

## TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>(Ce)Se<sub>2</sub> MONOKRİSTALLARININ TENZOREZİSTİV XASSƏLƏRİ

E.M. QOCAYEV, M.T. DADAŞOV

*Azərbaycan Texniki Universiteti, AZ-1073, Bakı, H. Cavid pr., 29*

TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>(Ce)Se<sub>2</sub> kristallarının pyezoelektrik xassələrinin tədqiqilə aşkar edilmişdir ki, bu kristallar yüksək tenzohəssaslıq əmsalına malikdir. Tenzohəssaslıq əmsalı işığın intensivliyindən, spektral tərkibindən asılı olaraq idarə olunur.

Məlum olduğu kimi TlInSe<sub>2</sub> kristalları, o cümlədən də onun struktur analoqları olan TlInTe<sub>2</sub> və TlGaTe<sub>2</sub> birləşmələri kifayət qədər yüksək tenzohəssaslıq əmsalına malikdirlər [1-4], onların alınma texnologiyası əsasında tenzoelementlərin hazırlanma prosesi kifayət qədər sadədir, işığın, temperaturun və digər kənar amillərin təsiri ilə tenzohəssaslıq əmsallarını lazımı istiqamətə dəyişdirərək, idarə etmək mümkündür. Amma, bütün bu müsbət əlamətlərlə yanaşı, həmin kristalların nominal müqavimətlərinin böyük olması onlardan hazırlanan tenzoelementlərin praktiki tətbiq imkanlarını məhdudlaşdırır. Bu çətinlikdən çıxmanın yollarından biri, həmin birləşmələrə metal atomlarından aşqar vurulması ola bilər.

Ədəbiyyat məlumatlarının təhlili göstərir ki, həmin istiqamətdə müəyyən işlər aparılmaqdadır. Belə ki, hələ keçən əsrin ikinci yarısından etibarən TlInSe<sub>2</sub> tip birləşmələrdə üçvalentli indium atomlarının üçvalentli lantanoidlərlə əvəz olunması ilə alınan TlIn<sub>1-x</sub>Ln<sub>x</sub>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> tip sistemlərin fiziki-kimyəvi, rentgenofaza və digər analiz üsulları ilə hal diaqramları qurulmuş, həmin sistemlərdə TlInC<sub>2</sub><sup>VI</sup> birləşmələri əsasında həllolma oblastlarının mövcudluğu aşkar edilmişdir [5-7].

Həmin kristalların bəzilərinin tenzorezistiv və pyezoelektrik xassələrinin tədqiqi barədə müəyyən məlumatlar var [8-11]. Bu işdə biz TlInSe<sub>2</sub> - TlYbSe<sub>2</sub> sistemində aşkar edilmiş bərk məhlulların pyezoelektrik xassələrinin tədqiqi barədə məlumat veririk [12-13]. Qeyd edək ki, bu kristalların elektrofiziki xassələrinin tədqiqi göstərmişdir ki, həqiqətən də TlInSe<sub>2</sub> qəfəsində indium atomlarının itterbium atomları ilə əvəz olunması halında kristalların elektrik müqavimətlərinin azalması baş verir. TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> (0 ≤ x ≤ 0,06) monokristalları zona əritmə üsulu ilə yetişdirilmişdir. Monokristalların yetişdirilməsi həm əridilmiş zonanın şaquli, həm də üfuqi istiqamətlərində yerdəyişmələri halında alınır. Uzunluğu 10-15 mm olan əridilmiş zona 10-20 mm/saat sürətlə hərəkət etdirilir. Tərkibindən asılı olaraq zonanın hər iki istiqamətdə hərəkəti 10-dan 20-yə qədər olur. Bu üsulla alınan monokristallar asanlıqla parlaq səthli düzbucaqlı paralelepiped şəklində qəlpələrə ayrılır.

Həmin kristallar TlInSe<sub>2</sub> - də olduğu kimi tenzoelementlərin hazırlanması üçün çox əlverişli olur. Onlardan tenzoötürücülərin hazırlanma texnologiyası aşağıdakı kimidir.

45 markalı, qalınlığı 0,55 mm, uzunluğu 30 mm olan polad lövhənin səthi diqqətlə emal edilərək işlənir, etil spirti ilə təmizlənir. Bundan sonra səth qalınlığı 10 - 15 mkm olan EP - 96 lakı ilə örtülür. Həmin halda otaq temperaturunda bir saat saxlandıqdan sonra, yüksək temperaturlu polimerləşməni təmin etmək üçün quruducu şkafa yerləşdirilir. Temperatur tədricən 180°C - yə qədər qaldırılır və bir saat ərzində həmin temperaturda saxlanılır. Bu texnoloji prosesdən sonra səth təbəqəsi tam polimerləşir və orada hər hansı girinti - çıxıntı olmur.

Bu qaydada hazırlanmış təbəqə üzərində tenzorezistorun ölçüsündən böyük səth, təkrarən lak təbəqəsilə örtülür. TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarından elektrodlar lehirlənmiş nümunə yuxarıdakı qaydada hazırlanmış polad təbəqə üzərinə qoyularaq, ehməlcə səthə doğru sıxılır. Daha sonra, eni 1,5 mm olan ftoroplast lentlə altlığa sarınır. Qurğu 18 - 28°C-də bir saat qurudulur, 199 °C - də 1,5 - 2 saat tabalmaya məruz qalır. Bundan sonra lent açılır və nümunə ölçməyə hazır olur.

Tenzohəssaslıq əmsalı aşağıdakı düsturla hesablanmasındır:

$$K = \frac{\Delta R}{R_0 \varepsilon} \quad (1)$$

Burada  $\Delta R = R - R_0$  - nümunənin müqavimətinin dəyişməsi,

$R_0$  və  $R$  - müvafiq olaraq, nümunənin deformasiyadan əvvəlki və sonrakı müqavimətləri;  $\varepsilon$  - nisbi deformasiyadır.

Məlumdur ki, yarımkəçiricilərdə  $\Delta R$ -in qiyməti praktiki olaraq xüsusi elektrik müqavimətinin dəyişməsinə uyğundur. Zamandan və deformasiya dərəcəsiindən asılı olaraq seçilmiş kristalların tenzometrik xüsusiyyətlərinin tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir ki, mexaniki gərginliyin təsiriindən sonra kristalların xüsusi müqavimətinin nisbi dəyişməsini ( $\beta = \Delta\rho/\rho$ ) aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$\beta = \pi E \varepsilon \quad (2)$$

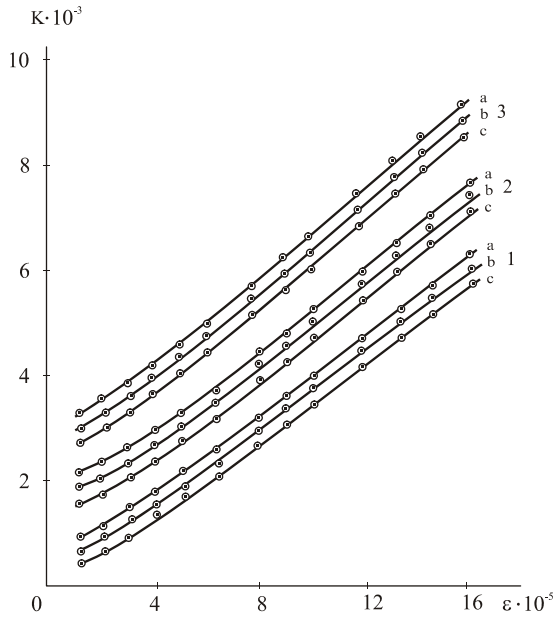
Burada  $E$  - Yunq modulu;  $\pi$  - mütənəsblik əmsalındır.

Beləliklə, yarımkəçiricilər üçün tenzohəssaslıq əmsalı müəyyən kristalloqrafik istiqamətlərdə Yunq modulu ilə mütənəsb olub, materialın elastiki sabitləri ilə müəyyən olunur.

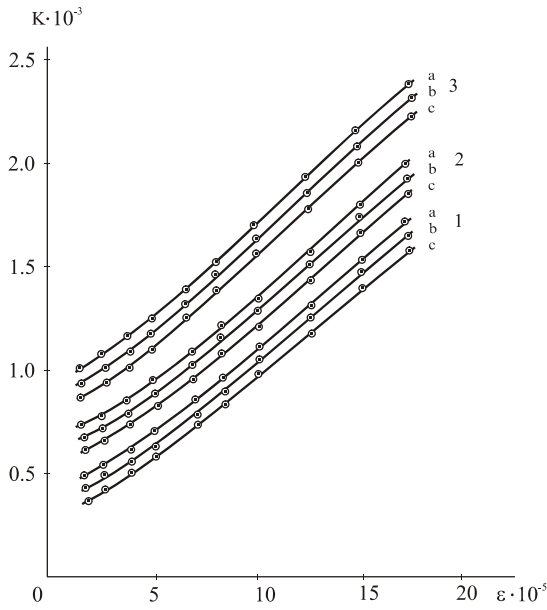
İlkin tədqiqatlara görə TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> monokristallarında [001] kristalloqrafik istiqamətdə (300 K-də)  $\varepsilon$  -nun qiyməti tərkibdən asılı olaraq (10-120) × 10<sup>10</sup> Pa intervalında dəyişir ki, bu da yarımkəçirici tenzometriyada məlum olan qiymətlərdən çox böyükdür.

TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarında aşkar edilən pyezorezistiv effektin əyilmə müstəvisinin fırlanma bucağından asılılığı öyrənilərkən, sərbəst əyilmənin heç bir istiqamətində nəzərə çarpacaq effekt müşahidə edilməmişdir. Yalnız bu kristalların 60° - dən 90°-dək burulma bucaqlarında müqavimətin aşkar dəyişməsi müəyyən edilmişdir. Bu oblastda dəyişmə, mütənəsblik əmsalı  $\alpha = 4 \times 10^6$  Om/K ( $R_0 = 600-800$  MOm) olan xətti qanunla baş verir.

Burulmanın sərbəst qiymətləri tərkibdə itterbiumun miqdarından asılı olaraq 94° - 102° intervalında dəyişir. Qeyd olunmalıdır ki, maksimal effekt TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> [001] kristalloqrafik oxu boyunca nümunənin dartılması halında baş verir.



Şəkil 1. İşıqlanmanın müxtəlif qiymətlərində TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarının tenzohəssaslığının mexaniki deformasiyadan asılılığı, burada a- x=0; b- x=0,03; c- x=0,06, 1- 0 LK; 2- 1000 LK; 3-2000 LK.



Şəkil 2. Müxtəlif temperaturalarda TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarının tenzohəssaslığının mexaniki deformasiyadan asılılığı, burada a- x=0; b- x=0,03; c- x=0,06, 1-300K; 2-400 K; 3-500 K.

Biz TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarının x=0; 0.03 və 0.06 qiymətlərinə uyğun nümunələrini işıqlanmanın (şəkil 1) və temperaturun (şəkil 2) müxtəlif qiymətlərində tədqiq etmişik. Şəkillərdən görüldüyü kimi tərkibdə itterbiyumun miqdarı artdıqca tenzohəssaslıq əmsalı qismən kiçik qiymət alır, amma işıqlanmanın intensivliyi artdıqca, deformasiyanın tədqiq olunan bütün qiymətlərində artır. Analoji nəticələr tenzohəssaslıq əmsalının temperatur asılılığında da müşahidə olunur, yəni temperatur artdıqca tenzohəssaslıq əmsalı artır. Bu isə o deməkdir ki, kristalların tərkibini, ona təsir edən işığın intensivliyini və ya temperaturunu dəyişməklə onun tenzohəssaslıq əmsalını lazımı istiqamətdə idarə etmək olar.

Alınmış nəticələr göstərir ki, TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarının tenzohəssaslığını elektromaqnit işıqlanmanın intensivliyinin və spektral tərkibinin təsiri ilə də idarə etmək olar. Bu effekt pyezorezistiv effekt adlanır. Tədqiqatlar göstərir ki, tenzohəssaslıq əmsalının nisbi dəyişməsinin işığın vahid intensivliyinə düşən qiyməti deformasiya dərəcəsinə asılı olmayaraq, eyni tərtibdə olur.

Deformasiyanın  $\varepsilon = 2.2 \cdot 10^{-4}$  qiymətində

$$g_l = \frac{\Delta K}{K \cdot \Delta \ell} \cdot 100\% = 2 \cdot 10^{-3} \% / LK \quad (3)$$

$\varepsilon = 10^{-5}$  olduqda isə  $g_l = 1.7 \cdot 10^{-3} \% / LK$ , alınır.

Tenzohəssaslıq əmsalının vahid temperatura düşən  $\%$ -lə qiyməti

$$g_T = \frac{\Delta K}{K \cdot \Delta T} \cdot 100\% = (0.12 \div 0.17) \% / K \quad (4)$$

olur.

Alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki, TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarının tenzohəssaslıq əmsallarının temperaturdan və işığın intensivliyindən asılılıq xarakterləri eynidir. Bu təbiiidir. Çünki tetraqonal sinqoniyada kristallaşan TlInSe<sub>2</sub>-nin elementar qəfəsində üçvalentli indium atomlarının (1,66 Å<sup>0</sup>) eyni, valentli, amma ion radiusu böyük olan itterbiyum (1,93 Å<sup>0</sup>) atomları ilə əvəz olunması zamanı struktur dəyişikliyi baş vermir. Yəni, yalnız elementar qəfəslərin həcmi böyüyür, qəfəs sabitləri artır, qadağan olunmuş zonanın eni isə additiv qanunla azalır. Tədqiq olunan kristalların zona quruluşunda da əhəmiyyətli dəyişiklik baş vermir.

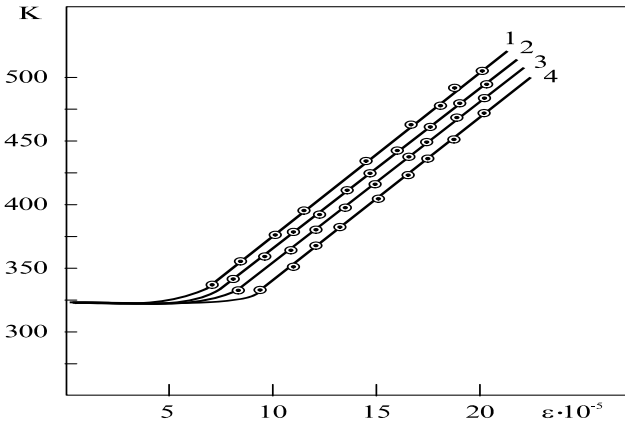
TlIn<sub>1-x</sub>Yb<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarının aşkar edilmiş pyezoelektrik xassələri, bu kristalların, o cümlədən də baza kristalı TlInSe<sub>2</sub> -nin mürəkkəb zona quruluşuna malik olması ilə əlaqədardır. Həqiqətən də bu birləşmənin zona quruluşlarının hesablanması nəticələri bunu təsdiq edir [14].

Analoji tədqiqatlar TlIn<sub>1-x</sub>Ce<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> monokristallarında da aparılmışdır [15]. Bu kristallar əsasında tenzoelementlərin hazırlanması da işin yuxarıda təsvir olunmuş qaydada aparılıb. Tenzoelementlər hazırlanarkən kristalların səthinə çəkilmiş EP – 96 lakının polimerləşməsinə təmin etmək üçün nümunələrin temperaturu 160°C -yə qədər qaldırılmış və həmin temperaturda bir saat saxlanılmışdır. Hazırlanmış cihazın qurudulması 20 – 30°C –də qurudulmaqla və daha sonra 200°C -də 1,5 – 2 saat müddətində qalmaqla həyata keçirilir.

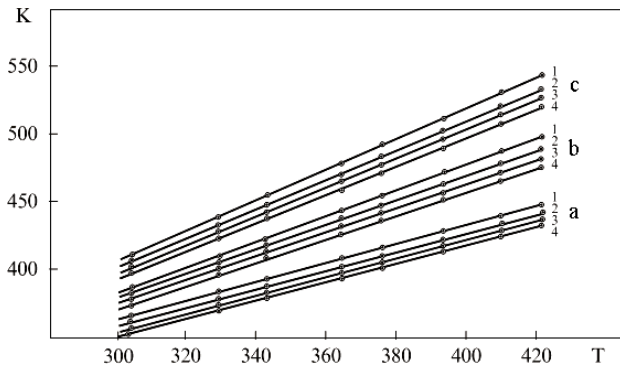
TlIn<sub>1-x</sub>Ce<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> kristallarının pyezoelektrik xassələrinin tədqiqi [0.01] kristalloqrafik istiqamətlənmiş deformasiya altında həyata keçirilmişdir. Tədqiqatlar 1 - x=0; 2 - x=0.03; 3 - x=0.06; 4 - x=0.09 tərkibləri üçün aparılmışdır. Tenzohəssaslıq əmsalının həmin tərkiblər üçün mexaniki deformasiyadan asılılıqları şəkil 3-də göstərilmişdir.

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi həmin qrafiklərin bir-birindən kəskin fərqlənən iki oblastı müşahidə olunur.

Deformasiyanın qiymətinin 10<sup>-5</sup>-ə qədər artması halında tenzohəssaslıq əmsalı sabit qalır. Deformasiyanın (8-20) 10<sup>-5</sup> intervalında dəyişməsi halında isə digər analoji kristallarda aşkar edildiyi kimi, tenzohəssaslıq əmsalının deformasiyadan xətti asılı olması müşahidə edilir (şəkil 4).

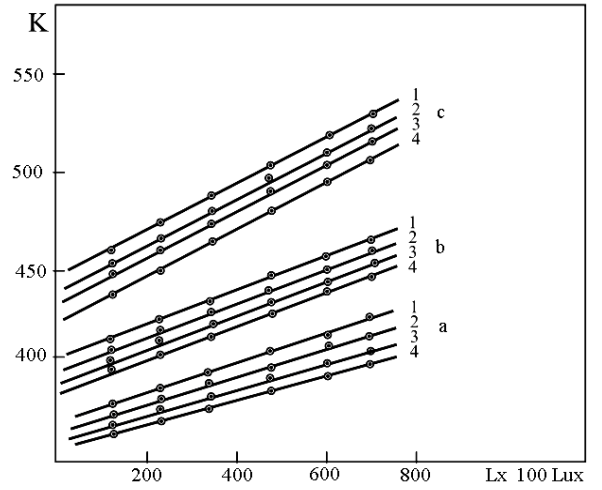


Şəkil 3  $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$  kristallarının tenzohəssaslıq əmsalının mexaniki deformasiyadan asılılığı: 1 -  $x = 0$ ; 2 -  $x = 0.03$ ; 3 -  $x = 0.06$ ; 4 -  $x = 0.09$



Şəkil 4. Mexaniki deformasiyanın müxtəlif qiymətlərində  $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$  kristallarının tenzohəssaslıq əmsalının temperaturdan asılılığı a)  $\epsilon = 10 \cdot 10^{-5}$  b)  $\epsilon = 20 \cdot 10^{-5}$  c)  $\epsilon = 30 \cdot 10^{-5}$

Bununla yanaşı, xüsusilə cəlb edici əlamət odur ki, həmin kristalların müxtəlif deformasiyaya məruz qalmaları halında da temperatur artıqca tenzohəssaslıq əmsalı xətti qanunla artır. Bu isə o deməkdir ki,  $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$  kristallarından hazırlanmış tenzorezistorlar termostatik şəraitdə ölçmələrin yüksək dəqiqliyini təmin edə bilər.



Şəkil 5.  $TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$  kristallarının tenzohəssaslıq əmsalının mexaniki deformasiyasının müxtəlif qiymətlərində optik işıqlanmadan asılılığı a)  $\epsilon = 10 \cdot 10^{-5}$  b)  $\epsilon = 20 \cdot 10^{-5}$  c)  $\epsilon = 30 \cdot 10^{-5}$

Dəyişən temperatur şəraitində isə, müvafiq temperatur dəyişikliyi nəzərə alınmalıdır. Bu kristalların aşkar edilən maraqlı xüsusiyyətlərindən biri də, onlarda yeni pyezorezistiv effektinin aşkar edilməsidir. Başqa sözlə, müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan tenzoötürücülər işıqın təsirinə məruz qaldıqda onların tenzohəssaslıq əmsalı dəyişir. Maraqlıdır ki, aşkar edilmiş pyezorezistiv effektin qiyməti işıqın intensivliyi və spektral tərkibindən asılı olaraq dəyişdirilə və idarə oluna bilər. Bu nəticələr, yəni göstərilən kristalların tenzohəssaslıq əmsalının müxtəlif deformasiyada optik işıqlanmadan asılılığının tədqiqinin nəticələri 5 - ci şəkilə verilmişdir. Həmin nəticələr də  $TlInTe_2$  birləşməsinin əsasında izah olunmuşdur.

## NƏTİCƏ

$TlIn_{1-x}Ce_xSe_2$  monokristallarının tenzo və pyezorezistiv xassələrinin tərkibdən və xarici amillərin təsirindən asılılıqlarının tədqiqilə müəyyən edilmişdir ki, bu kristalların tenzohəssaslıq əmsalını artırmaq və idarə etmək mümkündür.

- [1] S.X. Aqaeva, Y.M. Qasanova. Izluçeniya vzaimodeystviya v sisteme  $TlInS_2 - TlErS_2$ . Tverdie rastvorı  $TlIn_{1-x}Er_xS_2$  ( $x = 0,01 - 0,08$ ) -təzisi dokladov 3-ey Vses.konf. po materialovedeniyu halkogenidnıx poluprovodnikov, Çernovtisi, 1991, çast 1, s.127. (Rusca)
- [2] E.M. Qocaev, E.A. Allaxyarov, X.S. Xalilova, A.M. Suleymanova. Neorqaniçeskie materialı, 2003, t.39, №7, s.801-804. (Rusca)
- [3] E.M. Qocaev, N.E. Quseynov. Pyezoelektriçeskie preobrazovately dlya opredeleniya v optiçeskiy ustroystvax svyazi. Sovremennye informatsionnye i elektronnye texnologii. Odessa, 2002, Trudi III mejdunarod. nauç.-praktiç.konf. s.136. (Rusca)
- [4] M.M. Zarbaliev. Yavleniya perenosa zaryada i tepla v sistemax  $TlInS_2 (Se_2, Te_2) - TlLnS_2 (Se_2, Te_2)$ . Dis. dok.fiz.-mat.nauk, BQU, Baku, 2001, 284 s. (Rusca)
- [5] E.M. Qocaev, E.A. Allaxyarov, C.C. Osmanova. Neorqan. materialı, t.41, №9, 2005, s.1061-1064. (Rusca)
- [6] E.M. Qocaev, K.D. Qyulmamedov, E.A. Allaxyarov, S.I. Safarova. Neorqan.materialı, t.40, №8, 2004, s.921-924. (Rusca)
- [7] E.M. Qocaev, G.S. Djafarova. Neorgan.materialı; t.39, №1, 2003, s.10-13. (Rusca)
- [8] E.M. Qocaev, E.A. Allaxyarov, X.O. Sadıxova. Izv.RAN, «Neorgan.materialı»; t.30, №8, 1994, s.1048-1049. (Rusca)
- [9] E.M. Qocaev, A.A. Axmedov. Pyezorezistivniy effekt v monokristallax  $TlIn_{1-x}Yb_xSe_2$ . Sbornik v Mejdunarodnoy konferentsii "Amorfnye i mikrokristallıçeskie poluprovodniki". Sankt-Peterburq, 19-21 iyunya 2006 qoda, s.209. (Rusca)
- [10] E.M. Qocaev, E.A. Allaxyarov, X.O. Sadıxova. Izv.RAN, t.30, №6, 1994, s.859-860. (Rusca)
- [11] G.S. Cəfərova. Fizika, 2005 cild XI, №4, s.25-29
- [12] M.M. Zarbaliev. Fizika. 1998. t.4. №1. s.19-21. (Rusca)

- [13] *M.M. Zarbaliev* Fizika, 1999, t.5, №3, s.26-29. of Physics and Chemistry of Solids. 2003. V.64. P. 1703-1706.  
(Rusca)
- [14] *G. Orudzhev, N. Mamedov, H. Uçiki, N. Jamamoto, S.Iida, H.Toyota, E. Gojaev, F. Hashimzade.* Journal [15] *M.T. Dadaşov.* Elmi əsərlər-fundamental elmlər №3, cild VI (23), 2007. s. 11-14.

**E M. Gojaev, M.T. Dadashov**

**TENSORESISTIVE PROPERTIES OF  $TlIn_{1-x}Yb_x(Ce)Se_2$  CRYSTALS**

Investigating of the piezoelectric properties of the  $TlIn_{1-x}Yb_x(Ce)Se_2$  crystals it is revealed that these crystals have high factor of tensosensitivity. One can decrease the factor of tensosensitivity by the changing the crystal composition and intensity and spectrum composition of the optic fluoroscopy.

**Э.М. Годжаев, М.Т. Дадашов**

**ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ  $TlIn_{1-x}Yb_x(Ce)Se_2$**

Исследованиями пьезоэлектрических свойств  $TlIn_{1-x}Yb_x(Ce)Se_2$  кристаллов выявлено, что эти кристаллы обладают высокими коэффициентами тензочувствительности. Можно повысить коэффициент тензочувствительности, меняя состав кристалла и интенсивность и спектральный состав оптической подсветки.

*Received: 15.10.09*