

**НАУЧНЫЙ СЕМИНАР
«НАНООПТИКА, ФОТОНИКА И КОГЕРЕНТНАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ – 2023»**

**СБОРНИК ТЕЗИСОВ
ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ**

**г. Казань
12–14 июля 2023 г.**

УДК 535.3
ББК 22.343

Научный семинар «Нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия – 2023»: Сборник тезисов. Казань, 12–14 июля 2023 г. / под ред. к.ф.-м.н. К.Р. Каримуллина [Электронное издание]. – Москва: Тровант, 2023. – 100 с.: ил.

ISBN 978-5-89513-532-7

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор МПГУ Васильева И.А.

В сборнике представлены тезисы докладов научного семинара «Нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия – 2023». Семинар был организован Межинститутской научной группой по лазерной селективной спектроскопии и наноскопии (www.single-molecule.ru) в сотрудничестве с ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук» на базе Казанского физико-технического института им. Е.К. Завойского с 12 по 14 июля 2023 года.

Мероприятие продолжает серию ежегодных семинаров с лекциями и докладами по результатам фундаментальных и прикладных разработок в области оптики и спектроскопии. Тематика семинара посвящена исследованиям по фотонному эху, когерентной оптике и спектроскопии, нелинейной оптике, квантовой оптике и квантовой информатике, фотонике и нанооптике. Среди постоянных участников семинара – представители «оптических» научных школ из Казани (КФТИ, КФУ, КНИТУ-КАИ (ККЦ), КГЭУ), Москвы (МГУ, ФИАН, ИСАН, МПГУ, МФТИ), Самары (СФ ФИАН), Волгограда (ВолГУ), Санкт-Петербурга (СПбНИУ ИТМО) и других городов России.

Материалы сборника могут представлять интерес для ученых и специалистов, работающих в области когерентной и нелинейной оптики, оптической спектроскопии и смежных дисциплин, а также студентов и аспирантов, желающих получить представление о последних научных достижениях в указанных областях физики.

Постоянный web-адрес школы-семинара: <http://pecs.su/school>.

© ФИЦ «Казанский научный центр РАН», 2023

© Авторы, 2023

**Научный семинар «Нанооптика, фотоника и когерентная спектроскопия – 2023»
12-14 июля 2023 г., Казань**

Организаторы:

Межинститутская научная группа по лазерной селективной спектроскопии и наноскопии (www.single-molecule.ru)
ФИЦ «Казанский научный центр РАН»

Сопредседатели семинара:

А.В. Наумов – чл.-корр. РАН, руководитель ТОП ФИАН, зав. отделом ИСАН, зав. кафедрой МПГУ (Москва)

А.А. Калачев – чл.-корр. РАН, директор ФИЦ КазНЦ РАН, зав. кафедрой КФУ (Казань)

Ученый секретарь:

К.Р. Каримуллин – к.ф.-м.н., с.н.с. ИСАН, ФИАН, МПГУ (Москва)

Программный комитет:

С.Н. Андреев (МПУ, Москва)

М.Б. Белоненко (ВолГУ, Волгоград)

Д.И. Камалова (КФУ, Казань)

С.П. Котова (СФ ФИАН, Самара)

С.А. Моисеев (ККЦ КНИТУ-КАИ, Казань)

В.Г. Никифоров (ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)

С.В. Сазонов (НИЦ КИ, Москва)

С.С. Харинцев (КФУ, Казань)

Организационный комитет:

К.Р. Каримуллин (ИСАН/ФИАН/МПГУ, Москва)

А.Р. Калимуллина (МПГУ)

М.С. Хецева (МПГУ, ФИАН)

В.Г. Никифоров (ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)

А.В. Шкаликов (ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)

А.Г. Шмелев (ФИЦ КазНЦ РАН, Казань)

СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЯ АПКОНВЕРСИОННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ОДИНОЧНЫХ НАНОСТЕРЖНЕЙ $\text{NaYF}_4:\text{Yb},\text{Er}$ А.В. Леонтьев, Л.А. Нуртдинова, Е.О. Митюшкин, Д.К. Жарков, А.Г. Шмелев, В.Г. Никифоров	28
ОПТОМЕХАНИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛЫ С ПЛАЗМОННЫМ НАНОРЕЗОНАТОРОМ С ОКОЛОНУЛЕВОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ А.Р. Газизов, М.Х. Салахов	30
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО КОРОТКИХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ В УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ СО СЛУЧАЙНЫМ НАКЛОНОМ Н.Н. Конобеева, М.Б. Белоненко	32
ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРЕДЕЛЬНО КОРОТКОГО ИМПУЛЬСА В ОПТИЧЕСКИ АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ Ю.В. Двужилова, И.С. Двужилон, Т.Б. Шилов, И.А. Челнынцев, М.Б. Белоненко	34
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ СВЕТОВЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИЙ ЭЙРИ Д.В. Прокопова, Е.Г. Абрамочкин	36
ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА АКТИВНЫХ СЛОИСТЫХ СРЕД В УСЛОВИЯХ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ГАРМОНИКИ И.Г. Захарова, Т.М. Лысак, А.А. Калинович, Д.А. Чайковский	38
ОПТИЧЕСКИЕ СОЛИТОНЫ В ДВУХ СВЯЗАННЫХ ВОЛНОВОДАХ В ПЛОСКОМ КВАДРАТИЧНО-НЕЛИНЕЙНОМ КРИСТАЛЛЕ А.А. Калинович, И.Г. Захарова	40
МАЛОПЕРИОДНЫЕ ДВУХЧАСТОТНЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ СОЛИТОНЫ В ОТСУТСТВИИ ДИСПЕРСИИ ГРУППОВОЙ СКОРОСТИ У ОДНОЙ ИЗ КОМПОНЕНТ К.В. Кошкин, С.В. Сазонов, М.В. Комиссарова, А.А. Калинович	42
ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАНОФОТОННОГО РЕЗОНАТОРА ИЗ НИТРИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ МОД А.И. Гарифуллин, Н.М. Арсланов	46
БАБОЧКА И ПАМЯТЬ В ФОТОННОМ ЭХО В КРИСТАЛЛАХ $\text{YLiF}_4:\text{Er}^{3+}$ И $\text{LuLiF}_4:\text{Er}^{3+}$ В ПРОДОЛЬНОМ И ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ А.М. Шегеда, С.Л. Кораблева, О.А. Морозов, В.Н. Лисин, Н.К. Соловаров, В.Ф. Тарасов	48

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАНОФОТОННОГО РЕЗОНАТОРА ИЗ НИТРИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ МОД

А.И. Гарифуллин^{1,2,*}, Н.М. Арсланов²

¹*Институт физики, Казанский федеральный университет
420008, Россия, Казань, Кремлевская 18*

²*Казанский квантовый центр, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева - КАИ
420111, Россия, Казань, ул. К. Маркса, 10
e-mail: adel-garifullin@mail.ru

Нанопотонные резонаторы являются универсальной платформой в фотонике, оптических коммуникациях, оптомеханике и в квантовых технологиях. Они имеют такие важные характеристики, как добротность Q и модовый объем V . Настройка этих параметров является важным инструментом для усиления взаимодействия света и вещества в задачах нелинейной оптики, оптомеханики, квантовой обработки информации и пр. В данной работе выполнен поиск оптимальных параметров нанопотонного резонатора из нитрида кремния для повышения добротности мод. Расчеты проводились с использованием детерминистического метода достижения высоких значений добротности.

Ключевые слова: нанопотонный резонатор, фотонный кристалл, нитрид кремния, добротность, модовый объем.

Нанопотонные резонаторы с высокой добротностью Q и малым модовым объемом V являются важными элементами для создания фотонных устройств на кристалле, таких как маломощные оптоэлектронные переключатели, низкопороговые лазеры, устройств для квантовой обработки информации [1]. Нанорезонаторы с большим значением Q/V необходимы для усиления взаимодействия света и вещества (эффект Парселла). Это усиление ведет к большой оптической нелинейности, эффективной лазерной генерации и пр. [2].

В работе [3] был предложен детерминистический метод достижения высоких значений добротности нанорезонатора на основе волновода с периодическим массивом отверстий. На основе численных расчетов авторы данного исследования продемонстрировали доказательство пригодности предлагаемого метода и поэтапную оптимизацию конструктивной схемы для реализации резонатора с волноводными модами, локализованными, в одном случае, в диэлектрических слоях и, в другом случае, в воздушных слоях. Рассчитанные величины добротности и модового объема составили $Q > 10^6$ и $V < 0.9(\lambda_{res}/n_{Si})^3$, соответственно.

В другой работе [4] на эксперименте была продемонстрирована новая конструкция и надежная платформа для изготовления нанопотонного резонатора на основе треугольного волновода с поперечными канавками. Этот резонатор был вытравлен в объемном кристалле Y_2SiO_5 и YVO_4 . Треугольная геометрия волновода в сочетании с субволновой решеткой из прямоугольных канавок обеспечивает лучшую устойчивость к дефектам, возникающим в процессе изготовления нанорезонатора. Изготовленные образцы нанорезонаторов имели $Q \sim 27\,000$ и $V \sim 1(\lambda_{res}/n)^3$ в широком диапазоне длин волн от видимого до ближнего ИК-излучения с резонансными длинами волн, соответствующими атомным переходам редкоземельных ионов.

В данной работе выполнен поиск оптимальных параметров нанопотонного резонатора на основе Si_3N_4 для повышения добротности мод. Геометрические параметры волновода из Si_3N_4 на подложке из SiO_2 и Si составляют: w (ширина) = 2 300 нм, h (высота) = 220 нм. Расчеты проводились с использованием детерминистического метода достижения высоких значений добротности.

Литература

1. Deotare P.B., McCutcheon M.W., Frank I.W. et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2009. V. 94. P. 121106-1.
2. Quan Q., Deotare P.B., Loncar M. // *Appl. Phys. Lett.* 2010. V. 96. P. 203102-1.
3. Quan Q., Loncar M. // *Opt. Express.* 2011. V. 19. P. 18529.
4. Zhong T., Rochman J., Kindem J.M. et al. // *Opt. Express.* 2016. V. 24. P. 536.

SEARCH FOR OPTIMAL PARAMETERS OF A SILICON NITRIDE NANOPHOTONIC RESONATOR TO INCREASE THE Q-FACTOR OF MODES

A.I. Garifullin^{1,2,*}, N.M. Arslanov²

¹*Institute of Physics, Kazan Federal University
420008, Russia, Kazan, Kremlyovskaya St, 18*

²*Kazan Quantum Center, Kazan National Research Technical University-KAI,
420111, Russia, Kazan, Karla Marksa st. 10*

*e-mail: adel-garifullin@mail.ru

Nanophotonic resonators are a universal platform in photonics, optical communications, optomechanics and quantum technologies. They have such important characteristics as Q -factor and mode volume V . These parameters are a powerful tool for enhancing the light-matter interaction in problems of nonlinear optics, optomechanics, quantum information processing, *etc.* In this paper, the search for optimal parameters of a nanophotonic resonator made of silicon nitride to increase the Q -factor of modes is performed. Calculations were carried out using a deterministic method of achieving high Q -factor values.

Key words: nanophotonic resonator, photonic crystal, silicon nitride, quality factor, mode volume.