

UOT: 541.123.3:546.289

QORXMAZ HÜSEYNOV

GÜMÜŞ VƏ MİS ƏSASINDA MÜRƏKKƏB TİOSTANNATLARIN ALINMASI

İşdə gümüş(I) nitrat, mis(II) nitrat məhlullarından və SnS_2 -nin 5%-li etilendiamində məhlulundan istifadə etməklə $\text{AgNO}_3\text{--Cu(NO}_3)_2\text{--SnS}_2\text{--H}_2\text{O}$ sistemindən hidrotermal metodla 150°C temperaturda $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli çöküntülər alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli çöküntülərin əsas tərkibi Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 , Ag_2S və Cu_4SnS_4 birləşmələrindən təşkil olunub. $500\text{--}550^\circ\text{C}$ temperaturda termiki emal edilmiş çöküntülərin faza tərkibi RFA metodu ilə təyin edilmiş və kristal qəfəsinin parametrləri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli ərintilərin hamısı kub kristal qəfəsdə kristallaşır. Ərintilərin bərk məhlul xarakterli olduğu müəyyən edilmişdir. DTA metodu ilə $500\text{--}1200^\circ\text{C}$ temperatur aralığında çöküntülərdə baş verən termiki effektlər təyin edilmişdir. Alınan bütün çöküntülərin mikromorfologiyası tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, 150°C temperaturda alınmış bütün çöküntülər yüksək adheziyalı nano- və mikrohissəciklərdən ibarətdir. Temperatur artdıqda nanohissəciklərin bitişməsi nəticəsində nanokristallik quruluşlar formalaşır.

Açar sözlər: gümüş, mis, xalkogenid, sulu məhlul, çöküntü, faza, termiki effekt, mikromorfologiya.

Giriş. Gümüş və misin xalkogenidləri əsasında yeni mürəkkəb funksional materialların axtarışı və tədqiqi sahəsində bir sıra işlər aparılmışdır. Məlumdur ki, Ag_2S , Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 və qalay və germaniumun digər xalkogenidləri optoelektronikada istifadə olunan perspektivli materiallardır [1-11]. Bu materiallar əsasən vakuumda birbaşa sintez metodu ilə sintez edilmişdir. Son dövrlər bu materialların su və üzvi həlledici mühitlərində alınması və tədqiqi aktual məsələlərdən biri hesab edilir. Çünki şəraitdən asılı olaraq məhlullarda xalkogenidlərin nano- və mikrohissəcikləri formalaşır. Belə halda yeni xassəli materiallar əmələ gəlir [1, 2].

Sulu məhlullarda Ag_2S , Ag_2SnS_3 , Ag_8SnS_6 , Cu_2SnS_3 , Cu_4SnS_4 birləşmələrinin alınma şəraiti tədqiq edilmiş, alınmış birləşmələrin mikromorfologiyası və bəzi fiziki-kimyəvi xassələri öyrənilmişdir. AgNO_3 və SnS_2 birləşmələri əsasında etilenqlikol mühitində Ag_2SnS_3 birləşməsi, dimetilformamid mühitində isə Ag_8SnS_6 birləşməsi sintez edilmiş, birləşmələrin tərkibi, mikroquruluşu və alınma şəraiti öyrənilmişdir [2].

[3] işdə stexiometrik miqdarda götürülmüş $\text{CuCl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{SnCl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ və $\text{SC(NH}_2)_2$ duzları qarışığı 50%-li etil spirti məhlulunda qarışdırılmış, qurudulmuş və 673 K -də pirolitik parçalanma metodu ilə Cu_2SnS_3 birləşməsi sintez edilmişdir. RFA metodu ilə birləşmənin fərdiliyi, kristal quruluşu və qəfəs parametrləri tədqiq edilmişdir.

Misin birvalentli və ikivalentli duzlarının spirtə və suda məhlullarından Cu_2SnS_3 və CuSnS_3 tərkibli tiostannatları almaq mümkündür. Qeyd olunan birləşmələr [7] işin müəllifləri tərəfindən ampula metodu ilə elementlərdən birbaşa sintez edilmişdir. [2] işin müəllifləri isə Cu_2SnS_3 birləşməsini natrium tiostannat məhluluna misin həllolan duzları ilə təsir etməklə almışlar. Başlanğıc maddələr – natrium tiostannatlar qalay(IV) sulfid və natrium sulfidin müxtəlif mol nisbətlərində qarışdırmaqla sintez edilmişdir. Bu tiostannatların hər birindən başlanğıc maddə kimi istifadə etməklə suda həll olmayan tiostannatlar almaq mümkündür. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{Na}_2\text{SnS}_3\text{--CuCl}_2\text{--H}_2\text{O}$ sistemində komponentlərin müxtəlif mol nisbətlərində qarşılıqlı təsirdən müxtəlif tərkibli tiostannatlar alınır [2]. Na_6SnS_5 -in CuCl_2 suda məhlulu ilə qarşılıqlı təsirdən Cu_2SnS_3 birləşməsi sintez edilmişdir.

Tədqiqatlardan aydın olmuşdur ki, qalayın sulfidləri sulu məhlulda çökdürülən zaman onlarla bərabər çoxlu metallar çökür. Belə nəticəyə gəlinmişdir ki, sulfid şəklində çökən metalların əksəriyyəti mikrokomponentlər şəklində qalay (IV) sulfiddə daha çox sorbsiya olunur. SnS_2 ilə kationların çökməsi turş mühitdə azalır. Natrium tiostannata tallium duzları ilə təsir etdikdə stexiometrik tərkibdən asılı olaraq Ti_4SnS_4 və Ti_2SnS_3 tərkibli birləşmələr alınır [11].

$\text{Na}_3\text{SnS}_{3,5}\text{--CuCl}_2\text{--H}_2\text{O}$ və $\text{Na}_6\text{SnS}_5\text{--CuCl}_2\text{--H}_2\text{O}$ sistemləri tədqiq edilmiş və bu sistemlər üzrə $\text{Cu}_3\text{SnS}_{3,5}$ və Cu_2SnS_3 tərkibli birləşmələr alınmışdır. Bu birləşmələrin elektrikkeçiriciliyi, termo-e.h.q. öyrənilmiş, Holl sabitinin qiyməti, yükdaşıyıcıların yürüklülüyü və qatılığı hesablanmışdır [6, 7, 8-10].

Sulu məhlulda qalayın tio- və hidrositioduzlarının davamlılıq sərhədləri tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, qalay disulfidin qələvi məhlulunda həll olması zamanı hidrositiostannat $[\text{SnS}_2\text{OH}]^-$ ionları əmələ gəlir. Bu məhluldan H_2S qazı buraxdıqda isə tiostannat $[\text{SnS}_3]^{2-}$ ionları alınır. Bu onunla əlaqədardır ki, qələvi metalların tiostannatlarına kompleks duzlar kimi baxıldığından su molekulları kompleks anionların $[\text{SnS}_3(\text{H}_2\text{O})_3]^{2-}$, $[\text{Sn}(\text{OH})_3(\text{HS})_3]^{2-}$, $[\text{SnS}_4(\text{H}_2\text{O})_3]^{4-}$, $[\text{Sn}(\text{OH})_3\text{S}_2(\text{HS})_3]^{4-}$ tərkibində olur [1, 2, 4, 8].

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə alaraq biz işdə AgNO_3 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ və SnS_2 birləşmələrindən istifadə etməklə sulu məhlullarda mürəkkəb tərkibli tiostannatları almağı qarşıya məqsəd qoyduq.

İşdə $\text{AgNO}_3\text{--Cu}(\text{NO}_3)_2\text{--SnS}_2\text{--H}_2\text{O}$ sistemində baş verən fiziki-kimyəvi qarşılıqlı təsire aid nəticələr verilmişdir.

Təcrübi hissə. $\text{AgNO}_3\text{--Cu}(\text{NO}_3)_2\text{--SnS}_2\text{--H}_2\text{O}$ sistemində baş verən qarşılıqlı təsiri tədqiq etmək üçün 0,1 M AgNO_3 , $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ məhlullarından və SnS_2 -nin 5%-li etilendiamində məhlulundan istifadə edilmişdir. Məhlullarda mühitin pH-ı 5-6 aralığında saxlanılmışdır. İlkin komponentlərin müxtəlif mol nisbətlərindəki qarışığından 25 nümunə hazırlanmış və nümunələr həcmi 100 ml olan avtoklava yerləşdirilmişdir. Nümunələrlə doldurulmuş avtoklavlar mikrodalğalı sobaya yerləşdirilərək 150°C temperaturda 48 saat müddətində saxlanılmışdır. Sintez başa çatdıqdan sonra nümunələr otaq temperaturuna kimi soyudulmuş və süzülmüşdür. Çöküntülər əvvəlcə ultratəmiz su, sonra isə 96%-li etanolla yuyulmuş və 80°C temperaturda vakuumda qurudulmuşdur. Çöküntülərin tərkibi və xassələri fiziki-kimyəvi analiz metodları (RFA, DTA, SEM) vasitəsilə tədqiq edilmişdir.

Nəticələrin müzakirəsi. $500\text{--}550^\circ\text{C}$ temperaturda termiki emal edilmiş çöküntülərin RFA (D2 Phaser Bruker, CuK_α -şüalanma, Ni-filtr) nəticələrindən məlum olmuşdur ki, bütün çöküntülərin tərkibində Ag_2S , Ag_2SnS_3 və Cu_2SnS_3 fazaları iştirak edir. Nümunələrin ərimə temperaturları və termoqrametrik analizi NETZSCH STA 449F3 markalı termoqrafla ($25\text{--}900^\circ\text{C}$ temperatur aralığında) müəyyən edilmişdir. Çöküntülərin sıxlığı piknometrik metodla, mikromorfologiyası isə HİTACHI TM3000 markalı mikroskopla müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{AgNO}_3\text{--Cu}(\text{NO}_3)_2\text{--SnS}_2\text{--H}_2\text{O}$ sistemində alınan bütün çöküntülər havada və suda, həmçinin mineral turşulara (H_2SO_4 , HNO_3 , HCl) qarşı davamlıdır, üzvi həlledicilərdə həll olmur.

RFA və DTA nəticələrinə əsasən çöküntülərin tərkibdən asılı olan bəzi fiziki-kimyəvi xassələri aşağıdakı cədvəldə göstərilmişdir (cədvəl 1).

Cədvəl 1

Alınmış çöküntülərin bəzi fiziki-kimyəvi xassələri

№	İlkin komponentlərin miqdarı, mol %			Faza tərkibi	Termiki effektlər, °C	Sıxlığı, q/sm ³
	Ag ⁺	Cu ⁺	SnS ₂			
1	0,00	57,14	42,85	Cu ₂ SnS ₃	855	4,85
2	28,57	28,57	42,86	Ag ₂ SnS ₃ , Cu ₂ SnS ₃	665; 827	5,20
3	33,33	26,67	40,00	Ag ₂ SnS ₃ , Cu ₂ SnS ₃ , Ag ₂ S	782; 822; 961	5,43
4	35,29	23,53	41,18	Ag ₂ SnS ₃ , Cu ₂ SnS ₃ , Ag ₂ S	692; 834; 632	5,83
5	33,50	33,33	33,17	Cu ₂ SnS ₃ , Ag ₂ S	832; 945	6,81
6	30,05	40,02	29,3	Cu ₄ SnS ₄ , Ag ₂ S	826; 912; 1130	6,20
7	20,00	40,00	40,00	Ag ₂ SnS ₃ , Cu ₂ SnS ₃ , Cu ₄ SnS ₄	667; 824; 830; 1126	5,68

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, ilkin komponentlərin (Ag:Cu:Sn:S) 1:1:1:2 mol nisbətindəki qarışıqından Ag₂SnS₃ və Cu₂SnS₃, 2:6:3:10 mol nisbətindəki qarışıqından isə Ag₂SnS₃, Cu₂SnS₃ və Cu₄SnS₄ birləşmələri birgə çökür. Digər tərkiblərdəki qarışıqlardan müvafiq birləşmələrlə yanaşı Ag₂S birləşməsi də alınır. DTA nəticələrindən məlum olmuşdur ki, hər bir çöküntü üzrə alınmış termiki effektlər müvafiq birləşmələrin polimorf çevrilmə, faza keçidləri və ərimə temperaturlarına uyğundur. Müxtəlif tərkiblərdə alınmış çöküntülərin sıxlığı 4-7 q/sm³ aralığında dəyişir.

Müəyyən edilmişdir ki, tərkibində 0,04-0,2 mol% Ag, 1,8-1,98 mol% Cu və 0,8-0,98 mol% Sn olan çöküntüləri 630°C temperaturda termiki emal etdikdə (Cu₂SnS₃)_{1-x}(Ag₂S)_x tərkibli ərintilər alınır (cədvəl 2). Bu ərintilərin hamısı kub sinqoniyada kristallaşır. Bu ərintilərin tərkibi və kristal qəfəsinin parametrləri aşağıdakı cədvəldə göstərilmişdir.

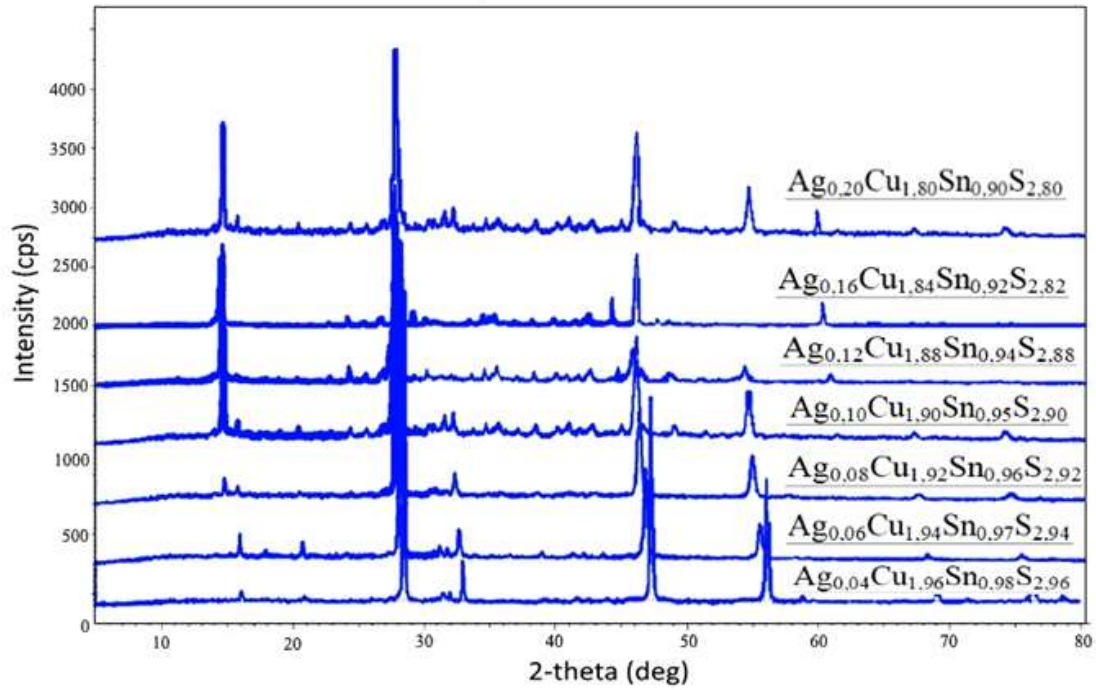
Cədvəl 2

(Cu₂SnS₃)_{1-x}(Ag₂S)_x tərkibli ərintilərin kristalloqrafik parametrləri

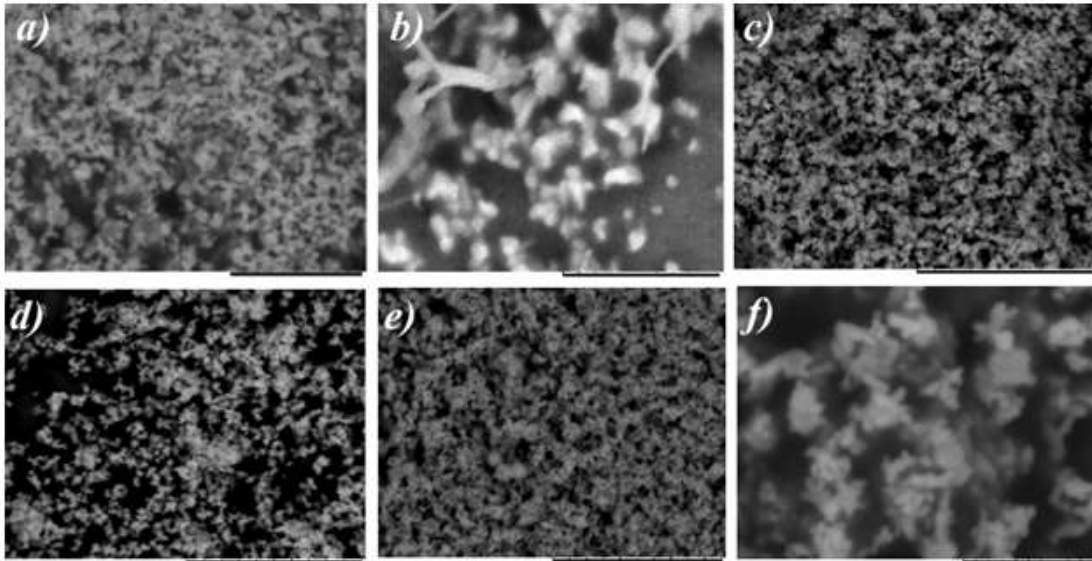
Tərkib	$a, \overset{0}{A}$	Z	$V, \overset{0}{A}^3$	$d, \frac{q}{sm^3}$
Ag _{0,20} Cu _{1,80} Sn _{0,90} S _{2,80}	5,562	4	172,25	5,66
Ag _{0,16} Cu _{1,84} Sn _{0,92} S _{2,82}	5,513	4	166,92	5,64
Ag _{0,12} Cu _{1,88} Sn _{0,94} S _{2,88}	5,491	4	165,14	5,57
Ag _{0,10} Cu _{1,90} Sn _{0,95} S _{2,90}	5,464	4	163,11	5,45
Ag _{0,08} Cu _{1,92} Sn _{0,96} S _{2,92}	5,432	4	162,47	5,41
Ag _{0,06} Cu _{1,94} Sn _{0,97} S _{2,94}	5,422	4	162,06	5,39
Ag _{0,04} Cu _{1,96} Sn _{0,98} S _{2,96}	5,416	4	161,87	5,35

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi, (Cu₂SnS₃)_{1-x}(Ag₂S)_x tərkibli ərintilərin hamısında kristal qəfəsin quruluşu eynidir. Ərintilərdə gümüşün miqdarı artdıqca sıxlıq da artır və artımda xəttilik müşahidə olunur. Bu da (Cu₂SnS₃)_{1-x}(Ag₂S)_x tərkibli ərintilərin bərk məhlul xarakterli olduğunu sübut edir.

AgNO₃–Cu(NO₃)₂–SnS₂–H₂O sistemində alınan bütün çöküntülərin mikromorfologiyası HITACHI TM3000 markalı mikroskopla tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, 150°C temperaturda alınmış bütün çöküntülər (10 mkm sahədə) yüksək adheziyalı nano- və mikro-hissəciklərdən ibarətdir (şəkil 2).



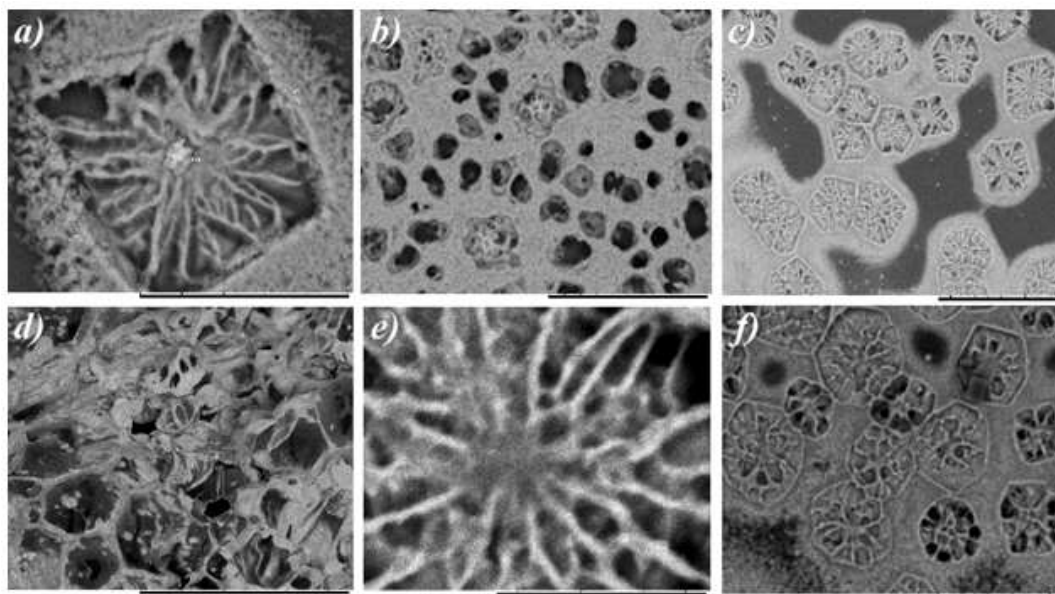
Şəkil 1. $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli ərintilərin difraktoqramı.



Şəkil 2. 150°C temperaturda alınmış bəzi çöküntülərin SEM şəkilləri:

- a) Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 , b) Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 , Ag_2S , c) Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 , Ag_2S ,
d) Cu_2SnS_3 , Ag_2S , e) Cu_4SnS_4 , Ag_2S , f) Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 , Cu_4SnS_4 .

630°C temperaturda alınmış $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli ərintilərin SEM şəkillərində fərqli quruluşlar müşahidə olunur (şəkil 3). Belə ki, nanohissəciklərin bitişməsi nəticəsində nanokristallik quruluşlar formalaşır.



Şəkil 3. 630°C temperaturda alınmış $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli ərintilərin SEM şəkilləri:

- a) $\text{Ag}_{0,20}\text{Cu}_{1,80}\text{Sn}_{0,90}\text{S}_{2,80}$, b) $\text{Ag}_{0,16}\text{Cu}_{1,84}\text{Sn}_{0,92}\text{S}_{2,82}$,
 c) $\text{Ag}_{0,12}\text{Cu}_{1,88}\text{Sn}_{0,94}\text{S}_{2,88}$, d) $\text{Ag}_{0,10}\text{Cu}_{1,90}\text{Sn}_{0,95}\text{S}_{2,90}$,
 e) $\text{Ag}_{0,06}\text{Cu}_{1,94}\text{Sn}_{0,97}\text{S}_{2,94}$, f) $\text{Ag}_{0,04}\text{Cu}_{1,96}\text{Sn}_{0,98}\text{S}_{2,96}$.

$\text{AgNO}_3\text{--Cu}(\text{NO}_3)_2\text{--GeS}_2\text{--H}_2\text{O}$ sistemində də oxşar hal müşahidə olunmuşdur. Lakin fərq ondan ibarətdir ki, alınan çöküntülərdə Ag_8GeS_6 birləşməsi müşahidə edilir. Gümüşlə zəngin çöküntülərin əsas tərkibi $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_8\text{GeS}_6)_x$ ($x = 0,1\text{--}0,9$) olur.

Nəticə. İlkin komponentlərin ($\text{Ag}:\text{Cu}:\text{Sn}:\text{S}$) 1:1:1:2 mol nisbətindəki qarışıqından Ag_2SnS_3 və Cu_2SnS_3 , 2:6:3:10 mol nisbətindəki qarışıqından isə Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 və Cu_4SnS_4 birləşmələri birgə çökür. Tərkibində 0,04–0,2 mol% Ag, 1,8–1,98 mol% Cu və 0,8–0,98 mol% Sn olan çöküntüləri 630°C temperaturda termiki emal etdikdə $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli ərintilər alınır. 630°C temperaturda alınmış $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ tərkibli ərintilərin SEM şəkillərində fərqli quruluşlar müşahidə olunur. Temperatur artdıqda nanohissəciklərin bitişməsi nəticəsində nanokristallik quruluşlar formalaşır.

ƏDƏBİYYAT

1. Hüseynov Q.M. Etilenqlikol mühitində Cu_2SnS_3 birləşməsinin alınması və xassələrinin tədqiqi // AMEA Naxçıvan Bölməsinin Xəbərləri, 2014, № 2, s. 29–33.
2. Hüseynov Q.M. Etilenqlikol mühitində Cu_2SnS_3 və Cu_4SnS_4 birləşmələrinin alınması və termodinamik xassələrinin tədqiqi // AMEA Naxçıvan Bölməsinin Xəbərləri, 2014, № 4, s. 30–34.
3. Бергер Л.И., Баланевская А.Э. // Труды ИРЕА, 1966, вып. 29, с. 243–245.
4. Нанобашвили Е.М., Ванчадзе Е.С., Путкарадзе И.В. и др. Сернистые соединения: индия, галлия, германия, олова и сурьмы. Тбилиси: Мецниереба, 1971, с. 89–91.
5. Захвалинский В.С., Фам Т.Т., Игуеи Тхи Т.Х., Хмара А.Н. Получение и исследование электропроводности Cu_2SnS_3 // Белгородский ГНИУ, Сов. наук. тех., 2013, № 6, с. 58–59.

6. Сергеев М.О., Антонов А.Ю., Ревина А.А., Боева О.А. Зависимость размеров наночастиц серебра, полученных в обратномцеллярных растворах, от коэффициента солубилизации / Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества: Сб. труд. второй всерос. школы-семинара. 2011, с. 127-131.
7. Rivet J. // Ann. Chim., 1965, v. 10, № 5-6, pp. 243-270.
8. Hahn H., Klinger W., Ness P., Schilre H. // Naturwissenschaften, 1966, v. 53, № 1, p. 18.
9. Lagond A., Cody J.A., Sowtah M. et al. Synthesis and x-ray diffraction photochemical and optical characterization of $\text{Cu}_2\text{Si}_x\text{Sn}_{1-x}\text{S}_3$ ($0,4 \leq x \leq 0,6$) for photovoltaic applications // Inorg. Chem., 2007, v. 46, № 4, pp. 1502-1506.
10. Jometio J.P.F., Jhou P., Kllinke H. Crystal structure refinement, electronic structure and thermoelectric properties of $\text{Cu}_4\text{Sn}_7\text{S}_{16}$ // J.Alloys and Compounds, 2006, v. 417, № 1-2, pp. 55-59.
11. Vaulney J.T., Olvejan J., Thackeray M.M. Substituted $\text{M}_x\text{Cu}_{6-x}\text{Sn}_5$ compounds metallic electrodes for lithium batteries // Electrochemical and solid-state Lett., 2007, v. 10, № 9, pp. 220-224.

AMEA Naxçıvan Bölməsi

E-mail: qorxmazhuseynli@rambler.ru

Gorkhmaz Huseynov

ACQUISITION OF COMPLEX THIOSTANNATES BASED ON SILVER AND COPPER

In this study, $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ containing sediments were obtained from the $\text{AgNO}_3\text{--Cu}(\text{NO}_3)_2\text{--SnS}_2\text{--H}_2\text{O}$ system by hydrothermal method at a temperature of 150°C using silver (I) nitrate, copper (II) nitrate solutions and a 5% solution of SnS_2 in ethylenediamine. It was determined that the main composition of $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ containing sediments is composed of Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 , Ag_2S and Cu_4SnS_4 compounds. The phase composition of thermally processed sediments at a temperature of $500\text{--}550^\circ\text{C}$ was determined by the RFA method and the parameters of the crystal lattice were studied. It was found that all alloys containing $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ crystallize in a cubic crystal lattice. It was determined that the alloys have solid solution character. Thermal effects occurring in sediments in the temperature range of $500\text{--}1200^\circ\text{C}$ were determined by the DTA method. The micromorphology of all the sediments obtained was studied and it was determined that all the sediments obtained at a temperature of 150°C consist of highly adhesive nano- and microparticles. As the temperature increases, nanocrystalline structures are formed as a result of the adhesion of nanoparticles.

Keywords: *silver, copper, chalcogenide, aqueous solution, sediment, phase, thermal effect, micromorphology.*

Горхмаз Гусейнов

ПОЛУЧЕНИЕ СЛОЖНЫХ ТИОСТАННАТОВ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРА И МЕДИ

В данной работе получены осадки составов $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ с использованием раствора нитрата серебра (I), нитрата меди (II) и 5%-ного раствора SnS_2 в этилендиаминах из системы $\text{AgNO}_3\text{--Cu(NO}_3)_2\text{--SnS}_2\text{--H}_2\text{O}$ гидротермальным методом при температуре 150°C . Установлено, что основной состав осадков $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ состоит из соединений Ag_2SnS_3 , Cu_2SnS_3 , Ag_2S и Cu_4SnS_4 . Определен фазовый состав термически обработанных осадков методом РФА при температуре $500\text{--}550^\circ\text{C}$ и изучены параметры кристаллической решетки. Установлено, что все сплавы содержащие $(\text{Cu}_2\text{SnS}_3)_{1-x}(\text{Ag}_2\text{S})_x$ кристаллизуются в кубической кристаллической решетке. Установлено, что сплавы имеют твердорастворенный характер. Определены термические эффекты, возникающие в осадках в диапазоне температур $500\text{--}1200^\circ\text{C}$, методом ДТА. Изучена микроморфология всех полученных осадков и установлено, что все осадки состоят из высокоадгезионных нано- и микрочастиц полученные при температуре 150°C . При повышении температуры наночастиц образуются нанокристаллические структуры в результате адгезии.

Ключевые слова: серебро, медь, халькогенид, водный раствор, осадок, фаза, тепловой эффект, микроморфология.

(AMEA-nın müxbir üzvü Tofiq Əliyev tərəfindən təqdim edilmişdir)

Daxilolma tarixi: İlkin variant 18.03.2021

Son variant 12.04.2021