. Гаджиев, А.И. Мададзаде* Кинетика фазовых превращений в аморфных пленках  $YbAs_4S_7$  *Поверхность*, №10, 2007, с.96-98
- [21]. *Э.Ш. Гаджиев, А.И. Мададзаде, Д. И. Исмаилов* Кинетика изотермической кристаллизации аморфных пленок  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4Se_7$  *Fizika*, XIV, №3, 2008, s.128-129
- [22]. *E.Sh.Hajiyev* Kinematic electron diffraction study of crystallization kinetics of amorphous  $Yb_{1-x}Sm_xAs_4Te_7$  *Fizika*, XIV, №1, 2008, s.3-4
- [23]. *H.Bethge, K.W. Keller, E. Zieyler* // *J. Crystal Growth*. – 1968. – v.34. – p.184
- [24]. *Г.И. Дистлер* // В кн.; Проблемы современной кристаллографии. – М.; Наука. – 1975. – с.197-206