

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
Образовательное учреждение высшего образования  
«Саратовский национальный исследовательский государственный универси-  
тет имени Н.Г. Чернышевского»

*Кафедра оптики и биофотоники.  
Кафедра компьютерной физики и метаматериалов  
на базе Саратовского фили-  
ала Института радиотехники и электроники  
им. В. А. Котельникова РАН*

**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
СФЕРИЧЕСКИХ МИКРОРЕЗОНАТОРОВ  
ИЗ ХАЛЬКОГЕНИДНОГО СТЕКЛА**

Автореферат выпускной квалификационной бакалаврской работы  
по направлению 03.03.02 «Физика»  
студента 4 курса 431 группы  
физического факультета  
**Власова Никиты Игоревича**

Научный руководитель

д. ф.-м. н., профессор \_\_\_\_\_ Е.А.Романова

Заведующий кафедрой оптики и  
биофотоники

д. ф.-м. н., профессор \_\_\_\_\_ В.В. Тучин

Саратов 2018

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Интенсивное развитие интегральной оптики и нанотехнологий свидетельствует о потребности создания микро- и наноразмерных оптических устройств, что объясняется относительно низким быстродействием электронных устройств, которое ограничено большим временем рекомбинации электронов.

На сегодняшний день оптоэлектронные модули уже используются в оптических линиях передач в качестве фильтров, модуляторов, переключателей, и др. Основными критериями при создании таких приборов являются малое энергопотребление, компактность и быстродействие. Новые оптические технологии позволяют создавать наноразмерные оптические объекты и интегрировать их в оптоэлектронные устройства. Такие технологии открывают большие возможности и новые решения в технических и научных задачах.

Актуальность этих технологий объясняется, прежде всего, возможностью их реализации. Основной технологической проблемой на сегодняшний день является изготовление оптических микрорезонаторов. Современные интегрально - оптические технологии позволяют получить высокодобротные резонаторы, но ресурсозатратность такого производства высока [1].

В последнее время халькогенидные стёкла рассматриваются в качестве перспективного прозрачного материала для среднего инфракрасного диапазона длин волн (3 - 25 мкм). Халькогенидные стеклообразные полупроводники, отличаются рядом уникальных свойств: феноменальная радиационная стойкость, обратимое электрическое переключение и память, фотоиндуцированные структурные превращения, простота технологий [2].

**Цель выпускной квалификационной работы** состоит в том, чтобы охарактеризовать оптические свойства микросфер, изготовленных на основе халькогенидных волокон методом нагрева торца волокна.

### **Задачи работы:**

1. Ознакомиться с технологиями изготовления сферических микрорезонаторов на основе оптических волокон;
2. Изучить методику определения добротности сферических микрорезонаторов;
3. Провести обработку результатов измерений резонансов сферических микрорезонаторов из халькогенидного стекла, определить их добротность;
4. Ознакомиться с оптическими и теплофизическими свойствами халькогенидных стекол состава As-S-Se
5. Провести расчет резонансных частот микрорезонатора из халькогенидного стекла состава  $As_{40}S_{60}$  и  $As_{40}Se_{60}$  в среднем ИК диапазоне с учетом дисперсии показателя преломления.

### **Структура работы:**

Данная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, и списка использованной литературы.

Глава 1: Типы и характеристики оптических микрорезонаторов.

Глава 2: Сферические микрорезонаторы из халькогенидного стекла.

Глава 3: Расчет резонансных частот халькогенидного микрорезонатора.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во Введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи выпускной квалификационной работы бакалавра.

**В Главе 1** описывается функционирование оптического микрорезонатора на примере трекового оптического микрорезонатора, а в **пункте 1.2.** - расчет и описание добротности.

**В Главе 2** представлено описание оптических свойств халькогенидных стекол. Представлены составы, из которых изготавливают халькогенидные стекла и показаны их образцы.

**В пункте 2.2.** рассказывается о технологиях изготовления микросфер:

**В п. 2.2.1.** описывается метод нагрева торца волокна инертным газом, представлены микросферы, изготовленные по этой технологии, а **в п. 2.2.2.** – метод плавления  $\text{CO}_2$  – лазером и показаны результаты изготовления с помощью этого метода. Примеры микросфер, описанных в **п. 2.2.1**, были созданы в институте имени Руджера Бошковича в г. Загреб (Хорватия).

**Пункт 2.3.** описывает дисперсионные свойства халькогенидных стекол. Представленная формула Зельмейера в **пункте 2.3.1.** – это формула, по которой производился расчет резонансных частот халькогенидных микрорезонаторов, а так же зависимость показателя преломления оптических стекол от длины волны в халькогенидных стеклах для микросфер из сульфида и селенида мышьяка. Так же, в этом пункте приведена таблица коэффициентов Зельмейера.

Халькогенидные стекла отличаются от других оптических стекол тем, что имеют наибольшую нелинейную поляризацию третьего порядка [3], значения керровской постоянной на два-три порядка больше, чем в плавном кварце, а нелинейный отклик является очень быстрым (порядка фемтосекунды). Благодаря своим уникальным свойствам, халькогенидные стекла могут найти широкое применение в устройствах ИК - оптики, сенсорных технологиях, в оптоэлектронике и т.д.

Была разработана оригинальная методика создания микросфер на торце халькогенидного волокна с учетом особенностей халькогенидного стекла: низкая по сравнению с кварцевым стеклом температура плавления ( $T_g \sim 200^\circ\text{C}$ ), окисление при нагревании и плавлении. В связи с этим халькогенидные мик-

росферы не могут изготавливаться методом нагрева торца волокна в открытом пламени, как кварцевые микросферы.

На рисунке 1 представлена схема установки для получения микросферы на торце халькогенидного световода (слева) и её реализация (справа). Этот принцип был использован в институте имени Руджера Бошковича в Загребе (Хорватия) для получения микросфер (рисунок 2) с участием моего научного руководителя.

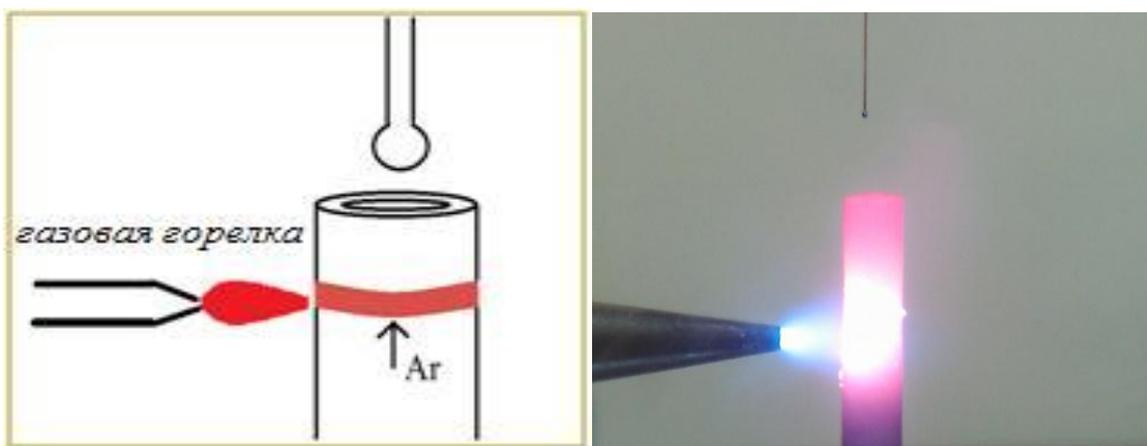


Рисунок 1. Получение микросферы на торце халькогенидного световода.



Рисунок 2. Микросферы, получившиеся с помощью нагрева торца волокна инертным газом

**В Главе 3** показаны расчеты резонансных частот для халькогенидных микрорезонаторов.

Расчеты резонансных частот с учетом дисперсии показателя преломления проводились по формуле [4]:

$$\nu_l = \frac{l \cdot c}{2\pi R \cdot n(\nu)}. \quad (1)$$

Расчет резонансных частот был проведен в области длин волн ближнего и среднего ИК диапазона. Вследствие дисперсии показателя преломления, резонансные частоты не являются эквидистантными (межчастотный интервал зависит от частоты). Для измерения резонансных частот полученных халькогенидных микросфер использовался перестраиваемый лазер [5] в интервале длин волн от 1500 нм до 1630 нм. Частота лазера модулировалась генератором частот в полосе 70 - 450 Гц с размахом напряжения 20 В.

В пункте 3.1. осуществлялись измерения спектров пропускания халькогенидных микросфер и определение их добротности.

Для ввода в микросферу лазерного излучения использовался суженный кварцевый световод с диаметром 2- 4 мкм в области сужения, где происходит контакт с микросферой (рисунок 3). Излучение, прошедшее через микросферу, регистрировалось на InGaAs фотодетекторе, а на экране осциллографа, синхронизированного с частотой модуляции лазера, наблюдались минимумы, которые соответствуют резонансным частотам микросферы.

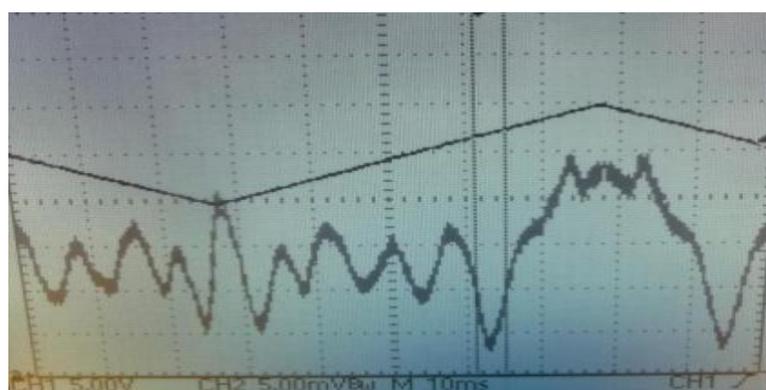
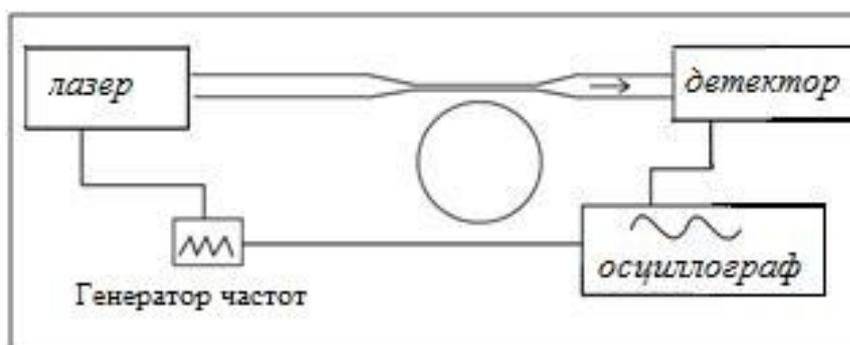


Рисунок 3. Схема установки для измерения спектра пропускания микросферы и спектр пропускания на экране осциллографа.

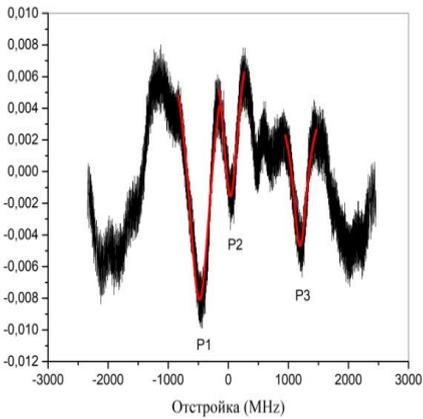
Добротность  $Q$  мод микросферы определялась по ширине измеренных резонансных кривых. Минимумы в спектре пропускания хорошо аппрокси-

мируются функцией Лоренца. Связь между шириной резонанса по временной шкале ( $\Delta t$ , с) и в частотном представлении ( $\Delta\omega$ , МГц) описывается формулой:

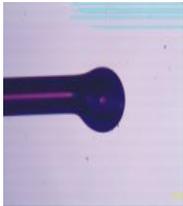
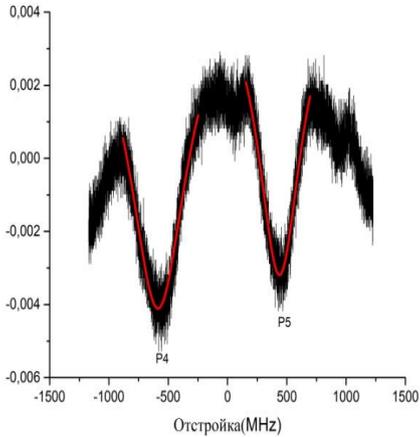
$$\Delta t = \Delta\omega / (300 * 10^6 * 2f * V_{pp}) \quad (2)$$

В таблицах 1 и 2 показаны фото полученных микросфер и соответствующие резонансы в спектрах пропускания. Наибольшие значения Q порядка  $10^5$  были получены для микросфер с меньшим диаметром.

**Таблица 1. Микросфера 3 на торце световода  $As_2Se_3$ :**

	Диаметр, мкм	Спектр пропускания	Добротность
	870		$Q1 = 1.28 * 10^5$ $Q2 = 1.92 * 10^5$ $Q3 = 2.17 * 10^5$

**Таблица 2. Микросфера 1 на торце световода  $As_2S_3$ :**

	Диаметр, мкм	Спектр пропускания	Добротность
	480		$Q4 = 1.11 * 10^5$ $Q5 = 1.48 * 10^5$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были изучены технологии изготовления сферических микрорезонаторов на основе оптических волокон путем плавления торца волокна различными способами: с помощью инертного газа и  $\text{CO}_2$  – лазера. Последний способ прекрасно подходит для производства сферических микрорезонаторов из кварцевого стекла, но пока еще не был использован для резонаторов из халькогенидного стекла.

В качестве материала микрорезонатора используются халькогенидные стекла, имеющие большую нелинейность третьего порядка.

Была изучена методика определения добротности микрорезонатора и проведены расчеты добротности сферических микрорезонаторов, полученных методом плавления торца волокна нагретым инертным газом. Добротность микросферы определялась по ширине измеренных резонансных кривых.

Так же, был получен набор резонансных частот микрорезонатора из халькогенидного стекла состава  $\text{As}_{40}\text{S}_{60}$  и  $\text{As}_{40}\text{Se}_{60}$  в ИК диапазоне с учетом дисперсии показателя преломления стекла.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. O'Shea, C. Junge, S. Nickel, M. Pollinger, and A. Rauschenbeutel, Ultra high Q whispering-gallery-mode bottle microresonators: properties and applications, arXiv:1105.0351v1 [physics.optics] 2011.
2. M. Shane Eaton, Haibin Zhang, R. Peter Herman Heat accumulation effects in femtosecond laser written wave guides with variable repetition rate. 13 June 2005 / Vol. 13, No. 12 / Optics Express 4708
3. Zakery A., Elliot S.R. "Optical nonlinearities in chalcogenide glasses and their applications". Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007.
4. Городецкий М.Л. «Оптические микрорезонаторы с гигантской добротностью». – М.: ФИЗМАЛИТ, 2011.
5. Yanista TUNICS – T100S-HP.