

UOT: 54. 546.6-548.7

TlInTe₂ KRİSTALLARINDA KEÇİRİCİLİYİN XÜSUSİYYƏTLƏRİNƏ AŞQAR ATOMLARIN VƏ QAMMA KVANTLARIN BİRGƏ TƏSİRİ

R.S.MƏDƏTOV*, K.H.XƏLİLOVA**, A.İ.NƏCƏFOV**, G.M.İSGƏNDƏROVA**,
M.A.MƏMMƏDOV*

*Elm və Təhsil Nazirliyi, Radiasiya problemləri İnstitutu**

AZ 1143, Azərbaycan, Bakı, B.Vahabzadə pr., 9

*Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu***

AZ 1143, Azərbaycan, Bakı, H.Cavid pr., 131

xelilova_kemale79@mail.ru

Daxil olub: 06.01.2023
Çapa verilib: 04.03.2023

REFERAT

γ -kvantlarla şüalandırılmış TlInTe₂ və TlInTe_{2,04} (4at.%) kristallarının Volt-Amper xarakteristikası (VAX) və xüsusi elektrikkeçiriciliyi 100-300 K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, aşqarsız TlInTe₂ kristalında $D < 50$ Mrad dozalarında yaranan defektlər donor təbiətli olub və zəncir müstəvisinə paralel istiqamətdə (Elc) paylanma üstünlük təşkil edir. $D > 50$ Mrad dozalarda isə yaranan defektlər akseptor təbiətlidir və zəncir müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə ($E \perp C$) üstünlük təşkil edir. p-TlInTe₂ kristalının Elc istiqamətdə radiasiyaya davamlılığı yüksək və Te atomunun stexiometrik artıqlıqlı kristalda $E \perp C$ istiqamətində isə radiasiyaya davamlılıq aşağıdır.

Açar sözlər: monokristal, aşqar atomları, elektrikkeçiriciliyi, elektrik keçiriciliyinin anizotropiyası, Volt-Amper xarakteristikaları, ionlaşdırıcı şüalar.

GİRİŞ

Laylı quruluşlu $A^{\text{III}}B^{\text{VI}}$ kristalları kimi, $A^3B^3C_2^6$ (A-Tl; B-Ga, In; C-S, Se, Te) qrup birləşmələrinə daxil olan iynəvəri quruluşa malik TlInTe₂ monokristalları da güclü quruluş anizotropiyasına malikdir. TlInTe₂ kristalları TlSe quruluş tipində ($I4/mcm$) kristallaşır və aşağıda göstərilən parametrlərə malikdir: $a=8,494\text{Å}$; $c=7,181\text{Å}$; $c/a=0,845$; $Z=4$; $d=7,36q/sm^3$ [1]. TlInTe₂ kristallarında kimyəvi əlaqə ion-kovalent xarakterlidir. TlSe quruluş tipində kristallaşan $A^3B^3C_2^6$ kristalları defektli kristallardır, onlarda defektlərin qatılığı $\sim 10^{18}-10^{20}sm^{-3}$ təşkil edir [2].

Zəncirvari kristalların digər maraqlı xüsusiyyətlərindən biri də, yüksək miqdarda məxsusi defektlərin (kation və anion vakansiyaları, Frenkel defektləri), xüsusən kation vakansiyalarının mövcud olması nəticəsində kristalloqrafik c -oxu istiqamətində sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyünün və diffuziya yolunun kiçik olmasıdır [3]. Bu səbəbdən

onlarda p-tip keçiricilik formalaşır və yüksəkomlu kristallar isə, qismən kompensasiya olunmuş olurlar. TlInTe₂ kristalların anizotrop xassələri, o cümlədən keçiriciliyin kristallik oxlara nəzərən dəyişməsi geniş temperatur intervalında araşdırılsa da, alınan nəticələrdə defektlərin təbiəti nəzərə alınmadığından keçiriciliyin məqsədyönlü idarə olunması üçün vahid mexanizm verilməmişdir. Ədəbiyyatda TlInTe₂ birləşməsinin elektrik xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuş işlərdə [4-7] verilən nəticələrinə əsasən, TlInTe₂ kristallarında müxtəlif kristallik istiqamətlərdə xüsusi müqavimət anizotrop xüsusiyyətə malikdir və cərəyanın keçirmə mexanizmi sıçrayışlı keçidlərlə müəyyən olunur.

[4-7]-işlərdə TlInTe₂ birləşməsinin tetraqonal qəfəs quruluşu, simmetriya qrupu, qəfəs parametrləri və superion keçiriciliyi haqqında məlumatlar verilmişdir. Göstərilmişdir ki, bu tipli kristallarda $T > 400\text{K}$ temperaturalarda müşahidə olunan superion keçiriciliyi tallium qəfəsaltında Tl^+ ionu-

nun nanozəncirlər arasında vakansiyalar üzrə difuziyası nəticəsində yaranır.

Digər işlərdə [8] isə defektlərin konsentrasiyasının idarə olunması məqsədi ilə ionlaşdırıcı şüalardan istifadə olunmasının daha məqsədə uyğun olduğu göstərilir. Ancaq kristalın fiziki xassələri radiasiya, struktur xüsusiyyətləri və aşqar defektlərinin qarşılıqlı təsirindən asılı olduğundan, vahid mexanizm haqqında fikir yürütmək mümkün olmur.

Təqdim olunan işdə xalkogen (Te) atomu əlavə olunmuş TlInTe₂ kristallarında keçiriciliyin anizotropik xüsusiyyətlərinə γ -kvantların təsirinin geniş elektrik sahəsi (10^2 V/sm) və temperatur intervalında (100-300 K) tədqiqindən alınan nəticələr verilmişdir.

NÜMUNƏNİN ALINMASI VƏ TƏCRÜBƏNİN APARILMA METODİKASI

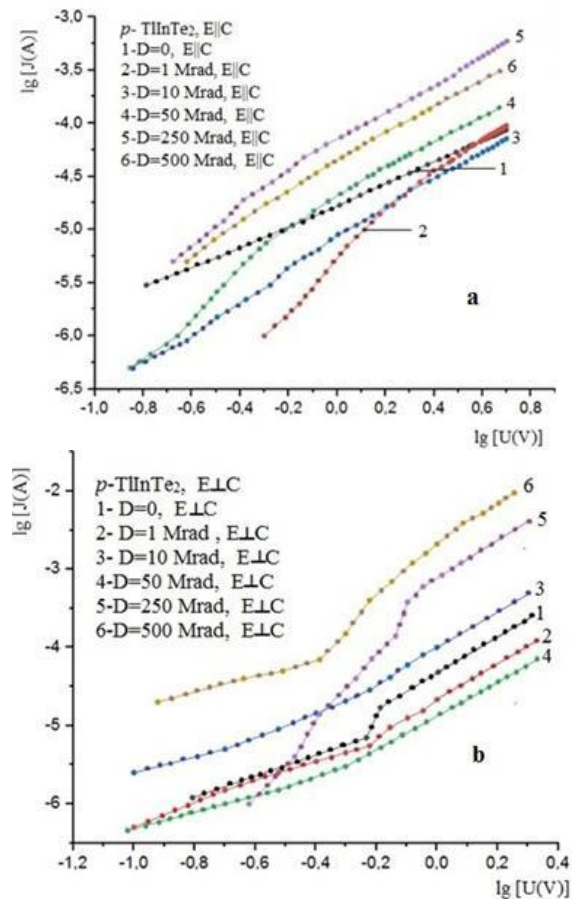
TlInTe₂-Te sisteminin tədqiqi üçün 1,0÷10,0at.% Te tərkibli xəlitələr sintez edilmişdir. Xəlitələr, təmizlik dərəcəsi 99,999% olan komponentlərdən istifadə etməklə 10^2 Pa təzyiqlə qədər havasızlaşdırılmış kvarts ampullarda birbaşa sintez üsulundan istifadə etməklə hazırlanmış polikristallik TlInTe₂ və təmizlik dərəcəsi 99,999% olan Te komponentindən elektrik sobasında əridilməklə alınmış və sonra üç həftə ərzində $200\pm 5^\circ\text{C}$ temperaturda dənə qoyulmuşdur. Həm TlInTe₂ birləşməsinin, həm də 4,0 at.% Te həll olmuş TlInTe₂-Te tərkibli birləşmə nümunələri *p*-tip keçiriciliyə və kristalloqrafik oxlar üzrə uyğun olaraq aşağıdakı xüsusi müqavimətə malik olmuşlar: $\rho_{\parallel}=7950\text{Om}\cdot\text{sm}$; $\rho_{\perp}=77350\text{Om}\cdot\text{sm}$ və $\rho_{\parallel}=1,60\text{Om}\cdot\text{sm}$; $\rho_{\perp}=16450\text{Om}\cdot\text{sm}$. TlInTe₂-Te tərkibli xəlitələr, differensial termik (DTA), rentgenfəz (RFA) və mikroquruluş (MQA) analizləri vasitəsilə tədqiq edilmiş və sistemin hal diaqramı qurulmuşdur [9], alınmış nəticələrə görə TlInTe₂-Te sistemində üçlü birləşmə əsasında tellurun 5,0 at.% miqdarında həllolma oblastı mövcuddur.

Monokristal halında yetişdirilmiş TlInTe_{2,04} tərkibli kristallarından ölçüləri 4,1x1x0,6mm və 3,5x1,7x0,8mm olan paralelepiped formalı nümunələr kəsilərək hazırlanmışdır [9]. Nümunələrə elektrik keçirici kontaktlar gümüş pastası vasitəsilə qoyulmuşdur. γ -kvantlarla şüalanma Co⁶⁰ mənbə-

yində aparılmış və hər şüalanma dozasından sonra nümunələrin Volt-Amper xarakteristikası və elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmişdir [19]. Ölçmələr vakuumda, sabit cərəyandan istifadə etməklə iki kristallik istiqamətlərdə (tetraqonal oxla paralel E||C və perpendikulyar E \perp C) və 100-300K temperatur intervalında $E<10^3$ V/sm qiymətlərində aparılmışdır. Ölçü cihazı kimi E7-21 istifadə edilmişdir.

TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN İZAHİ

Şəkil 1 (a,b)-də T=300K temperaturda γ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarsız *p*-TlInTe₂ birləşmələrində müxtəlif kristallik istiqamətlərdə (zəncir müstəvisinə paralel-E||C və perpendikulyar-E \perp C) Volt-Amper xarakteristikaları verilmişdir.



Şəkil 1

TlInTe₂ (a,b) kristallarının müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə 300 K temperaturda çəkilmiş Volt-Amper xarakteristikaları: a-zəncir müstəvisinə paralel; b-zəncir müstəvisinə perpendikulyar.

Şəkil 1-dən (a) görünür ki, TlInTe_2 kristalında şüalanmadan əvvəl (əy.1) $I \sim U^n$ asılılığı xətti xarakter daşıyır ($n=1$) və tələsiz hal kimi xarakterizə edilir [10]. γ -kvantlarla şüalanmadan sonra (əy.2; $D=1\text{Mrad}$) qaranlıq cərəyanın qiyməti kəskin azalır və $I \sim U^n$ asılılığı üç hissədən - omik (cərəyanın qiyməti kiçik olduğundan təsvirdə görünmür), kvadratik ($n=2$) və yenidən omik oblastlar müşahidə olunur və kristalda tələli hal mövcuddur və VAX-sı yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşür. Şüalanma dozasının artması ilə $D=(3-10\text{Mrad}$ və $4-50\text{ Mrad}$) nümunənin xüsusi müqavimətinin azalması nəticəsində qaranlıq cərəyanın qiyməti artır və VAX-da aşağı gərginliklərdə omik hissə, yüksək gərginlikdə kvadratik hissə və yenidən omik hissə müşahidə olunur. Şüalanma dozasının daha yüksək dozalarında isə ($5-250$ və $6-500\text{ Mrad}$) nümunənin xüsusi müqavimətinin yenidən azalması və qaranlıq cərəyanın ilkin hala nəzərən (əy.1) kəskin artması müşahidə olunur. Alınan nəticələr göstərir ki, kristallik qəfəsdə aşağı şüalanma dozalarında γ -kvantlarla şüalanma zamanı donor tipli defektlər, yüksək dozalarda isə akseptor tipli defektlər üstünlük təşkil edir. Bu səbəbdən TlInTe_2 kristalında nümunənin xüsusi müqaviməti şüalanma dozasından asılı olaraq dəyişir.

Şəkil 1(b)-dən görünür ki, perpendikulyar $E \perp C$ istiqamətində p- TlInTe_2 kristalının VAX-sında şüalanmadan əvvəl tələli hal, yəni omik, kvadratik və omik hissələr müşahidə olunur. $D=1\text{Mrad}$ dozada şüalanma zamanı yaranan donor tipli defektlər hesabına qaranlıq cərəyanın qiyməti, xüsusən yüksək gərginliklərdə qismən azalır. Eyni zamanda omik asılılıq oblastından kvadratik oblasta keçid gərginliyinin qiymətinin artması ilə baş verir. Şüalanma dozasının sonrakı artması zamanı (əy.3) qaranlıq cərəyanın qiyməti ilkin hala (əy.1) nəzərən artsa da, $D=50\text{ Mrad}$ (əy. 4) şüalanma dozasında yenidən azalır. Bu fakt, yaranan mütəhərrik radiasiya defektlərinin rekombinasiyası [3,8], yəni dəmlənməsi ilə bağlı ola bilər. $D=250\text{Mrad}$ dozada şüalandırılmış p- TlInTe_2 kristalında aşağı gərginliklərdə cərəyanın kəskin azalması (omik oblastda) donor tipli defektlərin yaranması ilə bağlıdır. Cərəyanın qiymətinin omik oblastdan kvadratik oblasta keçid gərginliyindən asılı olaraq artması akseptor tipli defektlərin ionlaşması nəticə

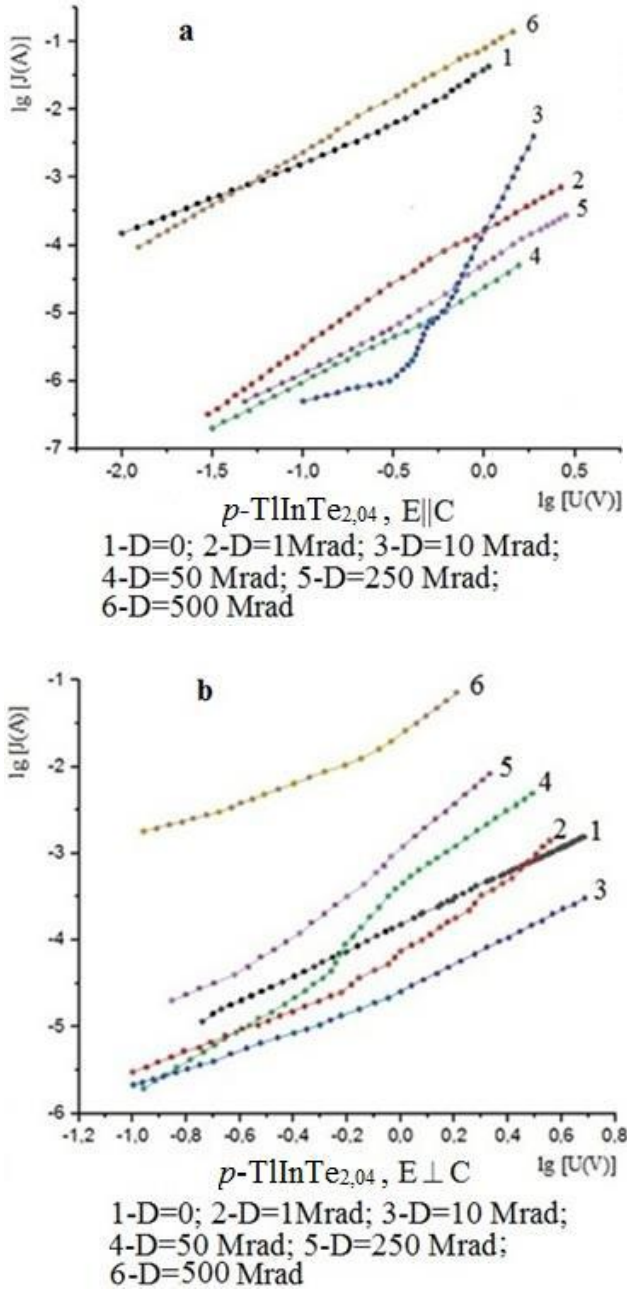
sində baş verir. [10]-işdə verilən məlumata əsasən, kvadratik oblastdan omik oblasta keçid kontaktdan injeksiya olunan elektronlarla lokal səviyyələrin tam dolması ilə bağlıdır. Şəkil 1 və 2-nin müqayisəsindən görünür ki, bu hadisə ancaq aşqarsız kristallarda və şüalanma dozasının ilkin qiymətlərində, hər iki kristalloqrafik istiqamətdə ($110, 001$) baş verir. Bu halda cərəyanın artması Frenkelin termoelektrik effekti ilə izah olunur [10,11]. Şüalanma dozasının $D=500\text{Mrad}$ qiymətində yaranan akseptor tipli defektlərin konsentrasiyasının kəskin artması hesabına qaranlıq cərəyanın kəskin artması baş verir və $I \sim U^n$ asılılığında omik-kvadratik-omik oblastlar müşahidə olunur.

Şəkil 1-də alınan nəticələr göstərir ki, defektlərin kristallik oxlar istiqamətində paylanması şüalanma dozasının qiymətindən asılıdır. Təcrübi faktlar göstərir ki, $D < 50\text{ Mrad}$ qiymətlərdə TlInTe_2 kristalında zəncir müstəvisinə paralel ($E \parallel C$) istiqamətində yaranan radiasiya defektləri akseptor təbiətli defektləri kompensasiya edir və nəticədə defektlərin qismən nizamlanması baş verir. $D > 50\text{ Mrad}$ dozalarında isə yaranan radiasiya defektlərinin dəmlənməsi sayəsində akseptor tipli defektlər üstün olduğundan nümunənin xüsusi müqaviməti azalır.

Zəncir müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə ($E \perp C$) isə $D < 50\text{ Mrad}$ şüalanma dozalarında yaranan radiasiya defektlərinin dəmlənməsi nəticəsində nümunənin xüsusi müqaviməti qismən artır, daha yüksək şüalanma dozalarında isə akseptor tipli səviyyələrin yaranması nəticəsində nümunənin xüsusi müqaviməti azalır.

Şəkil 2 (a,b)-də $T=300\text{ K}$ temperaturda γ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı p- $\text{TlInTe}_{2,04}$ kristallarında müxtəlif kristallik istiqamətlərdə (zəncir müstəvisinə paralel- $E \parallel C$ və perpendikulyar- $E \perp C$) Volt-Amper xarakteristikaları verilmişdir.

Şəkil 2(a)-dan görünür ki, $\text{TlInTe}_{2,04}$ kristalında zəncir müstəvisinə paralel istiqamətdə ($E \parallel C$), şüalanmadan əvvəl (əy.1) şəkil 1a-da olduğu kimi $I \sim U^n$ asılılığı xətti xarakter daşıyır ($n=1$) və tələsiz hal kimi xarakterizə edilir. Şəkil 1a və 2 a-da 1-əyrilərin müqayisəsi göstərir ki, Te atomunun əlavə edilməsi ilə TlInTe_2 kristalında zəncir müstəvisi istiqamətdə defektlərin paylanması nizamlanır və nəticədə kristalın keçiriciliyi artır (əy.1).



Şəkil 2

TlInTe_{2.04} (a,b) kristallarının müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə 300 K temperaturda çəkilmiş Volt-Amper xarakteristikaları: a-zəncir müstəvisinə paralel; b-zəncir müstəvisinə perpendikulyar.

D=1Mrad dozada şüalanmadan sonra (əy.2) nümunənin xüsusi müqavimətinin artması nəticəsində qaranlıq cərəyan azalır və VAX yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşür, bununla belə $I \sim U^n$ asılılığının xarakteri dəyişir.

D=10 Mrad şüalanma dozasında (əy.3) $I \sim U^n$ asılılığının xarakteri dəyişir və üç oblast: omik, kvadratik və kəskin artma müşahidə olunur. Şüa-

lanma dozasının sonrakı artımında (əy.4 və 5) VAX asılılığında yenidən düzxətli xarakter müşahidə olunur və nümunənin xüsusi müqaviməti artır.

D=500 Mrad dozada isə, nümunənin xüsusi müqaviməti kəskin azalır və qaranlıq cərəyanın kəskin artması baş verir. Bu zaman nümunənin VAX-ı əvvəlki düzxətli xarakterini saxlayır.

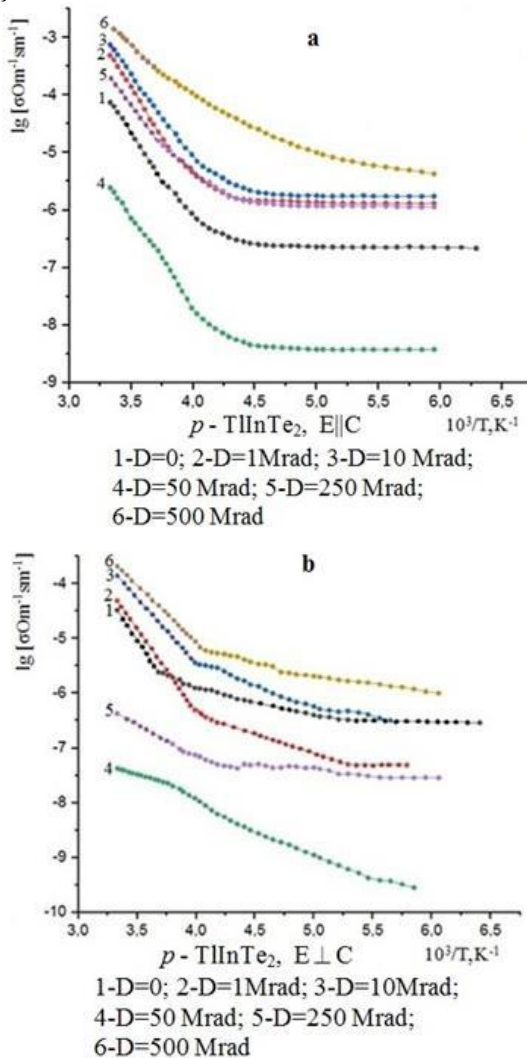
Şəkil 2 b-də TlInTe_{2.04} kristalında zəncir müstəvisinə perpendikulyar ($E \perp C$) istiqamətdə tətbiq edilən VAX-dan görünür ki, $I \sim U^n$ asılılığı xətti xarakter daşıyır və Şəkil 2a (əy.1) nəzərən qaranlıq cərəyanın qiyməti azalır. γ -kvantlarla şüalanma zamanı (əy.2 və 3) qaranlıq cərəyanın qiyməti nisbətən azalır və elektrik sahə intensivliyinin yüksək qiymətlərində asılılığın xətti xarakteri nisbətən pozulur. Şüalanma dozasının D=50÷500 Mrad dozalarında isə xüsusi müqavimətin kəskin artması nəticəsində qaranlıq cərəyanın kəskin artması müşahidə olunur (əy.4-5).

Beləliklə, TlInTe₂ və TlInTe_{2.04} kristallarının müxtəlif kristalloqrafik istiqamələrdə VAX-na aşqar atomlarının və radiasiya defektlərinin birgə təsiri araşdırılmışdır. VAX-da müşahidə olunan anomalialar defektlərin tetraqonal kristallik c-oxuna nəzərən nizamsız paylanması ilə bağlıdır. Lampert [11]-nəzəriyyəsi əsasında demək olar ki, sahə intensivliyinin aşağı qiymətlərində perpendikulyar istiqamətdə xüsusi elektrik keçiriciliyinin qiymətinin paralel istiqamətdəki ilə müqayisədə xeyli kiçik olması ($\sim 10^2$ dəfə), perpendikulyar istiqamətdə hərəkət edən yükdaşıyıcılar üçün potensial çəpərin mövcud olduğunu göstərir. Bu səbəbdən TlInTe₂ kristalında da, [4-7, 12]-işlərdə olduğu kimi, keçiriciliyin anizotropiyası müşahidə olunur.

Şəkil 3-də (a,b)-də γ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarsız p-TlInTe₂ kristallarında zəncir müstəvisinə paralel ($E \parallel C$) və perpendikulyar ($E \perp C$) istiqamətlərdə xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı verilmişdir.

Şəkil 3a-dan görünür ki, şüalanmadan əvvəl aşqarsız TlInTe₂ kristalında $\sigma \sim f(1/T)$ asılılığı aşağı temperatur oblastda tam ionlaşmış, yüksək temperatur intervalında isə aktivləşmə enerjisi $\Delta E_2 \sim 0,38 eV$ energetik səviyyə müşahidə olunur. γ -kvantlarla şüalanmadan sonra $\sigma \sim f(1/T)$ asılılığının xarakteri saxlanılır, ancaq aşağı temperatur

oblastında xüsusi keçiriciliyin artması müşahidə olunur. Bu isə, deməyə əsas verir ki, şüalanma zamanı akseptor tipli dayaz energetik səviyyə yaranır. Şüalanma dozasının 50 Mrad qiymətlərində isə, zəncir müstəvisinə paralel (E||C) istiqamətində xüsusi keçiricilik ilkin hala nəzərən kəskin azalır (əy.4). Bu isə şüalanma dozasının 50 Mrad qiymətində donor tipli səviyyələrin üstün olduğunu göstərir. Şüalanmanın sonrakı artması zamanı (əy.6) aşqar oblastda xüsusi elektrik keçiriciliyinin kəskin artması müşahidə olunur. $\sigma \sim f(1/T)$ asılılığında aşağı temperatur oblastında əyrinin meylindən hesablanan aktivləşmə enerjisinin qiyməti $\Delta E_1 \sim 0,12 \text{ eV}$, yuxarı temperatur oblastında isə $\Delta E_2 \sim 0,22 \text{ eV}$ olmuşdur.



Şəkil 3

TlInTe₂ (a,b) kristallarında müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə çəkilmiş xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları: a-zəncir müstəvisinə paralel; b-zəncir müstəvisinə perpendikulyar.

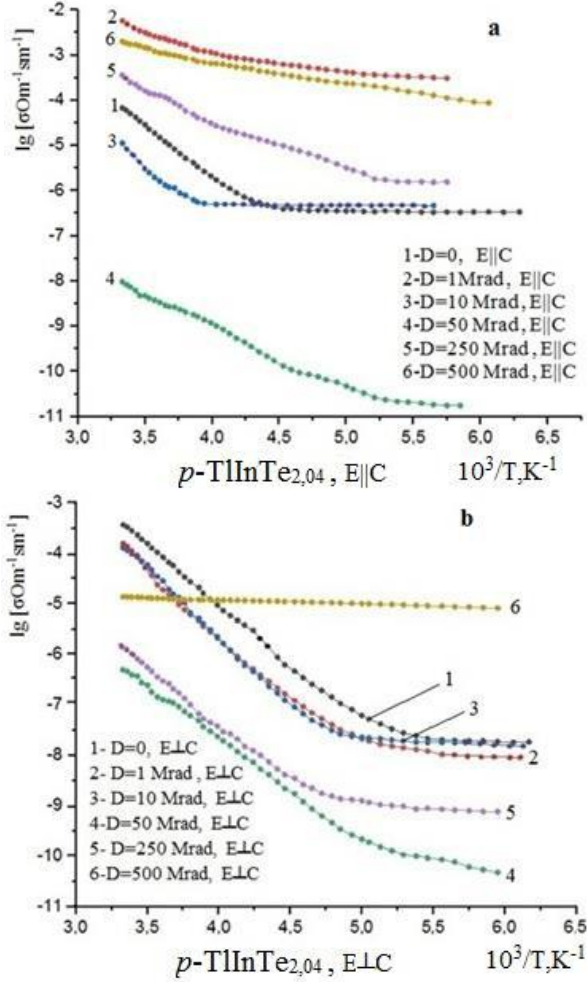
Şəkil 3b-dən görünür ki, TlInTe₂ kristalında zəncir müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə (E⊥C) $\sigma \sim f(1/T)$ asılılığı müxtəlif meyilliyə malik iki hissədən ibarətdir. Aşağı temperatur intervalında (140-270 K) əyrinin meylindən təyin olunan aktivləşmə enerjisi $\sim 0,11 \text{ eV}$, yüksək temperatur intervalında (270-300K) isə $\sim 0,40 \text{ eV}$ olmuşdur. D=1Mrad dozada şüalanmadan sonra aşağı temperatur oblastında xüsusi keçiricilik azalır, yuxarı temperatur oblastında isə artır (əy.2). Buna səbəb şüalanma zamanı yaranan dayaz ($\sim 0,12 \text{ eV}$) və dərin akseptor ($\sim 0,40 \text{ eV}$) tipli səviyyələrdir. Şüalanma dozasının artmasından sonra (əy.3) yaranan akseptor tipli səviyyələr nümunənin xüsusi keçiriciliyini ilkin hala (əy.1) nəzərən azaldır. D=50 Mrad şüalanma dozasında isə, nümunənin xüsusi keçiriciliyi bütün temperatur oblastında kəskin azalır. D=250 və 500 Mrad dozalarında isə xüsusi keçiricilik yenidən artır.

Alınan təcrübi nəticələr göstərir ki, γ -kvanlarla şüalanma zamanı yaranan sadə radiasiya defektləri dayanaqsız defektlər olduğu üçün miqrasiya edərək rekombinsiyaya uğrayır. p-TlInTe₂ kristalları anizotrop xassəyə malik olduğundan radiasiya defektlərinin kristallik oxlar istiqamətlərində paylanması şüalanma dozasından asılı olaraq dəyişir. Qeyd olunan fakt zəncirvari quruluşa malik aşqarsız TlInTe₂ kristallarının xüsusi keçiriciliyinin dozadan asılılığında müşahidə olunur.

Şəkil 4(a,b)-də γ -kvanlarla şüalandırılmış TlInTe_{2,04} kristallarında zəncir müstəvisinə paralel (E||C) və perpendikulyar (E⊥C) istiqamətlərdə xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı verilmişdir.

Şəkil 4a-dan görünür ki, zəncir müstəvisinə paralel istiqamətdə (E||C) xüsusi elektrik keçiriciliyi aktivləşmə enerjisi 0,41eV olan akseptor tipli lokal energetik səviyyə ilə xarakterizə olunur. Energetik səviyyələrin vəziyyəti radiasiya defektlərinin aşqar və struktur defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində kəskin dəyişir. Təcrübi nəticələrdən görünür ki, D=1Mrad şüalanma dozasında p-TlInTe_{2,04} kristalında akseptor tipli defektlərin yaranması nəticəsində xüsusi keçiriciliyi kəskin artır (əy.1). Şüalanma dozasının 10 Mrad qiymətində isə, yaranan defektlərin aşqar defektlərlə qarşılıqlı təsiri nəticəsində neytral komplekslərin yaranması səbəbindən nümunənin xüsusi keçiriciliyi ilkin vəziyyətə

(əy.1) qayıdır (əy.3). Dozanın D=50 Mrad qiymətində şüalanma zamanı donor tipli səviyyələrin yaranması nəticəsində struktur defektlərinin nizamlanması baş verdiyində kristalın xüsusi keçiriciliyi kəskin azalır (əy.4).



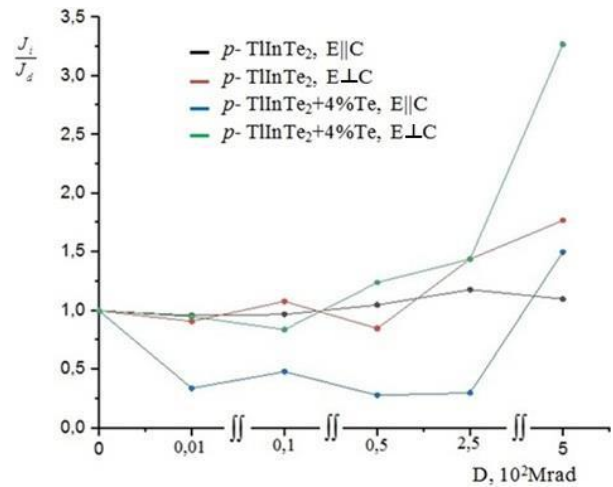
Şəkil 4

TlInTe_{2,04} (a,b) kristallarında müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə çəkilmiş xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları: a-zəncir müstəvisinə paralel; b-zəncir müstəvisinə perpendikulyar.

Şəkil 4b-dən görünür ki, p-TlInTe_{2,04} kristallarda zəncir müstəvisinə perpendikulyar (E ⊥ C) halda σ~f(1/T) asılılığında, [7]-ci işdə olduğu kimi, yüksək temperatur oblastında aktivləşmə enerjisi ~0,40 eV olan energetik səviyyə, aşağı temperatur oblastında isə tam ionlaşmış hal müşahidə olunur. Şüalanma dozasının 1÷10 Mrad qiymətlərində nümunənin xüsusi müqaviməti artdığından keçiricilik azalır, yüksək qiymətlərdə isə (50-50 Mrad) azalır. Təcrübi nəticələrdə müşahidə olunan anomaliyalar p-TlInTe_{2,04} kristallarında şüalanma

zamanı yaranan defektlərin təbiətinin (mütəhərrikliyi) dozanın qiymətindən asılı olduğunu göstərir. Belə ki, D<50 Mrad dozalarında yaranan defektlər əsasən donor təbiətli olduğundan defektlərin nizamlanması baş verir [7], D>50 Mrad dozalardan sonra isə Te atomunun artıqlığı hesabına yaranan akseptor tipli defektlər üstünlük təşkil edir. Bu səbəbdən kristalların xüsusi keçiriciliyi şüalanma dozasından asılı olaraq dəyişir.

Şəkil 5-də p-TlInTe₂ və p-TlInTe_{2,04} kristallarında qaranlıq cərəyanın nisbi şüalanma dozasından asılılığı verilmişdir.



Şəkil 5

TlInTe₂ və TlInTe_{2,04} kristallarının müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə J_i/J_d (ilk cərəyanın 1-500 Mrad şüalanmadan sonrakı cərəyana nisbəti) dozadan asılılıqları.

Şəkil 5-dən görünür ki, stexiometriyadan artıq Te-atomu daxil edilmiş kristallarda şüalanma dozasından asılı olaraq qaranlıq cərəyanının nisbi dəyişməsi kristallik oxun istiqamətindən və aşqar atomundan asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, p-TlInTe₂ kristalının zəncir müstəvisinə paralel istiqamətdə radiasiyaya davamlılığı yüksəkdir və Te atomunun stexiometrik artıqlığı E ⊥ C istiqamətində birləşmənin γ-kvantlara qarşı davamlılığını azaldır.

[4-7]-işlərdən məlumdur ki, TlInTe₂ kristalında In³⁺ və onların tetraedrik əhatəsində olan dörd Te²⁻ionları tetraqonal c-oxu istiqamətində mənfi yüklənmiş Te²⁻-In³⁺-Te²⁻ zəncir yaradır. Bir valentli Tl⁺ionu dörd zəncir arasında lokallaşır və

səkkiz Te^{2-} ionunun oktaedrik əhatəsində olur (Tomson kubu). TlInTe_2 kristalına stexiometriyadan artıq Te atomunun daxil edilməsi nəticəsində Tl atomları arasındakı oktaedrik boşluğunun qismən doldurulması (110) istiqamətində Tl^+ ionlarının sərbəst hərəkəti üçün əlavə potensial çəpər yaradır [7]. TlInTe_2 kristalını γ -kvantlarla şüalandıran zaman $E_\gamma < 10m_e c^2$ şərti daxilində γ -kvantlarının atomlardan səpilməsi zamanı üstünlük təşkil edən kompton elektronları defektyaranma mexanizmində iştirak edir. Nəzərə almaq lazımdır ki, γ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarsız p- TlInTe_2 kristalında kompton elektronları sadə defektlər yaradır və In atomunu düyünlər arası oblastda sürüşdürmək üçün elektronların astana enerjisi Tl və Te atomunun sürüşmə enerjisindən kiçikdir [13-14]. Bu fakta əsasən demək olar ki, p- TlInTe_2 kristalında kompton elektronun In atomunu düyünlər arası oblasta sürüşdürməsi zamanı yaranan defekt səviyyəsi donor, Te atomunun sürüşməsi zamanı isə akseptor tiplidir.

NƏTİCƏLƏR

Alınmış təcrübi nəticələrin [6,7, 9, 12-14]-işlərlə müqayisəsi əsasında demək olar ki, aşqar atomunun kristallik qəfəsdə tutduğu yerdən və defektlərin paylanmasından asılı olaraq TlInTe_2 kristallarının 001 və 110 kristalloqrafik istiqamətlərdə keçiricilik kəskin dəyişir.

p- TlInTe_2 kristalına stexiometriyadan artıq Te atomunun daxil edilməsi nəticəsində oktaedrik boşluğunun qismən doldurulması, 001 istiqamətində Tl^+ ionlarının sərbəst hərəkəti üçün əlavə potensial çəpər yaradır. Bu isə, həmin

kristalloqrafik istiqamətdə sərbəst yükdaşıyıcıların hərəkəti üçün maneəçilik yaradaraq cərəyanın azalmasına səbəb olur.

Məlumdur ki, TlInTe_2 kristalları anizotrop xüsusiyyətə malikdir [7] və γ -kvantlarla təsir zamanı yaranan nöqtəvi defektlərin müxtəlif kristalloqrafik istiqamətində paylanması cərəyanın keçmə mexanizminə təsir edir və anizotrop xüsusiyyətləri dəyişir.

Alınmış eksperimental nəticələr (Şəkil 1-4) deməyə əsas verir ki, p- $\text{TlInTe}_{2,04}$ kristallarında γ -kvantların struktur və aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan defekt-aşqar assosiasiyasının qarşılıqlı təsiri və onların yaranma sürəti şüalanma dozəsindən asılıdır. Qarşılıqlı təsirin xarakterindən asılı olaraq kristalın xassələrinin modifikasiyası baş verir. Belə ki, $I \sim f(U)$ və $\sigma \sim f(1/T)$ asılılıqlarından alınan nəticələr göstərir ki, şüalanma dozəsindən asılı olaraq $D < 50$ Mrad şüalanma dozalarında yaranan donor tipli defektlər ilkin akseptor tipli defektləri kompensasiya etdiyindən keçiriciliyin azalması, $D > 50$ Mrad dozalarda isə keçiriciliyin şüalanmadan əvvəlki qiymətə nəzərən artması baş verir. TlInTe_2 kristalında tellur atomunun stexiometrik miqdardan artıqlığının (4 at.%) yaradılması ilə zəncir müstəvisinə paralel istiqamətdə ($E \parallel C$) $\text{Tl}^+ \text{-Te}^-$ qarşılıqlı təsirinin artması nəticəsində kristalın anizotropluğu artır, perpendikulyar ($E \perp C$) istiqamətində isə azalır.

Beləliklə, γ -kvantlarla şüalandırılmış p- $\text{TlInTe}_{2,04}$ kristalının radiasiyaya davamlılığını və anizotrop xassələrini defekt-aşqar assosiasiyasının qarşılıqlı təsirini dəyişməklə idarə etmək mümkündür.

1. D.Muller, G.Eulenberger, H.Hahn, *Über ternäre Thalliumchalkogenide mit Thallium selenidstruktur*, *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **398** (1973) 207-220.
2. P.M.Сардарлы, О.А.Самедов, А.И.Наджафов, А.П.Абдуллаев, Э.А.Зейналов, Д.Г.Джаббаров. *Анизотропия прыжковой проводимости в монокристалле TlGaTe_2* , *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXV** №5 (2005) 45-50.
3. Под. Ред. М.Б.Соломонова. *Физика суперионных проводников*, Рига, (1982) 316.
4. А.И.Наджафов, О.З.Алекперов, Г.Г.Гусейнов, А.П.Абдуллаев. *Получение и свойства твердого раствора $(\text{TlInSe}_2)_{0,96} \text{Se}_{0,04}$* , *Неорганич. Материалы*, **48** (2012) 1309-1313.
5. А.И.Наджафов, Г.Г.Гусейнов, О.З.Алекперов, Р.М.Сардарлы, А.П.Абдуллаев, Н.А.Эюбова. *Полиморфное превращение в TlSe и электрофизические свойства фаз*, *Кристаллография*, **53** (2008) 864-868.

6. О.З.Алекперов, А.И.Наджафов, Г.Г.Гусейнов, А.П.Абдуллаев. *Полиморфное превращение в кристаллах TlInSe₂ и электрофизические свойства*, Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy, **XXX** № 5 (2010) 189-194.
7. А.И.Наджафов, Н.А.Алиева, К.Г.Халилова. *Растворимость теллура в кристаллах TlGaTe₂, TlInTe₂ и электрофизические свойства твердых растворов*, Физика твердого тела, **60** (2018) 1656-1661.
8. Б.Келли. *Радиационное повреждение твердых тел*, М., Атомиздат, (1970) 323.
9. А.И.Наджафов, Н.А.Алиева, К.Г.Халилова. *Растворимость теллура в кристаллах TlGaTe₂, TlInTe₂ и электрофизические свойства твердых растворов*, Физика твердого тела, **60** (2018) 1656-1661.
10. Е.А.Ермоленко. *Классификация методов измерения вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов*, Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2-3 (2014) 3-11.
11. М.Ламперт, П.Марк. *Инжекционные токи в твердых телах*, Мир, М., (1973) 413.
12. Р.С.Мадатов, А.И.Наджафов, М.Р.Газанфаров. *Влияние ионизирующего излучения на механизм электропроводности монокристаллов TlInSe₂*, Материалы Электронной Техники, **3** (2012) 31-36.
13. R.S.Madatov, A.I.Najafov, T.B.Taghiyev, M.R.Gazanfarov. *The Mechanism of a Current Passing in TlInSe₂ Monocrystals in Strong Fields*, Surf. Engin. and Applied Electrochemistry, **46** (2010) 497-502.
14. Ф.Н.Абдуллаев, Т.Г.Керимова, Н.А.Абдуллаев. *Анизотропия проводимости и локализация носителей заряда в монокристаллах TlInTe₂*, ФТТ, **47** (2005) 1180-1185.

COMBINED EFFECT OF DOPING ATOMS AND GAMMA QUANTA ON THE CONDUCTIVITY OF TlInTe₂ CRYSTALS

R.S.MADATOV, K.H.KHALILOVA, A.I.NAJAFOV, G.M.ISGANDAROVA,
M.A.MAMMADOV

The volt-ampere characteristic (VAC) and specific electrical conductivity of TlInTe₂ and TlInTe_{2.04} (4at.%) crystals irradiated with γ -quanta were studied in the temperature range of 100-300 K. It was determined that the defects formed at doses $D < 50$ Mrad in the TlInTe₂ crystal without additives were of donor nature and distribution in the direction parallel to the chain plane (E||C) was predominant. At doses $D > 50$ Mrad, the defects formed were of acceptor nature and prevail in the direction perpendicular to the chain plane ($E \perp C$). The radiation resistance of the p-TlInTe₂ crystal in the E||C direction was high, and the radiation resistance in the $E \perp c$ direction in the crystal with a stoichiometric excess of Te atoms was low.

КОМБИНИРОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ АТОМОВ И ГАММА-КВАНТОВ НА ПРОВОДИМОСТЬ КРИСТАЛЛОВ TlInTe₂

Р.С.МАДАТОВ, К.Г.ХАЛИЛОВА, А.И.НАДЖАФОВ, Г.М.ИСКЕНДЕРОВА,
М.А.МАМЕДОВ

Исследована вольт-амперная характеристика (ВАХ) и удельная электропроводность облученных γ -квантами кристаллов TlInTe₂ и TlInTe_{2.04} (4ат.%) в интервале температур 100-300К. Установлено, что дефекты образуются при дозах $D < 50$ Мрад в кристалле TlInTe₂ без добавок, имеют донорную природу и преобладает распределение в направлении параллельном плоскости цепи (E||C). При дозах $D > 50$ Мрад образующиеся дефекты носят акцепторный характер и преобладают в направлении перпендикулярном плоскости цепи ($E \perp C$). Радиационная стойкость кристалла p-TlInTe₂ в направлении E||C высокая, а радиационная стойкость в направлении $E \perp C$ в кристалле со стехиометрическим составом и в кристалле с избытком атомов Те низкая.