

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,  
НАНОСТРУКТУР  
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS  
OF THE STUDY OF CLUSTERS,  
NANOSTRUCTURES AND  
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY  
IZUČENIÂ KLASTEROV,  
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

*МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ*

выпуск 11

ТВЕРЬ 2019

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

**Официальный сайт издания в сети Интернет:**

**<https://www.physchemaspects.ru>**

**Ф50** Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2019. – Вып. 11. – 680 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

*Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials*

*Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučeniâ klasterov, nanostruktur i nanomaterialov*

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2019

© Тверской государственной  
университет, 2019

## ФОТОРЕФРАКТИВНЫЕ СВОЙСТВА И ОПТИЧЕСКАЯ ОДНОРОДНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ $\text{LiNbO}_3$ (6,0 вес.% $\text{K}_2\text{O}$ )

Н.А. Теплякова, Н.В. Сидоров, М.Н. Палатников

*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья  
им. И.В. Тананаева – обособленное подразделение ФГБУН Федерального  
исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»  
184209, Россия, Мурманская область, Апатиты, Академгородок, 26а  
tepl\_na@chemy.kolasc.net.ru*

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.241

**Аннотация:** Выполнены сравнительные исследования кристаллов ниобата лития конгруэнтного и стехиометрического составов различного генезиса. Показано, что из конгруэнтного расплава с добавлением флюса 6,0 вес.%  $\text{K}_2\text{O}$  можно получать близкие к стехиометрическим кристаллы  $\text{LiNbO}_3$ , но при этом значительно превосходящие их по оптической однородности и фотоэлектрическим параметрам.

**Ключевые слова:** монокристалл, ниобат лития, фотоэлектрические поля, ширина запрещенной зоны ИК-спектры поглощения, валентные колебания  $\text{OH}$  – групп.

### 1. Введение

Для создания оптических материалов для лазерных сред и преобразования излучения с субмикронными периодически поляризованными доменными структурами кристаллы ниобата лития стехиометрического состава ( $\text{Li}/\text{Nb}=1$ ) имеют существенные преимущества по сравнению с конгруэнтными ( $\text{Li}/\text{Nb}=0,946$ ) кристаллами ввиду наличия у них значительно более низкого (в пять раз) коэрцитивного поля [1]. Однако при выращивании стехиометрических кристаллов из расплава с 58,6 мол.%  $\text{Li}_2\text{O}$  существует высокая неоднородность показателя преломления вдоль оси роста, что делает невозможным практическое применение таких кристаллов. Кроме того, кристаллы  $\text{LiNbO}_3$  стех обладают гораздо более высоким, чем конгруэнтные кристаллы, эффектом фоторефракции и фотоиндуцированным рассеянием света, что может существенно снизить эффективность нелинейно-оптических преобразований. Методом добавления флюса  $\text{K}_2\text{O}, \text{Rb}_2\text{O}, \text{Cs}_2\text{O}$  из конгруэнтного расплава с можно получать кристаллы близкие по составу к стехиометрическим [2, 3]. При этом дефектность катионной подрешетки таких кристаллов ниже, чем в кристаллах конгруэнтного состава, поскольку количество структурных дефектов, связанных с избытком ионов ниобия ( $\text{Nb}_{\text{Li}}$ ) в структуре стехиометрического кристалла мало. Однако этот способ получения стехиометрических кристаллов существенно сложнее и сравнительно мало изучен (имеются лишь единичные публикации).

## 2. Постановка задачи

В данной работе методами фотоиндуцированного рассеяния света (ФИРС), электронной спектроскопии и ИК-спектроскопии поглощения в области валентных колебаний  $OH$ -групп исследованы оптическая и структурная однородность, фоторефрактивные свойства монокристаллов  $LiNbO_3$ <sub>стех</sub> (6,0 вес.%  $K_2O$ ), также определена ширина запрещенной зоны в этих кристаллах. Результаты сравнивались с результатами, полученными для номинально чистых конгруэнтного и стехиометрического кристаллов.

Выращивание кристаллов  $LiNbO_3$  производилось методом Чохральского в воздушной атмосфере. Более подробно выращивание кристаллов описано в [4]. Кристаллы, близкие по составу к стехиометрическим выращивались двумя способами: из расплава с 58,6 мол.%  $Li_2O$  ( $LiNbO_3$ <sub>стех</sub>) и из расплава конгруэнтного состава с добавлением флюса  $K_2O$   $LiNbO_3$ <sub>стех</sub> (6,0 вес.%  $K_2O$ ).

Регистрация спектров ИК-поглощения производилась с помощью спектрометра IFS 66 v/s фирмы Bruker. Определение края поглощения производилось с помощью монохроматора МДР-41.

Методика ФИРС подробно описана в [5]. По параметрам индикатрисы ФИРС с использованием подхода, предложенного в работе [6] были определены значения напряженностей фотовольтаического и диффузионного электрических полей. Погрешность вычислений фотоэлектрических полей в условиях эксперимента составляет 1,5–2%. Показатели преломления необыкновенного и обыкновенного лучей определялись из эмпирических уравнений, приведенных в справочнике [7].

## 3. Результаты и обсуждение

В Таблице 1 приведены результаты расчета ширины запрещенной зоны по спектрам поглощения кристаллов  $LiNbO_3$ <sub>стех</sub>,  $LiNbO_3$ <sub>конгр</sub> и  $LiNbO_3$ <sub>стех</sub> (6,0 вес.%  $K_2O$ ). Сдвиг спектра поглощения кристалла  $LiNbO_3$ <sub>стех</sub> (6,0 вес.%  $K_2O$ ) в коротковолновую область и более крутой подъем по сравнению с кристаллом  $LiNbO_3$ <sub>стех</sub> свидетельствует о более высокой композиционной и оптической однородности кристалла  $LiNbO_3$ <sub>стех</sub> (6,0 вес.%  $K_2O$ ), близкой к композиционной и оптической однородности кристалла  $LiNbO_3$ <sub>конгр</sub>. При этом значение ширины запрещенной зоны кристалла  $LiNbO_3$ <sub>стех</sub> (6,0 вес.%  $K_2O$ ) имеет промежуточное значение между стехиометрическим и конгруэнтным кристаллами.

**Физико-химические аспекты изучения кластеров,  
наноструктур и наноматериалов**

Таблица 1. Фотоэлектрические параметры ФИРС (край оптического поглощения  $\lambda_k$ , ширина запрещенной зоны  $\Delta E_g$ ) кристаллов ниобата лития при  $t = 25^\circ\text{C}$

Кристалл	$\lambda_k$ , нм	$\Delta E_g$ , эВ	$E_{PV}$ , В/см	$E_D$ , В/см	$\theta$ , град.	$\nu$ , $\text{cm}^{-1}$		
$LiNbO_3$ конгр	334,2	3,72±0,01	6232	81,0	-	3470	3483	3486
$LiNbO_3$ стех	357,3	3,48±0,01	3178	1360	46	3465	3480	3488
$LiNbO_3$ стех (6,0 вес.% $K_2O$ )	349,0	3,56±0,01	6855	2508	56	3465	3480	3488

Значения фотоэлектрических полей (фотовольтаического  $E_{PV}$  и диффузионного  $E_D$ ) и угол раскрытия индикатрисы ФИРС максимальны для кристалла  $LiNbO_3$  стех (6,0 вес.%  $K_2O$ ) (см. Таблицу 1). Для кристалла  $LiNbO_3$  конгр индикатриса ФИРС не раскрывается при данной мощности лазерного излучения (160 мВт). В кристаллах  $LiNbO_3$  стех и  $LiNbO_3$  стех (6,0 вес.%  $K_2O$ ) раскрытие спекл-структуры индикатрисы ФИРС осуществляется в течение  $\sim 60$  с. При этом индикатриса ФИРС асимметрична, имеет вид эллипса, вытянутого вдоль полярной оси. Причем величина асимметрии спекл-картины ФИРС существенно зависит от состава кристалла.

За эффект фоторефракции в кристалле  $LiNbO_3$  ответственны дефекты с локализованными на них электронами. В кристалле  $LiNbO_3$  кроме глубоких ловушек электронов, создаваемых точечными фоторефрактивными центрами (главным образом, дефектами  $Nb_{Li}$  – катионами  $Nb^{5+}$ , находящимися в позициях ионов  $Li^+$  идеальной структуры стехиометрического состава), существует множество мелких ловушек в виде комплексных дефектов и микроструктур, существенно влияющих на эффект фотоиндуцированного изменения показателей преломления и особенности спекл-структуры картины ФИРС [1, 5]. Количество дефектов  $Nb_{Li}$  и мелких ловушек электронов зависит от состава кристалла и особенностей технологий его получения. В номинально чистых кристаллах  $LiNbO_3$  с увеличением отношения  $Li/Nb$  количество глубоких электронных ловушек (дефектов  $Nb_{Li}$ ) уменьшается, но одновременно увеличивается количество дефектов в виде мелких ловушек электронов [1, 5]. Чем больше в кристаллической решетке концентрация дефектов в виде электронных ловушек различного уровня, тем больше будут фотоэлектрические поля в кристалле, тем больше будет фотоиндуцированное изменение показателей преломления кристалла и величина  $\Delta n = n_o - n_e$ , тем сильнее энергия должна перекачиваться из обыкновенного ( $n_o$ ) в необыкновенный ( $n_e$ ) луч и тем

более вытянутую форму вдоль полярной оси будет приобретать индикатриса спекл-картины ФИРС [5]. Со временем между энергиями обыкновенного и необыкновенного лучей устанавливается равновесие и в таком стационарном виде картина ФИРС может сохраняться длительное время. Необходимо отметить, что чем больше величина диффузионного поля, тем больше угол раскрытия индикатрисы ФИРС (см. данные, представленные в Таблице 1).

В реальных кристаллах  $LiNbO_3$ , даже в предположении случая, когда  $Li/Nb=1$ , всегда в определенном (небольшом) количестве будут присутствовать точечные дефекты  $Nb_{Li}$ ,  $V_{Li}$  (вакансия в позициях ионов  $Li^+$  идеальной структуры стехиометрического состава) и др., а также связанные с ними более сложные комплексные дефекты, в частности, дефекты, обусловленные наличием водородных связей в структуре кристалла, выращенного в воздушной атмосфере.  $OH$ -группы (их количество в кристалле  $LiNbO_3$  зависит от состава и способа получения кристалла и составляет от  $\sim 10^{17}$  до  $10^{19}$   $см^{-3}$ ) в структуре кристалла  $LiNbO_3$  чрезвычайно чувствительны как к изменению кристаллического поля, так и к поглощению инфракрасного излучения. В кристаллах разного состава атомы водорода локализуются в разных позициях в кислородных октаэдрах  $O_6$ . Исследуя локализацию атомов водорода в структуре можно получить ценную информацию об особенностях комплексных дефектов в кристаллах  $LiNbO_3$  разного состава. Такие дефекты даже в стехиометрическом кристалле до определенной степени нарушают идеальный порядок расположения основных катионов и вакантных октаэдров ( $Li^+$ ,  $Nb^{5+}$ , вакансия) вдоль полярной оси и создают оптически активные энергетические подуровни в запрещенной зоне, повышают электропроводность и эффект фоторефракции кристалла [1, 8].

В Таблице 2 приведены частоты и интенсивности линий в ИК-спектре поглощения в области валентных колебаний  $OH$ -групп. Видно, что частоты линий для исследованных кристаллов практически не отличаются, однако интенсивности линий отличаются значительно. Для конгруэнтного кристалла характерно наличие трех компонентов довольно широкой полосы поглощения со значительной интенсивностью компонентов полосы поглощения с частотами 3483 и 3486  $см^{-1}$  (см. Таблицу 2). Для стехиометрических кристаллов спектр поглощения в области валентных колебаний  $OH$ -групп представляет собой три довольно узких компонента полосы поглощения, из которых наиболее интенсивные – с частотами 3480 и 3488  $см^{-1}$ . Уменьшение ширины и интенсивности компонентов полос поглощения кристаллов  $LiNbO_{3\text{ стех}}$  и  $LiNbO_{3\text{ стех}}$  (6,0 вес.%  $K_2O$ ) свидетельствует об упорядочении комплексных дефектов с  $OH$ -группами

в кристалле  $LiNbO_3$  при приближении его состава к стехиометрическому, когда количество точечных дефектов  $Nb_{Li}$  и  $V_{Li}$  заметно уменьшается.

Таблица 2. Значения частот  $\nu$  и интенсивностей  $I$  линий в ИК-спектрах поглощения кристаллов ниобата лития при  $t = 25^\circ C$

$LiNbO_3$ конгр		$LiNbO_3$ стех		$LiNbO_3$ стех (6,0 вес.% $K_2O$ )	
$\nu$ , $cm^{-1}$	$I$ , отн. ед.	$\nu$ , $cm^{-1}$	$I$ , отн. ед.	$\nu$ , $cm^{-1}$	$I$ , отн. ед.
3466	0,120	3465	0,250	3465	0,220
3483	0,190	3480	0,170	3480	0,190
3486	0,230	3488	0,060	3488	0,100

Авторы работы [8], полагают, что полоса поглощения с частотой  $3466\text{ см}^{-1}$  соответствует валентным колебаниям комплекса  $OH_{Li}$ , когда протон находится в литиевом октаэдре структуры. При этом протоны располагаются на длинных  $O-O$  связях с расстоянием  $336\text{ пм}$  в кислородной плоскости, ближайшей к  $Li$ -позиции [8]. В ИК-спектре поглощения высокоупорядоченного стехиометрического кристалла, согласно данным работы [2], должна проявляться только одна линия, частота которой ( $3466\text{ см}^{-1}$ ) намного меньше частот линий, наблюдаемых в спектре нестехиометрических кристаллов. Этот факт свидетельствует о том, что в реальном высокоупорядоченном стехиометрическом кристалле, в котором почти отсутствуют дефекты  $Nb_{Li}$ , позиции гидроксильных групп эквивалентны и в структуре есть только одно значение квазиупругой постоянной связи  $O-H$ . Причем это значение меньше значений квазиупругих постоянных связей  $O-H$  в нестехиометрических кристаллах. Это связано с тем, что в высокоупорядоченном стехиометрическом кристалле, кислородные октаэдры структуры практически не искажены и близки к идеальным. В стехиометрическом кристалле, близком к идеальному, все октаэдры (октаэдр, в котором находится  $Nb$ ; октаэдр, в котором находится  $Li$  и вакантный октаэдр) практически эквивалентны (расстояния  $O-O$  практически равны), а катионная подрешетка гораздо более упорядочена по сравнению с катионной подрешеткой кристаллов  $LiNbO_3$  любого другого состава [1]. Наличие трех перекрывающихся полос в спектре ИК-поглощения в исследованных нами кристаллах  $LiNbO_3$  конгр,  $LiNbO_3$  стех,  $LiNbO_3$  стех (6,0 вес.%  $K_2O$ ) свидетельствует о наличии трех центров, которые могут локализовать протоны. Такими центрами, способными создать комплексные дефекты с  $OH$ -группами, являются точечные дефекты  $Nb_{Li}$ ,  $V_{Li}$  и вакантные октаэдры идеальной структуры ( $V$ ). Обращает на себя

внимание то, что спектры кристаллов  $LiNbO_3$  стех и  $LiNbO_3$  стех (6,0 вес.%  $K_2O$ ) практически идентичны, что свидетельствует об одинаковой локализации протонов в структуре этих кристаллов и об одинаковых значениях квазиупругих постоянных связей  $O-H$ .

#### 4. Заключение

Таким образом, метод выращивания стехиометрических кристаллов из конгруэнтного расплава с добавлением 6,0 вес.% флюса  $K_2O$  позволяет получать кристаллы близкие по составу к стехиометрическим кристаллам, со структурой сложных комплексных дефектов, содержащих  $OH$  – группы, близкой к структуре подобных дефектов в стехиометрических кристаллах, выращенных из расплава, содержащего 58,6 мол.%  $Li_2O$  [2, 8]. При этом кристаллы  $LiNbO_3$  стех (6,0 вес.%  $K_2O$ ) превосходят кристаллы  $LiNbO_3$  стех по оптической однородности. По значению фотовольтаического поля, которое определяет величину наведенного двулучепреломления (эффекта фоторефракции), кристаллы  $LiNbO_3$  стех (6,0 вес.%  $K_2O$ ) приближаются к кристаллам конгруэнтного состава, но отличаются от них большей величиной диффузионного поля и наличием ФИРС. ФИРС и величина угла раскрытия ФИРС в кристалле  $LiNbO_3$  определяются, по-видимому, величиной диффузионного поля, при этом величина диффузионного поля выше в кристаллах характеризующихся повышенной концентрацией мелких ловушек электронов.

#### Библиографический список:

1. Сидоров, Н.В. Ниобат лития: дефекты, фоторефракция, колебательный спектр, поляритоны / Н.В. Сидоров, Т.Р. Волк, Б.Н. Маврин, В.Т. Калинин. – М.: Наука, 2003. – 255 с.
2. Polgár, K. Growth of stoichiometric  $LiNbO_3$  single crystals by top seeded solution growth method / K. Polgár, Á. Péter, L. Kovács, G. Corradi, Zs. Szaller // Journal of Crystal Growth. – 1997. – V. 177. – I. 3-4. – P. 211-216.
3. А.с. 845506 СССР, С30В 15/00 (2000.01). Способ выращивания монокристаллов ниобата лития / Р.Н. Баласанян, Э.С. Вартамян, В.Т. Габриелян, Л.М. Казарян; Институт физических исследований АН Армянской ССР. – № 2759196/26; заявл. 29.03.1979; опубл. 27.02.2000, Бюл. № 6. – С. 289-290.
4. Palatnikov, M.N. Growth and concentration dependencies of rare-earth doped lithium niobate single crystals / M.N. Palatnikov, I.V. Biryukova, N.V. Sidorov et al. // Journal of Crystal Growth. – 2006. – V. 291. – I. 2. – P. 390-397.
5. Максименко, В.А. Фотоиндуцированные процессы в кристаллах ниобата лития / В.А. Максименко, А.В. Сюй, Ю.М. Карпец. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 96 с.
6. Goukoff, M. Photorefractive parameters of lithium niobate crystals from photoinduced light scattering / M. Goukoff, M. Imlau, Th. Woike // Physical Review B. – 2008. – V. 77. – I. 23. – P. 235110-1 -23510-7.

7. **Гурзядян, Г.Г.** Нелинейно-оптические кристаллы. Свойства и применение в квантовой электронике / Г.Г. Гурзядян, В.Г. Дмитриев, Д.Н. Никогосян. – М.: Радио и связь, 1991. – 160 с.
8. **Lengyel, K.** Growth, defect structure, and THz application of stoichiometric lithium niobate / K. Lengyel, Á. Péter, L. Kovács, et al. // *Applied Physics Reviews*. – 2015. – V 2. – I. 4. – P. 040601-1-040601-28.

### References:

1. **Sidorov, N.V.** Lithium niobate: defects, photorefraction, vibrational spectrum, polaritons / N.V. Sidorov, T.R. Volk, B.N. Mavrin, V.T. Kalinnikov. – М.: Nauka, 2003. – 255 p. (In Russian).
2. **Polgár, K.** Growth of stoichiometric  $LiNbO_3$  single crystals by top seeded solution growth method / K. Polgár, Á. Péter, L. Kovács, G. Corradi, Zs. Szaller // *Journal of Crystal Growth*. – 1997. – V. 177. – I. 3-4. – P. 211-216.
3. **Author certificate. 845506 USSR, C30B 15/00 (2000.01).** The method of growing single crystals of lithium niobate / R.N. Balasanyan, E.S. Vartanyan, V.T. Gabrielyan, L.M. Kazaryan; Institut fizicheskikh issledovanij AN Armyanskoj SSR. – № 2759196/26; zavavl. 29.03.1979; opubl. 27.02.2000, Byul. № 6. – P. 289-290. (In Russian).
4. **Palatnikov, M.N.** Growth and concentration dependencies of rare-earth doped lithium niobate single crystals / M.N. Palatnikov, I.V. Biryukova, N.V. Sidorov et al. // *Journal of Crystal Growth*. – 2006. – V. 291. – I. 2. – P. 390-397.
5. **Maksimenco, V.A.** Photoinduced processes in lithium niobate crystals / V.A. Maksimenco, A.V. Syuj, YU.M. Karpec. – М.: FIZMATLIT, 2008. – 96 p. (In Russian).
6. **Goulkov, M.** Photorefractive parameters of lithium niobate crystals from photoinduced light scattering / M. Goulkov, M. Imlau, Th. Woike // *Physical Review B*. – 2008. – V. 77. – I. 23. – P. 235110-1 -23510-7.
7. **Gurzadyan, G.G.** Nonlinear optical crystals. Properties and applications in quantum electronics / G.G. Gurzadyan, V.G. Dmitriev, D.N. Nikogosyan. – М.: Radio i svyaz', 1991. – 160 p. (In Russian).
8. **Lengyel, K.** Growth, defect structure, and THz application of stoichiometric lithium niobate / K. Lengyel, Á. Péter, L. Kovács, et al. // *Applied Physics Reviews*. – 2015. – V 2. – I. 4. – P. 040601-1-040601-28.

*Original paper*

### PHOTOREFRACTIVE PROPERTIES AND OPTICAL UNIFORMITY OF CRYSTALS

#### $LiNbO_3$ (6,0 wt. % $K_2O$ )

N.A. Teplyakova, N.V. Sidorov, M.N. Palatnikov

*Tananaev Institute of Chemistry – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», Apatity, Russia*

DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.241

**Abstract:** Comparative researches were carried out for lithium niobate crystals with congruent and stoichiometric composition with a different genesis. It was shown that it is possible to obtain  $LiNbO_3$  crystals close in composition to stoichiometric, grown from a congruent melt with the addition of a 6,0 wt.%  $K_2O$  flux. Such crystals are far superior to optical uniformity and photoelectric parameters of congruent crystals.

*Keywords: single crystal, lithium niobate, photoelectric field, band gap, IR absorption spectrum, stretching vibrations of OH – groups.*

*Теплякова Наталья Александровна – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник сектора колебательной спектроскопии лаборатории материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»*

*Сидоров Николай Васильевич – д.ф.-м.н., профессор, и.о. главного научного сотрудника с исполнением обязанностей заведующего сектором колебательной спектроскопии лаборатории материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»*

*Палатников Михаил Николаевич – д.т.н., и.о. главного научного сотрудника с сохранением обязанностей заведующего лабораторией материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук»*

*Natalya A. Teplyakova – Ph. D., Senior Researcher of Sector of Vibrational Spectroscopy of Materials of Electronic Engineering Laboratory, Tananaev Institute of Chemistry – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»*

*Nikolay V. Sidorov – Dr. Sc., Professor, Acting as Chief Researcher and as Head of Sector of Vibrational Spectroscopy of Materials of Electronic Engineering Laboratory, Tananaev Institute of Chemistry – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»*

*Mikhail N. Palatnikov – Dr. Sc., Acting as Chief Researcher and as Head of Materials of Electronic Engineering Laboratory, Tananaev Institute of Chemistry – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»*

Поступила в редакцию/received: 02.07.2019; после рецензирования/ revised: 01.09.2019; принята/accepted 20.10.19.