$Se_{95}Te_5$ XALKOGENİD ŞÜŞƏVARİ SİSTEMİNDƏ ŞÜŞƏLƏŞMƏ VƏ KRİSTALLAŞMA PROSESLƏRİ

M.Q. TARVERDİYEV, S.U. ATAYEVA
Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu
AZ-1143, Azərbaycan, Bakı, H. Cavid pr.131
E-mail: seva_atayeva@mail.ru

$Se_{95}Te_5$ XŞY sisteminin şüşəyə keçid və kristallaşma prosesləri 5,10,15,20 K/dəq qızdırma sürəti ilə qeyri-izotermik rejimdə diferensial skan edən kalorimetrdən istifadə etməklə tədqiq edilmişdir. Şüşələşmə, kristallaşma və ərimə temperaturları təyin olunmuş və şüşəyə keçid temperaturunun kiçildilmiş dəyəri (T_{rg}), Hruby əmsalı (K_{gl}), kövrəklik əmsalı (F_i), və Avrami əmsalları (n və m), həmçinin şüşələşmə və kristallaşma proseslərinin aktivləşmə enerjisi (140.24 kC/mol, 95.11 kC/mol) hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibi yüksək dərəcədə şüşə əmələ gətirmə xassəsinə malikdir. Müəyyən edilmişdir ki, kristallaşma mexanizmi (n=2.51 m=1.9) iki ölçülü böyümə ilə müşayət olunan həcmli nüvələşməyə uyğundur.

Açar sözlər: xalkogenid, şüşələşmə temperaturu, kristallaşma temperaturu, kövrəklik əmsalı.
DOI:10.70784/azip.2.2024107 .

1. Giriş

Amorf yarımkeçiricilər həm elmi, həm də texnoloji maraqlara əsaslanan intensiv tədqiqatların mövzusudur. Müxtəlif fiziki xassələrin qeyri-adi birləşməsinə görə onlar bir çox qabaqcıl texnoloji sahələrdə (mikroelektronika, optoelektronika və s.) perspektivli materiallar hesab edilir [1-3], lakin onların istifadəsi termodinamik qeyri-sabitliklə məhdudlaşır. Maye fazadan soyudulmaqla alınan amorf yarımkeçiricilərin quruluşu sonrakı şüşələşmə və kristallaşma proseslərində dəyişikliklərə meyllidirlər. Hər iki proses termik aktivləşmə təbiətlidir və materialın fiziki xassələrinin nəzərə çarpan dəyişmələrinə səbəb olur.

Şüşəvari yarımkeçiricilərin quruluşunun və fiziki parametrlərinin istilik proseslərində və zamana görə stabilliyini qiymətləndirmək üçün qeyd olunan proseslərin aktivləşmə enerjisini və keçid temperaturlarını müəyyən etmək lazımdır. Soyutma üsulu ilə amorf maddələrin alınma prosesinin mürəkkəbliyi ondan ibarətdir ki, səth qatında və materialların bütün həcmində struktur dəyişiklikləri müxtəlif temperaturlarda və müxtəlif aktivləşdirmə enerjiləri ilə baş verə bilər. Bundan əlavə, alınan amorf maddələrin parametrləri bir çox amillərdən (soyutma sürəti və temperaturu, şüalanma, mexaniki emal və s.) asılıdır.

Şüşə halının termik nəzəriyyəsi hələ ümumi qəbul edilmiş nəzəri inkişaf halına çatmamışdır. Xalkogenid şüşələr atomar səviyyədə kimyəvi, kinetik və termodinamik proseslərin bir-biri ilə sıx əlaqəli olduğu mürəkkəb sistemlərdir. Bu sistemlərin əsas texnoloji tətbiqlərini optimallaşdırmaq üçün onlarda başverən bu mürəkkəb proseslər haqqında daha ətraflı məlumat lazımdır. Televiziya sistemləri üçün optik və optoelektronik komponentlər, lazer enerjisinin dalğa ötürücüləri, temperatur, kimyəvi, tibbi sensorlar və telekommunikasiyalar üçün qurğular [[4], [5], [6]] ideal, sabit və kristallaşmaya davamlı şüşə materiallar tələb edir. Digər tərəfdən, sürətli kristallaşma faza yaddaş elementlərinə qoyulan mühüm tələblərindən biridir [7]. Kristallaşmada nüvələşmə, böyümə və ümumi kristallaşmanın termodinamikası və kinetikası mexanizmləri haqqında hərtərəfli bilik kristallaşma davranışını proqnozlaşdırmağa və xüsusi tətbiqlər üçün yararlı olan materialın tərkibini və hazırlama üsullarını optimallaşdırmağa imkan verəcəkdir.

Selen və tellur dövri cədvəldə yaxın qonşu elementlər olsalar da, şüşə əmələ gətirmək üçün tamamilə fərqli qabiliyyətlər nümayiş etdirirlər. Se çox yaxşı şüşə əmələ gətirəndir və infraqırmızı şəffaflığı və kristallaşmaya davamlılığı ilə məşhur olan çoxsaylı şüşə kompozisiyalarının yaradılmasında istifadə olunur. Qeyd olunan materiallar optik liflər və linzalar kimi mürəkkəb optik cihazların əsas hissəsinə çevrilə bilərlər. Lakin onların şəffaflığı Se-nin nisbətən kiçik atom kütləsinə malik olması səbəbindən təxminən dalğa uzunluğunun 12 mkm qiyməti (optik sistemin qalınlığından asılı olaraq) ilə məhdudlaşır. Digər tərəfdən, tellur daha ağırdır, ona görə də, onun Se ilə birlikdə istifadəsi IR şəffaflıq həddini 20 mkm-dən də yüksək qiymətlərə qədər dəyişməyə imkan verir. Se-Te ərintiləri həm də yüksək işığa həssaslığına görə geniş istifadə olunur. Onlar həmçinin təmiz amorf Se ilə müqayisədə daha yüksək şüşə keçid və kristallaşma temperaturlarına və daha aşağı yaşlanma təsirlərinə malikdirlər [8].

Məlumdur ki, diferensial skan edən kalorimetriya (DSK) amorf materialların istilik və müvəqqəti dayanıqlığının öyrənilməsində çox faydalı vasitədir, müxtəlif metalların, yarımkeçirici şüşələrin səthində və həcmində struktur transformasiyalarının keçid temperaturlarını və aktivləşmə enerjilərini təyin etməyə imkan verir. Təqdim olunan iş dörd müxtəlif qızdırma sürətində (5, 10, 15 və 20 deq/dəq) DSK skanından istifadə etməklə şüşəvari $Se_{95}Te_5$ ərintisində şüşələşmə və kristallaşma kinetikası öyrənilməsinə həsr olunmuşdur. Müxtəlif nəzəri yanaşmalardan (Kissincer metodu [9,10], Oqis və Bennet metodu [11], Matusita metodu [12], Qao və Vanq metodu [13]) istifadə edərək, şüşə keçid proseslərinin və kristallaşmanın kinetikasını xarakterizə edən əsas parametrlər, - aktivləşmə enerjisi, Avram indeksi, Harbi əmsalı (şüşə əmələ gətirmə qabiliyyətinin göstəricisi), kövrəklik indeksi qiymətləndirilmişdir.

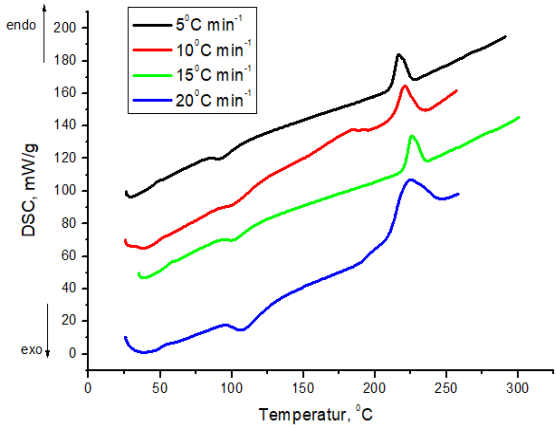
2. Eksperimental metodika və nümunələrin hazırlanması

$Se_{95}Te_5$ tərkibli XŞY-nin sintezi yüksək təmizliyə malik kimyəvi elementlər müvafiq miqdarda 10^{-4} mm Hg-də təzyiqə qədər havası sorulmuş kvars ampulaya doldurularaq fırlanan sobada əridilmiş, sonra soba söndürülərək soyudulmuşdur. Ocaqdakı temperatur təmiz Se (221°C) və təmiz Te -un (450°C) ərimə temperaturundan yuxarı, təqribən 800°C-ə qədər qızdırılmış və bu temperaturda 12 saat saxlanılmışdır. Hazırlanmış toplu nümunələr əzilmiş və toz şəklində təqdim edilmişdir.Şüşəvari $Se_{95}Te_5$ ərintinin şüşə halına keçidinin və kristallaşmasının təbiəti DSK metodu ilə tədqiq edilmişdir. DSC məlumatları STA-6000 sinxron istilik analizatorunda ərimə və kristallaşma termoqramlarını təhlil etməklə əldə edilmişdir. Tədqiqatlar təxminən *m*=15mq kütləsi olan seçilmiş nümunələrə verilən 30dərəcə/dəq istilik axını sürəti ilə *T*=25÷600°C temperatur diapazonunda aparılmışdır. Eksperimental olaraq əldə edilmiş DSK əyriləri istilik axınının (мC/s) və ya istilik tutumunun (C/qK) asılılığını əks etdirir. Azot atmosferində isitmə müəyyən bir sürətlə baş verən idarə olunan proqramla aparılır və ölçmə prosesi zamanı etalon və tədqiq olunan materialın istilik axınları müqayisə edilir. İstinad nümunəsi kimi boş alüminium kyuvet istifadə edilmişdir. $Se_{95}Te_5$ şüşəli ərintinin DSK əyriləri 5, 10, 15, 20 dər/dəq. qızdırılma sürətlərində çəkilmişdir.

3. Eksperimental nəticələr və onların müzakirəsi

a. XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibində şüşələşmə prosesi

Şəkil 1-də 5, 10, 15 və 20 K/dəq qızdırılma sürətlərində $Se_{95}Te_5$ tərkibinin DSK əyriləri göstərilir.



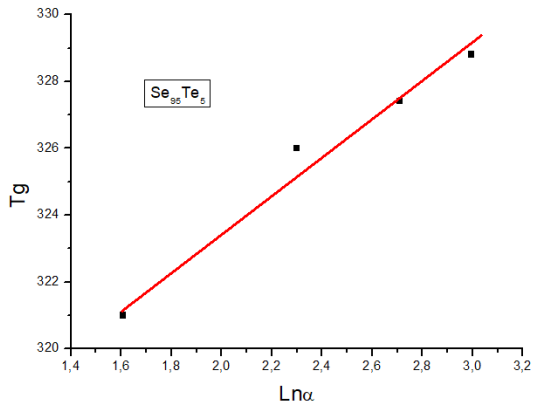
Şəkil 1. XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibinin 5, 10, 15 və 20 K/dəq qızdırılma sürətlərində DSK əyriləri.

Bu qrafiklərdən şüşələşmə temperaturu (T_g) (endotermik pik) və kristallaşma temperaturu (T_c) (ekzotermik pik), həmçinin ərimə temperaturu (T_m) (yüksək temperaturlu endotermik pik) təyin edilmişdir (Cədvəl 1).

Cədvəl 1.

Xalkogenid $Se_{95}Te_5$ tərkibinininin kalorimetrik parametrləri.

Heatin grate	T_g (K)	T_c (K)	T_m (K)	K_{gl}	K_p	F_i	T_g/T_m	T_c-T_m (K)
5	321	365,7	488,9	0,36	0,00042	22	0,66	44,7
10	326	374,6	457,3	0,59	0,000807	15	0,71	48,6
15	327,4	377,7	496,2	0,43	0,00119	13	0,66	50,3
20	328,8	380,8	497,8	0,44	0,00156	12	0,66	52



Şəkil 2. $Se_{95}Te_5$ xalkogenid sistemi üçün T_g-nin qızdırma sürətindən (α) asılılıq qrafiki.

Şəkil 2-də *Tg*-nin qızdırılma sürətindən (α) asılılığının qrafiki göstərilir, bu empirik ifadəyə uyğundur:

$$T_g = A + B\ln(\alpha) \qquad (1)$$

Tədqiq etdiyimiz $Se_{95}Te_5$ amorf sistemi üçün A və B-nin ədədi qiymətləri qrafikdən hesablanmış və müvafiq olaraq *A=310.71 K, B=5.71*dəq təşkil etmişdir.

Qızdırma sürətinin artımındakı dəyişikliklərin eyni şəkildə kristallaşma və şüşəyə keçid piklərinin mövqelərinə təsir etdiyini nəzərə alaraq, [9-10] müəllifi tərəfindən təklif olunan və qızdırma sürəti ilə kristallaşmanın pik temperaturu arasındakı əlaqəni ifadə edən (2) düsturu şüşələşmənin aktivləşmə enerjisini təyin etmək üçün də istifadə olunur.

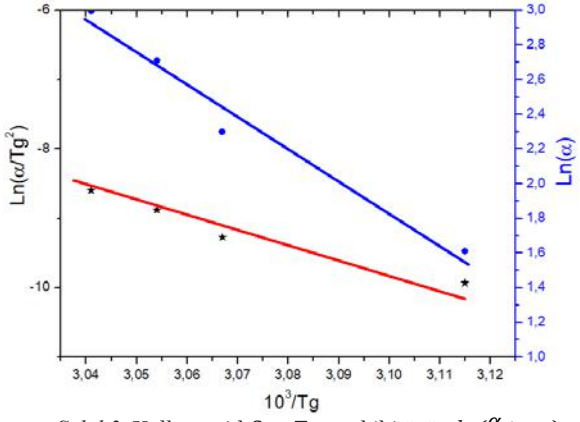
$$\ln\left(\frac{\alpha}{T_g^2}\right) = -\frac{E_g}{RT_g} + const \qquad (2)$$

Burada, α qızdırılma sürəti, *R* universal qaz sabitidir.

[14-16]-nın müəllifləri, istilik relaksasiyası fenomeni baxımından T_g-nin [14]-də alınan qızdırılma sürətindən asılılığını nəzərə alaraq, aşağıdakı düstur təklif etdilər:

$$ln(\alpha) = -\frac{E_g}{RT_g} + \text{const} \qquad (3)$$

Şəkil 3-də $ln(^{\alpha}/_{Tg^2})$ və $ln\alpha$ –nın $^{10^3}/_{T_g}$. -dən asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 3. Xalkogenid $Se_{95}Te_5$ tərkibi üçün $ln(^{\alpha}/_{Tg^2})$və $ln\alpha$-nın $^{10^3}/_{T_g}$-dən asılılıq qrafikləri.

Bu qrafiklərdən (2) və (3) düsturlarından istifadə etməklə şüşələşmənin aktivləşmə enerjiləri hesablanmış, onların nəticələri üçün 132,96 və 147,51 kC/mol, orta qiymət isə 140,24 kC/mol alınmışdır.

Cədvəl 1-də təqdim olunan kalorimetrik müşahidələrdən və [17]-nin müəllifi tərəfindən təklif olunan $T_{rg} = {}^{T_g}/_{T_m}$ düsturundan istifadə edərək şüşə əmələ gətirmə qabiliyyətini xarakterizə edən şüşələşmə temperaturunun kiçildilmiş qiyməti hesablanmış nəticəsi isə cədvəl 1-də göstərilmişdir. T_{rg}- şüşəyə keçid temperaturunun kiçildilmiş qiyməti, T_m- ərimə temperaturudur. Cədvəldən göründüyü kimi, bütün T_{rg} dəyərləri üçdə iki qaydaya tabe olur [18] ($T_{rg} \geq 0{,}65$K), yəni. XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibi yüksək şüşə əmələ gətirmə qabiliyyətinə malikdir. Cədvəl 1-də, həmçinin amorf matrisanın möhkəmliyini və sərtliyini xarakterizə edən kristallaşma temperaturu (T_c) və şüşə keçid temperaturu (T_g) arasındakı fərqi təqdim edilmişdir. Qızdırılma sürətinin artması ilə $T_c - T_g -$ nin ədədi qiyməti artır. Amorf maddənin istilik dayanıqlığını və şüşə əmələgətirmə qabiliyyətini təyin edən digər mühüm parametr Hruby əmsalı adlanır və $K_{gl} = (T_c\text{-}T_g)/(T_m\text{-}T_c)$ düsturu ilə ifadə edilir [19]. Bu parametrin ədədi dəyərləri də cədvəl 1-də də göstərilmişdir. Bu parametrlərə əlavə olaraq, kövrəklik adlanan empirik parametr də istifadə olunur [20-21], relaksasiya vaxtının istilik sürətindən və temperaturdan asılılığını xarakterizə edir və (4) düsturu ilə ifadə edilir.

$$F_i = \frac{E_g}{RT_g \ln(\alpha)} \qquad (4)$$

F_i-nin hesablanmış qiymətlərini kifayət qədər kiçik olması (cədvəl 1), [22]-yə görə, XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibinin yüksək şüşə əmələ gətirmə qabiliyyətini göstərir. Beləliklə, mövcud nəzəri yanaşmalardan istifadə edərək kalorimetrik tədqiqatların təcrübi nəticələrinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, $Se_{95}Te_5$ tərkibi yüksək perspektivli xassələrlə (təmiz selenlə müqayisədə yüksək işığa həssaslıq, möhkəmlik və s.) yanaşı, həm də yüksək şüşə əmələ gətirmə qabiliyyətinə malikdir.

b. XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibində kristallaşma prosesi

Maddənin amorf haldan kristal hala keçməsinin kinetikası və mexanizmi kristallaşmanın temperaturu və aktivləşmə enerjisi, həmçinin nüvələşmə proseslərini və onların böyüməsini xarakterizə edən *m* və *n* əmsalları ilə xarakterizə olunur. Müxtəlif qızdırılma sürətlərində kristallaşma temperaturunun pik dəyərlərindən istifadə edərək (şəkil 1, cədvəl 1) kristallaşmanın aktivləşmə enerjisi (5) düsturundan istifadə olunmaqla hesablanmışdır.

$$\ln\left(\frac{\alpha}{T_p^2}\right) = -\frac{E_c}{RT_p} + const \qquad (5)$$

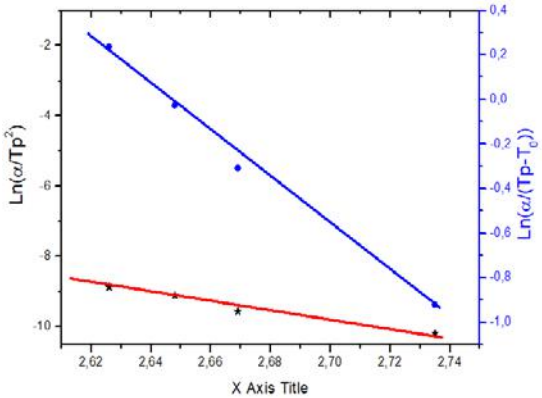
T_pvə E_c –kristallaşma temperaturunun pikinə uyğun qiyməti və aktivləşmə enerjisidir.

Kristallaşmanın aktivləşmə enerjisi [11] müəllifləri tərəfindən təklif olunan (6) düsturu ilə də hesablanır.

$$\ln\left[\frac{\alpha}{(T_p - T_o)}\right] \cong -\frac{E_c}{kT_p} + lnK_0 \qquad (6)$$

$T_o -$ kristallaşmanın başladığı temperature , K_0 – tezlik faktoru.

Şəkil 4-də $\ln(\frac{\alpha}{T_p^2})$ vəln $\left[\frac{\alpha}{(T_p - T_o)}\right]$və$^{10^3}/_{T_p}$-nin qrafikləri göstərilmişdir, bunun əsasında kristallaşmanın aktivləşmə enerjisi hesablanmış və nəticələr cədvəl 2-də təqdim olunmuşdur.



Şəkil 4. $Se_{95}Te_5$ xalkogenid tərkibi üçün $\ln(\frac{\alpha}{T_p^2})$ və $\ln\left[\frac{\alpha}{(T_p - T_o)}\right] - nin\ ^{10^3}/_{T_p}$-dən aslılıq qrafikləri.

Cədvəl 2.

Müxtəlif üsullardan istifadə etməklə hesablanmış kristallaşmanın aktivləşmə enerjisi E_c.

Method	E_c/ kJ mol^{-1}
Kissinger's method	99,93
Augis and Bennett method	88,48
Matusita's method	102,05
Average value	96,82

[19,22, 23,24] əsərlərin müəllifləri DSK tədqiqatı ilə müəyyən edilmiş eksperimental faktları şərh etmək üçün transformasiya kinetikasının formal nəzəriyyəsini

və t zamanı həcmin kristallaşmış hissəsini ($\varkappa$) ifadə edən düsturları təklif etmişlər.

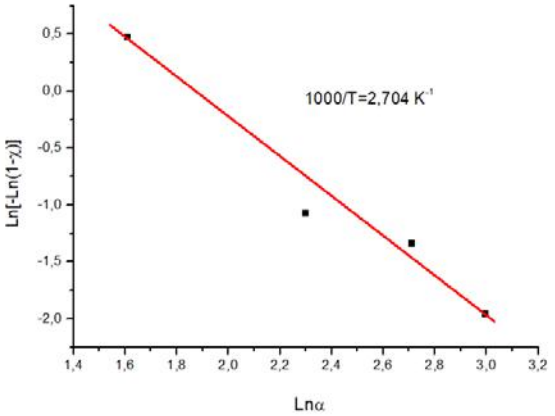
$$\varkappa = 1 - \exp[-(Kt)^n] \quad (7)$$

$$K = K_0 \exp(-\frac{E_c}{RT}) \quad (8)$$

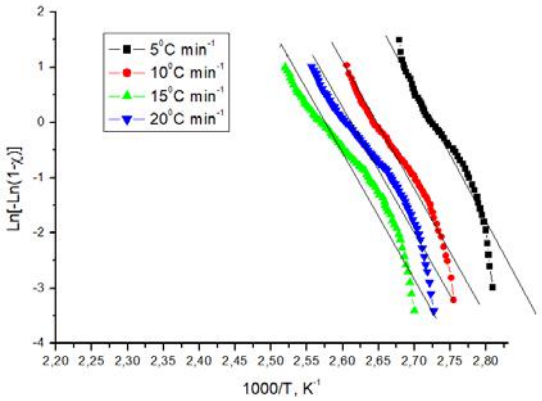
K – effektiv reaksiya sürəti, K_0– tezlik faktoru. Kristallaşmanın kinetikası və mexanizmi izotermik proses üçün [19,22,23,24] müəllifləri tərəfindən təklif olunan modeldən istifadə etməklə öyrənilir. Qeyri-izotermik üsulda sabit sürətlə qızdırma zamanı nümunə həcminin kristallaşmış hissəsinin temperaturdan və qızdırılma sürətindən asılılığı (9) düsturu ilə ifadə edilir [12]:

$$\ln[-\ln(1-\varkappa)] = -\ln(\boldsymbol{a}) - 1{,}052\,{}^{mE_c}/_{RT} + const \quad (9)$$

burada, *m* və *n*, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, ədədi əmsallardır, onların arasındakı əlaqələr kristallaşma mexanizmindən asılıdır. DSK tədqiqatları zamanı nüvələşmə baş verdikdə və nümunə sabit sürətlə qızdırıldıqda *n=m+1* olur. DSK ölçmələrindən əvvəl bəzi istilik emalı nəticəsində yaranan nüvələrin qızdırılma prosesində böyüməsi baş verdikdə isə *n = m* şərti ödənilir.



Şəkil 5. $Se_{95}Te_5$ xalkogenid tərkibi üçün ln[-ln(1-$\varkappa$)]-in ln($\boldsymbol{a}$)-dan aslılıq qrafiki.



Şəkil 6. $Se_{95}Te_5$ xalkogenid tərkibi üçün ln[-ln(1-$\varkappa$)]-in${}^{10^3}/_{T}$ – *dən* aslılıq qrafiki.

ln[-ln(1-$\varkappa$)]-in ln($\boldsymbol{a}$)-dan (şəkil 5) və${}^{10^3}/_{T}$ –dan (şəkil 6) aslılıq qrafikindən n və mE_c-nin ədədi qiymətləri müəyyən edilir.

Təcrübələrimizdə bu əmsalların dəyərləri *n* = 2.51 *m*=1.9 oldu. [25]-ə görə, kristallaşma mexanizmini xarakterizə edən əmsalların göstərilən dəyərləri iki ölçülü böyümə ilə müşayiət olan həcmli nüvələşməyə uyğundur.

Qrafikdən göründüyü kimi (şəkil 6), ilkin hissədə qrafikin mailliyi yüksəkdir, lakin temperaturun artması ilə nəzərə çarpacaq dərəcədə azalır. Güman edilir ki, zamanın ilkin anında nüvələşmə və onların böyüməsi prosesləri parallel olaraq baş verir, hər biri kristallaşma prosesinə müəyyən töhfə verir. Zaman keçdikcə nüvələşmə prosesi zəifləyir və nüvənin böyüməsi üstünlük təşkil edir ki, bu da kristallaşmanın aktivləşmə enerjisinin azalmasında əks olunur.

Nəticə

XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibinin şüşələşmə və kristallaşma prosesləri qeyri-izotermik rejimdə DSK metodundan istifadə etməklə tədqiq edilmişdir. Müxtəlif qızdırma sürətlərində (5, 10, 15 və 20 K/dəq), şüşəyə keçidi (T_g), kristallaşma (T_p), ərimə (T_m) temperaturları təyin edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, qızdırma sürətinin artması ilə T_g, T_p artır. Eksperimental DSC məlumatlarından istifadə edərək amorf matrisanın şüşəyə keçid temperaturunun kiçildilmiş qiyməti (Trg), kristallaşma və şüşəyə keçid temperaturları arasındakı fərqi ($T_c - T_g$), Hruby əmsalı (K_{gl}) və kövrəklik əmsalı (F_i) kimi parametrləri qiymətləndirilmişdir. Göstərilən parametrlərin ədədi qiymətinə əsasən XŞY $Se_{95}Te_5$ tərkibinin yaxşı şüşə əmələgətirdiyi qənaətinə gəlinmişdir.

Struktur çevrilmələrin kinetikasına dair mövcud nəzəriyyələrdən istifadə etməklə, maddənin şüşəvari haldan özlü hala keçməsi zamanı struktur relaksasiyalarının aktivləşmə enerjisi (140,24 kC/mol) təyin edilmişdir.

Kristallaşmanın mexanizmi və kinetikası haqqında mövcud müxtəlif nəzəri yanaşmalardan istifadə etməklə kristallaşmanın aktivləşmə enerjisi, *m* və *n* əmsalları hesablanmış və kristallaşma mexanizmi haqqında müəyyən fikir irəli sürülmüşdür. Kristallaşma mexanizmini xarakterizə edən əmsalların ədədi qiymətləri (*n*=2.51; *m*=1.9) iki ölçülü böyümə ilə müşayiət olunan həcmli nüvələşməyə uyğundur.

Başlanğıcda ln[-ln(1-$\varkappa$)] ${}^{10^3}/_{T}$ - dən asılılıq qrafikinin meylinin yüksək qiyməti aktivləşmə enerjisinə, paralel şəkildə baş verən nüvələşmə və böyümə proseslərinin töhfə verməsi ilə əlaqələndirilmişdir. Vaxt keçdikcə birinci proses zəifləyir ki, bu da kristallaşmanın aktivləşmə enerjisinin azalması ilə müşayiət olunur.

[1] *B.J. Eggleton.* Chalcogenide photonics: Fabrication, devices and applications. Introduction, *Opt. Express* 2010, vol. 18, №25, p. 26632.

[2] *G. Tao, H. Ebendorff-Heidepriem, A.M.Stolyarov, S.Danto, J.V.Badding, Y.Fink, J.Ballato, A.F.Aboyraddy.* Infrared fibers, Adv.Opt. Photonics 7, 2015, 379 e 458.

[3] *W.H. Kim,V.Q. Nquyen, L.B. Shaw, L.E.Busse, C. Florea, D.J. Gibson, R.R. Gattass, S.S.Bayya, F.H. Kung, G.D. Chin, R.E. Miklos, I.D.Aggarwal, J.S. Sanghera*. Recent progress in chalcogenide fiber technology at NRL, J. Non-Cryst. Sol. 431, 2016, 8e15.

[4] N. Mehta Applications of chalcogenide glasses in electronics and optoelectronics: a review J. Sci. Ind. Res., 65 (10), 2006, pp. 777-786.

[5] *B. Bureau, X.H. Zhang, F. Smektala, J.L.Adam, J.Troles, H.L.Ma, C. Boussard-Pledel, J. Lucas,P Lucas, D.Le Coq, M.R. Riley, J.H. Simmons.* Recent advances in chalcogenide glasses J. Non-Cryst. Solids, 345, 2004, pp. 276-283.

[6] *X. Zhang, H. Ma, J. Lucas.* Applications of chalcogenide glass bulks and fibres J. Optoelectron. Adv. Mater., 5 (5), 2003, pp. 1327-1333.

[7] *S. Raoux, W. Welnic, D. Ielmini.* Phase change materials and their application to nonvolatile memories Chem.Rev.,110 (1), 2010, p.240-267.

[8] *A. Kumar, R. Misra, S.K. Tripathi.* Effect of partial crystallization on the photoconductive behaviour of amorphous thin films of $Se_{75}Te_{25}$. Semicond Sci Technol. 1989;4:1151–5

[9] *H.E. Kissinger*. Variation of peak temperature with heating rate in differential thermal analysis. J Res Natl Bur Stand. 1956, 57, 217–21.

[10] *H.E. Kissinger*. Reaction kinetics in differential thermal analysis. Anal Chem. 1957, 29,1702–6.

[11] *J.A. Augis, J.E. Bennett*. Calculation of the Avrami parameters forheterogrneous solid state reactions using a modification of the Kissinger method. J Therm Anal. 1978, 13, 283–92.

[12] *K. Matusita, T. Komatsu, R. Yokota.* Kinetics of non-isothermal crystallization process and activation energy for crystal growth in amorphous materials. J Mater Sci. 1984, 19, 291–6.

[13] *Y.Q. Gao, W. Wang.* On the activation energy of crystallization in metallic glasses. J Non-Cryst Solids. 1986, 81, 129–34.

[14] *C.T. Moynihan, A.J. Easteal, J. Wilder, J.Tucker*. Dependence of the glass transition temperature on heating and cooling rate. The Journal of Physical Chemistry. 1974, 78, 2673-2677.

[15] *J.P. Larmagnac, J. Grenet, P. Michon.* Glass transition temperature dependence on heating rate and on ageing for amorphous selenium films. Journal of Non-Crystalline Solids. 1981, 45(2), 157-168.

[16] *S.O. Kasap, C. Juhasz.* Kinematical transformations in amorphous selenium alloys used in xerography. JournalofMaterialsScience. 1986, 21, 1329-1340.

[17] *W. Kauzmann.* The nature of the glassy state and the behavior of liquids at low temperatures. Chemical Reviews. 1948, 43, 219-256.

[18] *A. Hrubý.* Evaluation of glass-forming tendency by means of DTA. Czechoslovak Journal of Physics. 1972, 22, 1187-1193.

[19] *M. Avrami*. Granulation, phase change, and microstructure kinetics of phase change. III. J Chem Phys. 1941, 9, 177–84.

[20] *M. Lasocka.*The effect of scanning rate on glass transition temperatureof splat-cooled $Te_{85}Ge_{15}$. Mater Sci Eng. 1976, 23, 173–7.

[21] Physical Review B. 1993, 47, 2882-2885.

[22] *W.A. Johnson, R.F. Mehl.* Reaction kinetics in processes ofnucleation and growth. Trans Am Inst Min Metall Eng. 1939, 135, 416–58.

[23] *M. Avrami.* Kinetics of phase change. I. General theory. J ChemPhys. 1939, 7, 1103–12.

[24] *M. Avrami*. Kinetics of phase change. II. Transformation-timerelations for random distribution of nuclei. J Chem Phys.1940, 8, 212–24.

[25] *K. Matusita and S. Sakka.* "Kinetic Study of the Crystallization of Glass by Differential Scanning Calorimetry, Phys. Chem. Glasses 20, 1979, Xl.

T.M. Tarverdiyev, S.U. Atayeva

GLASS TRANSITION AND CRYSTALLIZATION PROCESSES IN $Se_{95}Te_5$ CHALCOGENIDE GLASSY SYSTEM

The glass transition and crystallization processes of $Se_{95}Te_5$ HG system were studied using a differential scanning calorimeter in non-isothermal mode with a heating rate of 5,10,15,20 K/min. The glass transition, crystallization, and melting temperatures were determined and the reduced value of the glass transition temperature (Trg), Hruby coefficient (Kgl), brittleness coefficient (Fi), and Avrami coefficients (n and m), as well as the activation energy of the glass transition and crystallization processes (140.24 kC/mol, 95.11 kC/mol) was calculated. It has been shown that the composition of XSHY $Se_{95}Te_5$ has a high degree of glass-forming properties. It was determined that the crystallization mechanism (n = 2.51 m = 1.9) corresponds to volumetric nucleation accompanied by two-dimensional growth.

М.Г. Тарвердиев, С.У. Атаева

СТЕКЛОВАНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ХАЛЬКОГЕНИДНОЙ СТЕКЛООБРАЗНОЙ СИСТЕМЫ $Se_{95}Te_5$

На дифференциальном сканирующем калориметре в неизотермическом режиме со скоростью нагрева 5,10,15,20 К/мин исследованы процессы стеклования и кристаллизации ХСП системы $Se_{95}Te_5$. Определены температуры стеклования, кристаллизации и плавления, а также оценены редуцированное значение температуры стеклования (T_{rg}),

коэффициент Hruby (K_{gl}), коэффициент хрупкости (F_i) и коэффициент Аврами (n и m), а также энергия активации стеклования (140.24 кДж/моль) и кристаллизации (E_c = 95.11 кДж/моль). Показано, что ХСП состав $Se_{95}Te_5$ является хорошо стеклообразующим. Установлено, что механизм кристаллизации (n = 2,51 m = 1,9) соответствует объемному зародышеобразованию с двумерным ростом.

Qəbul olunma tarixi: 19.01.2024