

PACS: 29.20.dg, 29.27.Ac, 68.37.Ps, 78.30.-j, 61.05.cp

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛА TlInS<sub>2</sub> ПОСЛЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНАМИ ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ

М. Кулик<sup>1,2</sup>, С.Ф. Самедов<sup>1,3</sup>, О.А. Самедов<sup>3</sup>, О.З. Алекперов<sup>4</sup>, Д. Колодынска<sup>5</sup>, А. Олейничак<sup>1,6</sup>, Н.М. Мехтиев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований Дубна, Россия,

<sup>2</sup>Институт физики Maria Curie Sklodowska University Люблин, Польша,

<sup>3</sup>Институт радиационных проблем НАН Азербайджана,

<sup>4</sup>Институт физики НАН Азербайджана,

<sup>5</sup>Химический Факультет Maria Curie Sklodowska University Люблин, Польша,

<sup>6</sup>Химический Факультет, Nicolaus Copernicus University Торун, Польша,

**Резюме:** В данной работе были исследованы диэлектрические параметры такие, как реальные и мнимые части диэлектрической проницаемости, диэлектрические углы потерь, в параэлектрической фазе в интервале температур 300-650К. На основе диэлектрических параметров в интервале частот 100-10<sup>6</sup> Гц была определена роль свободных ионов в процессе релаксации при  $f < 10$  кГц. Наблюдались флуктуации взаимной зависимости реальной и мнимой частей диэлектрической проницаемости. Были исследованы оптические свойства кристалла TlInS<sub>2</sub>. Спектры комбинационного рассеяния были получены при температуре 300К в интервале частот 50-2000 см<sup>-1</sup> до и после имплантации ионами водорода H<sup>+</sup> и гелия He<sup>+</sup>.

**Ключевые слова:** диэлектрические свойства; импеданс; Кристаллы TlInS<sub>2</sub>; оптические свойства; спектры комбинационного рассеяния

### 1. Введение

В последнее время полупроводниковые соединения групп A<sup>3</sup>B<sup>3</sup>C<sub>2</sub><sup>6</sup> привлекают все большее внимание [1,2]. Эти материалы используются в различных преобразователях и элементах памяти. То есть, применяются как малогабаритные энергоемкостные источники тока [3]. Для этого необходимо получение материалов с высокой ионной проводимостью [4]. Так, по мере развития электроники появляется необходимость в создании материалов-кристаллов с электронной и ионной проводимостью. Несмотря на потенциальные возможности для практического применения этих кристаллов, недостаток информации об их физических свойствах препятствует дальнейшему применению. Для нанотехнологии важно получение и изучение суперионных соединений. С этой точки зрения, актуально изучение как электронной так и ионной проводимости галогенидов. Из литературы известно, что супер ионные соединения относятся к неупорядоченным материалам [5]. Радиационные дефекты также увеличивают неупорядоченность материалов. Поэтому подвержение вещества радиации важно.

#### Структуры слоистых соединений при температуре окружающей

Соединение	структура	группа	$a$ (Å)	$b$ (Å)	$c$ (Å)	$\beta$ (deg.)	Z
TlInS <sub>2</sub>	Monoclinic	C62h(C2/c)	10.90	10.94	15.18	100.21	16

## 2. Эксперимент

Исследованный монокристалл  $TlInS_2$  выращивался методом Бриджмена – Стокбаргера. Геометрические параметры образца, используемого в экспериментах, равны  $5 \times 2 \times 2$  мм<sup>3</sup>. Во время исследования диэлектрических свойств кристалла, в качестве электрического контакта использовались серебряные электроды, и эти исследования проводились перпендикулярно направлению оси “с” образца. Изучение комплексных диэлектрических свойств было проведено на “MNIPI E7-25 impedance analyzer”. Эксперименты проводились при частоте  $100-10^6$  Гц и интервале температур 300-650 К. Спектры комбинационного рассеяния снимались на приборе научной рамановской спектроскопии HORIBA в диапазоне  $100-2000$  см<sup>-1</sup>. В качестве источника света использовался He-Ne-лазер (красный лазер) с длиной волны  $\lambda=633$  нм. Спектральное разрешение было не хуже  $\pm 0,5$  см<sup>-1</sup>. Спектры комбинационного рассеяния были исследованы при температуре 300 К. Спектры поляризованного комбинационного рассеяния были измерены в конфигурации обратного рассеяния на поверхности кристалла, перпендикулярной плоскости (001). Для минимизации теплового воздействия на исследуемые объекты мощность излучения, падающего на образец, ослаблялась до уровня 600 мкВт – 2 мВт. Размер светового пятна на образце составлял порядка 1 мкм. Поляризаторы в канале детектирования не устанавливались. Время накопления сигнала составляло, как правило, от 0,5 до 1 мин. Измеряемые спектры КРС автоматически вводились в компьютер измерительной установки, где проходили математическую обработку с помощью специального программного обеспечения. Образец был подвержен имплантации ионами He и H с энергией 120 кэВ и дозой  $\Phi=10^{15}$  ион/см<sup>2</sup>×сек в Институте имени Мари Кюриана.

## 3. Результаты и их обсуждение:

На рисунке 1 показаны Спектры комбинационного рассеяния до и после имплантации кристалла  $TlInS_2$  ионами гелия  $He^+$  при температуре 300К.

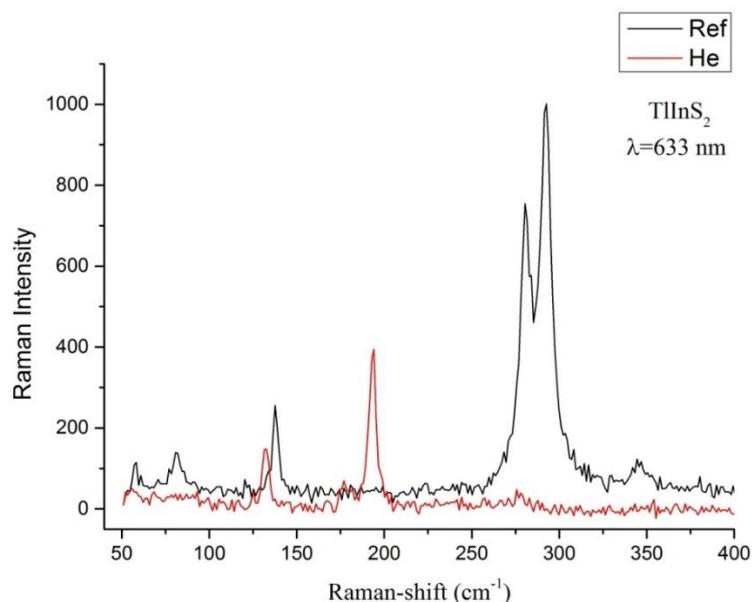


Рис. 1. Спектры комбинационного рассеяния до и после имплантации кристалла  $TlInS_2$  ионами гелия  $He$  при температуре 300К

В измеренных спектрах комбинационного рассеяния для исходных образцов TlInS<sub>2</sub> (до имплантации) определено 6 пиков (58.1, 81.2, 137.5, 180.1, 291.4, 346.2 cm<sup>-1</sup>). После имплантации по спектрам было определено 4 пика. При сравнении спектров до и после имплантации наблюдались заметные их отличия. Это выразалось в изменении относительной интенсивности линий и исчезновением некоторых из них. Эти эффекты зависели от массы ионов, с которыми облучались образцы [6,7].

На рисунке 2 показаны рамановские спектры до и после имплантации кристалла TlInS<sub>2</sub> ионами водорода H<sup>+</sup> при температуре 300К. После имплантации ионами водорода H<sup>+</sup> кристалла TlInS<sub>2</sub> в рамановских спектрах наблюдается уменьшение количества пиков. В обоих спектрах в точке 194 cm<sup>-1</sup> в отличие от начального состояния наблюдаются новые пики.

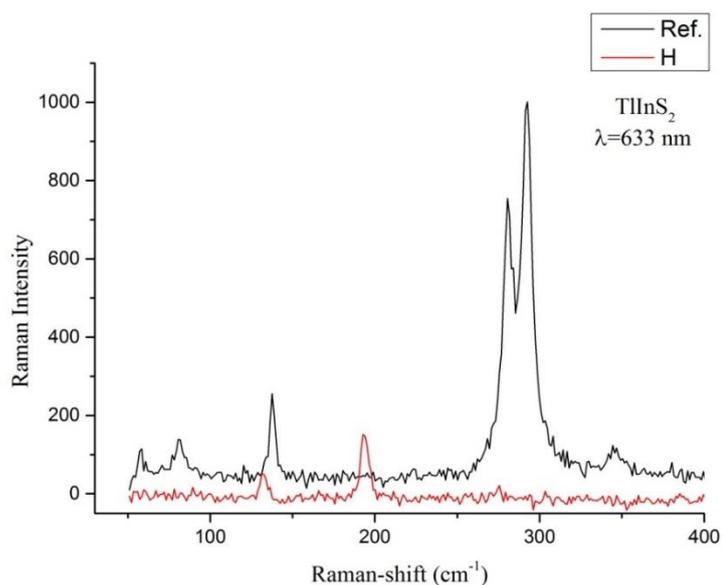


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния до и после имплантации кристалла TlInS<sub>2</sub> ионами водорода H<sup>+</sup> при температуре 300К

В таблицах 1 и 2 показаны частоты мод в кристалле TlInS<sub>2</sub>

Таблица 1.

Raman-Shift(cm <sup>-1</sup> )		Относительная интенсивность		Относительная ширина линии	
Исходный	He <sup>+</sup>	Ref.	He <sup>+</sup>	Ref.	He <sup>+</sup>
58	54	умеренный	слабый	средний	средний
81	132	умеренный	умеренный	широкий	широкий
137	176	умеренный	умеренный	широкий	средний
280	194	сильный	сильный	узкий	узкий
291		сильный		узкий	
346		слабый		средний	

Таблица 2.

Raman-Shift(cm <sup>-1</sup> )		Относительная интенсивность		Относительная ширина линии	
Исходный	H <sup>+</sup>	Ref.	H <sup>+</sup>	Ref.	H <sup>+</sup>
58	131	умеренный	умеренный	средний	средний
81	194	умеренный	умеренный	широкий	средний
137	276	умеренный	слабый	широкий	узкий
280		сильный		узкий	
291		сильный		узкий	
346		слабый		средний	

#### 4. Заключение

Мы изучили поляризованные спектры комбинационного рассеяния кристалла TlInS<sub>2</sub> в 300 К. Эксперимент показал, что рамановские спектры до и после имплантации не совпадают. Также после имплантации наблюдалась аморфизация структуры. Наблюдалось значительное уменьшение содержания Tl в поверхностных слоях. Для ионов He<sup>+</sup> (120 кэВ) эффект был более выраженным и сопровождался резким уменьшением содержания атомов S. Имплантация ионами He<sup>+</sup> также продемонстрировала более значительное уширение спектральных характеристик In и Tl, что может быть связано с разупорядочением структуры.

#### Литература

1. R. M. Sardarly, O. A. Samedov and I. S. Sadykhov, Solid State Commun. 77 (1991) 453
2. L.Y. Kharkhalis, K.E. Glukhov and m. Sznajder. Acta physica polonica A vol.129 (2016) N.1- A
3. R. M. Sardarly, O. A. Samedov, A. P. Abdullayev, F. T. Salmanov, A. Urbanovic, F. Garet and J.-L. Coutaz, Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 05FCO9-1-2.
4. Welnic W., Pamungkas A., Detemple R. et al. Unravelling the interplay of local structure and physical properties in phase-change materials // Nature Mater., 2006, v. 5, p. 56-62.
5. Arif Pashaev, Arif Badalov, Rauf Sardarly, Oktay Samedov, Nurana Alieva, Rayiha Agayeva, Aygun Orujova, Arzu Sardarli., Avestia Publishing. International Journal of Theoretical and Applied Nanotechnology. Volume, Issue, Year 2014
6. N.M.Gasanly, B.N.Marvin, KH.E.Sterin, V.I.Tagirov, and Z.D.Khalafov., Institute of Spectroscopy, Moscow Region. phys. stat. sol. (b) 86,K49 (1978)
7. N. N. Syrбу, A. V. Tiron, V. V. Zalamai, and N. P. Bejan., Resonance Raman Scattering in TlGaSe<sub>2</sub> Crystals// Advances in Condensed Matter Physics., Volume 2017, Article ID 5787821, 5 pages

STUDY OF THE OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF A TlInS<sub>2</sub> CRYSTAL AFTER IMPLANTATION OF HYDROGEN AND HELIUM IONS

M. Kulik<sup>1,2</sup>, S.F. Samedov<sup>1,3</sup>, O.A. Samedov<sup>3</sup>, O.Z. Alekperov<sup>4</sup>, D. Kolodynska<sup>5</sup>,  
A. Oleinchak<sup>1,6</sup>, N.M. Mehdiyev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Joint Institute for Nuclear Research Dubna, Russia,

<sup>2</sup>Institute of Physics, Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland,

<sup>3</sup>Institute of Radiation Problems of ANAS,

<sup>4</sup>Institute of Physics of ANAS,

<sup>5</sup>Faculty of Chemistry, Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland,

<sup>6</sup>Faculty of Chemistry, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland

**Abstract:** In this paper, we studied the dielectric parameters, such as the real and imaginary parts of the dielectric constant, dielectric loss angles, in the paraelectric phase in the temperature range of 300-650K. Based on the dielectric parameters in the frequency range 100-106 Hz, the role of free ions in the relaxation process at  $f < 10$  kHz was determined. Fluctuations of the mutual dependence of the real and imaginary parts of the dielectric constant were observed. The optical properties of the TlInS<sub>2</sub> crystal were investigated. Spectra of combinative scattering was obtained at a temperature of 300K in the frequency range 50–2000 cm<sup>-1</sup> before and after implantation with hydrogen ions H<sup>+</sup> and helium He<sup>+</sup>

**Keywords:** Dielectric properties; impedance; TlInS<sub>2</sub> crystals; optical properties; Raman Spectra

HİDROGEN VƏ HELİUM İONLARININ İMPLANTASIYASINDAN SONRA TlInS<sub>2</sub> KRİSTALININ OPTİK VƏ ELEKTRİK XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

M. Kulik<sup>1,2</sup>, S.F. Səmədov<sup>1,3</sup>, O.Ə. Səmədov<sup>3</sup>, O.Z. Ələkbərov<sup>4</sup>, D. Kolodinska<sup>5</sup>,  
A. Oleinçak<sup>1,6</sup>, N.M. Mehdiyev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutu, Dubna, Rusiya

<sup>2</sup>Maria Curie Skłodowska University, Fizika İnstitutu, Lublin, Polşa,

<sup>3</sup>AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu,

<sup>4</sup>AMEA Fizika İnstitutu,

<sup>5</sup>Maria Curie Skłodowska University, Kimya fakültəsi, Lublin, Polşa,

<sup>6</sup>Nicolaus Copernicus Universiteti, Kimya Fakültəsi, Torun, Polşa,

**Xülasə:** Təqdim olunan işdə, 300-650K temperatur aralığında paralektrik fazda dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələri, dielektrik itki bucaqları kimi dielektrik parametrlər tədqiq edilmişdir. 100-106Hz tezlik aralığındakı dielektrik parametrlərə əsaslanaraq,  $f < 10$  kHz-də relaksasiya prosesində sərbəst ionların rolu müəyyən edilmişdir. Dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı asılılığının fluktasiyası müşahidə olunmuşdur. TlInS<sub>2</sub> kristalının optik xassələri araşdırılmışdır. Kombinativ səpilmə spektrləri 300K temperaturda 50–2000 sm<sup>-1</sup> tezlik aralığında hidrogen ionları H<sup>+</sup> və helium He<sup>+</sup> ilə implantasiyadan əvvəl və sonra əldə edilmişdir.

**Açar sözlər:** dielektrik xassələr, impedans; TlInS<sub>2</sub> kristalları; optik xassələr; Raman Spektra