

CVD ZnSe POLİKİSTALLARININ ELEKTROFİZİKİ XASSƏLƏRİNİN
İMPEDANS SPEKTROSKOPİYASIC.İ. HÜSEYNOV¹, H.A. ASLANOV¹, G.Ə. QARAŞOVA¹, İ.İ. ABBASOV²¹Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

CVD ZnSe polikristal nümunələrinin rentgen struktur analizləri aparılmış, səth morfologiyası və mikrostrukturunu tədqiq edilmiş, empedans spektroskopiyası üsulu ilə elektrik keçiriciliyinin və dielektrik keçiriciliyinin real və xəyali hissələrinin tezlik və temperaturdan asılılıqları tədqiq edilmişdir. Nümunənin bir fazadan ibarət olması, dominant istiqamətin mövcudluğu və onun səth mərkəzli kub sinqoniyada kristallaşdığı müəyyən edilir və elementar qəfəs parametri müəyyən edilir. Müəyyən edilmişdir ki, aktivləşmə enerjisi tezlik və temperaturdan asılı olaraq dəyişir, elektrik keçiriciliyi zona-zona və tullanma mexanizmləri ilə həyata keçirilir, qütbləşmə dispersiyası isə relaksasiya xarakteri daşıyır.

Açar sözlər: elektrik keçiriciliyi, hoppanma mexanizmi, dielektrik keçiricilik, relaksasiya dispersiyası, dipol polarizasiya.

Müasir elektron texnologiyalarında işləmə prinsipi geniş zonalı yarımkeçirici materiallara xas olan bir sıra fərdi xüsusiyyətlərinə əsaslanan cihazlar mühüm yer tutur. Bu tip kristallar minimum elektrik keçiriciliyi və aşağı dielektrik itkiləri ilə xarakterizə olunmaqla yanaşı, yüksək mexaniki dayanıqlılıq, xüsusiyyətlərin uzunmüddətli stabillik, yüksək radiasiya müqaviməti və əsas fiziki xassələrinin ətraf mühit parametrlərindəki dəyişikliklərdən minimal asılılıq nümayiş etdirir.

A^{II}B^{VI} tipli, geniş zolaqlı yarımkeçiricilər, xüsusən sink selenid, kristalları optoelektronika və lazer texnologiyasının müxtəlif sahələrində istifadə olunan perspektivli materialdır. Bu kristallar 0,6 – 20 mkm spektral diapazonda şəffaf olduqlarından, xüsusi təyinatlı optik sistemlərdə və CO₂ lazer optikasının görünən və infraqırmızı spektral diapazonunda işləyən optik elementlərin istehsalı üçün geniş istifadə olunur. Qadağan olunmuş zonasının eni kifayət qədər böyük olduğuna görə yüksək təmiz polikristal ZnSe yüksək müqavimətə malikdir, spektrin görünən bölgəsində şəffafdır və infraqırmızı şüaları yaxşı ötürür.

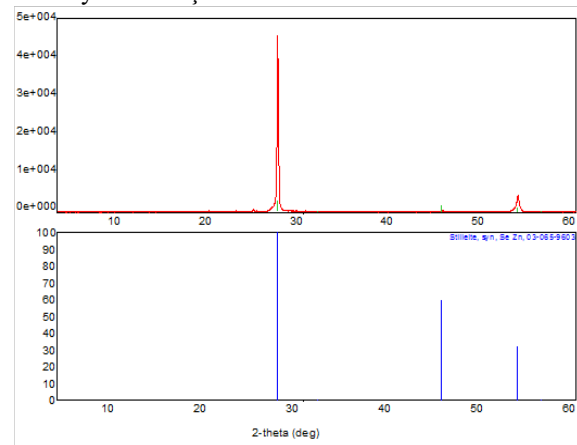
Sink selenidinin görünən diapazonunda şəffaflıq polikristal ZnSe –dən hazırlanmış optik cihazların tənzimlənməsi imkanlarını kifayət qədər genişləndirir. Polikristal sink selenid gecəgörmə cihazlarında, irəliyə baxmaq üçün termal görüntüləmə sistemlərində fəal şəkildə istifadə olunur. Mexanik gücü əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Sink selenidinin iri ölçülü, bircinsli və yüksək şəffaf nümunələrinin hazırlanması ilə bağlı bir çox problemlər sink buxarı və hidrogen selenidindən istifadə etməklə qaz fazasından kimyəvi buxar çökdürülməsi (sink-hidrid üsulu, CVD) üsulu ilə həll edilmişdir [1].

Tərkibində az miqdarda quruluş defektləri və aşqarlar olan ZnSe kristalları ilkin reagentlər kimi sink və qaz halında olan hidrogen selenid qarışığından istifadə etməklə qaz fazasından kimyəvi buxar çökdürülməsi (Kimyəvi Buxar Çöküntüsü, CVD üsulu) ilə əldə edilə bilər. Bu, yüksək istismar xüsusiyyətlərinə malik ZnSe nümunələrinin alınması üçün CVD metodunu ən perspektivli edir [2]. CVD üsulu çökmə zonasına daşıyıcı

qazla seyreltilmiş reagentlərin davamlı təchizatı ilə axın sistemində həyata keçirilir.

Optik materialların müxtəlif cihazlarda aktiv element kimi istifadə edilməsinə imkan verən ən mühüm xüsusiyyətlərindən biri elektrikkeçiriciliyinin, dielektrik nüfuzluğunun tezlik və temperatur asılılığıdır. Bu işdə CVD ZnSe-nin bəzi fiziki xassələri, o cümlədən rentgen difraksiya analizi və optik mikroskopiya və elektrikkeçiriciliyi və dielektrik nüfuzluğunun spektral və temperatur asılılıqları impedans metodu ilə tədqiq olunmuşdur. Təcrübədə istifadə edilən 3 mm qalınlığında polikristal ZnSe nümunəsi kimyəvi buxar çökdürülməsi yolu ilə əldə edilmişdir [3].

CVD ZnSe nümunəsinin difraktoqramı Miniflex 600 rentgen difraktometrində (XRD) çəkilmişdir. Nümunənin səthinin morfologiyasını və mikrotərkibini öyrənmək üçün JEOL JSM6610-LV skanedici elektron mikroskopdan istifadə olunmuşdur. Miqdari rentgen mikroanalizi vasitəsilə tədqiq olunan nümunələrdə fazanın tərkibi və səthdə kimyəvi elementlərin paylanması təyin edilmişdir.



Şəkil 1. CVD ZnSe kristallarında rentgen şüalarının difraksiyası.

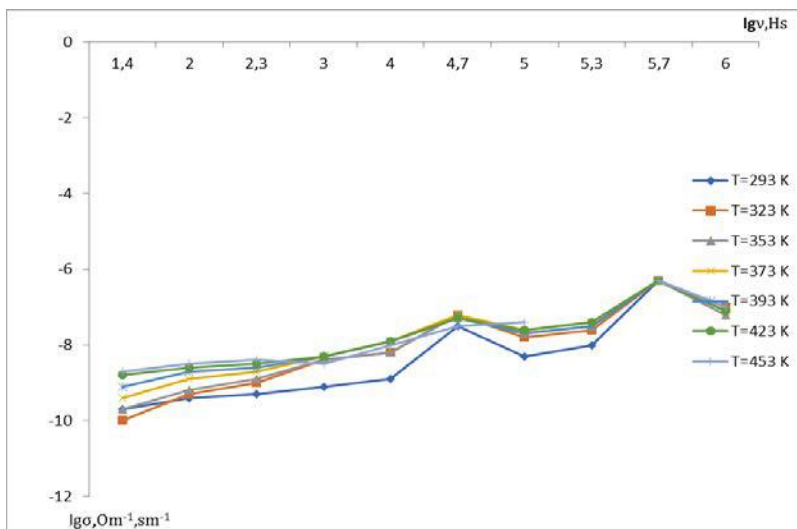
Rentgen şüalarının difraksiya tədqiqatları tədqiq olunan CVD ZnSe nümunəsi polikristal olduğunu göstərir (şəkil 1). Şüalarının əks olunma intensivliklərinin təhlili kristalda dominant istiqamətin mövcudluğunu və

nümunənin bir fazadan ibarət olduğunu göstərir. CVD ZnSe kristalları fəza qurupu $F43m(T_d^2)$ olan, $a_0 = 5.667\text{Å}$ qəfəs parametri səthə mərkəzləşmiş kübik sinqoniyada kristallaşır.

Miqdari rentgen mikroanalizi fazanın tərkibini və tədqiqat nümunəsinin səthində kimyəvi elementlərin paylanmasını müəyyən etdi. Alınan nəticələrin təhlili səthi homogen olduğunu, lakin stexiometriyanın seleniumun artıqlığı tərə sürüşdüyünü göstərir.

Son illər fundamental və tətbiqi tədqiqatlar zamanı proses və xassələrin öyrənilməsi metodu kimi impedans spektroskopiyasına (IS) tələbat fəvqəladə dərəcədə artmışdır. Bu metodu elektrokimya və fizikanın

müxtəlif oblastlarında yüksək informasiyaya malik işçi alət kimi tətbiq edirlər. CVD ZnSe kristallarının dəyişən elektrik sahəsində elektrofiziki xassələrini tədqiq etmək üçün immetans E7-20 ($25 \div 10^6\text{Hz}$) rəqəmli cihazından istifadə edilmişdir. Bu cihaz vasitəsilə tədqiq olunan nümunənin tutumu (C), aktiv müqaviməti (R), kompleks müqavimətin modulu (Z), keyfiyyəti (Q), itki bucağının tündensi ($tg\delta$) və kompleks müqavimətinin faza sürüşməsi (φ) ölçülə bilir. Tədqiq olunan nümunənin müqavimətindən asılı olaraq nümunə avtomatik olaraq dövrəyə paralel və ardıcıl qoşula bilir.



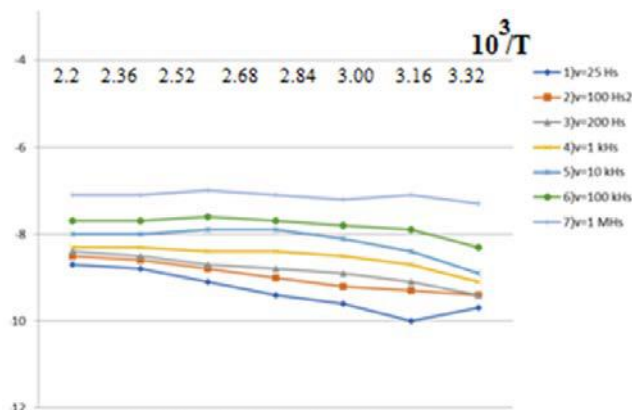
Şəkil 2. CVD ZnSe kristallarının elektrikkeçiriciliyinin tezlik asılılığı

Elektrofiziki xassələri ölçmələr üçün CVD ZnSe nümunələri müstəvi kondensatörlər şəklində hazırlanmışdır. Kondensatorun lövhələri kimi gümüş pastadan istifadə olunmuşdu. Dəyişən elektrik sahəsinin tezliyi $25 \div 10^6\text{ Hz}$ diapazonunda dəyişir. Nümunəyə 1 V gərginlik tətbiq olunmuşdur.

Tədqiq olunan CVD ZnSe nümunələrin xüsusi elektrik keçiriciliyi, C tutumunun və dielektrik itki bucağının tangensinin $tg\delta$ müxtəlif tezlik və temperaturlarda, ölçülmüş qiymətlərindən $\sigma = \omega C tg\delta$ münasibətinə əsasən hesablanmışdır, burada $\omega = 2\pi f$ dövrü tezlikdir. Şəkil 2-də CVD ZnSe monokristal üçün müxtəlif temperaturlarda elektrik keçiriciliyinin tezlikdən

asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir. Başlanğıcda tezliyin artması ilə elektrik keçiriciliyi sabit qalır, sonra isə elektrik keçiriciliyi tezlik artdıqca $\sigma \sim f^s$ qanunu üzrə yavaş-yavaş artır. Aşağı temperaturlarda, $2 \cdot 10^4 \div 10^6\text{ Hz}$ tezlik intervalında $s=0,01 \div 0,28$ oblastındakı qiymətləri alır. 375K temperaturda isə qeyd olunan tezliklərdə $s=0,01 \div 0,14$ intervalında dəyişir. s kəmiyyəti tezlik və temperaturdan asılı olaraq dəyişir.

Məlumdur ki, kristal və amorf yarımkəçiricilərdə elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi $\sigma(\omega) \sim \omega^S$, $0,01 \leq S \leq 1,0$ qanunu üzrə baş verməsi, keçiricilikdə sıçrayışlı mexanizmin müəyyən töhvəsinin olduğunu söyləməyə imkan verir.



Şəkil 3. CVD ZnSe kristallarının elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılığı.

Şəkil 3-də CVD ZnSe ilə keçiriciliyin $\sigma(T)$ temperaturdan asılılıqları təsvir edilmişdir. Qrafiklərdən görüldüyü kimi, CVD ZnSe polikristallarında elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı aktivləşmə xarakteri daşıyır [5]. Bu asılılıqların meylinə görə aktivləşmə enerjiləri (ΔE) təyin edilmişdir. Onların qiyməti aşağı temperatur bölgəsində 0,05 – 0,10 eV və yüksək temperatur bölgəsində 0,15 – 0,25 eV aralığında dəyişir. Tədqiqatlar göstərir ki, aktivləşmə enerjisinin dəyəri tezlik funksiyasıdır. Aktivləşdirmə enerjisinin tezlikdən asılılığı sıçrayışlı mexanizmindən istifadə etməklə izah edilə bilər [6]. Bu, o deməkdir ki, CVD ZnSe polikristallarında elektrik keçiriciliyi zona-sıçrayışlı mexanizmləri ilə xarakterizə olunur.

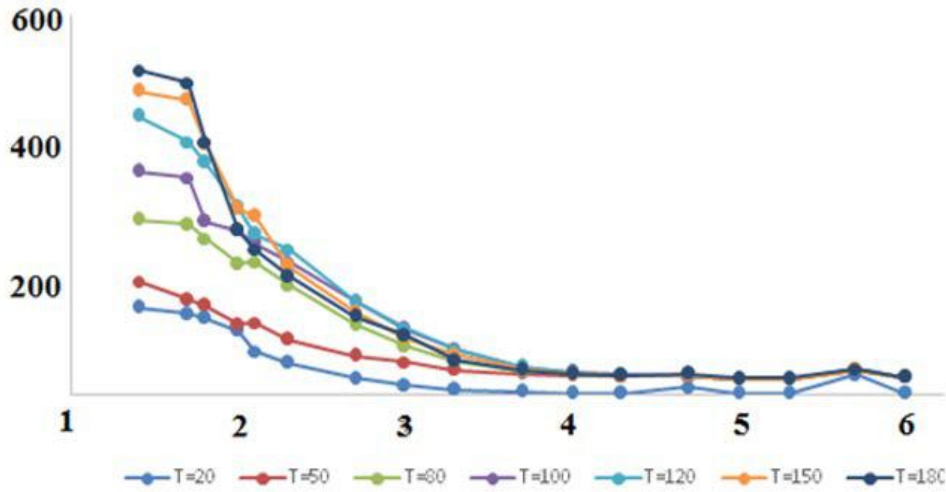
Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin qiyməti nümunənin d qalınlığı, səthinin S sahəsini bilərək, kondensatorun C tutumunun ölçülmüş qiymətlərindən hesablanmışdır:

$$\varepsilon' = \frac{C \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot S}$$

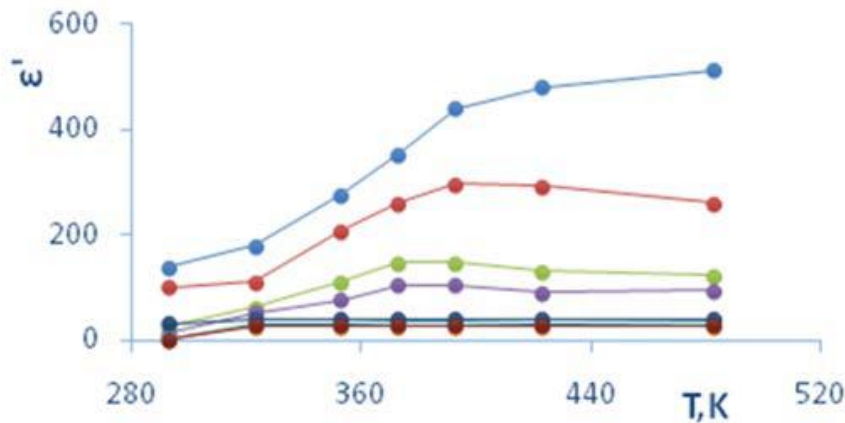
Şəkil 4-də CVD ZnSe kristalları üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılıq qrafiki verilmişdir. Müxtəlif

temperaturlarda polikristal CVD ZnSe-nin keçiriciliyinin $\varepsilon'(f)$ həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılığının tədqiqi göstərir ki, $\varepsilon'(f)$ spektrində güclü tezlik dispersiyası mövcuddur. Şəkildən görüldüyü kimi, infra-aşağı tezliklər oblastında ($f < 100 \text{ Hz}$), CVD ZnSenin dielektrik keçiriciliyi sabit qalır. Dipol molekullarının relaksasiya müddəti elektrik sahəsinin yarımdövründən az olduqda, dipollar sahənin istiqamətinə tam şəkildə yönəldilir, buna görə də, keçiricilik sabit qalır. Bütün tədqiq olunan temperatur intervalında $10^2 \div 10^4 \text{ Hz}$ tezlik oblastında tezliyin artımı ilə lbtkrnhbr nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin qiyməti monoton şəkildə azalır. $\varepsilon'(f)$ asılılığında ən kəskin eniş nisbətən aşağı tezliklərdə ($10^2 \div 10^4 \text{ Hz}$) müşahidə edilmişdir. $10^4 \div 10^6 \text{ Hz}$ tezlik intervalında ε' -nin qiyməti tezlikdən zəif asılıdır.

Temperatur artdıqca ε' tezlik dispersiyası artdı və $T=180 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatur üçün ε' çox güclü tezlik asılılığı müşahidə edildi. CVD ZnSe polikristallarında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin spektral asılılığı bu kristallarda polyarlaşma dispersiyasının relaksasiya xarakterli olduğunu göstərir. Qeyd etmək lazımdır ki, relaksasiya dispersiyası polyarlaşmanın dipol və miqra-siya mexanizmləri üçün xarakterikdir.



Şəkil 4.. CVD ZnSe kristallarının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlik asılılığı.



Şəkil 5. CVD ZnSe kristalın dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin temperatur asılılığı.

CVD ZnSe polikristallarında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin temperatur asılılıqları oxşardır. Şəkil 5-də müxtəlif tezliklərdə CVD ZnSe kristalının dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin $\varepsilon''(T)$ temperatur asılılığı təsvir edilmişdir. Qrafiklərdən görüldüyü kimi, müəyyən temperaturlara qədər ε' və ε'' praktiki olaraq sabit qalır və temperaturun sonrakı artımında ilə hər iki dielektrik nüfuzluğu kəskin şəkildə

artır. Tezliyin artımı ilə ε' – nin kəskin artmasına uyğun gələn temperatur daha yüksək temperatur oblasına tərəf sürüşür. Dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığının xarakteri dipol polarizasiyasına uyğundur. Tədqiq olunan CVD ZnSe -lərdə, əsasən, ε' və ε'' temperatur asılılıqları aktivləşmə xarakterlidir. Bu, tədqiq olunan nümunələrin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı ilə bağlıdır.

-
- [1] *D.C. Harris*. Development of Hot-Pressed and Chemical-Vapor-Deposited Zinc Sulfide and Zinc Selenide in the United States for Optical Windows; Tustison, R.W., Ed.; SPIE: Bellingham, WA, USA, 2007; p. 654502.
- [2] *E.M. Gavrushchuk*. Polycrystalline Zinc Selenide for IR Optical Applications. *Inorg. Mater.* 2003, 39, 883–899.
- [3] *I. Abbasov, M. Musayev, J. Huseynov, et al.* Temperature behavior of X-Ray luminescence spectra of ZnSe. *International Journal of Modern Physics B*, 2022, Vol. 36, № 02, p.2250018.
- [4] *N.N. Hashimova, I.I. Abbasov, M.A. Musayev, et al.* Study of the photoluminescence spectra observed from different points on the surface of a polycrystalline CVD ZnSe. *Funct. Mater.* 2022/9, Vol. 29, 3, p. 331-337.
- [5] *I. Abbasov, M. Musayev, J. Huseynov, M.Kostyrko, G. Eyyubov, D. Askerov.* Temperature behaviour of the photoluminescence spectra of polycrystalline ZnSe films with different surface treatment//*Ukrainian Journal of Physical Optics* 21 (3), 159-170.

C.I. Huseynov, H.A. Aslanov, G.A. Garashova, I.I. Abbasov

ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF CVD ZnSe POLYCRYSTALS IMPEDANCE SPECTROSCOPY

X-ray structural analyzes of CVD ZnSe polycrystalline samples were conducted, surface morphology and microstructure were studied, frequency and temperature dependences of real and imaginary parts of electrical conductivity and dielectric permeability were studied by impedance spectroscopy method. It is determined that the sample consists of one phase, the existence of a dominant direction, and that it crystallizes in a surface-centered cubic syngonia, and the elementary lattice parameter is determined. It was found that the activation energy changes depending on the frequency and temperature, the electrical conductivity is realized by zone-by-zone and jump mechanisms, and the polarization dispersion is relaxational.