

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ**

П.В. Мокшин

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** фотонный кристалл, волновод, FDTD, делитель пучка.

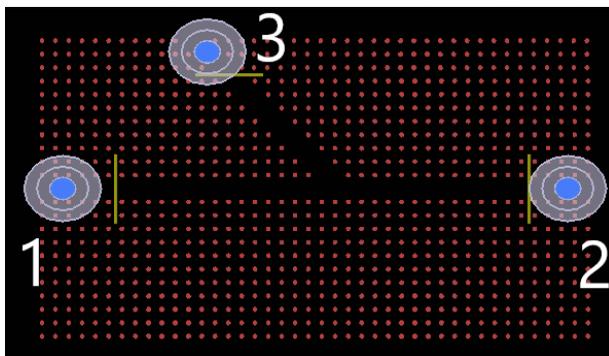
Актуальность разработки фотонно-кристаллических волноводных устройств обусловлена достоинствами таких устройств: функциональность [1], технологичность (для изготовления двумерных фотонно-кристаллических структур могут быть с успехом использованы хорошо отработанные планарные технологии микро- и нанoeлектроники, в частности – кремниевой), радиационная стойкость [2]. В некоторых областях необходимо применение фотонно-кристаллических волноводов с ответвлением. Такое ответвление создается путем добавления к уже существующему волноводу «рукава» под углом определенного размера. Квадратная решетка фотонных кристаллов не позволяет произвольно варьировать угол, однако предоставляет возможность создания ответвлений на 15, 30, 45 и 60 градусов.

Целью настоящей работы является моделирование распространения излучения в фотонно-кристаллических волноводах с ответвлениями.

Для реализации поставленной задачи было проведено моделирование по FDTD методу [3] с использованием программного обеспечения Ansys Lumerical [4]. Сначала моделируется фотонно-кристаллический волновод с дефектом в виде удаленного ряда элементов. Волновод является набором кремниевых стержней (Si) в воздушном пространстве. После применения итерационного процесса оптимизации волновода [5], период решетки был выбран равным 580 нм, радиус одного стержня -104,4 нм. Данный волновод обеспечивает стабильное распространение излучения на рабочей длине волны 1,55 мкм.

Убедившись в наличии волноводного распространения внутри волновода без изменений, ставится первый эксперимент с ответвлением на 60 градусов. Данное ответвление получается методом удаления ряда стержней таким образом, чтобы в конечном итоге получилось ответвление под углом необходимого размера. Получив описание такой структуры, провели несколько экспериментов, в каждом из которых источник излучения находился в разных частях волновода. В первом случае – в левой части, там же, где он был и при создании обычного волновода на моменте разработки волновода без ответвлений. Во втором случае, он зеркально

отображался, помещаясь в правую часть структуры, а в третьей серии экспериментов источник излучения помещался в верхний рукав (рисунок 1).



1 – положение первого источника, 2 – положение второго источника, 3 – положение третьего источника. Желтыми линиями обозначены положения экранов

Рисунок 1 – Общий вид волновода с ответвлением

Полный анализ результатов позволяет сделать несколько основных выводов о характере распространения излучения внутри волновода с ответвлениями. Для начала следует отметить, что после прохождения ответвления излучение продолжает распространяться дальше без потерь. Однако, ощутимые потери при распространении возникают при некоторых значениях угла ответвления. Особенно сильно это заметно при ответвителях с углами 30 и 15 градусов, максимальные потери составляют 7%. С другой стороны, использование ответвлений с углами в 60 и 45 градусов позволяют создавать на основе имеющихся волноводов делители излучения, способные работать фактически без потерь. Стоит отметить сильную зависимость работы волновода с ответвлением от значения рабочей длины волны. Так, например, при использовании ответвления с углом в 45 градусов и источника излучения (на длине волны 1.55 мкм), расположенного в правой части волновода, происходит практически равное деление энергии пучка (47% излучения уходит в рукав). Однако, при использовании источника с рабочей длиной волны 1.5 мкм в рукав уходит 95% энергии изначального излучения. Подобные результаты позволяют задуматься о реализации фотонно-кристаллических делителей пучка на основе кремниевых стречней в массиве воздуха, где управление распределением энергии между различными волноводами производится через варьирование упомянутых угла и длины волны.

#### Список использованных источников

1. Derdour R., Lebbal M. R., Mouetsi S., Hicini A. A novel connected structure of all-optical high speed and ultra-compact photonic crystal OR logic gate // Journal of Optical Communications. – 152. – 2021.

2. Shiu, R.J., Gao, Y., Tan, C. et al. Thermal radiation control from hot graphene electrons coupled to a photonic crystal nanocavity // Nat Commun 10. – 109. – 2019.

3. Taflove, A. Computational electrodynamics: The finite-difference time-domain method. Third Edition // A. Taflove, S. Hagness – Boston: Artech House Publishers. – 2005. – P. 852.

4. Пакет Ansys Lumerical FDTD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ansys.com/products/photonics/fdtd> (03.03.2024).

5. Mokshin, D. Golovashkin, V. Pavelyev and L. Yablokova, Iterative approach based on the FDTD method for the design of metal-dielectric photonic crystal devices, 2022 VIII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), 2022, IEEE Xplore, pp. 1-4.

Мокшин Павел Валериевич, mokshinfabio@gmail.com.

УДК 621.383

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБКИХ ФОТОДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ЧИСТЫХ И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ НИТРАТОМ СЕРЕБРА ЛИСТОВ $\text{TiS}_2$**

А. Р. Рымжина, В. С. Павельев, Нишант Трипати

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

**Ключевые слова:** фотодетектор; халькогениды переходных металлов; листы  $\text{TiS}_2$ ; инфракрасное излучение; диэлектрофорез; химический транспорт; функционализация.

Фотодетектор – ключевой компонент многих ежедневно используемых устройств. Фотодетекторы используются в спектроскопии, биохимии, контроле окружающей среды, робототехнике и т.д. [1-3].

В настоящее время крайне быстро развивается потребность в гибких фотодетекторах для носимой электроники и летательных аппаратов [1].

Преимущественно используемые чувствительные элементы основаны на кристаллических эпитаксиальных материалах. Фотодетекторы на их основе жесткие и хрупкие.

Большая часть известных материалов для гибких фотодетекторов обладает ограниченными спектральными диапазонами чувствительности (<1 мкм), низким откликом и низкой скоростью отклика, что препятствует их практическому применению [4]. Сегодня ведутся активные исследования дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ) для разработки ИК-детекторов с улучшенными характеристиками фотодетектирования. Причиной такого интереса к ДПМ стал ряд их преимуществ по сравнению с другими материалами для фотодетектирования. Так, толщина величиной в несколько атомов делает такие материалы почти прозрачными, что может быть использовано при