

УДК 621.382+535.42

ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ РЕЗОНАТОР НА АЛМАЗНОЙ ПЛЕНКЕ©2012 К. Н. Тукмаков¹, Б. О. Володкин¹, В. С. Павельев¹, М. С. Комленок²,
А. А. Хомич²¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)²Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН

Алмаз с внедренными центрами окраски является перспективным материалом для реализации квантовых механизмов хранения информации из-за возможности создания квантовых битов и вспомогательной архитектуры (волноводов) в одной плоскости. В данной работе представлен метод создания фотонно-кристаллического резонатора в алмазной мембране с использованием технологии фокусированных ионных пучков (ФИП). Представлен спектр люминесценции полученного резонатора.

Фотонный кристалл, центры окраски, резонатор, люминесценция, фокусированный ионный пучок.

Введение

Разработка твердотельных квантовых оптических устройств является актуальной задачей для фундаментального изучения взаимодействия света с веществом, а также для прикладных задач квантовой информатики. Алмаз и его модификации с центрами окраски являются перспективными материалами для создания интегральных квантовых устройств, например, ярких однофотонных излучателей и квантовых битов на основе спиновых систем [1, 2]. Для контроля эмиссии фотонов и соединения между собой отдельных квантовых битов необходимы технологии создания в объеме алмаза микро- и наноканалов. Разработка и оптимизация таких технологий является актуальной на сегодняшний день задачей. В данной работе описан процесс создания элементов алмазной интегральной фотоники на примере фотонно-кристаллического резонатора в алмазной мембране. Создание резонатора осуществлялось с помощью технологии фокусированных ионных пучков (ФИП). В работе проведена оптимизация режима записи топологии резонатора в алмазной мембране.

1. Создание фотонно-кристаллического резонатора

На рис. 1 схематично изображен фотонно-кристаллический резонатор, который представляет собой массив отверстий диаметром 140 нм в мембране толщиной 300 нм, расположенных в гексагональном порядке с периодом 275 нм со специальными дефектами структуры в центральной области, так называемая М7 топология [1].

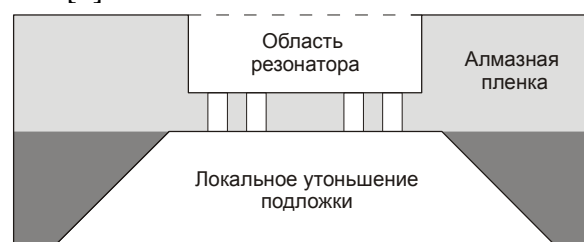


Рис. 1. Схематическое изображение резонатора

Для получения в алмазной пленке набора отверстий нужной конфигурации был использован метод прямой записи фокусированным ионным пучком. В работе использовалась ионная пушка с жидкометаллическим галлиевым источником (Ga+) с ускоряющим напряжением 30 кВ (на основе платформы «Нанофаб-100» производства НТ-МДТ, Россия).

В качестве основы резонатора была использована пленка нанокристаллического алмаза толщиной 2 мкм, выращенная методом химического осаждения из газовой фазы (CVD) на кремниевой подложке, способ получения подробно представлен в работе [3, 4]. После получения пленки было произведено локальное удаление подложки под пленкой химическим травлением, в результате чего была получена алмазная мембрана толщиной 2 мкм и площадью примерно 2 мм².

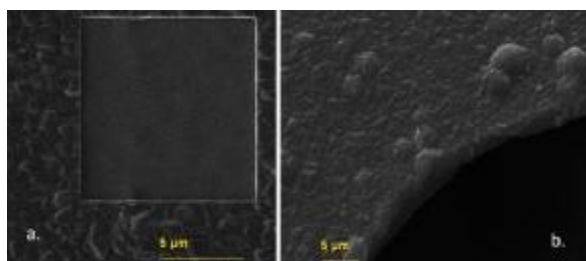


Рис. 2. РЭМ изображения поверхности алмазной мембраны: а) область с локальным утоньшением до 300 нм б) скол мембраны под углом

На рис. 2 показана часть алмазной мембраны с выполненным локальным утоньшением в области 7x5 мкм. Выполнение такого утоньшения требуется для достижения необходимой толщины (300 нм) мембраны при создании планарных структур. Утоньшение производилось с использованием технологии ФИП при токе ионного пучка 120 нА, что также обеспечило значительное уменьшение шероховатости поверхности алмазной пленки.

Для получения сквозных отверстий заданного диаметра в мембранах указанной толщины был подобран оптимальный рабочий ток (35 нА). Вследствие того, что при выбранном рабочем токе для алмаза характерен высокий уровень переосаждения удаленного ионным пучком материала [5], был использован метод последовательной многократной записи одной структуры с целью уменьшения времени однократной экспозиции пикселя. При этом время однократной экспозиции было неизменно и составляло 1 мс с 400-кратным повторением записи одной точки.

Глубина травления задавалась количеством циклов записи всей топологии структуры резонатора, которое достигало 20. На рис. 3 приведено РЭМ изображение, выполненное под углом 47°, которое показывает, что подобранный ток и время экспозиции одной точки обеспечивают получение сквозных отверстий в мембране (вырезание части мембраны выполнено после травления отверстий с использованием ФИП). На рис. 4 приведено РЭМ изображение одного из изготовленных резонаторов.

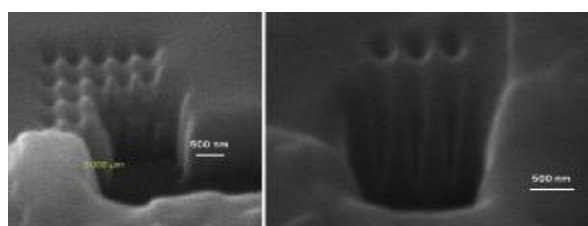


Рис. 3. РЭМ изображение сквозных каналов в алмазной мембране

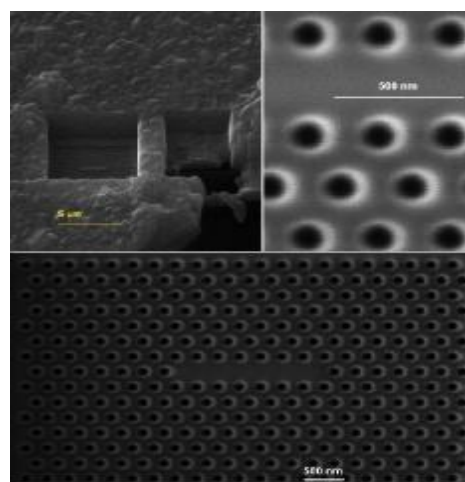


Рис. 4. РЭМ изображение фотонно-кристаллического резонатора

2. Измерение спектров фотолюминесценции

Для определения оптических свойств изготовленных фотонно-кристаллических резонаторов были проведены измерения спектров фотолюминесценции, представленные на рис. 5. Измерения проводились с использованием рамановского спектрометра Horiba Jobin Yvon HR 800 и лазера с длиной волны

488 нм. На рис. 5 представлены спектры фотолюминесценции исходной пленки и фотонно-кристаллического резонатора. На спектре исходной пленки нанокристаллического алмаза присутствуют пик алмаза (521 нм) и полоса аморфного углерода (526 нм). Для созданной с помощью ФИП-технологии структуры виден характерный пик, хорошо согласующийся с теоретическим значением резонанса полученного

фотонно-кристаллического резонатора. Также на спектре резонатора присутствует пик на длине волны 504,5 нм, связанный с 3Н центрами, возникшими в результате воздействия ионного пучка на алмазную пленку. 3Н центры являются радиационным дефектом, возникающим во всех типах алмазов после облучения [5-7].

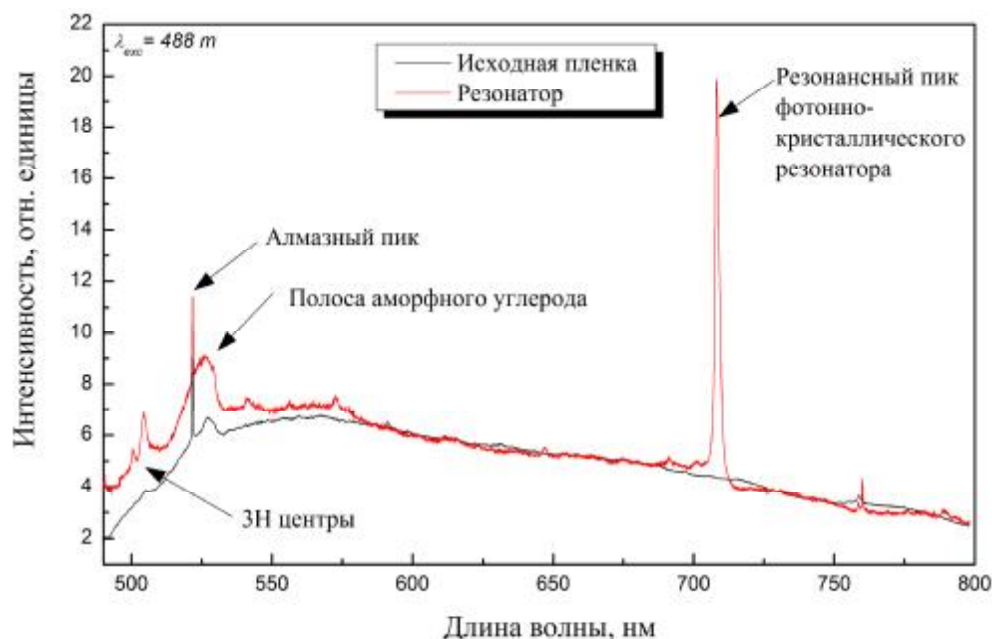


Рис. 5. Спектры фотолюминесценции фотонно-кристаллического резонатора и исходной пленки

Заключение

Показана возможность получения с помощью технологии фокусированных ионных пучков фотонно-кристаллических резонаторов в объеме алмаза с требуемым положением резонансного пика фотолюминесценции. Структуры такого типа могут быть использованы для создания устройств интегральной оптики видимого диапазона.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 11-02-90730-моб_ст и 11-02-90728-моб_ст. Алмазная мембрана представлена В.Г. Ральченко (Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН).

Библиографический список

1. Riedrich-Möller, J. One- and two-dimensional photonic crystal microcavities in

single crystal diamond [Text]/ J. Riedrich-Möller // Nature nanotechnology. - 2012, T. 7. - № 1. - С. 69-74.

2. Bayn, I. Processing of photonic crystal nanocavity for quantum information in diamond [Text]/ I. Bayn // Diamond and Related. - 2011. - С. 1-25.

3. Basov, A. A. Spatial localization of Si-vacancy photoluminescent centers in a thin CVD nanodiamond film. [Text]/ A. A. Basov // Phys. Stat. Sol. (a). - 2009. - Т. 206. - № 9. - С. 2009-2011.

4. Gruen, D. M. Nanocrystalline diamond films [Text]/ D. M. Gruen // Annual Review of Materials Science. - 1999. - Т. 29. - С. 211-259.

5. Tarutani, M. Application of the focused-ion-beam technique for preparing the cross-sectional sample of chemical vapor deposition diamond thin film for high-

resolution transmission electron microscope observation [Text]/ M. Tarutani, Y. Takai, R. Shimizu // Japanese journal of applied physics. - Т. 31. - № 9А. – С. 1305-1308.

6. Vlasov, I. I. Experimental evidence for charge state of 3H defect in diamond

[Text]/ I. I. Vlasov // Phys. Stat. Sol. (a). - 2003. - Т. 199. - С. 103-107.

7. Walker, J. Optical absorption and luminescence in diamond [Text]/ J. Walker // Rep. Prog. Phys. - 1979. - Т. 42. - № 10. С. 1605

DIAMOND FILM BASED PHOTONIC CRYSTAL RESONATOR

K. N. Tukmakov¹, B. O. Volodkin¹, V. S. Pavelyev¹, M. S. Komlenok², A. A. Khomich²

¹Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University), Samara, Russia

²A. M. Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia

Diamond with embedded color centers is a promising material for realization of quantum information storage mechanisms due to the possibility of creating quantum bits and auxiliary architectures (fibers) in the same plane. This paper presents a method of creating a photonic crystal cavity in the diamond membrane using focused ion beams. The luminescence spectrum of the resonator is shown.

Photonic crystal, color centers, resonator, luminescence, focused ion beam.

Информация об авторах

Тукмаков Константин Николаевич, инженер кафедры нанотехнологий, Самарский государственный аэрокосмический университет имени С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: tukmakov.k@gmail.com. Область научных интересов: производство микро- и наноструктур, технология фокусированных ионных пучков.

Володкин Борис Олегович, инженер кафедры нанотехнологий, Самарский государственный аэрокосмический университет имени С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: boris-volodkin@yandex.ru. Область научных интересов: производство микро- и наноструктур, сканирующая зондовая микроскопия.

Павельев Владимир Сергеевич, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой нанотехнологий Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: pavelyev@smr.ru. Область научных интересов: дифракционная микрооптика и оптические волноводы, нанофотоника и синтез оптических метаматериалов, технологии формирования микро- и наноструктур.

Комленок Максим Сергеевич, м.н.с. лаборатории лазерной оптики поверхности Центра естественно-научных исследований Учреждения Российской академии наук Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН. E-mail: komlenok@nsc.gpi.ru. Область научных интересов: оптика, лазерная физика, микро- и нано – структурирование.

Хомич Андрей Александрович, аспирант лаборатории алмазных материалов Центра естественно-научных исследований Учреждения Российской академии наук Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН. E-mail: antares-610@yandex.ru. Область научных интересов: оптика, углеродные материалы, спектроскопия.

Tukmakov Konstantin Nickolaevich, engineer of the department of nanoengineering, junior researcher REC Nanotechnology of Samara State Aerospace University named after S.

P. Korolyov (national research university). E-mail: tukmakov.k@gmail.com. Area of scientific: the production of micro-and nanostructure, technology focused ion beams.

Volodkin Boris Olegovich, engineer of the department of nanoengineering, junior researcher REC Nanotechnology of Samara State Aerospace University named after S. P. Korolyov (national research university). E-mail: boris-volodkin@yandex.ru. Area of scientific: the production of micro-and nanostructure, scanning probe microscopy.

Pavelyev Vladimir Sergeevich, doctor of physical and mathematical sciences; head of nanoengineering department of the Samara State Aerospace University named after S.P. Korolyov (national research university). E-mail: pavelyev@smr.ru. Area of scientific: diffractive micro-optics and optical waveguides, nanophotonics, and synthesis of optical metamaterials, technology formation of micro- and nanostructures.

Komlenok Maxim Sergeevich, Junior Researcher of Surface Laser Optics Laboratory of Natural sciences center of Prokhorov general physics institute RAS. E-mail: komlenok@nsc.gpi.ru. Area of scientific: Optics, laser physics, micro and nano structuring.

Khomich Andrey Alexandrovich, post-graduate student, diamond materials laboratory of Natural sciences center of Prokhorov general physics institute RAS. E-mail: antares-610@yandex.ru. Area of scientific: optics, carbon materials, spectroscopy.