

УДК 620.3:546.681:620.11

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА

Рыбалка А.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Снетков П.П. (Университет ИТМО)

Введение. Оксид галлия (Ga_2O_3) представляет собой перспективный полупроводниковый материал с широкой запрещенной зоной (~4.9 эВ), высокой термической стабильностью и высокими диэлектрическими характеристиками, а также кислотостойкостью [1]. Благодаря этим свойствам Ga_2O_3 находит применение в оптоэлектронике, фотокатализе, газовых сенсорах и различных полупроводниковых приборах.

Одним из наиболее перспективных и эффективных методов получения наноструктурированного Ga_2O_3 является электроспиннинг полимерных растворов, содержащих так называемый прекурсор оксида галлия (обычно это $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3$ или GaCl_3), который при последующем отжиге разлагается с получением оксида галлия. Таким образом, метод электроспиннинга обеспечивает формирование нановолокон с высокой удельной площадью поверхности [2]. Однако для обеспечения стабильности прядильного процесса и необходимых морфологических характеристик получаемых волокон требуется оптимизации ряда параметров:

(а) параметры прядильного раствора: концентрация и молекулярная масса полимера-носителя, концентрация прекурсора, состав растворителя, динамическая вязкость, электропроводность, поверхностное натяжение;

(б) технологические параметры: скорость подачи раствора, приложенное напряжение, расстояние между иглой и коллектором, типоразмер иглы, а также условия отжига [3].

(в) параметры окружающей среды: относительная влажность воздуха и температура.

Отжиг, в свою очередь, обеспечивает удаление полимерной матрицы, формирование структуры нановолокон, а также влияет на фазовый состав материала.

Целью данной работы является получение нановолокон Ga_2O_3 методом электроспиннинга, изучение их морфологии и определение влияния концентрации прекурсора и температуры отжига на стабильность процесса электроспиннинга и морфологические характеристики формируемых волокон.

Основная часть. Для получения нановолокон использовался поливинилпирролидон высокомолекулярный (PVP K-90) в качестве полимерной матрицы и нитрат галлия октагидрат ($\text{Ga}(\text{NO}_3)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, ХЧ) в качестве прекурсора оксида галлия. Растворитель состоял из равнообъемной смеси дистиллированной воды и этанола. Концентрация прекурсора варьировалась от 0.5 масс.% до 6 масс.%. Все растворы перемешивались с использованием магнитной мешалки (скорость перемешивания 300 об/мин) при комнатной температуре до получения однородной массы.

Электроспиннинг проводился при напряжении 25 кВ, скорости подачи раствора 1.8 мл/ч и расстоянии между иглой и коллектором 21 см. Относительная влажность в лаборатории составляла $30 \pm 2\%$, температура - $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Продолжительность процесса электроспиннинга для каждого образца составляла 40 мин. После формирования волокон образцы подвергались сушке при комнатной температуре для удаления остаточных следов растворителя на протяжении 48 ч. Отжиг проводился при трех температурных режимах: 600, 750 и 900 °C. Скорость нагрева составляла 5 °C/мин, время выдержки при целевой температуре – 2 часа, затем охлаждение происходило в выключенной печи. Термическая обработка способствовала удалению полимера и кристаллизации $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$.

Морфология нановолокон исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) с использованием микроскопа MIRA3 TESCAN. Для каждой

концентрации прекурсора с помощью программного пакета ImageJ было измерено 300 волокон, и с помощью библиотек NumPy и Matplotlib для Python построены гистограммы распределения диаметров и проведен статистический анализ с вычислением средних значений и стандартных отклонений.

Выводы. В процессе электроспиннинга наблюдалась зависимость стабильности процесса формирования волокон и их морфологических характеристик от концентрации прекурсора. При низких концентрациях (0.5–2 масс.%) стабильно формировались более тонкие и гладкие волокна диаметром 100–130 нм, тогда как при концентрациях 4–6 масс.% наблюдалось утолщение волокон. При этом максимальная концентрация прекурсора приводила к незначительной дестабилизации процесса электроспиннинга, а именно к образованию капель и “всплесков”.

На SEM-изображениях выявлено уменьшение среднего диаметра волокон в 2.5 - 3 раза по сравнению с исходными образцами до отжига. Это связано с удалением полимерной матрицы и формированием оксидной структуры.

Список использованных источников:

1. Higashiwaki, Masataka, and Shizuo Fujita, eds. Gallium Oxide: Materials Properties, Crystal Growth, and Devices. Vol. 293. Springer Nature, 2020.
2. Snetkov, P. P., Morozkina, S. N., Sosnin, I. M., Bauman, D. A., Hussainova, I., & Romanov, A. E. (2021). Electrospinning as a Method for Fabrication of Nanofibrous Photocatalysts Based on Gallium Oxide. *physica status solidi (a)*, 2400669.
3. Keirouz, Antonios, et al. "The history of electrospinning: Past, present, and future developments." *Advanced Materials Technologies* 8.11 (2023): 2201723.