

**ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТОНКИХ ПЛЕНОК
НА ОСНОВЕ ZnO**

Серьезной проблемой современного мира является загрязнение водных ресурсов, причем среди основных источников загрязнителей наиболее опасны красильные предприятия и стоки красителей. Решением этой проблемы стало очищение воды с помощью фотокатализа. В этом методе используются полупроводниковые фотокатализаторы, способные глубоко окислять органические загрязнители в присутствии света. Было обнаружено, что среди различных используемых полупроводниковых фотокатализаторов наиболее широко распространенными являются ZnO, TiO₂ и SnO₂ [1, 2]. Оба материала имеют одинаковые значения ширины запрещенной зоны и поглощают свет в основном в УФ-области. Основным преимуществом использования оксида цинка по сравнению с оксидом титана является способность ZnO к поглощению большей части УФ-спектра и большего числа квантов света. В литературе немало информации о допировании оксида цинка различными ионами металлов с целью улучшения фотокаталитических характеристик материала [2-4]. Кроме того, многие исследователи сообщили об успешном использовании и высоких фотокаталитических характеристиках тонких пленок ZnO и SnO₂ [1-2].

Таким образом, целью данной работы было синтезировать тонкие пленки оксида цинка и оксида цинка, допированного ионами олова Sn⁴⁺ в различных концентрациях следующего состава: 99,5%ZnO : 0,5%SnO₂; 99%ZnO : 1%SnO₂; 95%ZnO : 5%SnO₂ по новой технологии низкотемпературного пиролиза, а также исследовать фотокаталитическую активность полученных материалов.

В качестве прекурсоров для получения тонких пленок использовались дигидрат ацетата цинка Zn(CH₃COO)₂·2H₂O, пентагидрат хлорида олова (IV) SnCl₄·5H₂O квалификации х.ч., ацетон, 1,4-диоксан, вода дистиллированная и органическая кислота. Наноразмерные пленки были синтезированы по описанной ранее методике [4]. В качестве подложек использовались стеклянные подложки, на которые раствор промежуточных продуктов наносили трёхкратно. Термическую обработку образцов проводили на воздухе при нагревании со скоростью 10 град/мин, с выдержкой в течение 2 ч при заданной температуре 550°С. Охлаждение пленок до комнатной температуры проводили вместе с муфельной печью.

Для исследования полученных материалов использовались рентгенофазовый анализ (дифрактометр ARLX'TRA, Thermo ARL на $\text{CuK}\alpha$ – излучении), анализ фазового состава выполнен с использованием баз данных Crystallography Open Database. Расчет областей когерентного рассеивания производили по формуле Шеррера $D = k \cdot \lambda / (\beta \cdot \cos\theta)$, где $k=0,9$ (фактор формы частиц), $\lambda=0,15406$ нм (длина волны медного рентгеновского излучения), β – ширина пика на высоте максимума дифракционных пиков наибольшей интенсивности (101), (100), (002) для вюрцита, θ – угол дифракции. Фотокаталитические свойства синтезированных материалов оценивали по реакции фотодеградации модельного загрязнителя – красителя метиленового синего $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$ (МС) при облучении видимым светом. Оптическую плотность раствора МС до и после фотокатализа измеряли на спектрофотометре КФК-2МП при длине волны 670 нм. Вычисление остаточной концентрации производили по формуле C_t/C_0 , где C_0 и C_t – концентрации МС в начальный момент времени и в момент t , соответственно.

Согласно результатам рентгенофазового анализа, все материалы наноразмерны и окристаллизованы в достаточной степени. Для всех синтезированных материалов вне зависимости от концентрации вводимых добавок характерна структура вюрцита. Другие фазы в материале не обнаружены. Средний размер частиц, согласно расчетам по формуле Шеррера, составляет 16-20 нм. Наименьший размер частиц и наибольшая степень кристаллизации отмечается для материала состава 99 Zn – 1 Sn, что позволяет ожидать наилучшие фотокаталитические свойства.

Зависимость остаточной концентрации МС от времени деградации представлена на рисунке 1. Все синтезированные материалы обладают фотокаталитической активностью в видимой области спектра. Наилучшей активностью обладает материал состава 99Zn – 1Sn, что согласуется с результатами исследований, опубликованных ранее [5].

Таким образом, получены тонкие пленки оксида цинка, допированные ионами олова в различной концентрации методом низкотемпературного пиролиза. Показано, что наилучшей фотокаталитической активностью обладает материал состава 99Zn – 1 Sn, имеющий наименьший размер частиц и наибольшую степень кристаллизации.

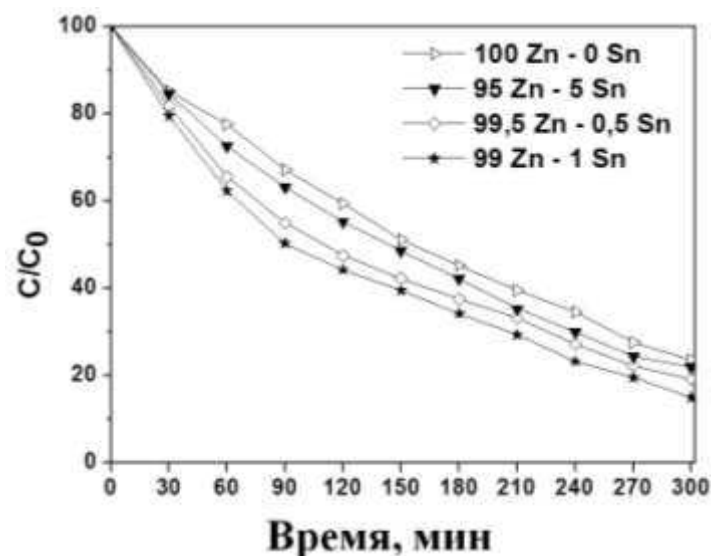


Рисунок 1. Фотокаталитическая активность синтезированных материалов в видимой области спектра

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

ЛИТЕРАТУРА

1 Ameer S.B., Barhoumi, A., Duponchel, B., Leroy, G., Amlouk, M., Guermazi, H. Physical investigations and photocatalytic activities on ZnO and SnO₂ thin films deposited on flexible polymer substrate // *Vacuum*. 2018. Vol. 155. P. 546-552.

2 Beura R., Pachaiappan R., Thangadurai P. A detailed study on Sn⁴⁺ doped ZnO for enhanced photocatalytic degradation // *Applied Surface Science*. 2018. V. 433. P. 887–898.

3 Abdel-wahab M.S., Jilani A., Yahia I.S., Al-Ghamdi A.A. Enhanced the photocatalytic activity of Ni-doped ZnO thin films: Morphological, optical and XPS analysis // *Superlattice Microst.* 2016. V. 94. P. 108-118.

4 Volkova M. G., Storozhenko V. Yu., Petrov V. V., Bayan E. M. The optical properties study of the Sn-doped ZnO thin films grown on glass substrate // *Book of abstracts 7th International School and Conference on Optoelectronics, Photonics, Engineering and Nanostructures*. 2020. P. 332-333.

5 Beura R., Thangadurai P. Effect of Sn doping in ZnO on the photocatalytic activity of ZnO-Graphene nanocomposite with improved activity // *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2018. V. 6. №4. P. 5087–5100.