

Получение микрорезонаторов на основе галогенидных перовскитов с заданными геометрическими и оптическими параметрами темплатным методом

Николаев К.Г., Стариков С.А.
Научные руководители – Осипова А.А., Ильин С.П.
Университет ИТМО
4132232@gmail.com

Введение

Перовскиты — это класс полупроводниковых материалов с общей структурной формулой ABX_3 [1]. Соединения такого состава демонстрируют уникальные свойства: высокий коэффициент поглощения света, длительное время жизни носителей заряда и высокую эффективность фотолуминесценции. Благодаря этим свойствам, перовскиты нашли широкое применение в различных областях: светодиоды (LED), фотодетекторы и другие области оптики и фотоники [2]. На основе перовскитов также изготавливают оптические микрорезонаторы – миниатюрные структуры, усиливающие взаимодействия света с веществом и повышающие эффективность оптических эффектов. В данной работе мы рассматриваем микрорезонаторы на основе перовскитов для эффективной лазерной генерации в виде нитевидных кристаллов. Нитевидные кристаллы из перовскитов естественным образом формируют волноводы и резонаторы Фабри-Перо. Они являются идеальными строительными блоками для формирования широкого спектра оптоэлектронных устройств – от фотодетекторов до вычислительных фотонных интегральных схем.

Наш метод заключается в росте кристаллов в ограниченном объеме, созданном гидрофильной подложкой и каналами прижатого к ней полимерного темплата (полидиметилсилоксан (ПДМС)-темплата), отлитого с мастер-формы оптического диска.

Основными преимуществами данного метода являются возможность получения структур конечного размера и контролируемой морфологии за счет подбора используемого темплата, а также относительная простота синтеза и подготовки прекурсоров.

Цель работы: изготовление монокристаллических микрорезонаторов фиксированной длины, исследование оптических свойств полученных структур, оптимизация приведенного метода и параметров синтеза.

Основная часть

Для синтеза готовился 0,3М раствор прекурсоров $MAVr_2$ и $PbVr_2$ в ДМСО (диметилсульфоксид). Раствор готовился в перчаточном боксе, где мы смешали наши прекурсоры, а потом залили их ДМСО. Параллельно изготавливался штамп ПДМС (полидиметилсилоксан) на основе *SYLGARD 184* с последующей заливкой в мастер-форму со следующими размерами выемок: период 800 нм, ширина 600 нм, высота 100 нм. Далее шаблон помещался в печь на 2 часа при температуре 80 °С. Также для синтеза необходима чистая стеклянная подложка, очищенная и плазмированная при давлении 0,3-0,4 мбар для достижения гидрофильности стекла. Далее все материалы переносились в перчаточный бокс с азотной атмосферой, где на подложку наносили каплю раствора прекурсоров и накрывали её ПДМС-штампом с выбранной конфигурацией. После прижима образец помещали на плитку, нагретую до 30°С на 24 часа для кристаллизации.

Для ограничения длины волноводов и получения массива микрорезонаторов использовался метод лазерной абляции – формирования торцов волноводов фемтосекундными лазерными импульсами.

После формирования структур проводилась их оптическая характеристика методами оптической микроскопии, спектрофотометрии и фемтосекундной спектроскопии со следующими параметрами лазера: длина волны – 343 нм, длина импульса – 280 фс, частота импульса – 10 КГц.

Выводы

Используя в качестве мастер-формы выемки в DVD-диске, были получены массивы отдельно стоящих волноводов, ограниченных по длине. В ходе измерений для каждого массива микровайеров разных длин, были получены следующие пороги лазерной генерации:

15 мкм - 94,35 мкДж/см²
20 мкм - 162,6 мкДж/см²
25 мкм - 70,73 мкДж/см²
30 мкм - 196,1 мкДж/см²

Умеренно низкий порог лазерной генерации, что говорит о низкой плотности дефектов на протяжении всего кристалла, а также о высоком качестве образовавшихся структур.

Экспериментально подтверждено, что предложенный метод синтеза позволяет получать высококачественные нитевидные кристаллы перовскита. Полученные структуры функционируют как эффективные микрорезонаторы, что делает их перспективными для использования в качестве источников когерентного излучения в фотонике.

Новизна работы заключается в адаптации темплатного метода специально для получения высококачественных резонансных структур из галогенидных перовскитов с контролируемой геометрией.

Литература

1. [What Defines a Halide Perovskite?](#) Quinten A. Akkerman and Liberato Manna // ACS Energy Letters 2020 5 (2), 604-610
2. [Inorganic perovskite-based active multifunctional integrated photonic devices](#) Qi Han, Jun Wang, Shuangshuang Tian, Shen Hu, Xuefeng Wu, Rongxu Bai, Haibin Zhao, David W. Zhang, Qingqing Sun & Li Ji // [Nature Communications](#) volume 15, Article number: 1536 (2024)