

УДК 535.37

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ И АПКОНВЕРСИОННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В БЕССВИНЦОВЫХ ПЕРОВСКИТНЫХ МИКРО/НАНОСТРУКТУРАХ

Хмелевская Д. (Университет ИТМО), Ильин С. П. (Университет ИТМО), Зеленков Л. Е. (Университет ИТМО), Макаров С. В. (Университет ИТМО),
Научный руководитель – канд. хим. наук Пушкарев А.П.
(Университет ИТМО)

В данной работе рассматривается нелинейный отклик Ми-резонансных микро- и наночастиц состава CsGeI_3 , полученных в результате оптимизированного протокола синтеза перовскитных нанокристаллов. Полученные образцы демонстрируют усиленную генерацию второй гармоники (ГВГ), а также апконверсионную фотолюминесценцию. В результате исследования впервые был реализован апконверсионный микролазер на основе бессвинцового перовскита, эффективно преобразующий инфракрасный свет как с помощью механизмов лазерной генерации, так и спектрально перестраиваемой ГВГ.

Введение. Стремительное развитие области нелинейной нанофотоники делает всё более актуальной проблему разработки новых нелинейных материалов и структур на их основе для создания компактных генераторов гармоник, а также микролазеров с накачкой инфракрасным светом, наиболее востребованных в области медицинских приложений по визуализации опухолей, системах оптической связи и приложений инфракрасной оптики. В этом направлении перспективны галогенидные перовскиты семейства CsPbX_3 ($X = \text{I}, \text{Br}$ или Cl), обладающие выдающимися светоизлучающими свойствами как при линейном, так и при нелинейном возбуждении [1]. Однако токсичность свинца является ключевой проблемой для биоприменений, поднимая актуальность исследований в области бессвинцовых перовскитов [2]. В настоящее время всё большее внимание привлекают перовскитные материалы на основе галогенидов германия (в частности, CsGeI_3), демонстрирующие сильный квадратичный оптический отклик с $\chi^{(2)}(2\omega; \omega, \omega) \approx 125$ пм/В [3], однако эффективность данного процесса недостаточна, а нелинейные фотолюминесцентные (ФЛ) и лазерные свойства этого материала малоизучены. Решением данной проблемы представляется создание новых резонансных структур на основе CsGeI_3 , повышение стабильности кристаллов, а также проведение комплексных исследований их линейных и нелинейных оптических свойств.

Основная часть. В данной работе исследуется оптимизация синтеза и нелинейный оптический отклик микро- и наноструктур на основе бессвинцового перовскита состава CsGeI_3 . Разработанный метод синтеза с использованием анти-растворителя, а также оптимизированный протокол получения нанокристаллов позволили получить поликристаллические пленки CsGeI_3 и микро-/наночастицы сферической формы, демонстрирующие высокие нелинейные свойства. Полученные структуры проявляют эффективную генерацию второй гармоники, а также широкий профиль фотолюминесценции (ФЛ) с центром на длине волны 750 нм. Исследование температурной зависимости ФЛ позволило вычислить энергию связи экситонов в CsGeI_3 , которая составила $E_b = 16.7$ мэВ. В работе также было установлено, что ГВГ в Ми-резонансной 480-нм наночастице (НЧ) может быть существенно усилена путем совмещения энергии накачки с магнитным дипольным резонансом, доминирующем в ИК области спектра на длине волны 1400 нм. Кроме того, проведение комплексных экспериментов с использованием оборудования поляризационно-разрешенной нелинейной оптической визуализации высокого пространственного разрешения подтвердило монокристаллическую структуру отдельных НЧ CsGeI_3 . Ключевым результатом работы стала первая реализация апконверсионной лазерной генерации в сферических субмикронных частицах при возбуждении фемтосекундным лазерным источником в широком спектральном диапазоне ИК длин волн, сопровождаемая спектрально перестраиваемой ГВГ.

Выводы. В настоящей работе впервые реализован бесвинцовый апконверсионный микролазер, поддерживающий также интенсивную ГВГ. В ходе исследования были усовершенствованы протоколы синтеза и проведены комплексные исследования нелинейных оптических свойств перовскитных микро- и наноструктур малоизученного состава CsGeI₃. Полученные результаты прокладывают путь к новым бифункциональным наноматериалам, актуальным для приложений нелинейной оптики, нанофотоники и систем биовизуализации.

Список использованных источников

- [1] Khmelevskaia, Daria, et al. "Excitonic versus free-carrier contributions to the nonlinearly excited photoluminescence in CsPbBr₃ perovskites." *Acs Photonics* 9.1 (2021): 179-189.
- [2] López-Fernández, I., Valli, D., Wang, C. Y., Samanta, S., Okamoto, T., Huang, Y. T., ... & Polavarapu, L. (2023). Lead-Free Halide Perovskite Materials and Optoelectronic Devices: Progress and Prospective. *Advanced Functional Materials*, 2307896.
- [3] Stoumpos, Constantinos C., et al. "Hybrid germanium iodide perovskite semiconductors: active lone pairs, structural distortions, direct and indirect energy gaps, and strong nonlinear optical properties." *Journal of the American Chemical Society* 137.21 (2015): 6804-6819.

Хмелевская Д. (автор)

Подпись

Пушкарев А.П. (научный руководитель)

Подпись