

Рисунок 1 – Поле корневых траекторий полинома  $s^3 + 10s^2 + a_2s + a_3 = p(s)$  при  $a_2 \in [5, 25]$ ,  $a_3 \in [-\infty, +\infty]$  и доминирующее поле  $F_d = abcd$  устойчивое при  $a_2 \in [10, 25]$ ,  $a_3 \in [70, 20]$

#### Список использованных источников

1. Поляк, Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
2. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук. – Мн: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

**Никитин А.В., Лановский Р.А., Бушинский М.В.**  
**Государственное научно-производственное объединение**  
**“Научно-практический центр Национальной академии наук**  
**Беларуси по материаловедению”, Минск, Беларусь**  
**ПОЛУЧЕНИЕ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ**  
**ТИТАНАТОВ СТРОНЦИЯ  $SR_{1-x}LN_xTiO_3$**

Теплота, выделяющаяся в окружающую среду при работе промышленных предприятий, предприятий АПК и автотранспорта, может быть непосредственно и эффективно преобразована в электри-

ческую энергию при помощи термоэлектрогенераторов. Для создания последних необходимы термоэлектрические материалы, обладающие одновременно высокой электропроводностью и термоэдс и низкой теплопроводностью [1]. Для создания термоэлектрических устройств различного типа необходимы материалы, характеризующиеся проводимостью как n-, так и p-типа. Перспективной основой для разработки первых являются перовскитные плюмбаты бария-стронция, замещенные манганиты кальция и титаниты стронция, а последних – твердые растворы на основе перовскитных кобальтитов редкоземельных элементов (РЗЭ), а также слоистых кобальтитов натрия и кальция.

В последнее время в качестве наиболее перспективной основы для разработки оксидных термоэлектриков n-типа рассматривается редкоземельные оксиды титана со структурой перовскита, поскольку их производные характеризуются высокими термоэлектрическими показателями, относительно низкой стоимостью и устойчивостью на воздухе при повышенных температурах [2].

Термоэлектрические характеристики керамики на основе твердых растворов редкоземельных оксидов титана могут быть значительно улучшены путем варьирования ее термической предыстории (спекание под давлением, плазменно-дуговое спекание и др.), а также при частичном замещении катионов стронция или титана.

Исходный состав  $\text{SrTiO}_3$  представляет собой типичный кубический перовскит  $\text{ABO}_3$  (пр. гр:  $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$ ) с параметром решетки  $a = 3.904 \text{ \AA}$  [3]. Свойства соединения  $\text{SrTiO}_3$  в значительной степени зависят от легирования различными элементами и от методов синтеза, которые вызывают различную модуляцию структуры.

Поликристаллические образцы составов  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  (Ln: La, Pr; x: 0,05; 0,075; 0,1) были приготовлены из предварительно высушенных при  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  на воздухе оксидов  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  и  $\text{TiO}_2$ , а также карбоната стронция  $\text{SrCO}_3$  чистотой не ниже 99,9%, смешанные в стехиометрическом соотношении с использованием планетарной шаровой мельницы RETSCH PM-100. Предварительный отжиг проводился при  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Образцы  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  были синтезированы при  $T = 1300 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 10 ч на воздухе. Все образцы охлаждались со скоростью  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  в час. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-3М. Обработка спектров проводилось с помощью программного комплекса FullProf.

Рентгеноструктурные исследования, проведенные при комнатной температуре, показали фазовую однородность во всех диапазонах  $x$  для образцов  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  (Ln: La, Pr;  $x$ : 0,05; 0,075; 0,1) (рис. 1).

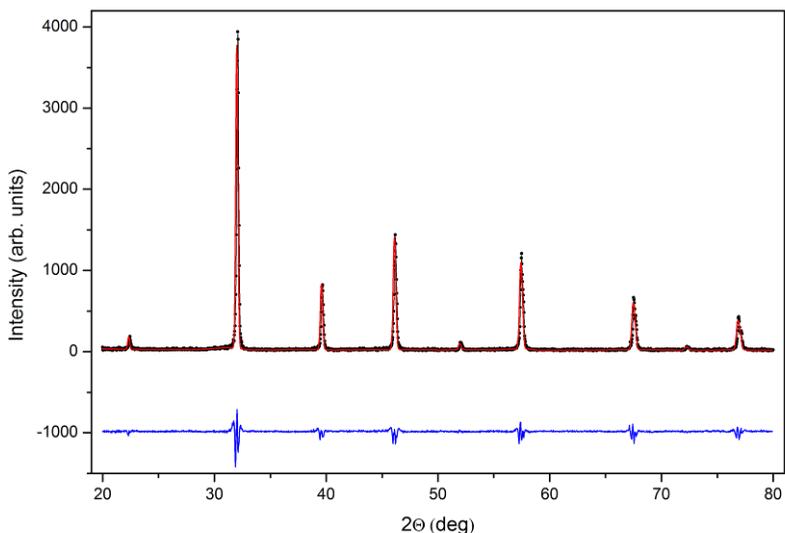


Рисунок 1 – Рассчитанные и экспериментально определенные дифракционные спектры состава  $\text{Sr}_{0.95}\text{Pr}_{0.05}\text{TiO}_3$  при  $T = 300$  К.

Нижняя кривая показывает их разность.

Параметры кристаллических решеток всех полученных образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Список параметров элементарных ячеек для всего ряда исследованных твёрдых растворов

образец	$T_{\text{(синтеза)}}$ , °C	a, b, c, Å	$V$ , Å <sup>3</sup>
$\text{Sr}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{TiO}_3$	1300	3,90203	59,41167
$\text{Sr}_{0.925}\text{La}_{0.075}\text{TiO}_3$	1300	3,90291	59,45188
$\text{Sr}_{0.9}\text{La}_{0.1}\text{TiO}_3$	1300	3,90365	59,48571
$\text{Sr}_{0.95}\text{Pr}_{0.05}\text{TiO}_3$	1300	3,90080	59,35551
$\text{Sr}_{0.925}\text{Pr}_{0.075}\text{TiO}_3$	1300	3,90136	59,38108
$\text{Sr}_{0.9}\text{Pr}_{0.1}\text{TiO}_3$	1300	3,90003	59,32037

Рентгеноструктурные исследования показали, что все составы серии  $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{TiO}_3$  (Ln: La, Pr; x: 0,05; 0,075; 0,1) кристаллизуются в структуре перовскита и характеризуются кубической элементарной ячейкой (пространственная группа  $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$ ).

Список использованных источников

1. Lin, Y.H. Oxide Thermoelectric Materials / Y.H. Lin, J. Lan, C. Nan // Wiley-VCH. – 2019.

2. Kovalevsky, A.V. Towards a high thermoelectric performance in rare-earth substituted  $\text{SrTiO}_3$ : effects provided by strongly reducing sintering conditions / A.V. Kovalevsky, A.A. Yaremchenko, S. Populoh, P. Thiel, D.P. Fagg, A. Weidenkaff, J. R. Frade // Phys. Chem. – 2014. – 16. – pp 26946–26954.

3. Koumoto, K. Oxide thermoelectric materials: a nanostructuring approach / K. Koumoto, Y. Wang, R. Zhang, A. Kosuga, R. Funahashi, // Annual review of materials research. – 2010. – 40. – pp 363–394.

**Сергиевич О.А.<sup>1</sup>, к.т.н., Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
Шевченко А.А.<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,**

**<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», г. Минск,**

**<sup>2</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный  
аграрный технический университет», г. Минск**

## **КЕРАМИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТАНОВОК АПК**

Электроизоляционные материалы в зависимости от областей применения и конструкции подразделяют на линейные (подвесные, стержневые, штырьевые), стационарные (опорные, опорно-штырьевые, стержневые, проходные и др.). Керамические (фарфоровые) изоляторы используются для изоляции и крепления проводов на воздушных линиях электропередач и в распределительных устройствах электростанций, подстанций. В АПК к электроизоляционным материалам предъявляют высокие требования по механической прочности, стойкости к термоударам и теплопроводности. При эксплуатации в условиях высоких температур (свыше 1000 °С), агрессивных сред и ионизирующих излучений керамические изоляторы являются единственно пригодными [1].