

АНИЗОТРОПИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В ГЕТЕРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ НИТЕВИДНЫХ НАНОКРИСТАЛЛАХ $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$

✉ А. Кузнецов¹, П. Рой^{2,6}, В. М. Кондратьев¹, В. В. Федоров^{1,3}, К. П. Котляр^{1,4},
Р. Р. Резник¹, А. А. Воробьев¹, И. С. Мухин^{1,2,3}, Г. Э. Цырлин¹, А. Д. Большаков^{1,5}

¹ Санкт-Петербургский академический университет
им. Ж. И. Алферова РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Институт аналитического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Московский физико-технический институт, Москва, Россия

⁶ Институт Френеля, Марсель, Франция

✉ alkuznetsov1998@gmail.com

Прецизионно контролируемый синтез аксиально-гетероструктурированных эпитаксиальных нитевидных нанокристаллов (ННК) с правильно подобранным набором материалов позволяет изготавливать новые фотонные устройства, такие как субмикронные резонаторы с интегрированным наноразмерным излучательным элементом. Примером такой структуры является исследуемый в данной работе ННК GaP с 50 нанометровыми прямозонными вставками на основе тройного твердого раствора $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ и каплей металла-катализатора Ga на конце [1]. С помощью микроспектроскопии фотolumинесценции (ФЛ) и численных расчетов экспериментально и теоретически был исследован оптический отклик от одиночных горизонтально ориентированных гетероструктурированных ННК. Благодаря высокому показателю преломления и почти нулевому поглощению в пределах полосы излучения вставок $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ сигнал фотolumинесценции имеет тенденцию проникать в ННК, действующий как резонатор Фабри — Перо [2]. При этом вблизи каждой из них регистрируется слабое излучение, распространяющееся перпендикулярно оси нанопроволоки. Таким образом, внутри гетероструктурированного ННК могут быть получены как амплитудные, так и спектрально-анизотропные фотolumинесцентные сигналы. Численное моделирование ФЛ прямозонных вставок, излучающих в инфракрасном диапазоне, демонстрирует уменьшение направленности излучения и одновременный рост связи излучателей с увеличением длины волны (рис. 1).

Также в данной работе обсуждается появление модулированного и немодулированного отклика, рассматриваются возможные приложения изучаемых структур в нанопотонике.

Кроме того, экспериментально и теоретически проанализированы спектральные и пространственные особенности ФЛ, возбуждаемой во вставках $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ в ННК GaP. Результаты показывают несколько интересных явлений, определяемых геометрией рассматриваемой системы. Вставки демонстрируют анизотропное излучение, которое может выводиться как в их окрестности, так и на краю. Из-за резонансных свойств ННК излучение, выведенное с торцевой грани ННК, подвержено сильной спектральной модуляции, а излучение, зафиксированное

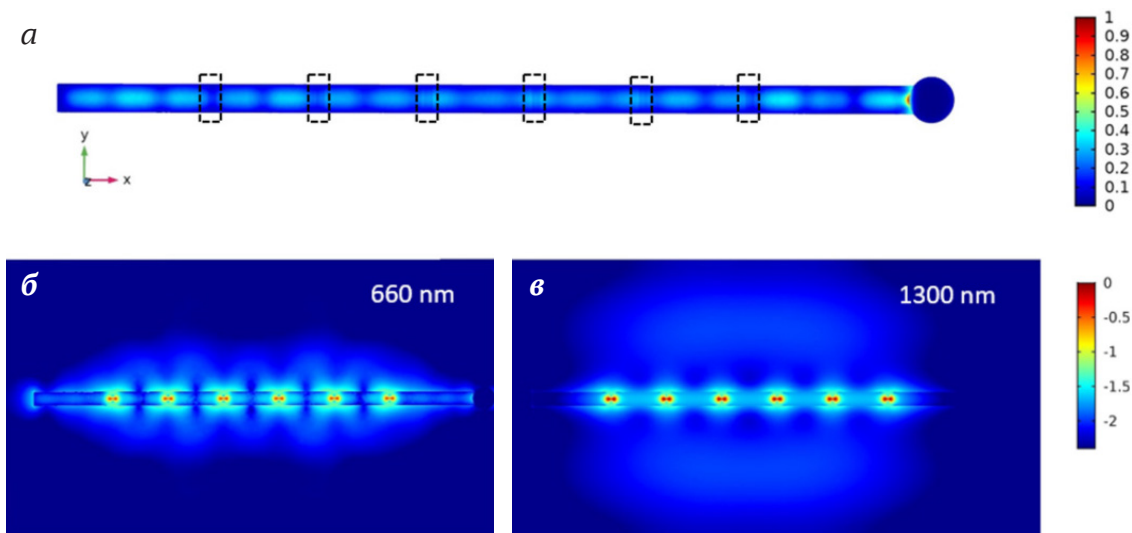


Рис. 1. *a* — распределение электрического поля в ННК GaP (4 мкм) с 6 вставками $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ (выделены пунктиром) при распространении плоской волны (532 нм) вдоль оси ННК и поляризованной перпендикулярно ей (поле в каждой точке нормировано на поле волны источника); *б-в* — распределение электрического поля в логарифмическом масштабе, создаваемого вставками $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$, которые моделируются дипольными источниками на длине волны 660 и 1300 нм

в окрестности вставок, оказывается немодулированным и менее интенсивным. Другой интересной особенностью системы является роль капли Ga, которая выступает, с одной стороны, как эффективный рефлектор, повышающий добротность резонатора, а с другой — как оптическая антенна, позволяющая электромагнитной волне, поляризованной вдоль оси ННК, более эффективно проникать внутрь. Дополнительное моделирование ННК с ИК-излучателями демонстрирует эффекты изменения картины поля, приводящие к более слабой направленности излучения вдоль оси ННК.

Список литературы

1. Bolshakov A. D., Fedorov V. V., Sibirev N. V. et al. Growth and Characterization of GaP/GaPAs Nanowire Heterostructures with Controllable Composition // Phys. Status Solidi-Rapid Res. Lett. 2019. Vol. 13. P. 1900350.
2. Roy P., Bolshakov A. D. Ga-GaP nanowire hybrid optical system for enhanced coupling, focusing and steering of light // J. Phys. D Appl. Phys. 2020. Vol. 53. P. 295101.