

## Fe–As–S SİSTEMİNDƏ ŞÜŞƏMƏLƏGƏLMƏ VƏ ŞÜŞƏLƏRİN XASSƏLƏRİ

Teymur İLYASLI<sup>1</sup> , Tərlan ALLAHVERDİYEV<sup>1</sup> , Tofiq ƏLİYEV<sup>2</sup> , Günel QƏHRƏMANOVA<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

<sup>2</sup> Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan

\*Yazışılan müəllif: [t.allahverdiyev.sh@gmail.com](mailto:t.allahverdiyev.sh@gmail.com)

### NƏŞR TARİXİ:

Qəbul edilmə tarixi:  
01.09.2026

Nəşr edilmə tarixi:  
28.09.2026

### AÇAR SÖZLƏR:

Fe–As–S sistemi,  
xalkogenid şüşələr,  
şüşəmələgəlmə, faza  
tarazlığı, arsen  
sulfidi, dəmir sulfid,  
diferensial termiki  
analiz, şüşələşmə  
temperaturu,  
mikrobərklik

### XÜLASƏ

Məqalədə Fe–As–S sistemində, xüsusilə  $As_2S_3$ –Fe və  $As_2Se_3$ –FeS kəsikləri üzrə şüşəmələgəlmə prosesləri və alınmış şüşəvari ərintilərin fiziki-kimyəvi xassələri tədqiq edilmişdir. Tədqiqatın əsas məqsədi arsen sulfidinə dəmir və dəmir sulfidinə daxil edilməsinin şüşəmələgəlmə sahəsinə, faza çevrilmələrinə və şüşələrin makroskopik xassələrinə təsirini müəyyən etməkdir. Bu məqsədlə müxtəlif tərkibli ərintilər mərhələli sintez üsulu ilə alınmış, homogenləşdirilmiş və diferensial termiki analiz üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Termoqramlarda şüşələşmə ( $T_g$ ), kristallaşma ( $T_c$ ) və ərimə ( $T_m$ ) temperaturlarına uyğun termiki effektlər müəyyən edilmiş və alınmış nəticələr əsasında sistemlərin mikrofaza diaqramları qurulmuşdur. Şüşəvari nümunələrin sıxlığı və mikrobərkliyi öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, sistemdə dəmir və FeS miqdarının dəyişməsi şüşələrin strukturuna və fiziki-kimyəvi parametrlərinə əhəmiyyətli təsir göstərir.  $As_2S_3$ –FeS sistemində FeS miqdarı artdıqca şüşələşmə temperaturunun, sıxlığın və mikrobərkliyin monoton şəkildə artması müşahidə edilir. Bu qanunauyğunluq  $As_{1.5}$  triqonal struktur vahidləri ilə yanaşı şüşə torunda yeni struktur vahidlərinin əmələ gəlməsi ilə əlaqələndirilir. Alınmış nəticələr Fe–As–S əsaslı xalkogenid şüşələrin məqsədyönlü sintezi və funksional material kimi tətbiqi baxımından elmi və praktiki əhəmiyyət daşıyır.

## GİRİŞ

Arsen xalkogenidləri və onların müxtəlif s-, p- və d-blok elementlərinin xalkogenidləri ilə əmələ gətirdiyi şüşəvari sistemlər müasir materialşünaslığın və qeyri-üzvi kimyanın perspektivli tədqiqat istiqamətlərindən biridir (Borisova, 1983; Vinogradova, 1984; İlyasly, 1991). Xüsusilə  $As_2S_3$  və  $As_2S_3$  əsasında alınan şüşələr elektrik, optik və fotoelektrik xassələrinin geniş diapazonda dəyişdirilə bilməsi səbəbindən elektronika və optoelektronikada funksional materiallar kimi mühüm əhəmiyyət kəsb edir (Borisova, 1983; Patel et al., 2020; Liu et al., 2021; İlyasly et al., 2021). Arsen xalkogenidləri əsasında yüksək təmizlik dərəcəsinə və çoxfunksiyalı xassələrə malik yeni materialların alınması müasir qeyri-üzvi kimyanın aktual problemlərindən biridir (İlyasly, 1991). Bu tip şüşəvari yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyinin, fotokeçiriciliyinin, akustooptik və maqnit xassələrinin məqsədyönlü şəkildə dəyişdirilməsi üçün onların tərkibi, quruluşu və fazaəmələgəlmə xüsusiyyətləri arasında qarşılıqlı əlaqənin müəyyənəşdirilməsi vacibdir (Patel et al., 2020; Liu et al., 2021; İlyasly et al., 2021). Keçid metallarının, o cümlədən dəmirin arsen xalkogenidlərinin strukturuna daxil edilməsi şüşə torunun quruluşunda və nəticə etibarilə materialın fiziki-kimyəvi xassələrində mühüm dəyişikliklər yarada bilər (İlyasly et al., 2022; Ильяслы и др., 2021; Olekseyuk et al., 2017). Dəmirin şüşəvari birləşmələrə daxilolma mexanizmini izah etmək məqsədilə struktur vakansiyası modeli də nəzərdən keçirilmişdir. Bu model kristallik birləşmələrdə aşqarların həllolma qabiliyyətinin struktur xüsusiyyətləri ilə əlaqəsini izah etməyə imkan versə də, amorf maddələrdə struktur vakansiyası anlayışının tətbiqi məhdud xarakter daşıyır. Eksperimental tədqiqatlar temperaturun yüksəlməsi ilə dəmirin həllolma qabiliyyətinin artdığını göstərir. Bu fakt sistemdə fazaəmələgəlmə proseslərinin temperatur və tərkibdən asılılığının kompleks şəkildə araşdırılmasının vacibliyini göstərir. Təqdim olunan tədqiqatın əsas məqsədi  $As_2S_3$ –Fe və  $As_2S_3$ –FeS sistemlərində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakterini, şüşəmələgəlmə sahələrini və faza sərhədlərini müəyyən etmək, həmçinin alınmış şüşəvari materialların şüşələşmə temperaturu, sıxlığı və mikrobərkliyi kimi əsas fiziki-kimyəvi göstəricilərinin tərkibdən asılılığını öyrənməkdir.

## MATERIAL VƏ METODLAR

As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–Fe sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakterini və faza sərhədlərini müəyyən etmək məqsədilə müxtəlif miqdarda Fe saxlayan bir sıra ərintilər sintez edilmişdir. Tədqiq olunan tərkiblərdə dəmirin miqdarı geniş konsentrasiya intervalında dəyişdirilmişdir. Ərintilərin sintezi iki mərhələdə aparılmışdır. Birinci mərhələdə sobanın temperaturu 750–850 K intervalında saxlanılmış və nümunələr bu temperaturda 10 saat müddətində termiki emala məruz qoyulmuşdur. İkinci mərhələdə temperatur 1150 K-ə qədər yüksəldilmiş və ərintilər bu temperaturda 15 saat saxlanılmışdır. Nümunələrin kimyəvi və struktur homogenliyini təmin etmək məqsədilə onlar sonradan 475–480 K temperatur intervalında 600 saat müddətində tavlanmışdır. Alınmış ərintilərin termiki xüsusiyyətləri diferensial termiki analiz (DTA) üsulu ilə tədqiq edilmişdir (Ильяслы и др., 2019). Termoqramlarda şüşələşmə temperaturu ( $T_g$ ), kristallaşma temperaturu ( $T_{cr}$ ) və ərimə temperaturuna ( $T_m$ ) uyğun termiki effektlər müəyyən edilmişdir. DTA nəticələri əsasında As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–Fe sisteminin mikrofaza diaqramı qurulmuş və 10 K/dəq soyutma sürətində şüşəmələgəlmə sahəsi müəyyən edilmişdir. Bununla yanaşı, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sistemində qarşılıqlı təsirin xarakteri FeS-in 0–30 mol% konsentrasiya intervalında tədqiq edilmişdir. Müxtəlif FeS tərkibli nümunələr As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–Fe sistemi üçün istifadə olunan mərhələli sintez üsuluna analoji şəkildə hazırlanmışdır. Qızdırılma zamanı qeydə alınmış termiki effektlər əsasında As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sisteminin mikrofaza diaqramı qurulmuşdur. Nümunələrin əsas makroskopik fiziki-kimyəvi parametrləri kimi sıxlıq ( $d$ ), mikrobərklik ( $H_\mu$ ), şüşələşmə temperaturu ( $T_g$ ), kristallaşma temperaturu ( $T_{cr}$ ) və ərimə temperaturu ( $T_m$ ) müəyyən edilmişdir.

## NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

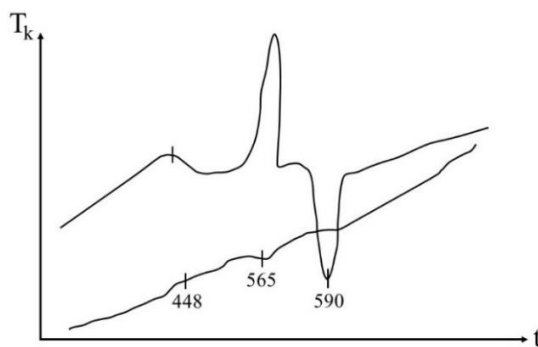
As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–Fe sistemində kimyəvi qarşılıqlı təsirin xarakterini və faza sərhədlərini müəyyən etmək məqsədilə müxtəlif miqdarda Fe saxlayan bir sıra ərintilər sintez edilmişdir. Tədqiq olunan ərintilərin mol, kütlə və atom faizləri ilə tərkibləri Cədvəl 1-də təqdim edilmişdir.

**Cədvəl 1.** As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–Fe sistemində ərintilərin tərkibi

| Ərintilər                      |    |                                |       |      |       |       | Faza<br>halı |
|--------------------------------|----|--------------------------------|-------|------|-------|-------|--------------|
| mol%                           |    | küt.%                          |       | at.% |       |       |              |
| As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | Fe | As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | Fe    | Fe   | As    | S     |              |
| 100                            | 0  | 100                            | 0     | -    | 40    | 60    | şüşəvari     |
| 99                             | 1  | 99,14                          | 0,86  | 0,43 | 39,88 | 59,59 | -            |
| 97                             | 3  | 97,87                          | 2,13  | 0,61 | 39,75 | 59,64 | -            |
| 95                             | 5  | 96,41                          | 3,59  | 1,04 | 39,58 | 59,38 | -            |
| 93                             | 7  | 94,97                          | 5,03  | 1,28 | 29,35 | 58,77 | -            |
| 90                             | 10 | 92,75                          | 7,25  | 2,17 | 39,13 | 58,70 | -            |
| 88                             | 12 | 91,25                          | 8,75  | 2,65 | 38,93 | 58,42 | şüşəvari     |
| 85                             | 15 | 88,96                          | 11,04 | 3,40 | 33,63 | 57,97 | -            |

As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–Fe sisteminin diferensial termiki analiz nəticələri göstərmişdir ki, tədqiq olunan ərintilərin termoqramlarında tərkibdən asılı olaraq şüşələşmə, kristallaşma və ərimə proseslərinə uyğun xarakterik termiki effektlər müşahidə olunur. Fe<sub>0.01</sub>As<sub>38.6</sub>S<sub>61.39</sub> tərkibli ərintinin termoqramı Şəkil 1-də göstərilmişdir.

Bu nəticələr əsasında qurulmuş mikrofaza diaqramı sistemdə şüşəmələgəlmə sahəsinin mövcudluğunu təsdiq etmişdir. Soyutma sürətinin 10 K/dəq olduğu şəraitdə müəyyən tərkibli ərintilərin amorf, yəni şüşəvari halda alınması mümkün olmuşdur.



**Şəkil 1.**  $Fe_{0.01}As_{38.6}S_{61.39}$  ərintisinin DSC termoqramı

$As_2S_3$  əsasında alınmış şüşələrə dəmirin daxil edilməsi onların fiziki-kimyəvi göstəricilərinin dəyişməsinə səbəb olur. Eksperimental nəticələr şüşələrin sıxlığının, mikrobərkliyinin və şüşələşmə temperaturunun tərkibdən asılı olduğunu göstərir. Tədqiq olunmuş şüşələrin əsas fiziki-kimyəvi göstəriciləri Cədvəl 2-də verilmişdir.

**Cədvəl 2.**  $As_2S_3$ – $Fe$  sistemində şüşələrin bəzi fiziki-kimyəvi xassələri

| Ərintilərin tərkibi           | Sıxlıq $d$ , $q/sm^3$ | Mikrobərklik, $H_p$ , $10^7 N/m^2$ , $P=0,15 N$ | $T_g$ , K |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|-----------|
| $As_2S_3$                     | 3.20                  | 129                                             | 453       |
| $Fe_{0.01}As_{38.6}S_{61.39}$ | 3.23                  | 132                                             | 455       |
| $Fe_{0.05}As_{39.0}S_{60.95}$ | 3.25                  | 134                                             | 458       |
| $Fe_{0.01}As_{38.6}S_{61.39}$ | 3.29                  | 137                                             | 462       |
| $Fe_{0.01}As_{38.6}S_{61.39}$ | 3.32                  | 142                                             | 467       |
| $Fe_{0.01}As_{38.6}S_{61.39}$ | 3.35                  | 145                                             | 471       |

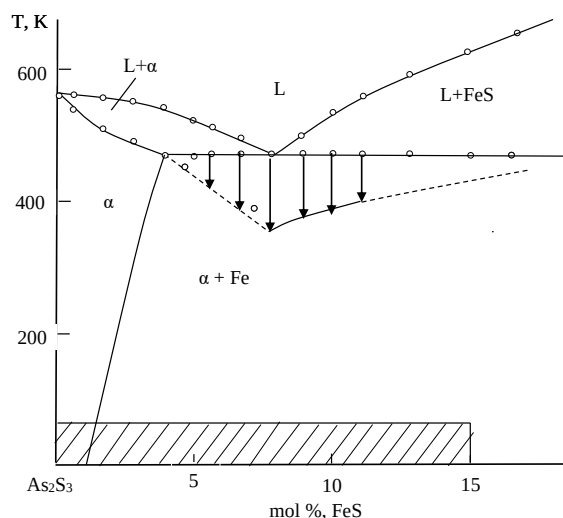
Təmiz  $As_2S_3$  üçün sıxlıq  $3,20 q/sm^3$ , mikrobərklik  $129 \times 10^7 N/m^2$ , şüşələşmə temperaturu isə 453 K təşkil etmişdir. Sistemə dəmirin daxil edilməsi ilə bu göstəricilərdə artım tendensiyası müşahidə edilmişdir. Şüşələşmə temperaturunun yüksəlməsi şüşə torunda atomlararası qarşılıqlı təsirlərin və struktur rabitələrinin möhkəmlənməsi ilə əlaqələndirilə bilər.

$As_2S_3$ – $FeS$  sistemində qarşılıqlı təsirin xarakteri  $FeS$ -in 0–30 mol% konsentrasiya intervalında tədqiq edilmişdir. Sintez edilmiş ərintilərin mol, kütlə və atom faizləri ilə tərkibləri Cədvəl 3-də təqdim edilmişdir.

**Cədvəl 3.**  $As_2S_3$ – $FeS$  sistemində ərintilərin mol%, kütl.% və at.% ilə tərkibləri

| Ərintilər |       |           |       |      |       |       |
|-----------|-------|-----------|-------|------|-------|-------|
| mol%      |       | küt.%     |       | at.% |       |       |
| $As_2S_3$ | $FeS$ | $As_2S_3$ | $FeS$ | Fe   | As    | S     |
| 100       | 0     | 100       | -     | -    | 40    | 60    |
| 99        | 1     | 99,16     | 0,84  | 0,20 | 39,91 | 60,08 |
| 97        | 3     | 97,48     | 2,52  | 0,61 | 39,51 | 59,87 |
| 95        | 5     | 95,79     | 4,21  | 1,03 | 39,17 | 59,79 |
| 93        | 7     | 94,02     | 5,98  | 1,46 | 38,89 | 59,65 |
| 90        | 10    | 91,52     | 8,48  | 2,12 | 38,29 | 59,58 |
| 85        | 15    | 87,17     | 12,83 | 3,29 | 37,36 | 59,55 |
| 80        | 20    | 82,75     | 17,25 | 4,54 | 36,36 | 59,10 |
|           | 30    | 73,67     | 26,33 | 7,31 | 34,14 | 58,55 |

As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sisteminin tədqiqi zamanı da tərkib dəyişdikcə termiki və mexaniki xüsusiyyətlərin qanunauyğun şəkildə dəyişdiyi müəyyən edilmişdir. Qızdırılma zamanı qeydə alınmış termiki effektlər əsasında As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sisteminin mikrofaza diaqramı qurulmuşdur (Şəkil 2).



**Şəkil 2.** As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sisteminin mikrofaza diaqramı

As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sistemində ərintilərin şüşələşmə, kristallaşma və ərimə temperaturları, həmçinin sıxlıq və mikrobərklik göstəriciləri Cədvəl 4-də təqdim edilmişdir.

**Cədvəl 4.** As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sistemində ərintilərin bəzi fiziki-kimyəvi xassələri

| Tərkib (mol%)                  |     | T <sub>g</sub> | T <sub>cr</sub> | T <sub>m</sub> | Sıxlıq d, q/sm <sup>3</sup> | Mikrobərklik, H <sub>p</sub> , 10 <sup>7</sup> N/m <sup>2</sup> (P=0,15 N) | Soyutma sürəti 10 K/dəq |
|--------------------------------|-----|----------------|-----------------|----------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | FeS |                |                 |                |                             |                                                                            |                         |
| 99                             | 1   | 453            | -               | 591            | 4,53                        | 1270                                                                       | şüşəvari                |
| 97                             | 3   | 458            | 501             | 585            | 4,60                        | 1320                                                                       | -                       |
| 95                             | 5   | 462            | 506             | 583            | 4,63                        | 1350                                                                       | -                       |
| 90                             | 10  | 468            | 513             | 580            | 4,70                        | 1370                                                                       | -                       |
| 85                             | 15  | 485            | 520             | 545            | 4,78                        | 1420                                                                       | -                       |
| 80                             | 20  | 496            | 532             | 625            | 4,95                        | 1500                                                                       | şüşə-kristal            |
| 75                             | 25  | 515            | 535             | 635            | 5,25                        | 1550                                                                       | -                       |
| 70                             | 30  | 520            | 542             | 645            | 5,28                        | 1590                                                                       | -                       |

1 mol% FeS saxlayan nümunədə T<sub>g</sub> 453 K, ərimə temperaturu 591 K, sıxlıq 4,53 q/sm<sup>3</sup> və mikrobərklik 1270 təşkil etmişdir. FeS miqdarı 3 mol%-ə çatdıqda T<sub>g</sub> 458 K, T<sub>cr</sub> 501 K, T<sub>m</sub> isə 585 K olmuşdur.

FeS konsentrasiyasının sonrakı artımı ilə şüşələşmə temperaturunun yüksəlməsi davam etmişdir. 5 mol% FeS olduqda T<sub>g</sub> 462 K, 10 mol% olduqda 468 K, 15 mol% olduqda 485 K, 20 mol% olduqda isə 496 K təşkil etmişdir.

25 və 30 mol% FeS tərkibli ərintilər üçün T<sub>g</sub> müvafiq olaraq 515 və 520 K-ə qədər yüksəlmişdir. Bu zaman sıxlıq da 4,53 q/sm<sup>3</sup>-dən 5,28 q/sm<sup>3</sup>-ə qədər, mikrobərklik isə 1270-dən 1590-a qədər artmışdır.

20 mol% FeS tərkibli nümunədə şüşə-kristal vəziyyətin müşahidə edilməsi sistemin yüksək FeS konsentrasiyalarında kristallaşmaya meylinin artdığını göstərir.

Eksperimental məlumatların müqayisəsi göstərir ki, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>–FeS sistemində şüşələşmə temperaturu, sıxlıq və mikrobərklik FeS konsentrasiyasının artması ilə ümumilikdə monoton şəkildə yüksəlir.

Bu dəyişikliklərin struktur səbəbi şüşə torunun yenidən qurulması ilə əlaqələndirilir. Arsen sulfid şüşələrinin strukturunun əsasını təşkil edən triqonal  $AsS_{1.5}$  vahidləri ilə yanaşı dəmirin iştirakı ilə yeni lokal struktur vahidlərinin yaranması mümkündür. Belə struktur dəyişiklikləri şüşə torunun kompaktlığının və rabitələrin möhkəmliyinin artmasına, nəticədə isə sıxlığın, mikrobərkliyin və  $T_g$  qiymətinin yüksəlməsinə səbəb olur.

Beləliklə, tədqiq olunan sistemlərdə tərkib–quruluş–xassə əlaqəsinin mövcudluğu aydın şəkildə müşahidə edilir. Fe və FeS komponentlərinin miqdarının dəyişdirilməsi yolu ilə alınan materialların termiki və mexaniki parametrlərinin məqsədyönlü şəkildə tənzimlənməsi mümkündür (Borisova, 1983; İlyasly, 1991).

Oxşar tərkib–quruluş–xassə asılılıqları digər arsen xalkogenid və çoxkomponentli sulfid şüşə sistemlərinin tədqiqi zamanı da müşahidə edilmişdir (İlyasly et al., 2022; Ильяслы и др., 2021; Olekseyuk et al., 2017).

## NƏTİCƏLƏR

Aparılmış tədqiqatlar əsasında  $As_2S_3$ –Fe və  $As_2S_3$ –FeS sistemlərində şüşəmələgəlmə proseslərinin və alınmış şüşələrin fiziki-kimyəvi xassələrinin tərkibdən əhəmiyyətli dərəcədə asılı olduğu müəyyən edilmişdir.

Diferensial termiki analiz nəticəsində ərintilərin şüşələşmə, kristallaşma və ərimə temperaturları müəyyən edilmiş, əldə olunan məlumatlar əsasında sistemlərin mikrofaza diaqramları qurulmuşdur.

$As_2S_3$ –Fe sistemində dəmirin daxil edilməsi şüşəvari nümunələrin sıxlığına, mikrobərkliyinə və şüşələşmə temperaturuna təsir göstərir. Temperatur artdıqca dəmirin həllolma qabiliyyətinin yüksəlməsi sistemdə baş verən qarşılıqlı təsirin mühüm xüsusiyyətlərindən biri kimi müəyyən edilmişdir.

$As_2S_3$ –FeS sistemində FeS konsentrasiyasının artması ilə  $T_g$ , mikrobərklik və sıxlığın monoton şəkildə yüksəlməsi müşahidə edilmişdir. FeS miqdarının artması şüşə torunun strukturunun dəyişməsinə və yeni struktur vahidlərinin formalaşmasına səbəb olur.

Alınmış nəticələr Fe–As–S sistemi əsasında tələb olunan termiki, mexaniki və digər funksional xassələrə malik yeni xalkogenid şüşəvari materialların məqsədyönlü şəkildə hazırlanması üçün elmi əsas yaradır.

## ƏDƏBİYYATLAR

- Borisova, Z. I. (1983). Chalcogenide Semiconducting Glasses. Leningrad: Leningrad State University. 344 p.
- Vinogradova, G. Z. (1984). Glass Formation and Phase Equilibria in Chalcogenide Systems: Binary and Ternary Systems. Moscow: Nauka. 176 p.
- İlyasly, T. M. (1991). Physicochemical Fundamentals of the Synthesis of Glassy and Crystalline Inorganic Materials Based on Arsenic Chalcogenides. D.Sc. Dissertation in Chemistry. Baku. 404 p.
- İlyasly, T. M., Gahramanova, G. H., Abbasova, R. F., et al. (2022). Glass formation and phase equilibria in the Tm–As–S and Tm–As–Se systems and their properties. Chemical Problems, 20(1), 68–81.
- İlyasly, T. M., Gahramanova, G. H., Abbasova, R. F., et al. (2021). Investigation of the electrical properties of glasses of the Tm–As–S and Tm–As–Se systems. New Materials, Compounds and Applications, 5(3), 227–234.
- Patel, A., Singh, D., Sonvane, Y., et al. (2020).  $As_2S_3$  as promising thermoelectric material with high conversion performance. Computational Materials Science, 183, 1–5.
- Ильяслы, Т. М., Гахраманова, Г. Г., & Наджафоглы, Г. (2019). Кристаллизация стекла на основе  $As_2S_3$  с участием Tm методом ДТА. Евразийский Союз Ученых, (3), 44–45.
- Ильяслы, Т. М., Гасанова, Д. Т., & Исмаилов, З. И. (2021). Исследование области стеклообразования по разрезам  $As_2S_3$ –HoS и  $As_2S_3$ –Ho<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Восточно-Европейский

журнал, 2(66), 72–77.

Olekseyuk, I. D., Ivashchenko, I. A., Danyliuk, I. V., et al. (2017). Glass formation in quasi-ternary system  $\text{La}_2\text{S}_3\text{--Er}_2\text{S}_3\text{--Ga}_2\text{S}_3$  and glass properties. \*Nauk. Visn. Uzhgorod. Univ., Ser. Him., (2), 18–21.

Liu, X., Zhang, Z., Ding, Z., et al. (2021). Highly anisotropic electronic and mechanical properties of monolayer and bilayer  $\text{As}_2\text{S}_3$ . Applied Surface Science, 542, 148665.

## ABSTRACT

### GLASS FORMATION AND PROPERTIES OF GLASSES IN THE Fe–As–S SYSTEM

Teymur Ilyasli<sup>1</sup>, Tarlan Allahverdiyev<sup>1</sup>, Tofiq Aliyev<sup>2</sup>, Gunel Gahremanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Baku State University, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup> Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan

The glass-forming processes and physicochemical properties of glassy alloys in the Fe–As–S system, particularly along the  $\text{As}_2\text{S}_3\text{--Fe}$  and  $\text{As}_2\text{S}_3\text{--FeS}$  sections, were investigated. The main objective of the study was to determine the effect of iron and iron sulfide additions on the glass-forming region, phase transformations, and macroscopic properties of arsenic sulfide-based glasses. Alloys of different compositions were synthesized by a stepwise procedure, homogenized, and studied by differential thermal analysis. Thermal effects corresponding to the glass transition temperature ( $T_g$ ), crystallization temperature ( $T_{cr}$ ), and melting temperature ( $T_m$ ) were determined, and microphase diagrams of the investigated systems were constructed on the basis of the experimental data. Density and microhardness of the obtained samples were also investigated. It was established that the incorporation of Fe and FeS significantly affects the structural and physicochemical characteristics of the glasses. In the  $\text{As}_2\text{S}_3\text{--FeS}$  system, the glass transition temperature, density, and microhardness generally increase monotonically with increasing FeS concentration. This behavior is associated with the formation of new structural units in the glass network in addition to the trigonal  $\text{AsS}_{1.5}$  units. The obtained results are of scientific and practical importance for the directed synthesis of Fe–As–S-based chalcogenide glassy materials with controlled properties.

**Keywords:** Fe–As–S system, chalcogenide glasses, glass formation, phase equilibria, arsenic sulfide, iron sulfide, differential thermal analysis, glass transition temperature, microhardness.

## РЕЗЮМЕ

### СТЕКЛООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА СТЕКОЛ В СИСТЕМЕ Fe–As–S

Теймур Ильясли<sup>1</sup>, Тарлан Аллахвердиев<sup>1</sup>, Тофиг Алиев<sup>2</sup>, Гюнель Гагременова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

<sup>2</sup> Нахчыванский государственный университет, Нахчыван, Азербайджан

В работе исследованы процессы стеклообразования и физико-химические свойства стеклообразных сплавов системы Fe–As–S, в частности разрезов  $\text{As}_2\text{S}_3\text{--Fe}$  и  $\text{As}_2\text{S}_3\text{--FeS}$ . Основной целью исследования являлось определение влияния железа и сульфида железа на область стеклообразования, фазовые превращения и макроскопические свойства стекол на основе сульфида мышьяка. Сплавы различного состава были получены ступенчатым методом синтеза, гомогенизированы и исследованы методом дифференциального термического анализа. Определены тепловые эффекты, соответствующие температуре стеклования ( $T_g$ ), температуре кристаллизации ( $T_{cr}$ ) и температуре плавления ( $T_m$ ), а на основании экспериментальных данных построены микрофазовые диаграммы исследуемых систем. Также изучены плотность и микротвердость полученных образцов. Установлено, что введение Fe и FeS оказывает существенное влияние на структурные и физико-химические характеристики стекол. В системе  $\text{As}_2\text{S}_3\text{--FeS}$  с увеличением содержания FeS наблюдается в целом монотонное повышение температуры стеклования, плотности и микротвердости. Такое поведение связывается с образованием в стеклообразной сетке новых структурных единиц наряду с

тригональными структурными единицами  $\text{AsS}_{1.5}$ . Полученные результаты представляют научный и практический интерес для направленного синтеза халькогенидных стеклообразных материалов системы  $\text{Fe-As-S}$  с регулируемыми свойствами.

**Ключевые слова:** система  $\text{Fe-As-S}$ , халькогенидные стекла, стеклообразование, фазовые равновесия, сульфид мышьяка, сульфид железа, дифференциальный термический анализ, температура стеклования, микротвердость.