

TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> MONOKRİSTALLARININ OPTİK XASSƏLƏRİP.H. İSMAYİLOVA, N.Z. HƏSƏNOV, S.B. KAZIMOV, A.A. HACIYEVA,  
X.Ş. VƏLİBƏYOVAzərbaycan Respublikası, Elm və Təhsil Nazirliyi, H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu,  
Bakı: AZ-1143, H.Cavid, 131e-mail: [p.ismayilova@physics.science.az](mailto:p.ismayilova@physics.science.az)

Nadir torpaq elementi disprozium ilə aşqarlanmış TlInS<sub>2</sub> kristallarının sintezi və yetişdirilməsi nəticəsində keyfiyyətli monokristallar alınmışdır. 100–300 K temperatur intervalında TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> (x=0,001; 0,005) monokristallarında optik udma kənarı tədqiq edilmiş və qadağan zonanın eninin temperaturdan asılılığı müəyyən olunmuşdur.

**Açar sözlər:** xalkogenid, nadir torpaq elementi, disprozium, optik udma kənarı, qadağan zonanın eni.  
**PACS:** 61.50.Ks, 77.80.Bh.

Yarımkəçiricilər və kvant elektronikasının nailiyyətləri yeni mürəkkəb materialların axtarışı və tətbiqi ilə ayrılmaz bağlıdır. Bu yeni materiallar bazası əsasında sənayenin cihazqayırma, hesablama texnikası, avtomatlaşdırma və s. sahələri inkişaf edir. Belə materiallardan TlIn<sup>III</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> üçqat yarımkəçirici birləşmələri və onların əsasında alınmış bərk məhlullar daha çox diqqət cəkir. Göstərilən birləşmələr günəş elementlərinin, işıq diodlarının, qeyri-xətti optik qurğuların, geniş dalğa uzunluğunda işləyən injeksiya lazerlərinin yaradılmasında perspektivli materiallardır. TlIn<sup>III</sup>C<sub>2</sub><sup>VI</sup> birləşmələrinin və onların əsasında alınmış bərk məhlulların sintez rejiminin, kimyəvi əlaqələrin, fiziki-kimyəvi xassələrin, strukturunun fundamental tədqiqi bir sıra maraqlı xassələri aşkar etdi ki, bunların da sayəsində bu sinifdən olan çoxlu birləşmələr elm və texnikanın müxtəlif sahələrində tətbiq tapdılar [1].

Müasir dövrdə yarımkəçirici kristallar arasında laylı struktura malik yarımkəçiricilər mühüm yer tutur. Müxtəlif istiqamətlərdə fiziki xassələrin anizotropluğu na malik olan laylı yarımkəçiricilər sinfini genişləndirmək, yeni fiziki xassələr vermək üçün onların aşqarlanması, interkalyasiyası, Tl, Ga, In atomlarının digər qrup elementləri, həmçinin nadir torpaq elementləri (NTE) və keçid metalları ilə əvəz olunması məqsədyönlü şəkildə aparılır [2]. Hal-hazırda çoxlu sayda məlum laylı strukturda kristallaşan binar, üçqat və həmçinin mürəkkəb birləşmələr mövcuddur. Onların arasında TlInS<sub>2</sub>, TlGaS<sub>2</sub>, TlGaSe<sub>2</sub> üçqat mürəkkəb birləşmələr laylı struktura malikdirlər.

TlInS<sub>2</sub> yarımkəçirici birləşmənin kristal quruluşu [3, 4] işlərdə öyrənilmişdir. TlInS<sub>2</sub> monoklin sinqoniyaya malikdir, fəza qrupu C<sub>6h</sub>, elementar qəfəsi iki laydan ibarətdir. Layın qalınlığı 7 Å-dır.

Qarşımıza qoyduğumuz əsas məsələ NTE disprozium ilə 0,5 mol%-ə qədər konsentrasiyada dopinq olunmuş TlInS<sub>2</sub> kristallarının sintezi və yetişdirilmə texnologiyasının işlənməsi, alınmış TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub>-nin optik xassələrinin tədqiqidir.

TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> (x=0,001; 0,005) bərk məhlulları ilkin elementlərin stexiometrik nisbətində 10<sup>-3</sup> Pa vakuum yaradılmış kvarts ampulada birbaşa əritmə yolu ilə sintez olunmuşdur. Ampula üfqi vəziyyətdə bir hissəsi sobanın içərisində, digər hissəsi sobadan kənar qalmaqla yerləşdirilmişdir. Ampulada uçucu komponent kükürdün olduğunu nəzərə alaraq sobanın

temperaturu kükürdün ərimə temperaturuna T=386 K-ə qədər tədricən qaldırılmışdır. Ampulanın kənarında qalan hissəsinin temperaturu nisbətən aşağı olduğundan, uçucu komponent buxarlanaraq ampulanın soyuq divarına yapışır. Kondensə olunduqdan sonra yenidən yüksək temperaturu zonaya qayıdır ki, bu da daxili təzyiqin doymuş buxarın təzyiqinə qədər qalxmasına mane olur. Bu da ampulanın partlamasının qarşısını alır. Sonra sobanın temperaturu birləşmənin (TlInS<sub>2</sub>) ərimə temperaturuna (1050 K) qaldırılır. Ərinti bu temperaturda 5 saat saxlanılır ki, kimyəvi proseslər tam başa çatsın. Sonra sobanın temperaturunu 1300 K-ə qədər qaldıraraq 15 saat saxlayaraq ərinti yavaş-yavaş qarışdırılır ki, kristalın qalıqları tam həll olunsun. Bu da əriməkdə olan komponentlərin, xüsusən də ərimə temperaturu yuxarı olan Dy tam diffuziyası üçün vacibdir. Ondan sonra ampula otaq temperaturuna qədər soyudulur. Alınan polikristalların birfazlı olmaları RFA və mikrostruktur analizlə yoxlanılır.

Sintez edilmiş nümunələri toz halına salınaraq CuK<sub>α</sub> mənbəyindən şüalandırılmaqla debayqramması alınmışdır. Tədqiqimizin nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> nümunələrinin hamısı bir fazalıdır, bütün difraksiya əksolmaları birgəymətli olaraq elementar qəfəs parametrləri [3]-də verilmiş monoklin TlInS<sub>2</sub>-yə uyğundur. TlInS<sub>2</sub>-də In atomlarının qismən Dy atomları ilə əvəz olunması TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> bərk məhlullarda x-in qiyməti artdıqda nümunələrinin difraksiya maksimumlarının intensivliyinin və c parametrlərinin azalmasına gətirib çıxarır.

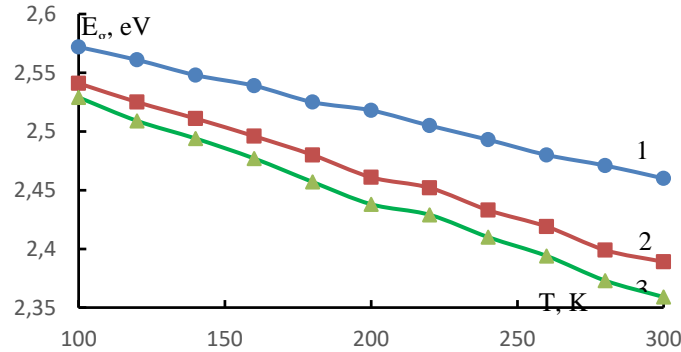
Optik ölçmələr üçün TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> (x=0,001; 0,005) monokristalları Bricmen metodu ilə yetişdirilmişdir [5]. TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> laylı yarımkəçirici kristalların optik udulma spektrini öyrənmək üçün nümunələr monokristal külçədən ayrılmış və qalınlıqları 20-80 mkm olan nazik lövhələr şəklində hazırlanmışdır. Optik buraxma spektrlərinin tədqiqi əsasında MDR-23 monoxromatoru və 100-300 K intervalda temperaturu sabit saxlayan UTREKS azot kriostatı olan qurğunun köməyi ilə aparılmışdır. Şua qəbuledicisi kimi FEU-100 cihazından istifadə olunmuşdur. Qurğunun ayırdetmə qabiliyyəti 2 Å-dır.

TlIn<sub>1-x</sub>Dy<sub>x</sub>S<sub>2</sub> monokristalları optik udulma kənarı 100-300 K temperatur intervalında tədqiq olunmuşdur. Işıq nümunənin üzərinə laylara perpendikulyar olaraq yönəldilmişdir. Qadağan zonanın eni Taus metodu ilə

$(a\hbar\omega)^2$ -nin fotonun enerjisindən asılılıq qrafikindəki düz xətti hissənin ekstrapolyasiyasından alınmışdır. In→Dy ilə qismən əvəz olunması optik udma kənarını uzun dalğalı oblasta doğru sürüşdürür. Hesablamalar göstərdi ki, temperaturun azalması ilə optik udma kənarı yüksək enerjilər tərəfə yerini dəyişir. Müxtəlif temperaturlarda  $E_g$ -nin qiymətləri müəyyən olunmuşdur. 100-300 K temperatur intervalında  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{S}_2$  ( $x=0,001; 0,005$ ) birləşmələrinin  $E_g$ -nin temperatur əmsalı  $\text{TlInS}_2$ -dəki kimi mənfi işarəlidir.  $\text{TlInS}_2$ -də In atomlarının Dy atomları ilə qismən əvəz edilməsi nəticəsində 100-300K intervalında  $E_g$ -nin temperaturdan asılılıq orta əmsalı modulca artır. Belə ki,  $\text{TlInS}_2$  üçün

$\Delta E_g/\Delta T = -5,6 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ ,  $\text{TlIn}_{0,999}\text{Dy}_{0,001}\text{S}_2$  üçün  $\Delta E_g/\Delta T = -7,6 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$   $\text{TlIn}_{0,995}\text{Dy}_{0,005}\text{S}_2$  üçün isə  $\Delta E_g/\Delta T = -8,5 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$  bərabərdir.

Şəkil 1-də  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{S}_2$  ( $x=0,001; 0,005$ ) monokristalları üçün  $E_g$ -nin temperatur asılılığı verilmişdir. Müqayisə üçün  $\text{TlInS}_2$ -də  $E_g(T)$  asılılığı da göstərilmişdir.  $\text{TlIn}_{0,995}\text{Dy}_{0,005}\text{S}_2$ -də  $E_g$ -nin uzun dalğalı oblasta doğru sürüşməsi 100 K-də 43 meV, 300 K-də isə 101 meV təşkil edir. Başqa sözlə In atomunun 0,1%, 0,5% Dy atomu ilə əvəz olunması ilə  $\text{TlInS}_2$  monokristalında qadağan zonanın eni nəzərə cərpacaq dərəcədə azalır.



Şəkil 1.  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{S}_2$  monokristallarda qadağan zonanın eninin  $E_g$  temperaturdan asılılığı:  
1-  $x=0$ ; 2 -  $x=0,001$  və 3 -  $x=0,005$ .

Yum-Rozerinin yarımempirik qaydalarına görə əvəz etmə bərk məhlulları o elementlərdə yaradılır ki, birincisi - onlar ölçülərinə görə bir-birinə yaxın atom radiuslarına malikdirlər (15%-dən fərqli olmamaq şərti ilə). İkincisi - gərginliyin elektrokimyəvi sırasında bir-birindən çox uzaq yerləşmirlər. Bizim  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{S}_2$  kristallarında In atomunun ion radiusu 0,8 Å, Dy ion radiusu 0,91 Å-dir. Atomların ion radiusları nisbəti 1,14-də bərabərdir. Bu da bizə  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{S}_2$ -ni əvəz etmə bərk məhlulu olduğunu hesab etməyə əsas verir.

Zona-struktur hesablamalarına görə laylı quruluşa malik birləşmələr əsasında bərk məhlul yaranan zaman deformasiyaya uğrayır. Laylararası qarşılıqlı təsir və hidrostatik təzyiğin tətbiqi ilə laylararası məsafənin azalması valent zonanın maksimumu ilə keçirici

zonanın minimumunun parçalanması səbəbindən  $E_g$ -nin azalmasına, ayrı-ayrı layların sıxılması isə  $E_g$ -nin artmasına səbəb olur. Laylı kristallar müxtəlif işarələrə malik deformasiya potensialları ilə təsvir edilir [6]. Deformasiya potensialının qiyməti layların sıxılması ilə müsbət, lay daxili məsafələrin azalması səbəbindən mənfi olur.  $E_g$  laylararası məsafələr azaldıqca azalır, lay daxili məsafə azaldıqca artır. Laylı quruluşa malik  $\text{TlInS}_2$  əsasında NTE Dy-nun daxil edilməsi ilə yaranan  $\text{TlIn}_{1-x}\text{Dy}_x\text{S}_2$  bərk məhlul deformasiyaya uğrayır. Bu baxımdan, layların sıxılması, yəni  $c$  parametrinin azalması, nəticədə qadağan zonanın enini uzundalğalı oblasta sürüşməsinə səbəb olur.

- [1] A.M. Panich, R.M. Sardarly. Physical Properties of the Low Dimensional  $A^3B^6$  and  $A^3B^3C^6_2$  Compounds. N. Y.: Nova Science Publ., 2010. P. 287.
- [2] A.M. Пауаев, С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов. Диэлектрические и оптические свойства легированных редкоземельными элементами монокристаллов  $\text{TlInS}_2$  и  $\text{TlInSe}_2$ . Ученые записки Национальной Академии Авиации. 2014, т.16, № 3, с.29-37.
- [3] T.I. Isaacs, R.H. Hopkins. Crystal growth, symmetry and physical properties of thallium

- gallium disulphide,  $\text{TlGaS}_2$ . J.Cryst.Grows. 1975, V.29, P. 121-122.
- [4] T.I. Isaacs, I.D. Feichtner. Grows and optical properties of  $\text{TlGaS}_2$  and  $\text{TlInS}_2$ . J.Sol.State Chem., 1975, V.14, P.260-263.
- [5] Э.М. Керимова. Кристаллофизика низкоразмерных халькогенидов, Баку, Елм, 2012, 708с.
- [6] Г.Л. Беленький, Э.Ю. Салаев, Р.А. Сулейманов. "Деформационные явления в слоистых кристаллах" УФН 155 89–127, 1988.

Qəbul olunma tarixi: 20.05.2024