

TlGaSe₂<Pr> KRİSTALLARININ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

P.H. İSMAYILOVA, A.İ. HƏSƏNOV, A.A. HACIYEVA, N.Z. HƏSƏNOV,
S.S. ABDİNBƏYOV, M.C. NƏCƏFZADƏ

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

e-mail: p.ismayilova@physics.science.az

TlGaSe₂<Pr> (0; 0,1; 0,5; 2 mol%) yarımqeçirici kristallar sintez edilmiş və Bricsmen-Stokbarger metodu ilə onların monokristalları yetişdirilmişdir. TlGaSe₂<Pr>-un difraktoqramlarının öyrənilməsi göstərir ki, monoklinik sinqoniyaya malik TlGaSe₂ kristalının qəfəsindəki tallium atomlarını böyük ehtimal ilə prazeodimium atomları əvəz edir. Otaq temperaturunda TlGaSe₂<Pr> kristalların fotoqeçiriciliyinin ölçülməsi aşkar səviyyələrini müəyyən etməyə, onların qadağan zonasının eninin qiymətləndirməyə və onun prazeodimium konsentrasiyasından asılılığını izləməyə imkan verdi.

Açar sözlər: yarımqeçirici, prazeodimium, difraktoqramma, fotoqeçiricilik, aşqar səviyyə.

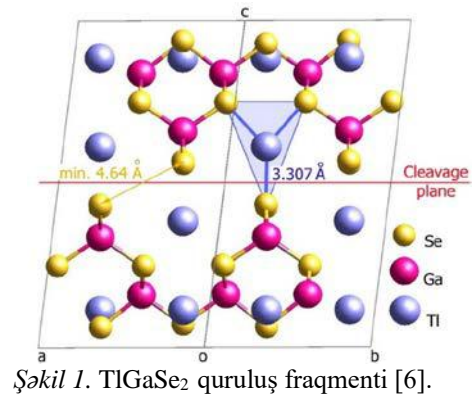
Müasir mikro və optoelektronikaya artan tələblər spesifik kristallik quruluşa malik yeni yarımqeçirici materialların tədqiqini stimullaşdırır. Belə materiallara laylı, zencirvari quruluşa malik aşağı ölçülü xalkogenidlər aiddir. Son illər xalkogenidlərin mikroelektronikada geniş tətbiqi onların unikal xüsusiyyətlərinin mövcudluğu ilə bağlıdır. Lakin onların potensial imkanları hələ də tam öyrənilməmişdir. Son illər tədqiqatçıların diqqətini güclü anizotropiyaya malik mürəkkəb quruluşlu laylı kristallar daha çox çəkir. Bu baxımdan A^{III}B^{III}C₂^{VI} qrupuna daxil olan TlGaSe₂ kristalları və onların əsasında alınmış bərk məhlullar böyük maraq doğurur. Üçqat laylı quruluşa malik bu birləşmələrin izomorfizmə meyilliyi, struktur faza keçidləri haqda məlumatlar müxtəlif elmi ədəbiyyatlarda fərqlənə bilirlər, bəzən də bir-birilərini təkzib edirlər. Bu halların baş vermə səbəbi bu yarımqeçirici kristallarda müxtəlif modifikasiyaların mövcudluğu, texnologiya prosesində stexiometriyadan kənara çıxma, müxtəlif defektlərin, aşqarların olması ilə əlaqələndirilir.

Yarımqeçiricilər fizikasının mühüm vəzifələrindən biri məlum olan maddələrə dopinq etməklə, aşqarlar vurmaqla, onların əsasında yaranan bərk məhlulların faydalı fiziki xassələrinin idarə olunmasıdır. Aşqarlar, dislokasiyalar yarımqeçirici kristalların xüsusiyyətlərinə nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir göstərir və bəzən yeni fiziki effektlərin yaranmasına səbəb olur. Buna görə də, aşqarların daxil edilməsi yarımqeçiricilərin fiziki xassələrini dəyişmək üçün vacib praktiki üsuldur. Xüsusilə, son zamanlar nadir torpaq elementləri (NTE) ilə A^{III}B^{III}C₂^{VI} qrup kristallarının dopinq edilməsinin perspektivliyi göstərilmişdir [1-5].

Qarşımıza qoyduğumuz əsas məsələ nadir torpaq elementi prazeodimium ilə 0÷2 mol% konsentrasiyada dopinq olunmuş TlGaSe₂ kristallarının sintezi, yetişdirilmə texnologiyasının işlənməsi, alınmış TlGaSe₂<Pr>-nin fotoelektrik xassələrinin tədqiqidir. TlGaSe₂<Pr> birbaşa əritmə metodu ilə sintez olunmuşdur. Alınmış TlGaSe₂<Pr> (0÷2 mol%) kristallarının rentgen difraktoqramları çəkilmişdir. Şəkil 1-də TlGaSe₂ kristallarının quruluş fraqmenti, qırmızı xətlə isə laylanma müstəvisi (001) göstərilmişdir.

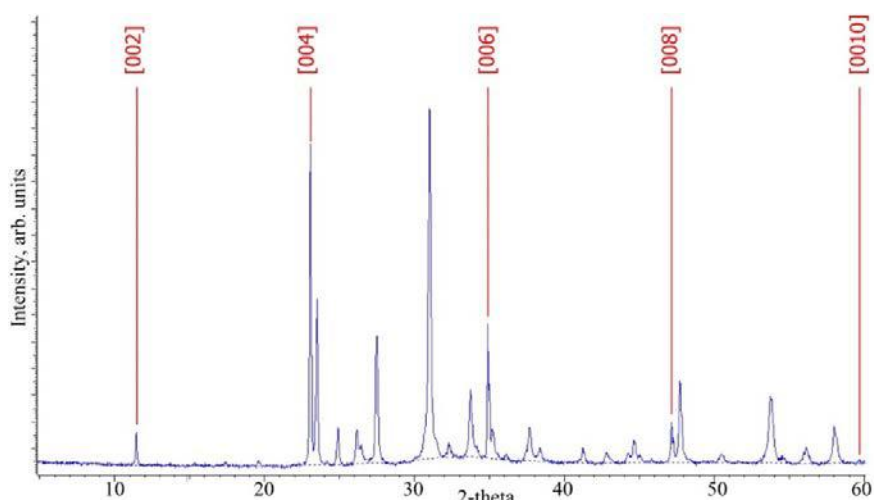
Aldığımız difraktoqramların müqayisəli analizi aşqarlanmanın difraktsiya mənzərələrində vizual hiss olunacaq dəyişikliyə səbəb olmadığını qəstərdi. Amma,

diqər tərəfdən isə aşqarın miqdarı artdıqca kristalların laylara ayrılma xüsusiyyətinin azaldığını, yəni keyfiyyətli səthlərin əldə olunmasının çətinləşdiyini müşahidə etdik. Kristal-kimyəvi məlumatlar əsasında Pr atomlarının quruluşda Ga atomlarının tetraedrlərində yerləşə bilməyəcəyini biz əvvəlcədən nəzərə almışdıq. Ga atomlarının tetraedrlərinin ölçülərinin Pr atomları üçün çox kiçik olduğunu nəzərə alaraq Ga → Pr əvəzləməsinin mümkün olduğunu hesab etmirik. Doğrudan da bu günə qədər öyrənilmiş kristal quruluşlarında yüngül NTE üçün tetraedrik koordinasiyaya rastlanmayıb. Amma Tl atomlarının triqonal prizmaları isə Pr atomları üçün həm formaca xarakter, həm də ölçülərinə görə çox uyğundurlar (şəkil 1). Belə əvəzləmə həm də kristalların laylanma xüsusiyyətinin zəifləməsinin səbəbini də izah edir. Belə ki, Tl → Pr əvəzlənməsi laylararası əlaqənin güclənməsinə səbəb olmalıdır. Şəkil 2-də TlGaSe₂ kristalın difraktsiya mənzərəsi göstərilmişdir [6].

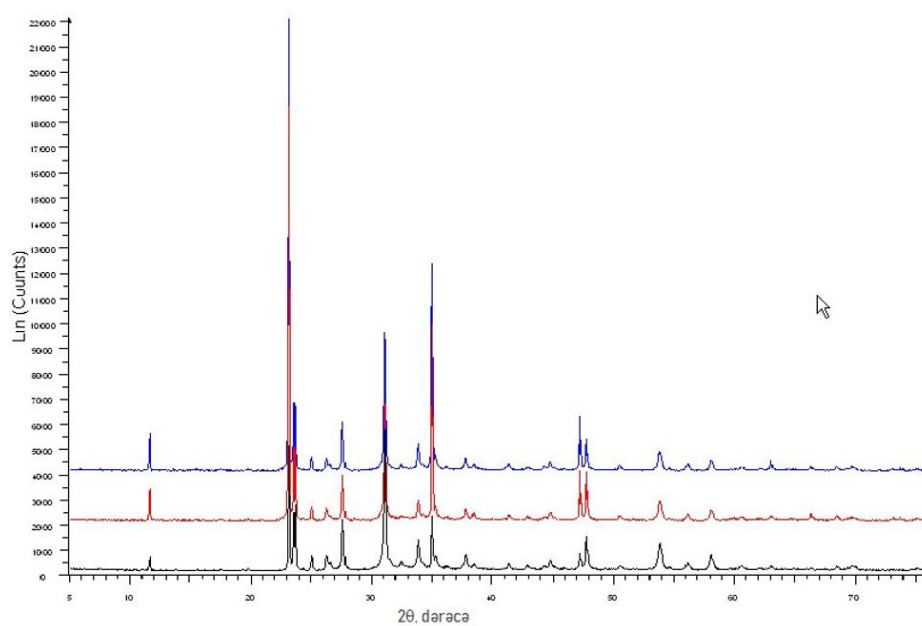


Difraktometr ilə aparılan hesablamalar göstərdi ki, TlGaSe₂-nin Pr ilə dopinqi onun kristallik strukturunda nəzərə çarpacaq dəyişiklik əmələ gətirmir. Tərkiblərin bərabər olduğu və qəfəs parametrlərinin TlGaSe₂-dən çox fərqli olmadığı müəyyənləşdirilmişdir. TlGaSe₂ əsaslı TlGaSe₂<Pr> nümunələri a=10.779Å, b=10.776Å, c=15.663Å, β=99.993C, fəza qrupu C2/c, z=16 olan monoklinik sinqonyada kristallaşır [7]. TlGaSe₂<Pr> (0÷2mol%) nümunələrinin difraktoqramındakı reflekslər TlGaSe₂ fazasına uyğundur. Şəkil 3-də TlGaSe₂<Pr> kristallarının difraktoqramları göstərilmişdir.

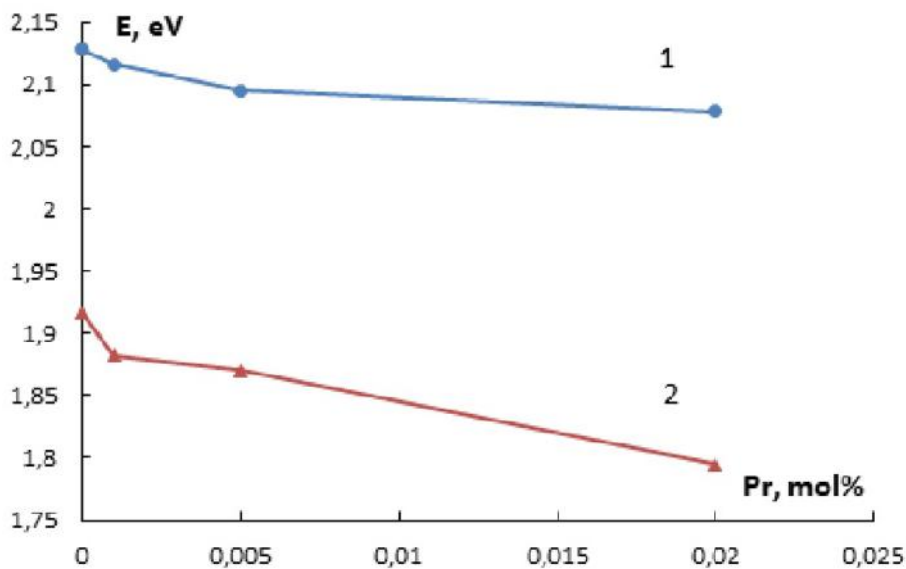
TlGaSe₂<Pr> KRİSTALLARININ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ



Şəkil 2. TlGaSe₂ kristalının difraktoqramması [6].



Şəkil 3. TlGaSe₂<Pr> (0,1; 0,5; 2 mol%) kristallarının difraktoqrammaları.



Şəkil 4. TlGaSe₂<Pr> kristalların məxsusi qadağan olunmuş zonasının eninin (1) və aşqar səviyyənin (2) tərkibdən asılılığı.

Fotoelektrik xassələri ölçmək üçün $\text{TlGaSe}_2\text{-Pr}$ monokristalları Bricmen-Stokbarger metodu ilə yetişdirilmişdir. $\text{TlGaSe}_2\text{-Pr}$ (0; 0,1; 0,5; 2 mol%) monokristal nümunələri planar şəkildə hazırlanmışdır ki, xarici elektrik sahəsi monokristalların təbii layları üzrə istiqamətlənsin və işığın laylara perpendikulyar istiqamətdə düşməsi təmin edilsin. Kontakt material olaraq gümüş pastasından istifadə edilmişdir. Kontaktlar arasındakı məsafə 2 mm təşkil edir. Tətbiq edilmiş elektrik sahəsinin gərginliyi monokristalın volt-ampere xarakteristikasının düz xətt oblastına uyğundur.

Tədqiqatlardan müəyyən edilmişdir ki, TlGaSe_2 -də olduğu kimi, $\text{TlGaSe}_2\text{-Pr}$ (0,1; 0,5; 2 mol%) monokristallarında yeni aşqar fotokeçiricilik müşahidə olunur və uyğun olaraq aşqar enerji səviyyələri Pr-un müxtəlif konsentrasiyalarında aldığı qiymətlər verilmişdir (0,1%-1,882 eV; 0,5%-1,87 eV; 2% -1,795 eV).

Uyğun olaraq $\text{TlGaSe}_2\text{-Pr}$ üçün eksperimentdən qadağan olunmuş zonanın eni hesablanmışdır. 0,1% üçün $E_g=2,116$ eV, 0,5% üçün $E_g=2,095$ eV və 2 mol% üçün $E_g=2,078$ eV təşkil edir (şəkil 4). Bu nəticələr ədəbiyyatda TlGaSe_2 -nin qadağan olunmuş zonasının eni üçün ($E_g=2,128$ eV) hesablanmış rəqəmlərə uyğundur.

$\text{TlGaSe}_2\text{-Pr}$ (0,1; 0,5; 2 mol%) xalkogenidli birləşmələrin kristallaşmasında tetraedrik boşluqların olması böyük miqdarda məxsusi defektlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

TlGaSe_2 -də Pr-un konsentrasiyasının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eninin azalmasını zona nəzəriyyəsinə əsasən müxtəlif defektlərin (stexiometriyadan kənaracıma hesabına yaranan məxsusi struktur defektləri, xüsusilə xətti defektlər, aşqarların qeyri-bircins paylanması və seqreqasiyası hesabına yaranan defektlər), tələlərin aşqar elementin ionları tərəfindən rekombinasiya edilməsi hesabına baş verməsi ilə izah etmək olar. $\text{TlGaSe}_2\text{-Pr}$ -un qadağan olunmuş zonasının uzundalğalı oblasta doğru sürüşməsi baş verir və yeni energetik səviyyələrin iştirakı ilə aşqar fotokeçiricilik müşahidə edilmişdir. Belə ki, Pr-un dopinqi qadağan zonada yeni lokal səviyyələr yaranır və bu mərkəzlər hesabına elektronların keçirici zonaya keçməsi üçün daha az enerji tələb olunur. Bu isə öz növbəsində aşqar fotokeçiriciliyin mövcudluğunu təsdiq edir.

Bu nəticələr əsasında demək olar ki, TlGaSe_2 kristalına nisbətən $\text{TlGaSe}_2\text{-Pr}$ (0,1; 0,5; 2 mol%) -nin spektral oblastı əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir və bu imkan verir ki, tədqiqat edilmiş kristallardan praktikada geniş diapazonda optik şüalanma fotoqəbuledicisi kimi istifadə edilsin.

- [1] Э.М.Годжаев, Э.А.Аллахьяров, В.Д.Рустамов. Синтез, выращивание монокристаллов и исследование акустовольтаического эффекта в $\text{TlIn}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Se}_2$ и $\text{TlIn}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Te}_2$. Неорган. Материалы. 2004. Т. 40. № 9. с. 1054–1059.
- [2] F.M. Seyidov, E.M. Kerimova, N.Z. Gasanov, Sh.D. Alizade. Interaction of TlInS_2 with TlYbS_2 and electric, thermal properties of crystals $(\text{TlInS}_2)_{1-x}(\text{TlYbS}_2)_x$ ($x=0\div 0,12$). 16-th Intern. Conf. on Ternary and Multinary Compounds. 2008. Sept.15-19. Tech. Univ. Berlin. Germany. Book of Abstracts. ID 93.
- [3] Ф.М. Сеидов, Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов. Фазовые равновесия в системе $\text{TlInS}_2\text{-TlYbS}_2$ и электрические свойства кристаллов $\text{Tl}_2\text{InYbS}_4$. Неорган. материалы. 2011. Т. 47. № 12. с. 1429–1432.
- [4] А.М. Пашаев, С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов. Диэлектрические и оптические свойства легированных редкоземельными элементами монокристаллов TlInS_2 и TlInSe_2 . Ученые записки Национальной Академии Авиации. 2014. Т. 16. № 3. с. 2937.
- [5] Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов. Кристаллофизика сложных полупроводников на основе соединений типа $\text{TlB}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$, включающих редкоземельные элементы и переходные металлы. АМЕА Xəbərlər, Fizika və Astronomiya seriyası. 2017. №2. с. 12–26.
- [6] Johnsen, Simon; Liu, Zhifu; Peters, John A., etc. Thallium Chalcogenide-Based Wide-Band-Gap Semiconductors: TlGaSe_2 for Radiation Detectors. Chemistry of Materials. 2011. 23. p. 3120.
- [7] G.E.Delgado, A.J.Mora, F.V.Pérez, J.González. Growth and crystal structure of the layered compound TlGaSe_2 . Cryst. Res. Technol. 2007. 2. p. 663–666.