

TlIn_{1-x}Dy_xS₂ 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-1073, H.Cavid, 131e-mail: p.ismayilova@physics.science.az

Nadir torpaq elementi disprozium ilə aşqarlanmış TlInS₂ kristallarının sintezi və yetişdirilməsi nəticəsində keyfiyyətli monokristallar alınmışdır. 100–300 K temperatur intervalında TlIn_{1-x}Dy_xS₂ (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.

DOI:10.70784/azip.2.2024313

Yarımqeçiricilər 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^{III}C₂^{VI} üçqat yarımqeçirici 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^{III}C₂^{VI} 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 yarımqeçirici kristallar arasında laylı struktura malik yarımqeçiricilər mühüm yer tutur. Müxtəlif istiqamətlərdə fiziki xassələrin anizotropluğu na malik olan laylı yarımqeçiricilər 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 TlInS₂, TlGaS₂, TlGaSe₂ üçqat mürəkkəb birləşmələr laylı struktura malikdirlər.

TlInS₂ yarımqeçirici birləşmənin kristal quruluşu [3, 4] işlərdə öyrənilmişdir. TlInS₂ monoklin sinqoniyaya malikdir, fəza qrupu C_{6h}², 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 TlInS₂ kristallarının sintezi və yetişdirilmə texnologiyasının işlənməsi, alınmış TlIn_{1-x}Dy_xS₂-nin optik xassələrinin tədqiqidir.

TlIn_{1-x}Dy_xS₂ (x=0,001; 0,005) bərk məhlulları ilkin elementlərin stexiometrik nisbətində 10⁻³ Pa vakuum yaradılmış kvars 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 temperaturlu zonaya qayıdır ki, bu da daxili təzyiqin doymuş buxarın təzyiqinə qədər qalxmasına mane olur. Bu da ampulanın partlamasının qarşısını alır. Sonra sobanın temperaturu birləşmənin (TlInS₂) ərimə temperaturuna (1050 K) qaldırılır. Ərinti bu temperaturda 5 saat saxlanılır ki, kimyəvi proseslər tam başa çatsın. Sonra sobanın temperaturunu 1300 K-ə qədər qaldırır 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_α mənbəyindən şüalandırılmaqla debayqramması alınmışdır. Tədqiqimizin nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, TlIn_{1-x}Dy_xS₂ nümunələrinin hamısı bir fazalıdır, bütün difraksiya əksolmaları birgəymətli olaraq elementar qəfəs parametrləri [3]-də verilmiş monoklin TlInS₂-yə uyğundur. TlInS₂-də In atomlarının qismən Dy atomları ilə əvəz olunması TlIn_{1-x}Dy_xS₂ bərk məhlullarda x-in qiyməti artdıqda nümunələrinin difraksiya maksimumlarının intensivliyinin və c parametrlərinin azalmasına gətirib çıxarır.

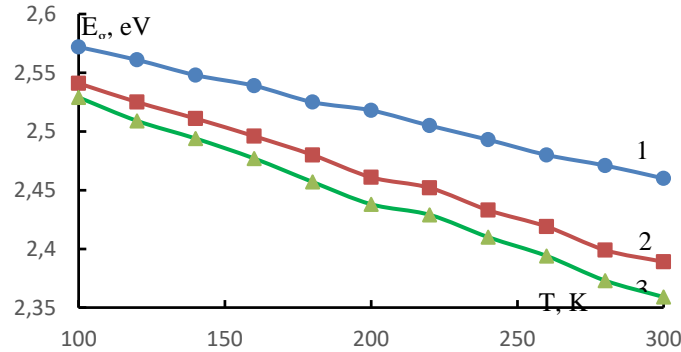
Optik ölçmələr üçün TlIn_{1-x}Dy_xS₂ (x=0,001; 0,005) monokristalları Bricmen metodu ilə yetişdirilmişdir [5]. TlIn_{1-x}Dy_xS₂ laylı yarımqeçirici kristalların optik udulma spektrini öyrənmək üçün nümunələr monokristal külçədən ayrılmış və qalınlıqları 20-80 mkm olan nazik lövhələr şəklində hazırlanmışdır. 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_{1-x}Dy_xS₂ 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 TlInS_2 -dəki kimi mənfi işarəlidir. 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, 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 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 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 yarımpempirik 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 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 TlInS_2 и 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, TlGaS_2 . J.Cryst.Grows. 1975, V.29, P. 121-122.
[4] T.I. Isaacs, I.D. Feichtner. Grows and optical properties of TlGaS_2 and 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