

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра компьютерной физики и метаматериалов  
на базе Саратовского филиала Института радиотехники  
и электроники им. В. А. Котельникова РАН

**ДАТЧИК ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА  
ДЛЯ ВИХРЕВОГО РАСХОДОМЕРА ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Теклина Ильи Александровича  
студента 4 курса, 4022 группа,  
направления подготовки 03.03.02 Физика,  
Институт физики

Научный руководитель  
д.ф.-м.н. профессор

Е. А. Романова

Заведующий кафедрой  
компьютерной физики и метаматериалов  
на базе Саратовского филиала Института радиотехники  
и электроники им. В. А. Котельникова РАН  
д.ф.-м.н. профессор

В.М. Аникин

Саратов 2021 г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность, научная и практическая значимость работы.* Халькогенидные стекла, активированные редкоземельными элементами (РЗЭ), являются перспективными материалами для создания волоконных лазеров и усилителей среднего ИК-диапазона (3-20 мкм в длинах волн). Волоконные лазеры с распределенной обратной связью обладают рядом уникальных свойств. Они являются перспективными источниками одночастотного излучения для приложений, где к наиболее критичным характеристикам относится малая собственная ширина спектра генерации или, другими словами, большая длина когерентности. Благодаря широким спектрам люминесценции ионов РЗЭ в плавленном кварце волоконные лазеры могут излучать на длинах волн, недоступных, например, твердотельным и газовым лазерам. По сравнению с полупроводниковыми лазерами, у одночастотных волоконных лазеров заметно меньше собственная ширина линии генерации, что является следствием более длинного резонатора.

Средний ИК диапазон является одним из наиболее перспективным для решения задач в области современной фотоники. Спектроскопия среднего ИК диапазона – это надежное средство определения химического состава различных сред. В этом диапазоне находятся полосы поглощения колебательных спектров твердых, жидких, газообразных веществ. Создание новых устройств и систем, функционирующих в этом диапазоне, позволит перейти на более высокий уровень контроля производственных процессов, состояния окружающей среды, повысить эффективность медицинской диагностики, улучшить системы безопасности.

Для создания волоконных спектроскопических датчиков наиболее подходящим материалом являются халькогенидные волоконные световоды, имеющие низкие оптические потери в области длин волн 1– 5 мкм (в зависимости от состава стекла) [3]. Халькогенидные световоды наиболее подходят для передачи и преобразования излучения в таких информационных оптических системах. На основе халькогенидных световодов можно создавать спектроскопические датчики и сети датчиков для дистанционного контроля технологических процессов, мониторинга состояния воздуха и воды, состояния биологических тканей в реальном времени. Такие световоды могут передавать информацию по волоконно-оптическим сетям, а также использоваться как чувствительные элементы датчиков.

Применение активного световода как источника ИК-излучения в полностью волоконном сенсоре имеет преимущества, так как активное волокно может оставаться стационарным источником света, а кусок пассивного волокна можно погружать в различные среды, например органические вещества, и затем заменять по мере необходимости.

Волоконный световод, полученный из легированного стекла, совмещают с пассивным волокном, которое не люминесцирует, но пропускает излучение фотолюминесценции из активного волокна. Сначала проводится хо-

лостой опыт (записывается спектр пассивного волокна без исследуемого вещества) Затем пассивное волокно погружают в исследуемую среду и получают ИК-спектр волокно+вещество. На установке был зарегистрирован ИК-спектр сенсорной системы с ацетонитрилом ( $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{N}$ ) и без него. Затем, в результате деления спектра излучения, прошедшего через волоконный сенсор с исследуемым веществом на спектр без него, и логарифмирования, получают спектр поглощения исследуемого вещества. Затем по частотам полос в спектре поглощения и табличным данным идентифицируют исследуемое вещество. На этом основано качественное определение веществ. Для количественного определения вещества обычно берут серию образцов с различной концентрацией исследуемого вещества и после измерений находят исходную концентрацию вещества по методу калибровочного графика или по методу добавок.

**Цель** выпускной квалификационной работы (ВКР) состоит в изучении оптических свойств халькогенидных стекол, активированных ионами редкоземельных элементов, и рассчитать пропускание волоконных световодов из таких стекол в области длин волн среднего ИК диапазона.

**Задачи ВКР:**

1. Изучить структурные особенности халькогенидных стекол и их оптические свойства.
2. Ознакомиться с основами волновой теории волоконных световодов и методами расчета параметров мод световода со ступенчатым профилем показателя преломления.
3. Рассчитать параметры мод халькогенидного световода, сердцевина которого активирована ионами диспрозия и празеодима.
4. Рассчитать пропускание халькогенидного световода заданной длины, сердцевина которого активирована ионами диспрозия и празеодима, в области среднего ИК диапазона.

**Структура ВКР:** введение, 5 глав, заключение, список использованных источников (17 наименований).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение.

Глава 1. Моды волоконных световодов.

Глава 2. Халькогенидные стекла и их свойства.

Глава 3. Активированные халькогенидные стекла. Редкоземельные элементы.

3.1. Люминесценция.

3.2. Стекла, активированные редкоземельными элементами

3.3. Возможность практического применения активных халькогенидных стекол и волокон из них.

Глава 4. Халькогенидные стекла, их электронные и оптические свойства.

4.1 Исследование стекла методом ДСК, ИК-поглощения. Исследование полных оптических потерь

4.2 Изучение ИК спектров поглощения образца халькогенидного стекла, легированного празеодимом.

4.3 Исследование оптических свойств волоконных световодов.

5. Пропускание халькогенидного световода, легированного редкоземельными элементами.

Заключение.

Список использованных источников.

Приведем рассчитанные характеристики пропускания халькогенидного световода, легированного редкоземельными элементами.

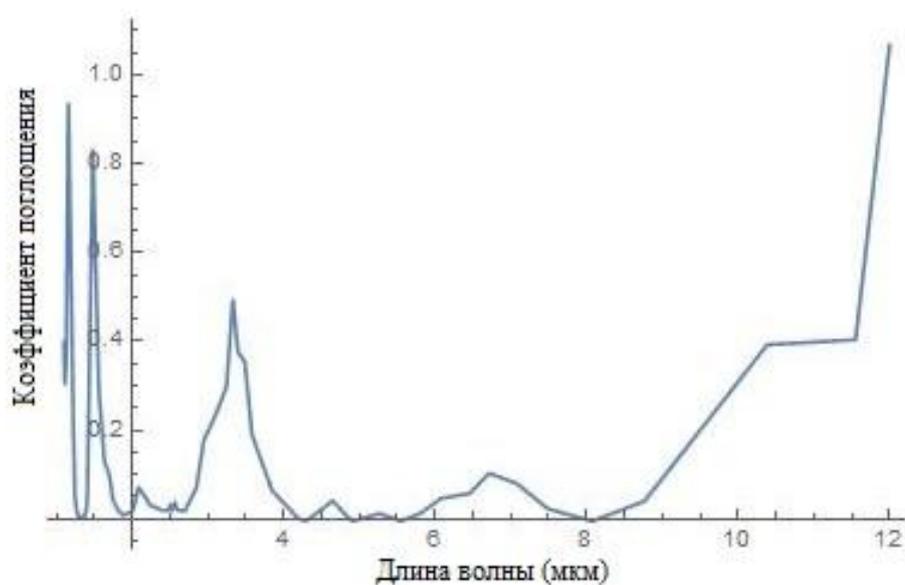


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения от длины волны

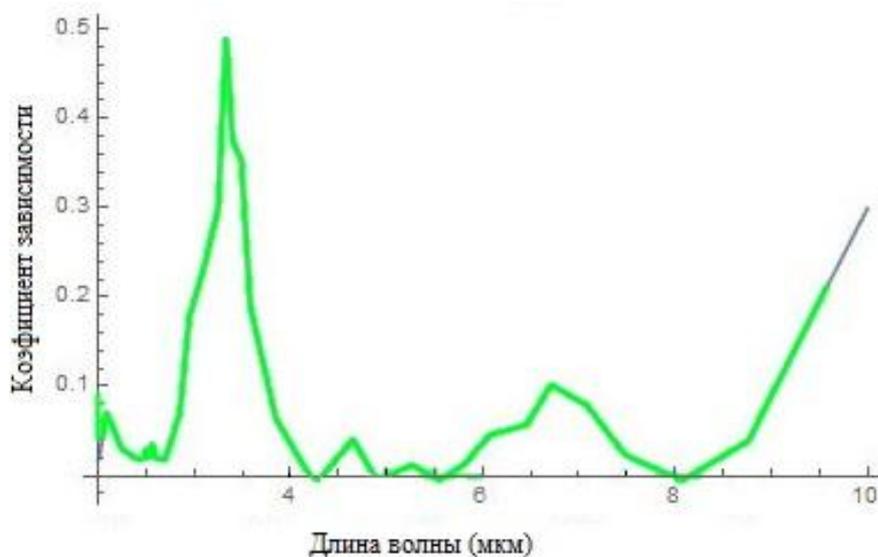


Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания мощности моды HE<sub>11</sub> от длины волны

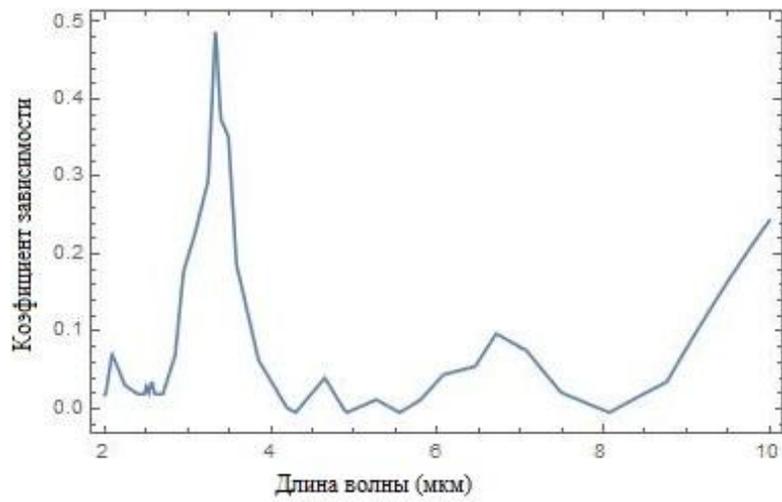


Рис. 3. Зависимость коэффициента затухания мощности моды  $HE_{12}$  от длины волны

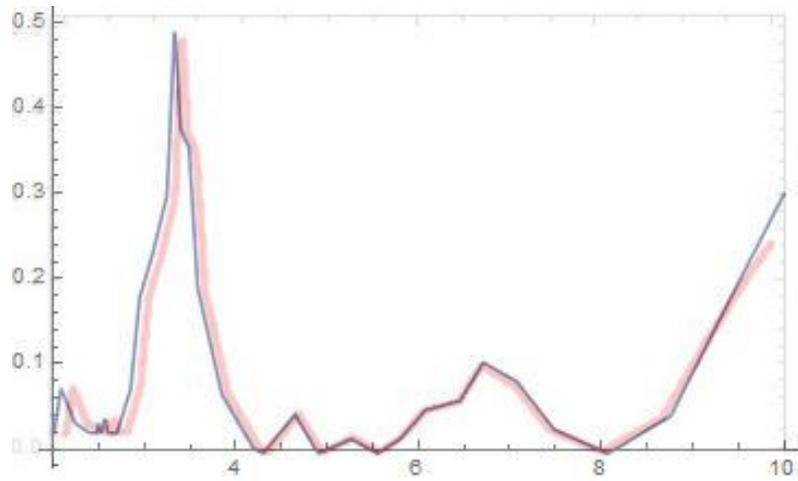


Рис. 4. Наложение графиков, показанных на рисунках 2 и 3

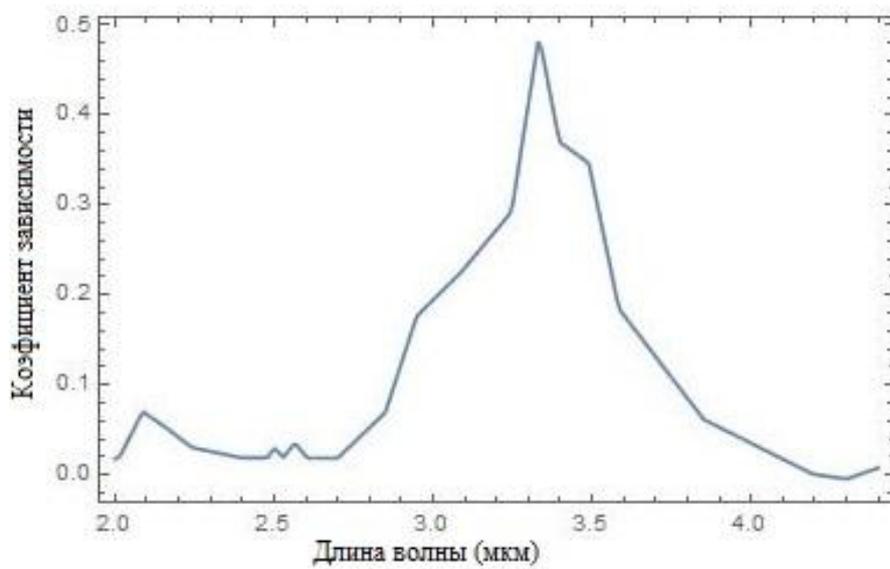


Рис. 5. Зависимость коэффициента затухания мощности моды  $HE_{12}$  от длины волны

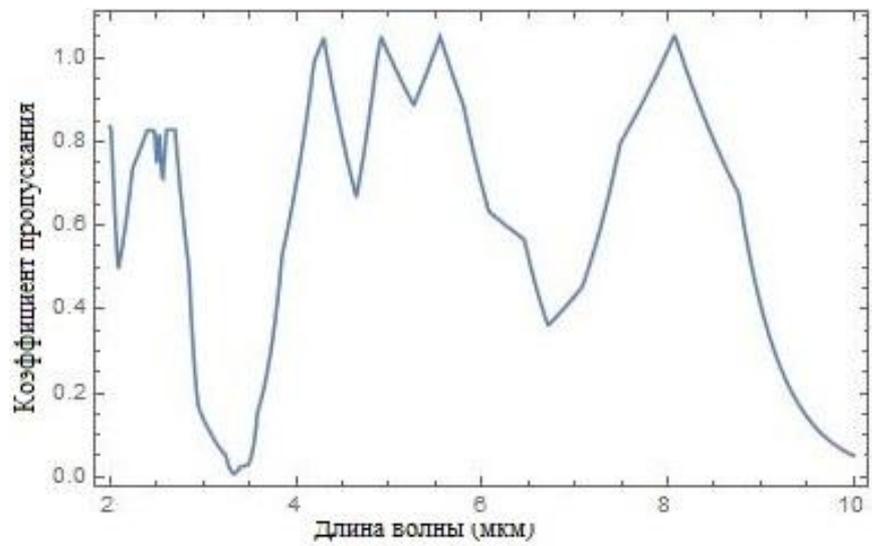


Рис. 6. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны для моды  $HE_{11}$

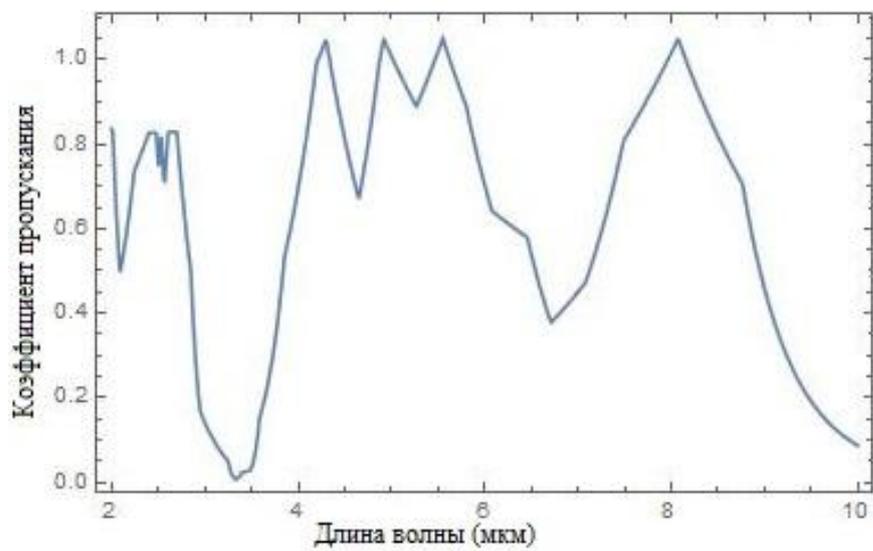


Рис. 7. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны для моды  $HE_{12}$

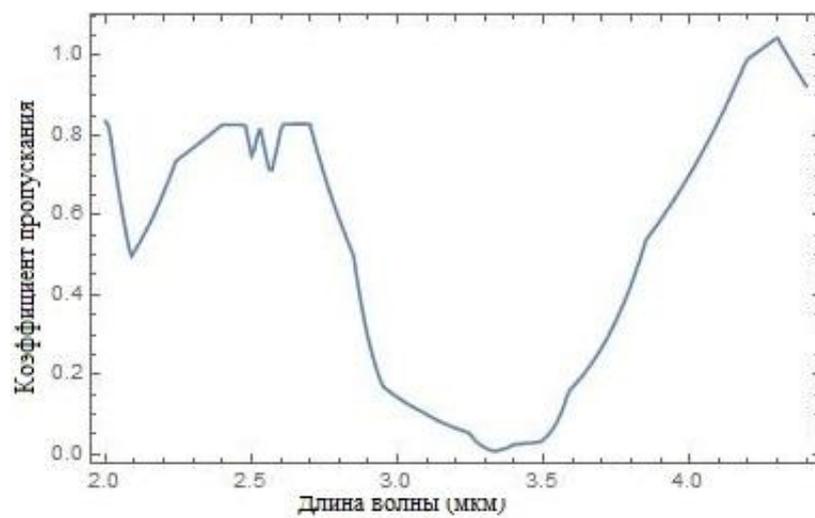


Рис. 8. Зависимость коэффициента пропускания от длины волны для моды  $HE_{13}$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время тема волоконных световодов весьма перспективна. Если сфера применения указанных источников в обозримом будущем достаточно определена, то конкретные методы генерации излучения в среднем ИК диапазоне могут изменяться в зависимости от развития текущих технологий и появления новых подходов. Так несколько новых направлений активно развивается в наши дни, однако их рассмотрение выходит за рамки настоящей работы.

В выпускной квалификационной работе проведен совместный анализ оптических свойств волоконных световодов и свойств халькогенидных стекол, активированных ионами редкоземельных элементов. На основании этого проведены расчеты параметров мод  $HE_{1m}$  в маломодовых световодах, полученных из халькогенидных стекол системы Ga-Ge-As-Se, активированных ионами редкоземельных элементов – празеодима ( $Pr^{3+}$ ) и диспрозия ( $Dy^{3+}$ ). Получены значения коэффициентов затухания мощности мод вдоль оси световода в широком спектральном интервале от 2 до 10 мкм. Показано, что коэффициент затухания мощности сильно меняется по спектру, но имеет близкие значения у мод с разным радиальным порядком. Заметные отличия наблюдаются в области длин волн от 8 до 10 мкм.

Если для накачки таких световодов используется тулиевый лазер с длиной волны около 2 мкм в полосе поглощения иона празеодима, то несущественно, в какой моде передается излучение накачки.

## Список использованных источников

1. Shiryaev V.S., Churbanov M.F. // J.Non-Cryst. Solids. 2013. V.377. P. 225-230.
2. Снайдер, А. Теория оптических волноводов / А. Снайдер, Дж. Лав. Пер. с англ. под редакцией Е.М. Дианова и В.В. Шевченко. — М.: Радио и связь, 1987. — 656 с.
3. Корсакова, С.В. Оптика и спектроскопия / С.В. Корсакова, Е.А. Романова, А.П. Вельмузов и др. — 2018 - С.402-410.
4. Агравал, Г. Нелинейная волоконная оптика / Г. Агравал; пер. с англ. - М. Мир, 1996. - 323 с.
5. Адамс, М. Введение в теорию оптических волноводов / М. Адамс; пер. с англ. - М.: Мир, 1984. — 512 с.
6. Ахманов, С.А. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов / С.А. Ахманов, В.А. Выслоух, А.С. Чиркин. - М.: Наука, 1988. — 312 с.
7. Сидоров, Н.К. Введение в волновую нелинейную оптику / Н.К. Сидоров. Саратов :: Издательство Саратовского университета, 1991.
8. Po, H. Proc. Optical Fiber Communication Conf. / H. Po, E. Snitzer, L. Tumminelli, F. Hakimi, N.M. Chu, T. Haw 1989, paper PD7.
9. Zakery A. Optical nonlinearities in chalcogenide glasses and their applications / A. Zakery. Berlin, Heidelberg, New York : Springer-Verlag, 2007.
10. Бенуэлл, К. Основы молекулярной спектроскопии / К. Бенуэлл; Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 384 с.
11. Горелик, В.С. Современные проблемы спектроскопии комбинационного рассеяния света / В.С. Горелик, под ред. М.М. Сущинского – М.: Наука, 1978. – С.28-47.
12. Ландсберг, Г.С. Журн. Рус. физ.-хим. о-ва / Г.С. Ландсберг, Л.И. Мандельштам. 1928, т.60.- с.355.
13. Дебай, П. Теория электрических свойств молекул / П. Дебай, Г. Закк – 1936. – 144 с.

14. Беккер, Ю. Спектроскопия / Ю.Беккер. – М.: Техносфера, 2009. - 528 с.
15. Толмачев, И.Д. Применение халькогенидных стеклообразных полупроводников в сенсорах и сенсорных системах (обзор) / И.Д. Толмачев, А.В. Стронский ОПТ.Б.и. — 2009. — Вып. 44.
16. Messica A. "J. Appl. Opt." / A. Messica, A. Greenstein, A. Katzir, 1996. V.35. №13. P.2274-2284. doi
17. Лазаренко В. И. Инфракрасные источники среднего ИК диапазона / ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». ИЛФИ. г. Саров Нижегородской обл., 2017.