

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на выпускную квалификационную работу (магистерскую диссертацию)

магистранта 2-го курса ИФТТ РАН по направлению подготовки/специальности 28.04.04 «Наносистемы и наноматериалы» Улитко Владислава Эдуардовича

на тему «Исследование зависимостей морфологических и широкополосных диэлектрических свойств опаловых матриц на основе аморфного диоксида кремния от условий синтеза и термообработки»

Магистерская диссертация Улитко В.Э. посвящена экспериментальному исследованию зависимостей морфологических и широкополосных диэлектрических свойств опаловых матриц на основе аморфного диоксида кремния от условий синтеза и термообработки.

В первой главе магистерской работы приведен обзор золь-гель методов синтеза сферических коллоидных частиц диоксида кремния и формирования из них объемных опаловых матриц. Рассмотрены методы гомогенного и гетерогенного гидролиза TEOS, с помощью которых были синтезированы 4 типа опаловых глобул с различной внутренней пористостью. Глобулы были осаждены в объемные коллоидные кристаллы, отожжены в диапазоне температур 200-1500°C в течение 24 часов и подготовлены к дальнейшим исследованиям.

Во второй главе изучена структурная эволюция опаловых матриц из 4 типов глобул с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии. Получены СЭМ-изображения для температур наиболее интенсивного изменения структуры пор в матрице, а также рентгеновские дифрактограммы для фазовых изменений в опаловых матрицах при высоких температурах отжига с анализом вкладов кристаллических фаз SiO₂.

В третьей главе приведен обзор методов современной терагерцовой (ТГц) импульсной спектроскопии, методов обработки сигналов ТГц импульсного спектрометра и восстановления ТГц диэлектрических характеристик исследуемых образцов. С помощью ТГц импульсного спектрометра была восстановлена комплексная диэлектрическая проницаемость опаловых матриц из 4 типов глобул, которые были отожжены при различных температурах в течении 24 часов. С помощью инфракрасной Фурье-спектроскопии были получены спектры отражения для исследованных образцов с анализом элементарных возбуждений в спектрах. С помощью теории эффективной среды была построена теоретическая модель изменения ТГц диэлектрических характеристик опаловых матриц в зависимости от температуры отжига.

Четвертая глава представляет собой анализ практического применения полученных данных. Исследованы пределы изменения оптических характеристик опаловых матриц в зависимости от температуры отжига, полученные результаты демонстрируют возможность варьирования показателя преломления опаловой матрицы от 1.6 до 1.95 на частоте 1 ТГц. Также показано, что исследуемый материал обладает низким поглощением в ТГц диапазоне и практически полным отсутствием дисперсии показателя преломления. На основании этого сделан вывод о том, что опаловые матрицы являются перспективным материалом для ТГц оптики с возможностью изменения оптических характеристик путем высокотемпературного отжига. Было показано, что простые оптические элементы для ТГц оптики могут быть получены механической обработкой. Также был исследован новый метод формирования оптических поверхностей путем седиментации коллоидной суспензии в заранее подготовленную форму. С помощью этого метода могут быть получены сложные оптические поверхности.

При работе над магистерской диссертацией Улитко В.Э. проявил себя вдумчивым, и ответственным исследователем, обладающим творческим подходом, способным четко определить и сформулировать цели и задачи, анализировать полученные результаты. При выполнении работы автор проявил заинтересованность в результате научных исследований, высокое экспериментальное мастерство и умение эффективно применять численные и экспериментальные методы исследований к рассматриваемым проблемам. Во время выполнения магистерской диссертации овладел методом синтеза опаловых матриц, методикой гидростатического взвешивания для определения пористости материала, методами терагерцовой импульсной спектроскопии и инфракрасной Фурье-спектроскопии, а также навыками в обработке сигналов спектрометров. В.Э. Улитко отличается творческой активностью, инициативностью, высокая работоспособность, широкая эрудиция в области оптики и фотоники.

По результатам работы были опубликованы статьи:

- [1] **V.E. Ulitko**, G.M. Katyba, V.A. Zhelnov, I.M. Shmytko, G.A. Emelchenko, I.E. Spector, V.M. Masalov, V.N. Kurlov, , K.I. Zaytsev, M. Skorobogatiy "Opal-based terahertz optical elements fabricated by self-assembly of porous SiO₂ nanoparticles" - Optics Express 29(9), 13764-13777 (2021), DOI: 10.1364/OE.422637.
- [2] **V.E. Ulitko**, A.K. Zotov, A.A. Gavdush, G.M. Katyba, G.A. Komandin, I.E. Spector, I.M. Shmytko, G.A. Emelchenko, I.N. Dolganova, M. Skorobogatiy, V.N. Kurlov, V.M. Masalov, K.I. Zaytsev "Nanoporous SiO₂ based on annealed artificial opals as a favorable material

- platform of terahertz optics” - Optical Materials Express 10(9), 2100-2113 (2020), DOI: 10.1364/ome.402185.
- [3] G.A. Komandin, V.B. Anzin, **V.E. Ulitko**, A.A. Gavdush, A.A. Mukhin, Y.G. Goncharov, O.E. Porodinkov, I.E. Spektor “Optical cryostat with sample rotating unit for polarization-sensitive terahertz and infrared spectroscopy” - Optical Engineering **59**(6), 061603 (2019), DOI: 10.1117/1.OE.59.6.061603.
- [4] G.A. Komandin, V.S. Nozdrin, A.A. Gavdush, A.A. Pronin, O.E. Porodinkov, I.E. Spektor, V.N. Sigaev, A.A. Mikhailov, G.Y. Shakhgildyan, **V.E. Ulitko**, D.A. Abdullaev “Effect of moisture adsorption on the broadband dielectric response of SiO₂-based nanoporous glass” - Journal of Applied Physics **126**(22), 224303 (2019), DOI: 10.1063/1.5116790.
- [5] **V.E. Ulitko**, A.K. Zotov, A.A. Gavdush, G.M. Katyba, G.A. Komandin, I.E. Spektor, V.N. Kurlov, V.M. Masalov, K.I. Zaytsev “Novel promising terahertz optical material based on nanoporous SiO₂” - Proceedings of SPIE **11499**, 1149915 (2020), DOI: 10.1117/12.2567672.
- [6] **Улитко В.Э.**, Зотов А.К., Масалов В.М., Емельченко Г.А., Катыва Г.М., Курлов В.Н., Зайцев К.И. “Новые элементы терагерцовой оптики на основе искусственного опала” - Поверхность. Рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования, в печати.

и сделаны доклады на конференциях:

- [1] **Улитко В.Э.**, Зотов А.К., Гавдуш А.А., Катыва Г.М., Долганова И.Н., Масалов В.М., Ходан А.Н., Курлов В.Н., Зайцев К.И. “Новые материалы терагерцовой оптики на основе трехмерных пористых наноструктур Al₂O₃ и SiO₂” - 12 ежегодное заседание Научного Совета РАН по физике конденсированных сред и научно-практического семинара «Актуальные проблемы физики конденсированных сред», Черногловка, 29-30 октября 2019 г.
- [2] **Улитко В.Э.**, Зотов А.К., Масалов В.М., Емельченко Г.А., Курлов В.Н., Катыва Г.М. и Зайцев К.И. «Новые элементы терагерцовой оптики на основе искусственного опала» - 13 ежегодное заседание Научного Совета по физике конденсированных сред при отделении физических наук РАН и научно-практический семинар «Актуальные проблемы физики конденсированных сред», Черногловка, 23-26 ноября 2020 г.
- [3] **V.E. Ulitko**, A.K. Zotov, A.A. Gavdush, G.M. Katyba, G.A. Komandin, I.E. Spektor, I.M. Shmytko, G.A. Emelchenko, I.N. Dolganova, M. Skorobogatiy, V.N. Kurlov, V.M. Masalov, K.I. Zaytsev “Nanoporous SiO₂ based on annealed artificial opals as a favorable material

- platform for terahertz optics” - Saratov Fall Meeting 2020 (SFM’20), Saratov, Russia, September 2020.
- [4] **V.E. Ulitko**, A.K. Zotov, A.A. Gavdush, G.M. Katyba, G.A. Komandin, I.E. Spector, V.N. Kurlov, V.M. Masalov, K.I. Zaytsev “Novel promising terahertz optical material based on nanoporous SiO₂” - SPIE Optics+Photonics 2020, Digital Forum, August-September 2020.
- [5] **V.E. Ulitko**, A.A. Gavdush, A.K. Zotov, V.M. Masalov, A.N. Khodan, G.A. Komandin, V.N. Kurlov, K.I. Zaytsev “Terahertz dielectric spectroscopy of nanoporous Al₂O₃ and SiO₂ - novel prospective materials of terahertz optics” - SPIE Photonics Europe 2020, Digital Forum, 2020.
- [6] **V.E. Ulitko**, A.A. Gavdush, G.M. Katyba, N.V. Chernomyrdin, E.A. Gorbunov, P.V. Ovcharov, G.A. Komandin, V.N. Kurlov, A.N. Khodan, K.I. Zaytsev “Terahertz dielectric spectroscopy of nanoporous structures: Al₂O₃ and SiO₂. A pilot study” - Saratov Fall Meeting 2019 (SFM’19), Saratov, Russia, September 2019.

Работа магистранта удовлетворяет всем требованиям и заслуживает оценки «отлично», а магистрант Улитко В.Э. заслуживает присвоения квалификации «магистр» по направлению подготовки/специальности 28.04.04 «Наносистемы и наноматериалы» и может быть допущен к защите выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации).

Научный руководитель
г.н.с. ИФТТ РАН, д.т.н.
Курлов

В.Н.

Подпись В.Н. Курлова заверяю
Ученый секретарь ИФТТ РАН,
к.ф.-м.н.
Терещенко

А.Н.