

STİBİUM SELENİD ƏSASLI BƏRK FAZALARDA TERMoeLEKTRİK HADİSƏLƏRİNİN ÖYRƏNİLMƏSİ

Pərvin QULİYEV , İlkanə AĞALAROVA , Gülnur TAĞIYEVA 

Naxçıvan Dövlət Universiteti, Naxçıvan, Azərbaycan

*Yazılan müəllif: pervinquliyev@ndu.edu.az

NƏŞR TARİXİ:

Qəbul edilmə tarixi:
03.03.2026

Nəşr edilmə tarixi:
17.03.2026

AÇAR SÖZLƏR:

elektrod,
yarımkeçirici,
müqavimət,
səviyyə, qadağan
olunmuş zona.

XÜLASƏ

Müasir elektrotexnikanın tələblərinin ödənməsi üçün daha geniş temperatur intervalında işləyən yarımkeçirici materialların sintezi və optofiziki xassələrinin optimallaşdırılması tədqiqatçılar üçün əsas məsələlərdəndir. Stibium xalkogenidlər bu yarımkeçiricilərdəndir. Elektrokimyəvi yolla müxtəlif mühitlərdə sintez edilmiş Sb-Se sistemlərinin kinetik xarakteristikası tərəfimizdən öyrənilmişdir. Sintez prosesinə müxtəlif amillərin təsiri öyrənilmişdir. Təqdim edilən tədqiqat işində əsasən stibium selen sistemlərinin termoelektrik xarakteristikası işlənmişdir. Stibium selen sistemlərinin bərk məhlullar və stexiometrik formula uyğun olan birləşməsinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı öyrənilmiş, xüsusi müqavimətin temperaturun tərs qiymətindən asılılıq əyrisi qurulmuşdur. Məlum olmuşdur ki, temperaturun artması ilə stibium selenidin elektrik keçiriciliyi artır. Elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinin səbəbi birləşmənin qadağan olunmuş zona enerjisinin qiymətinin azalması ilə əlaqədardır. Elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı öyrənilərək məlum olmuşdur ki, stibium selenid geniş temperatur intervalında işləmə əhəmiyyətinə malikdir.

GİRİŞ

Elektrotexnikanın sürətli inkişafı yeni yarımkeçirici materialların sintezi məsələlərini meydana çıxarır. Bunun üçün müxtəlif sintez üsulları və sintez şəraitlərinin işlənilib hazırlanması tədqiqatçılar qarşısında dayanan məsələlərdəndir.

Əsas tədqiqat məqsədlərinin qlobal tələblərindən biri biokütlə enerjisinin yığılması və enerjinin çevrilməsi kimi texnologiyalara nail olmaqdır. Stibium xalkogenidləri, aşağı və otaq temperaturu diapazonunda nəzərəcarpacaq dərəcədə termoelektrik üstünlüklərinə malik olduqlarına görə termoelektrik generatorlar və Peltier soyuducuları üçün effektiv materiallardır. Stibium xalkogenidlərinin stexiometrik tərkibə uyğun və ya stexiometriyadan kənara çıxan bərk fazalar şəklində ərintilərinin alınması onların elektrik və istilik daşıma xüsusiyyətlərində əhəmiyyətli dərəcədə dəyişikliyə səbəb olur. Stibium xalkogenidlərdə müşahidə olunan yüksək termoelektrik üstünlük romboedrik kristal quruluşu mövcudluğu, daha aşağı effektiv kütlə, aşağı istilik keçiriciliyi və böyük zolaq degenerasiyası ilə əlaqədardır. Müasir tədqiqatların bu istiqamətdəki hədəfləri stibium xalkogenid birləşmələrinin və ya aşqar kimi müxtəlif komponentlər daxil edilmiş bərk fazaların termoelektrik xüsusiyyətlərini effektiv şəkildə yaxşılaşdırmaq və bunun üçün müxtəlif üsulları müəyyən etmək, eyni zamanda kəmiyyətləndirmək məqsədi daşıyır. Həmçinin top frezələmə, qılgıncım plazma metodu (Majidzade VA et. al 2019), birbaşa elementlərdən yüksək temperaturlu sintez, yumşaq kimyəvi reaksiya, hidrotermal reaksiya, ərintidən monokristal alınması (Ganesh Sh. At. ol. 2022) kimi metodlarla bu qəbildən olan materialların sintezi həyata kerilə bilmişdir.

Termoelektrik materialların, enerjinin istilik şəkilindən elektrik enerjisinə çevrilməsində istifadə imkanlarına əsaslanaraq qlobal tədqiqatçıların marağını cəlb etmişdir. Kommersiya məqsədli termoelektrik texnologiyaya termoelektrik soyuducularında və stabilizatorlarında effektiv şəkildə tətbiq olunur. Son iki onillikdə, əsasən tullantı materiallarının potensialına əsaslanan enerjinin toplanmasına və çevrilməsinə artan tələbat səbəbindən termoelektrik texnologiyaya diqqət genişlənməkdədir. Termoelektrik materialların effektivliyi aşağıdakı tənlik ilə hesablanır.

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{K} T$$

Burada S Zebbek əmsalı, T verilməsi mümkün olan temperatur, σ elektrik keçiriciliyidir.

Stibiumun sintez edilmiş xalkogenidləri arasında effektiv birləşmələrindən olan stibium selenidin kristal quruluşunun tetradimit kristal quruluşunda kristallaşdığı müəyyən edilmişdir (A. Parbatani at. ol. 2019). Sb və Se arasında xörək duzunun kristal strukturuna bənzər quruluşu da müşahidə edilmişdir, bu da alınan materialların kristallaşması üçün optimal mühitin seçilməsi ilə əlaqədardır.

Stibiumun selenidinin tellurla aşqarlanması zamanı materialda heç bir əhəmiyyətli struktur dəyişikliyi müşahidə olunmur. Lakin, tərkibdə Se atomlarının miqdarının artması ilə daha yüksək bucaq əmsalına malik ola bilər.

TƏCRÜBİ HİSSƏ

Ədəbiyyatlardan məlumdur ki, fazaların keçiriciliyini aşağıdakı tənliklə hesablamaq olur (Majidzade VA et. al 2017).

$$\sigma = enU$$

Verilmiş riyazi modelə əsaslanaraq komponentlərin keçiricilik tiplərini müəyyən etmək olur. p və n tip keçiricilərin istər məxsusi, istərsə də qarışıq oblastda keçiricilik nümayiş etdirməsi materialın təbiətindən asılıdır və hər bir keçiricilikdə özünəməxsus xarakteristika göstərir. Həm p , həm də n tip keçiricilərə malik, müqayisə edilə bilən performansla sahib mükəmməl, optimallaşdırılmış termoelektrik material hazırlamaq üçün yüksək yarımkeçirici və termoelektrik xassələr tələb olunur.

Bir sıra tədqiqatçılar (Majidzade VA et. al 2020) müəyyən etdilər ki, deformasiya yolu ilə qəfəsə daxil olan əlavə sərbəst elektronlar donor olmasa da ona bənzər effektə səbəb olur. Se-nin kristal sahələrinin donor boşluqlarını tutan Sb atomlarına məxsus elektronlar qəfəsin alt sahələrinə doğru yayıla bilər və nəticədə Se-nin elektron sferasında boşluqlar yaranır. Bu boşluqlar stibium selenidin topoloji izalyatora bənzər quruluş yarada bilməsinə əsaslanır. Əslində isə bu bənzərlik tam şəkildə topoloji xarakter daşıyan izalyator deyildir. Elektronların deformasiya effekti Sb_2Se_3 stexiometrik formula cavab verən birləşməsində də öyrənilmişdir. Soyuq preslənmiş nümunələrin elektrik müqavimətində qeyri-adi bir azalma olduğu müşahidə edilmişdir. Lakin Zebbek əmsalının aşağı daşıyıcı konsentrasiyası səbəbindən daxili diapazonda olduğu aşkar edilmişdir (A. Parbatani at. ol. 2019).

Termoelektrik xüsusiyyətlərini təyin edərkən zonalı əritmə üsulu külçənin tam təmiz olmadığı halda aşqardan təsirləndiyi müəyyən edilmişdir (Majidzade VA et. al 2019). Külçənin tərkibi təmiz olmadıqda materialın termoelektrik xüsusiyyətləri bir çox mənbələrdən elektronaktiv qarışıqların yaranması nəticəsində yükdaşıyıcı konsentrasiyasının dəyişməsi baş verə bilər. Nümunənin tərkibində Se kütləcə 4 %-dən az olduqda, ən yüksək termoelektrik dəyər göstəricisi 0,3 olduğu müəyyən edilmişdir. Bu stexiometrik formuldan kənara çıxan bərk fazalar və ya bərk məhlullar şəkilində mövcud ola bilər. Kvazi bərk məhlul formasında olan Sb-Se sisteminin 300 K-də ZT kəmiyyətinin qiyməti 1,1 tərtibində olmuşdur. Belə kompozit sistem nəzərə alınmayan çox kiçik daxili həyəcanlanma səbəbindən aşağı yükdaşıyıcı qatılığına malik olur. Sb_2Se_3 -ün tərkibində bipolyar keçiriciliyin basdırılması səbəbindən elektrik keçiriciliyi və Zebbek əmsalları artır (K. Tittes at.al. 2003). Bu səbədən qəfəs keçiriciliklə baş verən istilik keçiriciliyində azalma müşahidə olunur.

Qəfəs parametrlərinin mümkün ola bilən qüsurlarına əsaslanaraq stibium selenid sistemlərinin temperaturun aşağı qiymətlərində elektrik keçiriciliyində azalma müşahidə oluna bilər. 350 K-dən yüksək temperaturda qəfəsi əmələ gətirən atom və ya ionlarda güclü daxili həyəcanlanma baş verir ki, bu da elektrik keçiriciliyinin artan oblastda dəyişməsinə səbəb olur (D.D.L. Wijngaards at.al. 2000 and M. Takahashi 2004). Bu isə nisbətən yuxarı temperaturlarda stexiometriyadan kənar olan Sb-Se sistemlərində stibium atomlarının aktiv donor xarakterə malik olmasına səbəb olur, bir sözlə aktiv elektrodonor aşqar rolunu oynayır.

Elektrokimyəvi yolla sintez olunan stibium selenid n -tipkeçiricilik nümayiş etdirir.

NƏTİCƏLƏRİN TƏHLİLİ

Temperatur cərəyan asılılıqlarının öyrənilməsi üçün təqdim olunan işdə hazırlanmış bütün nazik təbəqələrin 300-400 K arasında müxtəlif temperaturlarda elektrik xarakteristikaları ilə xarakterizə edilmişdir. Müxtəlif temperaturlarda volt-amper əyriələrinin temperaturdan asılılığının

qurulması ilə materialın yarımkeçirici xarakteri və termoelektrik xarakteristikası təsdiq edilmişdir. Elektrik müqaviməti və keçiricilik dəyərləri məlumatların təhlilindən müəyyən edilmiş və müvafiq əyrilər ölçülmüş diapazon üçün temperaturun funksiyası kimi qrafik şəklində göstərilmişdir. Bundan əlavə, təklif olunan nazik təbəqələrdə qeyd olunan parametrlərin temperaturdan asılılığının müəyyənəşdirilməsi üçün aşağıdakı tənliklər əsasında hesablamalar aparılır. Eksperimental məlumatlara nəzəri uyğunluqdan istifadə etməklə keçiriciliyin temperatur asılılığını hesablamaq olar. Keçiriciliyin temperaturdan asılılığı xüsusi müqavimətin temperaturdan asılılığının tərs qiyməti olduğundan əvvəlcə xüsusi müqavimətin hesablanması tələb olunur. Ommetrlə təchiz olunmuş sistem təbəqələrin və ya külçələrin elektrik müqavimətini ölçür. Nümunənin qalınlığı (en kəsiyinin sahəsi) və uzunluğu məlum olduğu halda xüsusi müqavimətin qiyməti hesablanana bilir.

$$\rho = R \frac{S}{l}$$

Sb_2Se_3 stexiometrik tərkibə uyğun gələn yarımkeçirici materialların xüsusi elektrik müqaviməti ilə temperatur asılılığı aşağıda verilən çıxarışla hesablanana bilir (K. Tittes at.al. 2003).

$$\rho = \rho_0 \times e^{B/T}$$

Tənlikdə verilmiş ρ - nümunənin xüsusi elektrik müqaviməti ($Om \times sm$), ρ_0 -temperatur asılılığı nəzərə alınmayan əmsaldır. Digər yarımkeçirici sistemlərdə olduğu kimi Sb_2Se_3 birləşmələrində də istiliyin artması xüsusi müqavimətin zəifləməsinə səbəb olur. Temperatur mütləq sıfır qiyməti həddində olduqda Sb_2Se_3 əsaslı nümunələrdə xüsusi müqavimətin ifadəsi maksimal qiymətə çatır. $T=\infty$ olanda, $\frac{1}{T} = 0$ olar, bu zaman $\rho = \rho_0$ olur. Disturda verilmiş B- sabit kəmiyyətdir və araşdırılan sistemin xarakterizəsinə uyğun gələn əmsaldır. Stibium selenid sistemlərinin xüsusi müqavimətinin temperaturdan asılılığının hesablamalar nəticəsində əldə olunan bir neçə qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1

Elektrokimyəvi yolla sintez olunmuş stibium selenid sistemlərində xüsusi müqavimətin temperatur asılılığını əks etdirən hesablama nəticələri.

ρ $Om \times sm$	$1,5 \times 10^3$	$1,45 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	$1,35 \times 10^3$	$1,3 \times 10^3$	$1,25 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$
U, mV	1,22	1,34	1,47	1,59	1,64	1,76	1,89
T, K	300	330	360	390	400	430	460

Bildiyimiz kimi, xüsusi müqavimət elektrik keçiriciliyindən tərs mütənəsb asılıdır. Belə ki, $\sigma = 1/\rho$ olduğundan xüsusi müqavimətin təcrübələrdən alınmış qiymətlərə əsaslanaraq $\lg \sigma$ -nın və temperaturdan asılılığını ifadə edən nəticələr müəyyən olunmuşdur.

Sistemin enerji dəyişməsi $E \gg 2kT$ olduğu yarımkeçirici materialda xüsusi elektrik keçiriciliyi ilə temperatur arasında mövcud olan asılılıq aşağıda verilmiş çıxarışla xarakterizə olunur.

$$\sigma = \sigma_0 \times e^{-\Delta E/2kT}$$

σ -nın xüsusi elektrik keçiriciliyi (məxsusi keçiricilik) ($Om^{-1} \times sm^{-1}$), σ_0 - isə $T=\infty$ olarsa, belə ki, valent zonasında yerləşən elektronların hamısının həyəcanlanması nəticəsində yarımkeçirici nümunənin elektrik keçiriciliyi, k - Bolsman sabiti ($1,381 \times 10^{-23} C \times K^{-1}$); ΔE – yükdaşıyıcı sıxlığının elektrik keçiriciliyindəki aktivləşmə enerjisini ifadə edir. Verilmiş şərtlərə əsasən yarımkeçirici nümunədə elektrik keçiriciliyi baş verərkən valent zonada yerləşən elektronların hamısı keçiriciliyi təmin edir. Verilmiş şərtlərə əsasən xüsusi müqavimətinin hesablanması tənliyi və bunun əsasında hesablananan məxsusi keçiriciliyin qiymətinin tapılmasını logarifmik ifadələr şəklində verilmiş tənliklərlə hesablana bilir:

$$\lg \rho = \lg \rho_0 + 0,43 \frac{B}{T}$$

$$\lg \sigma = \lg \sigma_0 - 0,43 \frac{\Delta E}{2kT}$$

Verilmiş riyazi çıxarışlara əsaslanaraq yarımkeçirici sistemlər üçün ΔE və B sabitlərinin qiymətini tapmaq olar. Tənliklərin riyazi ifadəsindən düz xəttin tənliyi olduğu anlaşılır və ρ_0 ilə σ_0 – düz xəttin $1/T$ koordinat oxundakı tangens bucağını ifadə edir.

$$\operatorname{tg}\alpha = 0,43B; \quad \operatorname{tg}\beta = 0,43\frac{\Delta E}{2k}$$

Verilmiş tənliklərdən ΔE və B kəmiyyətlərini hesablaya bilərik.

$$B = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{0,43}$$

$$\Delta E = \frac{2k}{0,43}\operatorname{tg}\beta$$

B və ΔE kəmiyyətlərinin qiyməti qrafik asılılıqlar əsasında $1/T$ kordinatoxuna meyl bucağı olan α və β bucaqlarının tapılmasına da əsaslanır.

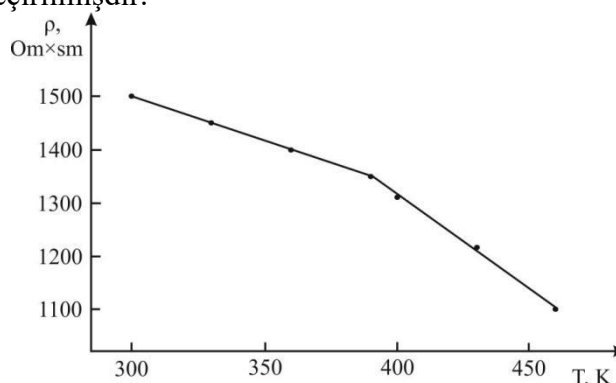
$$\lg\rho = f\left(\frac{1}{T}\right) \quad \text{və} \quad \lg\sigma = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

Eyni zamanda $\lg\sigma_0$ və $\lg\rho_0$ asılılıqlarının hesablanması ekstropolyasiyaya da əsaslanır. B və ΔE üçün qiymətlər məlum olduqda temperaturun hər hansı qiymətində olursa olsun keçiriciliyi hesablamaq olar.

Hətta B -nin qiyməti məlum olduqda yarımkeçirici birləşmələr və ya sistemlər üçün xüsusi müqavimətin temperatur əmsalı olan α -nın da qiymətini hesablamaq mümkündür:

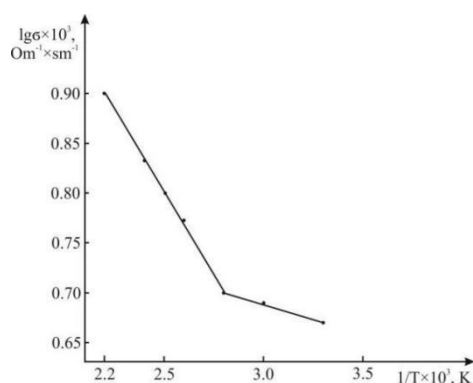
$$\alpha = \frac{B}{T^2}$$

Şəkil 1-də çaxır turşusu elektrolitində həll olmuş stibium oksid xlorid və selenit turşusundan elektroreduksiya ilə alınan Sb_2Se_3 yarımkeçirici təbəqələrində xüsusi müqavimətin temperaturdan qrafiki asılılığı verilib. Elektrokimyəvi proseslər qalvanostatik və potensiostatik yolla Pt və Ni lövhələri üzərində həyata keçirilmişdir.



Şəkil 1. Sb_2Se_3 yarımkeçirici sistemlərinin xüsusi müqaviməti və temperatur asılılığının qrafiki

Elektroreduksiya metodu ilə çökdürmədə Ni lövhənin səthində çökmüş təbəqələrin qalınlığı 6 - 9 mkm tərtibindədir. Qrafiki asılılıqdan da aydın başa düşülür ki, temperatur artdıqda Sb_2Se_3 təbəqələrində xüsusi müqavimət azalmağa meyl edir. Bununla da temperaturun istənilən qiymətində xüsusi müqavimətin qiymətinin yarımkeçirici yarımkeçirici xarakterə malik olduğu müəyyən olunur. Gəlinən nəticələrdən $\lg\sigma-1/T$ asılılığının qrafiki də qurula bilər. Bu asılılıq şəkil 2-də göstərilmişdir. Qrafikə diqqət yetirsək iki düz xətti asılılığın olduğunu görə bilərik. Qrafikdə sınıan və ikinci düz xətti yaradan asılılıq qarışıq keçiricilik oblastının xarakterizəsidir. Müəyyən temperatur qradienti olan sahələrdə keçiricilik temperatur artdıqca dəyişə bilər. Temperaturun artması nəticəsində Sb_2Se_3 yarımkeçirici sistemlərində məxsusi keçiricilik aşqar keçiriciliyə dəyişir.



Şəkil 2. Sb₂Se₃ yarımkeçirici sitemlərində keçiriciliyinin temperatur asılılığının qrafiki təsviri

Əldə olunan nəticələr ədəbiyyat nəticələri ilə uzlaşdırılmış və eyniyyət təşkil etdiyi məlum olmuşdur. Belə ki, elektrokimyəvi yolla Sb₂Se₃ stexiometrik tərkibdə sintez edilmiş yarımkeçirici təbəqələrdə elektrik keçiriciliyi digər yollarla sintez edilmiş nümunələrdən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənmiş olur. Bunu sintez üsulu və şəraitindən asılı olaraq təbəqəni təşkil edən kristal quruluşların ölçülərinin müxtəlifliyi ilə əlaqələndirmək olar.

Təcrübi nəticələrə əsaslanaraq, təbəqələrdə bəzi yarımkeçirici xassələri müəyyən edən temperatur əmsalını B tapmaq olar. $\alpha = B/T^2$ tənliyinə əsasən (B-nin qiyməti məlum olduqda) müqavimətin temperatur əmsalı α məlum olduqda məxsusi keçiricilik sahəsində qadağan olunmuş zona enerjisinin və qarışıq keçiricilik sahəsində komponentlərin hissəciklərinin aktivləşmə enerjisinin hesablanması mümkün olur. Şəkil 2-də verilmiş bucaq əmsalını $\text{tg}\alpha = \Delta E/2kT$ düz xəttin tənliyindən ΔE -ni tapmaq olar.

$$\Delta E = 2kT \text{tg}\alpha$$

400 və 500 K temperatur intervalında B; ΔE_m ; ΔE_q və α -nın qiymətləri cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2

Elektroreduksiya ilə tartrat məhlulundan alınan stibium selenid yarımkeçirici sistemlərində bəzi fiziki sabitlərin qiyməti

Birləşmə	ΔE_m eV	ΔE_q eV	B, K	$\alpha^{400} \text{ K}^{-1}$	$\alpha^{500} \text{ K}^{-1}$
Sb ₂ Se ₃	1,2	0,32	3200	2×10^{-2}	$1,28 \times 10^{-2}$

Alınmış fiziki sabitlərin qiymətlərinə əsaslanaraq stibium selenidin yarımkeçiricilər texnikasında əhəmiyyətli tətbiqə malik olduğunu qeyd etmək olar.

ƏDƏBİYYAT

1. Majidzade VA, Aliyev ASh, Qasimoglu I, Quliyev PH, Tagiyev DB (2019) Electrical properties of electrochemically grown thin Sb₂Se₃ semiconductor films. Inorg Mater 55:979–983. <https://doi.org/10.1134/S0020168519100108>
2. VA Majidzade, PH Guliyev, AS Aliyev, M Elrouby, DB Tagiyev Electrochemical characterization and electrode kinetics for antimony electrodeposition from its oxychloride solution in the presence of tartaric acid. Journal of Molecular Structure 1136, 7-13 <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.01.082>
3. VA Majidzade, AS Aliyev, PH Guliyev, YN Babayev, M Elrouby, ... Electrochemical behaviour of selenite ions in tartaric electrolytes. Journal of Electrochemical Science and Engineering 8 (3), 197-204. <https://doi.org/10.5599/jese.490>, 2020.

4. Ganesh Sh. H., A. N. Prabhu A Review on Doped/Composite Bismuth Chalcogenide Compounds for Thermoelectric Device Applications: Various Synthesis Techniques and Challenges. / Published online: 14 March 2022
5. A. Parbatani, E.S. Song, J. Claypoole, and B. Yu, High performance broadband bismuth telluride tetradymite topological insulator photodiode. *Nanotechnology* 30, 165201 (2019).
6. K. Tittes, A. Bund, W. Plieth, A. Bentien, S. Paschen, M. Plotner, H. Grafe, and W.-H. Fischer, *J. Solid State Electrochem.* 7, 714 (2003). doi:10.1007/s10008-003-0378-8.
7. D.D.L. Wijngaards, S.H. Kong, M. Bartek, and R.F. Wolffenbuttel, *Sens. Actuators* 85, 316 (2000). doi:10.1016/S0924-4247(00)00417-9.
8. M. Takahashi, M. Kojima, S. Sato, N. Ohnisi, A. Nishiwaki, K. Wakita, T. Miyuki, S. Ikeda, and Y. Muramatsu, *J. Appl. Phys.* 96, 5582 (2004). doi:10.1063/1.1785834.

SUMMARY

STUDY OF THERMOELECTRIC PHENOMENA IN SOLID PHASES BASED ON STIBIUM SELENIDE

Parvin Guliyev, Ilkana Aghalarova, Gulnur Taghiyeva

The synthesis of semiconductor materials operating in a wider temperature range and optimization of optophysical properties are among the main issues for researchers to meet the requirements of modern electrical engineering. Antimony chalcogenides are among these semiconductors. We have studied the kinetic characteristics of Sb-Se systems synthesized electrochemically in various environments. The influence of various factors on the synthesis process has been studied. The presented research work mainly deals with the thermoelectric characteristics of antimony selenium systems. The temperature dependence of the electrical conductivity of solid solutions of antimony selenium systems and their stoichiometric formula compounds has been studied, and a curve of the dependence of the specific resistance on the inverse value of temperature has been constructed. It has been found that the electrical conductivity of antimony selenide increases with increasing temperature. The reason for the change in electrical conductivity depending on temperature is due to the decrease in the value of the forbidden band energy of the compound. By studying the dependence of electrical conductivity on temperature, it was found that antimony selenide has a wide operating range over a wide temperature range.

Keywords: *electrode, semiconductor, resistance, level, band gap*

РЕЗЮМЕ

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ТВЕРДЫХ ФАЗАХ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДА СУРЬМЫ

Парвин Гулиев, Илкана Агаларова, Гулнур Тагиева

Синтез полупроводниковых материалов, работающих в более широком диапазоне температур, и оптимизация оптофизических свойств являются одними из основных задач исследователей для удовлетворения требований современной электротехники. К таким полупроводникам относятся халькогениды сурьмы. Изучены кинетические характеристики систем Sb-Se, синтезированных электрохимическим способом в различных средах. Изучено влияние различных факторов на процесс синтеза. Представленная исследовательская работа посвящена, в основном, термоэлектрическим характеристикам систем сурьма-селен. Изучена температурная зависимость электропроводности твердых растворов систем сурьма-селен и их соединений стехиометрического состава, а также построена кривая зависимости удельного

сопротивления от обратной величины температуры. Установлено, что электропроводность селенида сурьмы увеличивается с повышением температуры. Причина изменения электропроводности в зависимости от температуры заключается в уменьшении значения энергии запрещенной зоны соединения. Изучая зависимость электропроводности от температуры, было установлено, что селенид сурьмы имеет широкий рабочий диапазон в широком диапазоне температур.

Ключевые слова: *электрод, полупроводник, сопротивление, уровень, запрещенная зона*