

$d = 10\text{нм}$). Резонансные частоты, соответствующие последующим итерациям, будут вычисляться по формуле

$$\nu_n = 2^n \nu_0, n = 1, 2, 3, 4. \quad (5)$$

Найденные по формуле (5) резонансные частоты многополосной фрактальной графеновой патч-антенны дают следующий ряд значений: 17,2 ТГц; 34,4 ТГц; 68,8 ТГц; 137,6 ТГц; 275,2 ТГц. Варьируя затворное напряжение, эти резонансные частоты можно изменять, настраивая антенну.

Список использованных источников

1. Mishra R.K., Ghatak R., Poddar D.R. Design Formula for Sierpinski Gasket Pre-Fractal Planar-Monopole Antennas // IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2008. – Vol. 50, No. 3. – P. 104–107.
2. Rosa L., Sun K., Juodkakis S. Sierpinski Fractal Plasmonic Nanoantennas // Physica Status Solidi – Rapid Research Letters. 2011. – Vol. 5 (5–6). – P. 175–177.
3. Xu Y.-Y., Xu Y., Hu W.-Y. Design of a Novel Reconfigurable Sierpinski Fractal Graphene Antenna Operating at THZ Band // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI). – 2013. – 07-13 July 2013.
4. Boretti A., Rosa L., Blackledge J., Castelletto S. A Preliminary Study of a Graphene Fractal Sierpinski Antenna // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 840. – P. 012003.
5. Blackledge J.M., Boretti A., Rosa L., Castelletto S. Fractal Graphene Patch Antennas and the THz Communications Revolution // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1060. – P. 012001.
6. Bludov Y.V., Ferreira A., Peres N.M., Vasilevskiy. A Primer on Plasmon-Polarions in Graphene // Int. J. Modern Phys. – 2013. – Vol. 27, No. 10. – P. 1341001-74.
7. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V. et al. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Film // Science. – 2004. – Vol. 306, No. 5694. – P. 666–669.

Браже Рудольф Александрович, д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. «Физика», brazhe@ulstu.ru.

Лебедев Егор Юрьевич, студент 3 курса РТФ, mrcrazyspace@gmail.com.

УДК 535

ФОТОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

П.В. Мокшин

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

Ключевые слова: фотонно-кристаллический элемент, волновод, вычислительные устройства.

Фотонно-кристаллические (ФК) структуры применяются для создания волноводов, логических элементов и других устройств фотоники [1]. Фотонные кристаллы обычно представляют собой структурированные среды с периодически изменяющейся диэлектрической проницаемостью, в которых создается препятствие для распространения определенных диапазонов длин электромагнитных волн (фотонные запрещенные зоны). Фотонные кристаллы нашли широкое применение в приложениях интегральной оптики.

В [2] представляется обзор большого количества работ по данной тематике. Обзор охватывает сразу несколько типов различных ФК-устройств, в том числе волноводов и связанных с ними элементов ввода-вывода излучения. Среди прочего особый интерес представляет анализ различных вариантов ввода излучения в ФК-волновод с двумя видами решеток: гексагональной и прямоугольной. Предлагается широкий спектр вариантов оптимизации области ввода излучения. Первым вариантом рассматривается конический ответвитель, спроектированный с использованием модуляции ширины канала, далее рассмотрена коническая муфта с постепенным изменением размера отверстий, третьим вариантом является ступенчатая муфта, использующая в своей основе сдвиг решетки, в этом варианте используется решетка с переменным шагом. Кроме того, в обзоре [2] предлагается оптофлюидный вариант.

В работе [3] рассмотрены принципиально новые конструкции оптических интерференционных логических элементов (ИЛЭ). В конструкции используются фотонные кристаллы с двумерной решеткой из диэлектрических стержней в воздухе. Используя данные конструкции, предоставляется возможная реализация простых задач алгебры логики.

В работе [4] затрагивается тема применения разработанного авторами итерационного метода для повышения эффективности ФК-волновода на соответствующей длине волны. Путем нескольких итераций последовательного изменения периодов решетки и радиусов стержней, авторам удалось добиться существенного увеличения относительных значений оптического сигнала на выходе, а значит и эффективности структуры. Данный метод позволяет не только повышать эффективность одного отдельно взятого элемента, но и решать целый ряд связанных с этим задач, таких, как создание сопряжения нескольких структур, различающихся, например, своей геометрией, и оптимизация ФК-устройств.

Таким образом, актуальной следует признать задачу применения итерационного метода [4] для оптимизации фотонно-кристаллических элементов (волноводов, устройств ввода-вывода, делителей пучка и др.) в целях дальнейшего использования их в качестве компонентов фотонных вычислительных устройств.

Список использованных источников

1. N. Kumar, B. Suthar., *Advances in Photonic Crystals and Devices/* London: CRC Press, 2020. С. 358.
2. Dutta, H. S., Goyal, A. K., Srivastava, V., & Pal, S. (2016). Coupling light in photonic crystal waveguides: A review. *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications*, 20, 41–58.
3. Hussein M.E. Hussein, Tamer A. Ali, Nadia H. Rafat, New designs of a complete set of Photonic Crystals logic gates, *Optics Communications*, Volume 411, 2018, Pages 175-181, ISSN 0030-4018, <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2017.11.043>.
4. P. 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), Samara, Russian Federation, 2022, С. 1-4.

Мокшин Павел Валериевич, аспирант каф. наноинженерии, mokshinfabio@gmail.com.

УДК 535

**ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ШУМОВ
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ЭФФЕКТОВ В
КВАНТОВОЙ И КЛАССИЧЕСКОЙ ОПТИКЕ НА ПРИМЕРЕ
РЕЛАКСАЦИИ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ТЕРАГЕРЦОВЫХ ПУЧКОВ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ**

А.В. Павельев

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

Ключевые слова: стохастические процессы, стационарные шумы, терагерцовая оптика, релаксация квантовых систем, немарковские процессы.

Стохастические процессы играют большую роль в реальных приложениях классической и квантовой оптики, что ставит задачу по корректному моделированию таких процессов для решения прикладных задач [1-2].

Для описания процессов в микроскопических квантовых системах, связанных с внешним окружением, таких как кубит, трёхуровневая система, диполь-дипольно взаимодействующие кубиты в работах [3, 4] были применены техники по замене марковских случайных процессов на немарковские [5]. Иными словами, статистические свойства окружения микроскопической системы описывались различными случайными процессами – происходила замена белого шума (соответствующего