

Оптимизация формирования волноводных структур на основе галогенидных перовскитов MAPbBr_3 темплатным методом

Стариков С.А., Николаев К.Г.
Научные руководители – Осипова А.А., Ильин С.П.

Университет ИТМО
stepanstarickov@yandex.ru

Введение

Перовскиты — это класс полупроводниковых материалов с общей структурной формулой ABX_3 . В нашей работе мы будем рассматривать галогенидные перовскиты состава MAPbBr_3 (где MA - катион метиламмония), которые демонстрируют уникальные оптоэлектрические свойства: высокий коэффициент поглощения света, длительное время жизни носителей заряда и высокую эффективность фотолюминесценции [1]. Благодаря этим свойствам, перовскиты нашли широкое применение в различных областях: светодиоды (LED), фотодетекторы и другие области оптики и фотоники.

На основе перовскитов изготавливаются волноводы, которые используются для передачи света и сигналов на дальние расстояния с малой потерей мощности в широком диапазоне длин волн. Перовскитные волноводы с низкими потерями потенциально являются идеальными строительными блоками для интегральной фотоники, позволяя создавать компактные источники излучения, модуляторы и переключатели на одном чипе.

На сегодняшний день разработано множество эффективных методов получения нитевидных кристаллов перовскитов, обладающих волноводными свойствами [2,3]. Однако для приложений, где критически важны заранее заданные размеры и положение структур, необходим другой подход. В данной работе мы занимаемся отработкой альтернативного метода синтеза, основанного на использовании полимерных темплатов. Суть метода заключается в контролируемой кристаллизации перовскита внутри предварительно сформированных шаблонов. Ранее было показано, что подобный подход перспективен для создания микроструктур со строго контролируруемыми параметрами [4], однако воспроизводимое получение монокристаллических структур таким методом остается тяжелой задачей. Таким образом, основной целью данной работы является отработка методики для воспроизводимого создания волноводов с заданными характеристиками оптическими и геометрическими характеристиками, а также оптимизация параметров кристаллизации перовскита для улучшения кристалличности формируемых структур.

Основная часть

Метод синтеза: 0,3M раствор прекурсоров перовскита MABr_2 и PbBr_2 в растворах DMSO и DMF наносится на стеклянную подложку, предварительно подвергнутую плазменной обработке. Далее сформированный с помощью мастер-формы полимерный шаблон накладывается поверх раствора и фиксируется. За счет капиллярных эффектов и контролируемых условий испарения растворителя, кристаллизация происходит преимущественно в заданных областях, точно повторяя геометрию шаблона. Это позволяет получать массивы идентичных микроструктур с высоким уровнем воспроизводимости.

В ходе работы для синтеза использовались дистиллированная вода, ацетон, изопропанол, база, отвердитель, MABr_2 , PbBr_2 , перчаточный бокс с азотной атмосферой,

плитки, сушильный шкаф, весы, ультразвуковая ванна, дозаторы, магнитная мешалка. После формирования структур проводилась их оптическая характеристика методами оптической микроскопии, спектрофотометрии и фемтосекундной спектроскопии.

Выводы

Было установлено, что, используя темплаты, полученные с мастер формы DVD-диска, мы можем получить массивы отдельно стоящих нитевидных кристаллов. Были получены спектры поглощения и люминесценции структур, край поглощения находился на длине волны 528 нм, а пик спектра фотолюминесценции на длине волны 535 нм. Полученные в результате работы микроструктуры продемонстрировали многомодовую лазерную генерацию, что говорит об их потенциале использования в качестве волноводов.

Основные преимущества данного метода:

1) Воспроизводимость: гарантированное получение структур с заданными размерами и формой от эксперимента к эксперименту.

2) Управление модами: прямая зависимость резонансных частот от геометрии, что позволяет точно настраивать устройства под задачу.

В качестве следующего этапа работы планируется проведение анализа кристалличности и оптимизация синтеза для воспроизводимого формирования монокристаллических структур. Полученные результаты и отработанная методика синтеза создадут основу для использования перовскитных волноводов и микрорезонаторов в различных областях фотоники.

Литература

1. [What Defines a Halide Perovskite?](#) Quinten A. Akkerman and Liberato Manna // ACS Energy Letters 2020 5 (2), 604-610
2. Shanshan Yan, Kaiyang Wang, Guichuan Xing, Jincheng Xu, Shichen Su, Zikang Tang, Shuangpeng Wang, and Kar Wei Ng [Robust Ultralong Lead Halide Perovskite Microwire Lasers](#) // ACS Applied Materials & Interfaces 2021 13 (32), 38458-38466
3. Anatoly P. Pushkarev, Viacheslav I. Korolev, Daria I. Markina, Filipp E. Komissarenko, Arnas Naujokaitis, Audrius Drabavičius, Vidas Pakštas, Marius Franckevičius, Soslan A. Khubezhov, Denis A. Sannikov, Anton V. Zasedatelev, Pavlos G. Lagoudakis, Anvar A. Zakhidov, and Sergey V. Makarov [A Few-Minute Synthesis of CsPbBr₃ Nanolasers with a High Quality Factor by Spraying at Ambient Conditions](#) // ACS Applied Materials & Interfaces 2019 11 (1), 1040-1048
4. Peng Liu, Xianxiong He, Jiahuan Ren, Qing Liao, Jiannian Yao and Hongbing Fu [Organic-Inorganic Hybrid Perovskite Nanowire Laser Arrays](#) | ACS Nano // ACS Applied Materials & Interfaces 2017, 11, 6, 5766–5773