

## FİZİKƏ

UOT 53.087/088

## MƏMMƏD HÜSEYNƏLİYEV, MƏRYƏM ƏSGƏROVA, SARA YASİNOVA

PbTe YARIMKEÇİRİCİ BİRLƏŞMƏSİNİN Te-a TRANSFORMASIYA  
PROSESİNİN ARAŞDIRILMASI

*İşlə EDTA (Trilon B) vasitəsilə PbTe birləşməsinin tellura transformasiyası prosesi öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, transformasiya prosesi PbTe birləşməsinin çox kiçik bir qatında baş verir. PbTe narın toz hissəciyinin açıq səthinin nazik tellur qatı ilə örtülməsi onun bütünlüklə tellura çevrilməsini çətinləşdirir. Transformasiya prosesindən əvvəl və prosesdən sonra PbTe birləşməsinin optik udma spektrləri çəkilmiş və bu spektrlərdən qadağan olunmuş zonanın eni uyğun olaraq  $E_g = 0,29$  eV, isə  $E_g = 0,305$  eV müəyyən edilmişdir ki, bu da PbTe-un Te-a transformasiyası istiqamətinə uyğun gəlir.*

**Açar sözlər:** PbTe, birləşmə, narın toz, natrium borhidrid, EDTA, transformasiya, optik udma spektri, qadağan olunmuş zona.

Qurğuşun duzları kimi tanınan PbS, PbSe və PbTe yarımkeçirici birləşmələr həm özlərinin geniş texnoloji tətbiqinə görə, həm də mərəqlı və qeyri-adi fiziki xassələrinə görə son onilliklərdə əzizəndən çox öyrənilən birləşmələrdəndir.

PbTe-un hidrotermal üsulla alınması demək olar ki, indiyədək problem məsələ olaraq qalır. Bəzi tədqiqatçıların bu birləşmənin nazik təbəqələrinin alınmasına aid məqalələrinə rast gəlmək mümkündür. Lakin bütün hallarda bu birləşmənin alınma texnologiyası ya tam şəkildə açıqlanmış, ya da bu açıqlamalarda xeyli qaranlıq məqamlar üzə çıxır. Ona görə də PbX (X=S, Se, Te) xalkogenidləri arasında ən az öyrənilən PbTe-dur.

Ümumiyyətlə, PbX xalkogenidlərinin xassələri bütün digər yarımkeçiricilər kimi kristallik haldan nanostruktur halına keçərkən xeyli dəyişir və nazik təbəqələr şəklində onlar infraqırmızı fotoqəbuledicilərin və detektorların spektral diapazonlarının genişləndirilməsində, gecə görmə cihazlarında, günəş batareyalarında və optik çeviricilərdə istifadə oluna bilərlər. Bu xalkogenidlərin qadağan olunmuş zonaları yüksək dərəcədə kristallik ölçülərdən asılı olduqlarından günəş elementlərində uducu kimi istifadə üçün çox əlverişli material hesab olunurlar. Aktiv təbəqə olaraq PbS [1, 2], PbSe [3], PbS<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> [4] nanokristallarından ibarət olan əlverişli günəş elementlərinin hazırlanması haqqında məlumat vardır. Hətta PbX nanostrukturlarının öz aralarında keçidə əsaslanan günəş elementləri hazırlanmışdır [5, 6]. PbX birləşmələrinin belə geniş tətbiq olunmalarının bir səbəbi də budur ki, bütün digər yarımkeçirici birləşmələrdən fərqli olaraq onların qadağan olunmuş zonalarının temperatur əmsalları müsbətdir (məsələn PbS üçün  $b = 4 \times 10^{-4}$  eV/K) [7].

[8] işində EDTA-dan (Trilon B) istifadə etməklə CdTe nanohissəciklərindən Te naməfüllərinin alınmasının sadə və effektiv üsulu haqqında məlumat verilmişdir.

[9] işində kadmium sulfidın kadmium telluridə transformasiya prosesinin və EDTA-nın (Trilon B) təsiri ilə kadmium telluridin tellura çevrilməsi prosesinin ardıcıl tətbiqindən CdS/CdTe heteroqəbidinin komponentlərinin qalınlıqlarının idarə olunmasının yeni üsulundan bəhs olunur.

Bu işdə EDTA (Trilon B) istifadə edilməklə PbTe birləşməsinin Te-a çevrilməsinin mümkünlüyü araşdırılmışdır.

PbTe birləşməsinin almaq üçün Na<sub>2</sub>TeO<sub>3</sub> və qurğuşun asetat Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> məhlullarının 1:1 molyar nisbətə götürülmüş su məhlullarının qarışığından istifadə olunmuşdur. Birləşmənin alınması prosesində qarışığa porsiyalarla NaBH<sub>4</sub> kristalı əlavə olunmuş və hər porsiya arası məhlulun pH-ı 2-yədək endirilmişdir. Nəticədə tünd qəhvəyi rəngli PbTe birləşməsinin narın tozu alınmışdır. Bu birləşmənin üzərinə Trilon-B məhlulu əlavə edilməklə PbTe-un tellura transformasiyası həyata keçirilmişdir.

PbTe birləşməsinin optik xassələrini öyrənmək üçün "Nikolet İS-10" infraqırmızı spektrometridən istifadə edilmişdir.

Məlum olduğu kimi infraqırmızı spektr oblastında bir sıra funksional qruplar udma spektrində müəyyən piklərin ortaya çıxmasına səbəb olur. Bu piklər nəzərə alınmaqla onların fondan yalnız PbTe birləşməsinə aid olan udulma ayırd ediləndən sonra bu birləşmə üçün qabaq və sonra  $\alpha(h\nu)$  asılılıqları müəyyən edilmişdir.

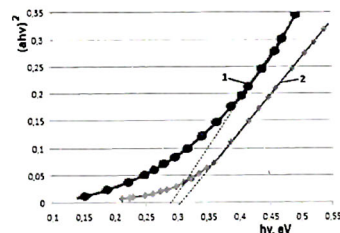
Bildiyimiz kimi yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının enini hesablamaq üçün Tauç düsturundan istifadə edilir [10]:

$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$$

Burada  $A$  – sabit ədəddir,  $E_g$  – yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni,  $h\nu$  – foton enerjisidir.  $n$  – isə keçidin tipindən asılı olaraq dörd müxtəlif qiymət ala bilər. Belə ki, icazə verilmiş düz keçid üçün  $n = 1/2$ , icazə verilməmiş qəp keçid üçün  $n = 2$ , qadağan olunmuş düz keçid üçün  $n = 3/2$ , qadağan olunmuş qəp keçid üçün  $n = 3$  [11].

PbTe düz zonalı yarımkeçirici olduğundan bu – birləşmə üçün münasibəti doğrudur.

Bu birləşmənin qadağan olunmuş zonasının enini tapmaq üçün transformasiya prosesindən əvvəl və prosesdən sonra  $(\alpha h\nu)^2$ -nin  $h\nu$ -dan asılılıq ayrılması qurulmuşdur (şəkil 1).



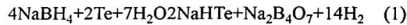
Şəkil 1. PbTe birləşməsinin transformasiya prosesindən əvvəl (1) və prosesdən sonra (2) hesablanmış  $(\alpha h\nu)^2 \sim f(h\nu)$  asılılıqları.

Bu asılılıqlardan düz xətt oblastının absis ( $h\nu$ ) oxu ilə kəsişməsinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, hidrotermal üsulla alınmış PbTe birləşməsinin transformasiya prosesindən əvvəl qadağan olunmuş zonasının eni  $E_g=0,29$  eV, prosesdən sonra isə  $E_g=0,305$  eV-a bərabərdir.

$E_g$ -nin bu cür dəyişməsi PbTe-un ( $E_g=0,29$  eV) Te-a ( $E_g=0,32$  eV) transformasiyası istiqamətinə (kiçikdən böyüyə) uyğun gəlir. Transformasiya aparılmış birləşmədə ikinci dəfə bu proses aparıldıqda heç bir dəyişiklik baş vermir.

Trilon B vasitəsilə həqiqətən PbTe-un Te-a transformasiya etdiyinə (qismən) əmin olmaq üçün transformasiya olunmamış və transformasiya olunmuş iki PbTe nümunəsi götürülərək onların üzərlərinə natrium borhidrid ( $\text{NaBH}_4$ ) məhlulu əlavə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, birinci nümunədə məhlulda heç bir dəyişiklik baş vermədiyi halda ikinci nümunədə məhlul bənövşəyi rəng almışdır.

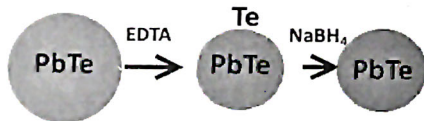
Bildiyimiz kimi Te elementini  $\text{NaBH}_4$ -də həll etdikdə aşağıdakı reaksiya gedir və bənövşəyi rəng alınır.



Transformasiya prosesi PbTe nən toz dənəciyinin çox kiçik qatında baş verdiyindən onun üzərində alınan telluru (1) reaksiyası əsasında məhlula keçirmək olar.

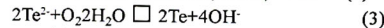
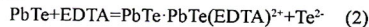
Nəticədə PbTe nən toz dənəciyinin üzərindən müəyyən qalınlıqlı təbəqə götürülmüş olacaqdır və hər dəfə müəyyən qalınlıqlı qat götürməklə PbTe-un daxilinə nüfuz etmək və onun ölçülərini idarə etmək mümkündür.

Bu prosenin tam bir sikli sxematik olaraq şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. PbTe nən toz dənəciyinin diametrinin azaldılmasının bir sikli.

Sikl aşağıdakı reaksiyalar üzrə həyata keçirilir.  
PbTe-Te çevrilməsi



Te-un məhlula keçməsi isə (1) reaksiyası əsasında baş verir.

Bu sikli davam etməklə PbTe nən toz dənəciyinin diametrinin kiçiltmək və sonda bütünlüklə tellura çevirmək olar.

Güman etmək olardı ki, PbTe nən tozunun ölçüləri transformasiya prosesinin bütövlüklə həyata keçməsinə imkan verəcəkdir. Lakin transformasiya prosesindən sonra bütövlüklə Te olduğu güman edilən tünd qəhvəyi rəngli tozun rentgenoqramı göstərmişdir ki, burada PbTe üstünlük təşkil edir.

Alınan nəticələri aşağıdakı kimi izah etmək olar: Alınan sərbəst tellur PbTe nən toz dənəciyinin üzərinə oturur (şəkil 2). Bu örtük prosenin sonadək davam etməsinə çətinləşdirir. Nəticədə transformasiya prosesi çox nazik bir qatda gerçəkləşmiş olur.

## ƏDƏBİYYAT

1. Tang J., Wang X., Brzozowski L., Barkhouse D.A.R. et al. Schottky Quantum Dot Solar Cells Stable in Air under Solar Illumination // Adv. Mater., Weinheim, Ger., 2010, 22, pp. 1398-1402.

2. Tang J., Brzozowski L., Barkhouse D.A.R. et al. Quantum Dot Photovoltaics in the Extreme Quantum Confinement Regime: The Surface-Chemical Origins of Exceptional Air- and Light-Stability // ACS Nano, 2010, № 4, pp. 869-878.
3. Luther J. M., Law M., Beard M. C., Q. et al. Schottky Solar Cells Based on Colloidal Nanocrystal Films // Nano Lett., 2008, v. 8 (10), pp. 3488-3492.
4. Ma W., Luther J. M., Zheng H., Wu Y., Alivisatos A.P. Photovoltaic Devices Employing Ternary  $\text{PbS}_x\text{Se}_{1-x}$  Nanocrystals // Nano Lett., 2009, v. 9, pp. 1699-1703.
5. Tsang S. W., Fu H., Wang R., Lu J., Yu K., Tao Y. Highly efficient cross-linked PbS nanocrystal /  $\text{C}_{60}$  hybrid heterojunction photovoltaic cells // Appl. Phys. Lett., 2009, v. 95, pp. 183-505.
6. Tsang S., Fu H., Ouyang J., Zhang Y. et al. Self-organized phase segregation between inorganic nanocrystals and  $\text{PC}_{61}\text{BM}$  for hybrid high-efficiency bulk heterojunction photovoltaic cells // Appl. Phys. Lett., 2010, v. 96, pp. 243-104.
7. Das R.K., Sahoo S., Tripathi G.S. Electronic structure of high density carrier states in PbS, PbSe and PbTe // Semicond. Sci. Technol., 2004, v. 19, № 3, pp. 433-441.
8. Xue F., Bi N., Liang J., Han H. A simple and efficient method for synthesizing Te nanoparticles with EDTA as controller under hydrothermal condition // Journal of nanomaterials, 2012, Article ID 751519, pp. 1-7.
9. Hüseynliyev M.H. Investigation of transformation processes of CdS thin films to CdTe and adjusting the thicknesses of CdS/CdTe heterojunction components // X International conference "Modern trends in physics". Baku: BSU, 20-22 April 2017, pp. 193-196.
10. Tauc J. (Ed.). Amorphous and Liquid Semiconductors. New York: Plenum Press, 1974, 159 p.
11. Pankove J.I. Optical Process in Semiconductors. New Jersey, USA, 1971.

AMEA Naxçıvan Bölməsi  
E-mail: mamedhuss@mail.ru

Məmməd Hüseynliyev, Maryam Əsgarova, Sara Yasınova

## RESEARCH OF TRANSFORMATION PROCESS OF SEMICONDUCTOR COMPOUND PbTe TO Te

At present work was learned transformation processes of PbTe powder to Te using EDTA (Trilon B). It was showed, that transformation process covers a very small thickness of PbTe powder. It was supposed that, the open surface of the particles of PbTe powder is covered with a thin layer of tellurium, which makes it difficult to completely its conversion to tellurium.

The optical absorption spectra of PbTe powder were recorded before and after the transformation process. From these spectra, the band gaps were determined, which are respectively  $E_g = 0.29$  eV and  $E_g = 0.305$  eV, which corresponds to the direction of transformation of PbTe to Te.

**Keywords:** PbTe, compound, sodium borohydride, EDTA, transformation, optical absorption spectrum, band gap.

Мамед Гусейнлиев, Марьям Аскерова, Сара Ясинова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ PbTe В Те

В данной работе изучен процесс трансформации соединения PbTe в Те с использованием ЭДТА (трилон Б). Показано, что процесс трансформации охватывает очень малую толщину порошка PbTe. Сделано предположение, что открытая поверхность частиц порошка PbTe покрывается тонким слоем теллура, что затруднит его полное превращение в теллур.

Были сняты спектры оптического поглощения соединения PbTe до и после процесса трансформации. Из этих спектров определена ширина запрещенных зон, равных  $E_g = 0,29$  эВ и  $E_g = 0,305$  эВ, что соответствует направлению трансформации PbTe к Те.

**Ключевые слова:** *PbTe, соединение, порошок, боргидрид натрия, EDTA, трансформация, спектр оптического поглощения, запрещенная зона.*

*(Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru Səfər Həsənov tərəfindən təqdim edilmişdir)*

<b>Daxilolma tarixi:</b>	<b>İlkin variant</b>	<b>10.03.2020</b>
	<b>Son variant</b>	<b>10.06.2020</b>