

**ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДИОКСИДА ОЛОВА,
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛАНТАНОМ (3+)**

Тонкие пленки диоксида олова используются в различных областях науки и техники благодаря уникальным физико-химическим свойствам. Например, такие материалы применяются в солнечных батареях, катализаторах, электродах, а также они находят применение в оптико-электронных приборах (дисплейные электроды для тонких органических электролюминесцентных, жидкокристаллических, плазменных телевизоров и т.д.). SnO_2 является полупроводником n типа с широкой запрещенной зоной, хорошей электропроводностью и высокими газочувствительными свойствами, что позволяет использовать его в качестве материала датчиков для определение различных газов. Высокая прозрачность в видимой части спектра позволяет использовать его в оптоэлектронных устройствах и солнечных элементах. Для улучшения электрических и оптических свойств пленок в диоксид олова вводятся примеси [1]. Одной из перспективных добавок являются ионы лантана (3+) [2, 3].

Существует много способов получения пленок SnO_2 , например метод магнетронного распыления, физическое или химическое осаждение из газовой фазы, золь-гель синтез и т.д. Однако существующие методы формирования пленок диоксида олова имеют ряд недостатков. Так, в физических методах синтеза используется сложное оборудование, требуются большие энергетические затраты, поэтому они, как правило, дорогостоящи. Большое внимание привлекают химические методы, так как они имеют более низкую стоимость и просты в исполнении. При этом золь-гель метод не всегда позволяет получать равномерные пленки с малым размером кристаллитов. Поэтому поиск доступных и экономически целесообразных методов синтеза тонких пленок диоксида олова по-прежнему является актуальным.

Целью данной работы является получение нанокристаллических пленок диоксида олова, модифицированного ионами La^{3+} , по новой пиролитической методике синтеза.

В качестве прекурсоров были использованы следующие вещества: карбонат лантана $\text{La}_2(\text{CO}_3)_3$, соляная кислота HCl , пятиводный хлорид олова $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и органическая кислота. Синтез проводили по описанному ранее методу твердофазного пиролиза [4],

адаптировав его к получению пленок $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot \text{SnO}_2$. Этот способ синтеза нанокристаллических пленок можно разделить на несколько этапов. На первом этапе были получены промежуточные вещества – органические соли Sn^{4+} и La^{3+} . На втором этапе формировали слой промежуточного продукта на заранее подготовленных стеклянных подложках путем нанесения раствора промежуточных веществ с последующим высушиванием. В данной работе на подложки были нанесены 3 слоя промежуточных веществ. На третьем этапе полученные образцы прокаливали в муфельной печи, скорость нагрева составляла 10 град/мин, термическая выдержка при определенной температуре 2 часа. Медленно охлаждали пленки в муфельной печи для предотвращения растрескивания пленок при быстром охлаждении. Таким образом были получены пленочные материалы диоксида олова, содержащие 1 и 3 мол. % La^{3+} и прокаленные при температуре 600 °С.

Синтезированные материалы были исследованы методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре ARL'Xtra Thermo ARL с использованием $\text{CuK}_{\alpha 1}$ -излучения в качестве источника рентгеновских лучей. Для обработки полученных рентгенограмм использовали программы OriginPro и WinPLOTR.

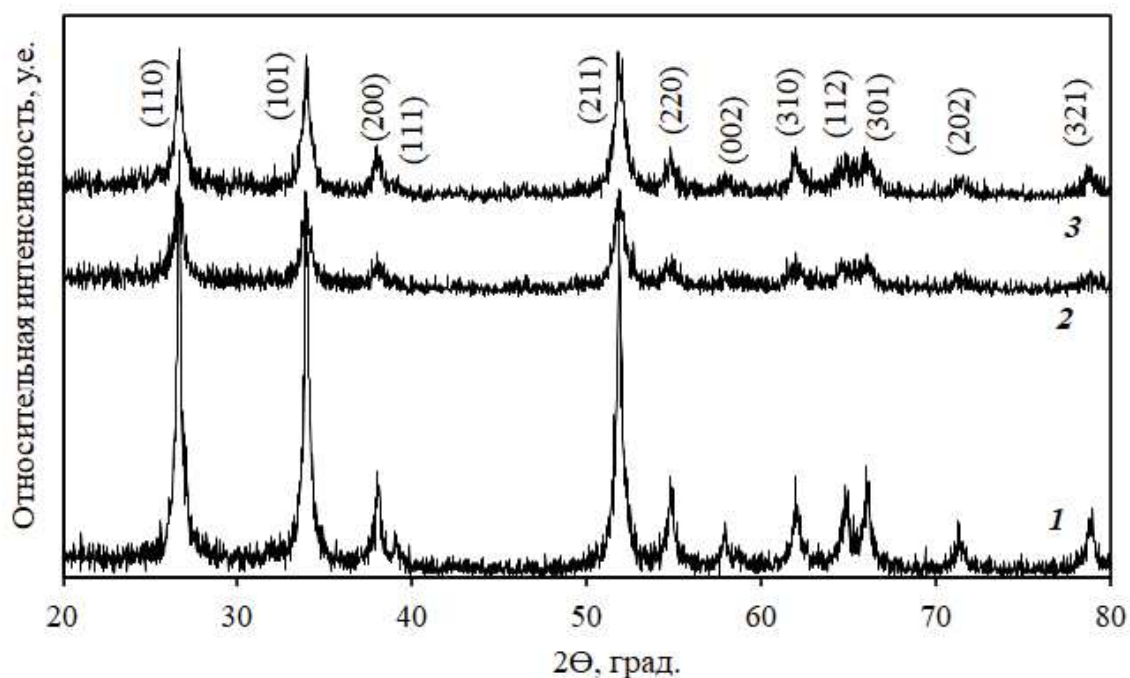


Рисунок 1. Рентгенограммы синтезированных материалов чистого диоксида олова (кривая 1), диоксида олова с содержанием La^{3+} 1 (кривая 2) и 3 мол. % (кривая 3).

Размер частиц был оценен по областям когерентного рассеяния (ОКР) D , рассчитанным по формуле Шеррера:

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{b \cdot \cos \theta}$$

где λ – длина волны медного рентгеновского излучения (1.5406 Å); θ – угол дифракции; b – ширина пика на полувысоте максимума дифракционного пика на рентгенограмме; k – коэффициент, зависящий от формы частиц.

По данным РФА (рис. 1) установлено, что все полученные материалы однофазны. Все имеющиеся на рентгенограмме пики принадлежат фазе касситерита, характерной для диоксида олова.

Материалы являются наноразмерными поликристаллическими, что подтверждается расчетами ОКР по формуле Шеррера. Средний размер кристаллитов составляет 22 и 23 нм для материалов SnO₂, содержащих 1 и 3 мол. % La³⁺ соответственно.

Методом твердофазного пиролиза получены тонкие нанокристаллические пленки диоксида олова, модифицированные 1 и 3 мол. % La³⁺, кристаллизованные в фазе касситерита.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №20–07–00653 А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kang, X. Resistive-type VOCs and pollution gases sensor based on SnO₂: A review / X. Kang, N. Deng, Z. Yan, Y. Pan, W. Sun, Y. Zhang // *Materials Science in Semiconductor Processing*. – 2022. – V. 138. – P. 106246.
2. Xu, Z. La-doped SnO₂ as ETL for efficient planar-structure hybrid perovskite solar cells / Z. Xu, S.H. Teo, L. Gao, Z. Guo, Y. Kamata, S. Hayase, T. Ma // *Organic Electronics*. – 2019. – V. 73. – P. 62-68.
3. Ganesh, V., Arif, M., Manthrammel, M. A., Shkir, M., Singh, A., & AlFaify, S. Effect of La doping on key characteristics of SnO₂ thin films facilely fabricated by spin coating technique / V. Ganesh, M. Arif, M. A. Manthrammel, M. Shkir, A. Singh, S. AlFaify // *Optical Materials*. – 2019. – V. 94. – P. 277-285.
4. Petrov, V.V. Synthesis, characterization and gas sensing study of ZnO-SnO₂ nanocomposite thin films / V.V. Petrov, V.V. Sysoev, A.P. Starnikova, Volkova, M.G., Z.K. Kalazhokov, V.Y. Storozhenko, E.M. Bayan // *Chemosensors*. – 2021. – V. 9, № 6. – P. 124.