

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

**Спектральные характеристики полупроводниковых лазерных автодинов**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 411 группы

по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Факультета nano- и биомедицинских технологий

Константиновой Марии Алексеевны

Научный руководитель

д. ф. - м. н., профессор

должность, уч. степени, уч задание

А. В. Скрипаль

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой физики твердого тела

д. ф. - м. н., профессор

должность, уч. степени, уч задание

Д. А. Усанов

подпись, дата

инициалы, фамилия

Саратов 2017

**Введение.** На первых этапах создания полупроводниковых лазеров использовались лазерные диоды с коротким резонатором (100-200мкм). Спектр излучения лазеров с коротким резонатором обычно имеет одну продольную моду, причиной чего является разница усиления соседних мод достигаемых значительной величины из-за большого межмодового интервала. Для изменения длины волны таких лазеров использовали изменение тока накачки и температуры. Недостатком этих лазеров было большое тепловое сопротивление, омическое сопротивление и небольшое значение выходной мощности, приводящее к нестабильной работе лазера.

Характерной особенностью лазеров является их способность генерировать очень короткие импульсы излучения. Это предоставляет большие возможности для изучения быстропротекающих явлений, экспериментального определения параметров откликов электронных схемах и отдельных элементах. Отличительной особенностью полупроводниковых лазеров являются:

1. Малый размер;
2. Небольшой вес;
3. Малая потребляемая мощность от источников питания;
4. Возможно обеспечение различных радиотехнических функций одним устройством.

Эффект автодинного детектирования в полупроводниковом лазере относится к физическим явлениям, при использовании которых существует возможность создать устройство, в котором совмещаются разные радиотехнические функции[6,7,9].

Сложная математическая модель, состоящая из системы нелинейных дифференциальных уравнений, для концентрации носителей заряда, фазы и амплитуды электромагнитного поля, предложенная К. Кобаяши и Р. Лэнгом [5], описывает происходящие одновременно процессы генерации и детектирования. Заметим, что при этом в уравнение для амплитуды поля присутствует слагаемое, учитывающее внешнюю оптическую обратную связь.

Эта модель использовалась в дальнейшем при оценке спектра мощности шума одночастотного лазера[3].

Так же были распространены лазеры с распределенной обратной связью, которые имели достаточно большую оптическую мощность излучения в большом диапазоне температур и одночастотный режим работы.

Актуальность разработанного метода заключается в важности контроля уровня обратной связи с помощью спектрометра. В ходе работы было выявлено, что параллельное подключение спектрометра, при измерениях, позволит утверждать о чистоте снимаемого спектра, при условии исключения измерений с такими же спектрами, как те, которые были получены в экспериментальной части, так как они формируют погрешности.

Цель выпускной квалификационной работы – изучить спектр полупроводникового автодинного сигнала и его зависимость от тока накачки и параметров обратной связи.

Для выполнения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

- провести анализ современного состояния исследований в области теории работы полупроводниковых лазеров с внешней оптической обратной связью;
- собрать установку, включающую в себя полупроводниковый лазер с внешней оптической обратной связью, для определения влияния тока накачки и параметров обратной связи на спектр излучения лазерного автодина.

Дипломная работа занимает 55 страниц, имеет 43 рисунка и 1 таблицу.

Обзор составлен по 20 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой описание лазера как устройства, разъясняется принцип действия и рассматриваются виды лазеров.

Во втором разделе работы представлен полупроводниковый лазер, как отдельный представитель, рассмотрены процессы в лазере и его характеристики.

В третьем разделе работы рассказывается о видах шумов в полупроводниковом лазере, их влияние на сигнал и о подавлении частотного шума с помощью внешней обратной связи.

В четвертом разделе рассмотрена внешняя оптическая обратная связь, её эффекты и подавление шумов обусловленных внешней оптической обратной связью.

В пятом разделе был рассмотрен брэгговский волновод, его отражательные и резонансные характеристики, а так же РОС-лазер.

В шестом разделе описывается собранная установка, результаты и выводы полученные после проведения эксперимента.

### **Основное содержание работы**

**Спектрометр SHR.** Для определения влияния тока накачки и параметров обратной связи на спектр излучения лазерного автодина была собрана измерительная установка, изображенная на Рисунке 1.

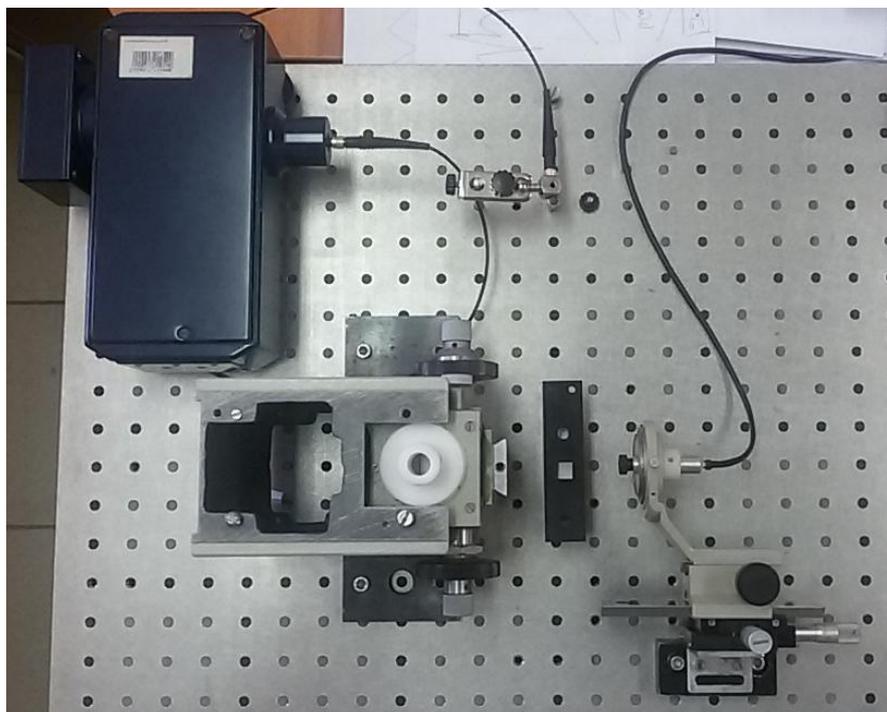


Рисунок 1 – Измерительная установка для исследования влияния тока накачки и параметров обратной связи на спектр излучения лазерного автодина.

При этом использовался спектрометр SHR - компактный, портативный высокоразрешающий прибор без движущихся конструктивных элементов, обеспечивающий возможность проведения в реальном масштабе времени узких спектральных линий в широком спектральном диапазоне. SHR позволяет измерять абсолютное значение длины волны излучения как непрерывных, так и импульсных лазеров с точностью  $\pm 3$  пм в спектральном диапазоне от 190 нм до 1200 нм. SHR подсоединяется к порту Full Speed USB любого настольного компьютера либо ноутбука. Не требует дополнительного источника питания, так как потребляет питание от компьютера.

Основные области применения SHR: контроль длины волны лазерного излучения в лазерной спектроскопии, лазерном разделении изотопов, при юстировке, наладке и тестировании лазерных систем.

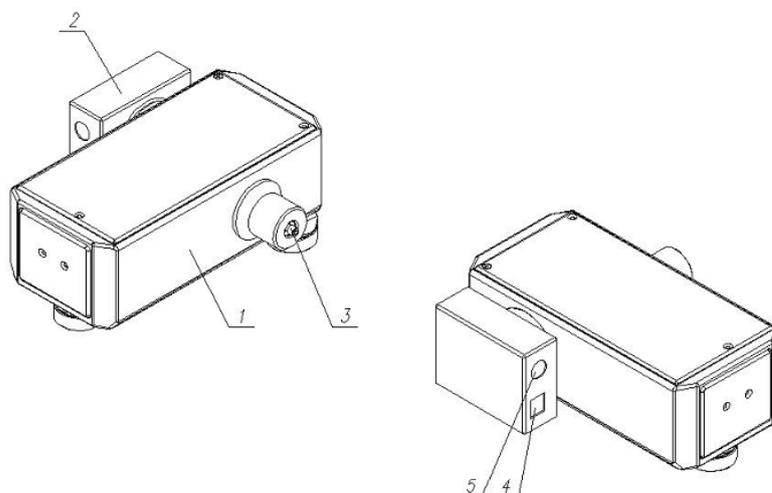


Рисунок 2 - Внешний вид спектрометра SHR. 1 - спектрометр, 2 - многоэлементный детектор, 3 - оптическое волокно, 4 - разъем для подключения USB-кабеля, 5 - разъем для кабеля синхронизации.

**Схема установки.** Схематическое изображение установки показано на Рисунке 3.

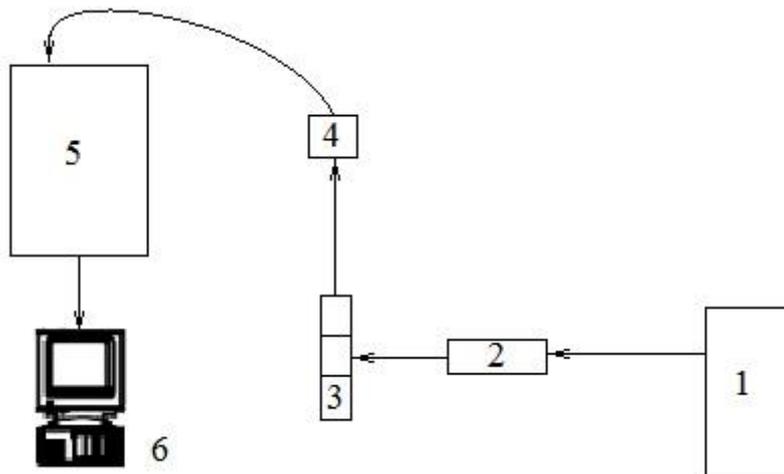


Рисунок 3 - Схема экспериментальной установки: 1 - источник тока, 2 - полупроводниковый лазер, 3 - светоделительная пластина, 4 - оптоволоконно, 5 – спектрометр, 6 – компьютер.

Излучение полупроводникового лазера 2, который запитывался от источника тока 1, направлялось на светоделительную пластину 3. Преломляясь, часть излучения, попадало на оптоволоконный датчик 4, подключенный к спектрометру 5, который в свою очередь был соединен с компьютером 6 при помощи USB-кабеля. С помощью программного обеспечения «W1 meter» исследовали полученные спектры.

**Изменение тока накачки.** Расчеты изменения спектров, при изменении тока накачки, проводились от минимально допустимого тока до максимально допустимого тока прибором. Данные ограничения были вызваны выходной мощностью использованного источника питания.

На Рисунке 4 приведен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина при минимально допустимом токе накачки. В данном случае длина волны равна 654.327 нм.

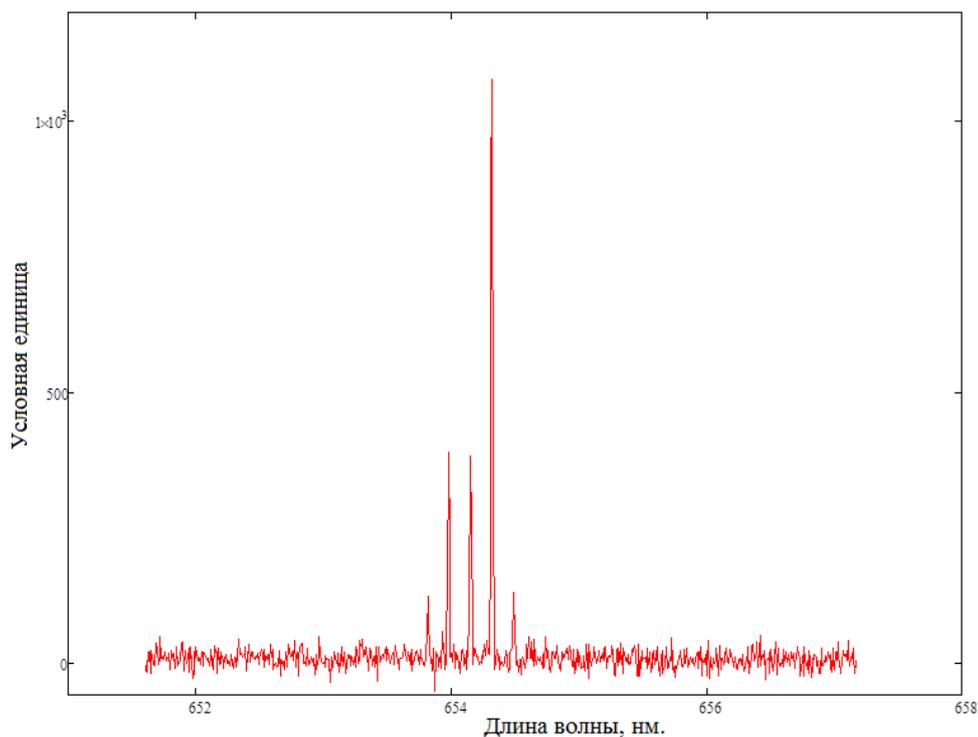


Рисунок 4 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №1.

На Рисунке 5 приведен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина при увеличенном токе накачки относительно измерения №1. В данном случае длина волны равна 654.336 нм.

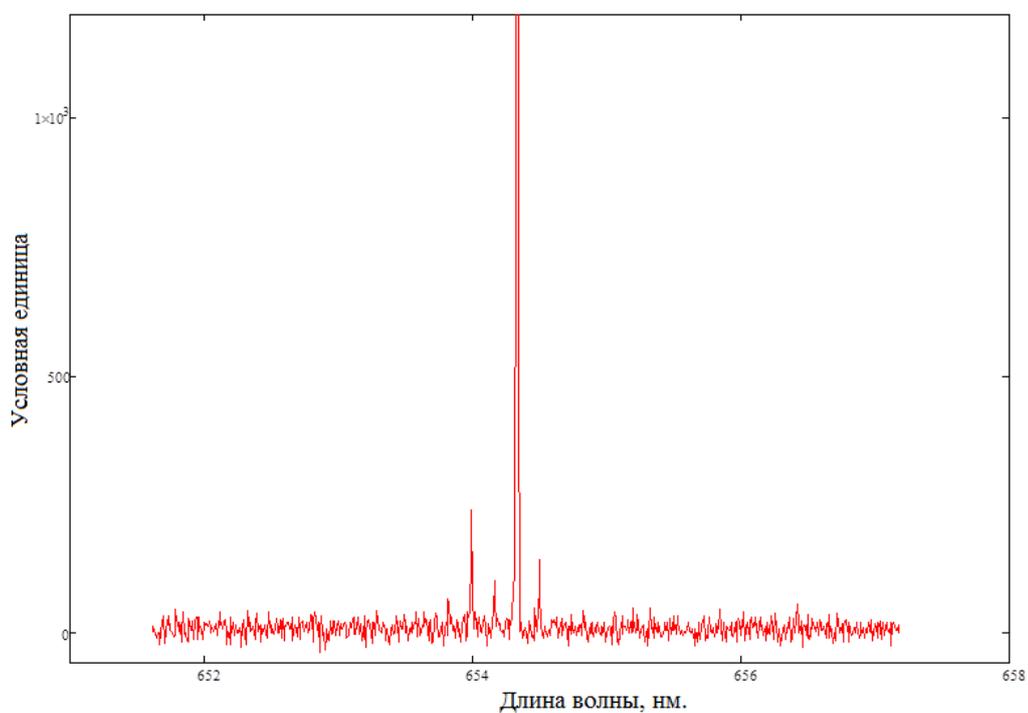


Рисунок 5 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №2.

На Рисунке 6 приведен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина при увеличенном токе накачки относительно измерения №2. В данном случае длина волны равна 654.528 нм.

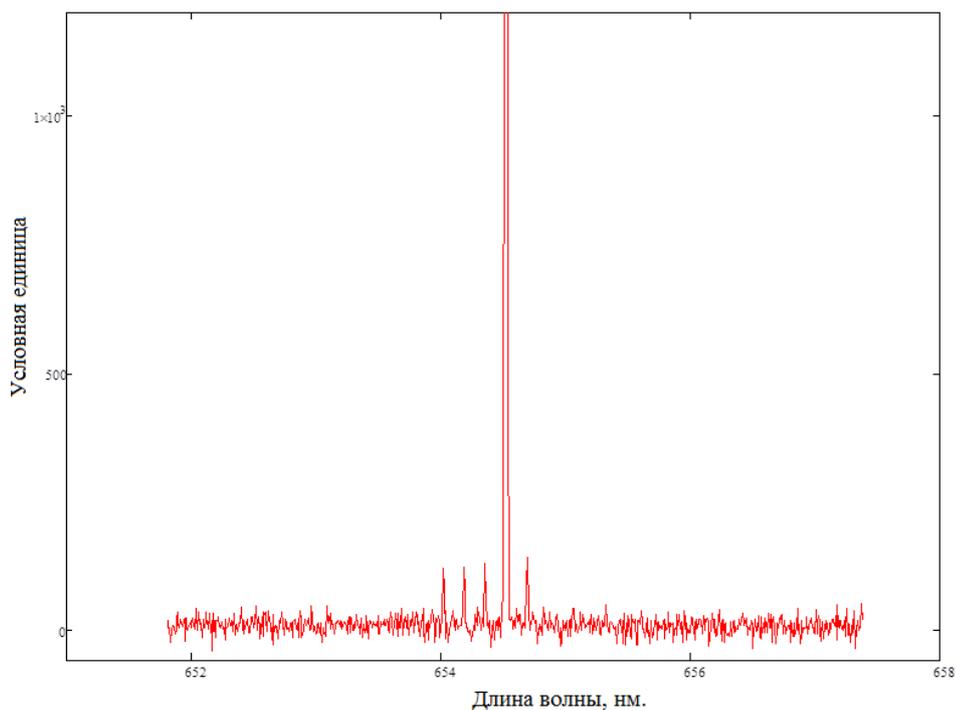


Рисунок 6 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №3.

На Рисунке 7 приведен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина при максимально допустимом токе накачки. В данном случае длина волны равна 654.544 нм.

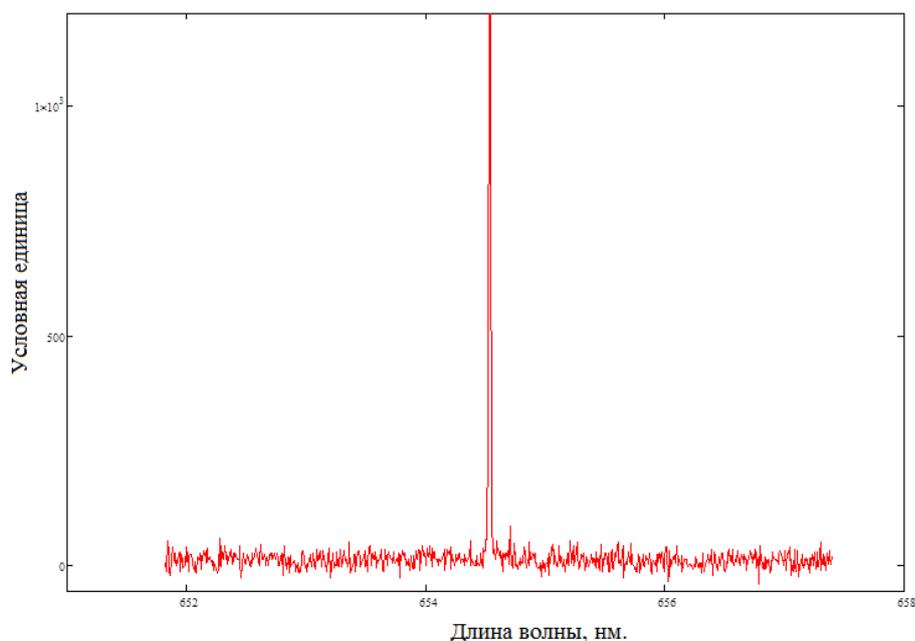


Рисунок 7 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №4.

Из Рисунков 4-7 видно, что при увеличении тока накачки, длина волны увеличивается, происходит высокочастотная перестройка частоты по причине того, что мода становится резонансной. Это обусловлено тем, что чем больше свободных носителей (увеличение концентрации), тем больше показатель преломления, а также эффективная оптическая длина становится больше. Таким образом, с накачкой увеличивается концентрация электронов и увеличивается показатель преломления.

**Изменение фокусировки длины волны.** Расчет изменения фокусировки длины волны проводились от минимального уровня обратной связи, при котором форма автодинного сигнала совпадала с формой интерференционного сигнала, до уровня обратной связи, при котором наблюдалось искажение автодинного сигнала.

На Рисунке 8 приведен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина, при котором форма автодинного сигнала совпадает с формой интерференционного сигнала. Отметим, что длина волны в этом случае равна 654.343нм.

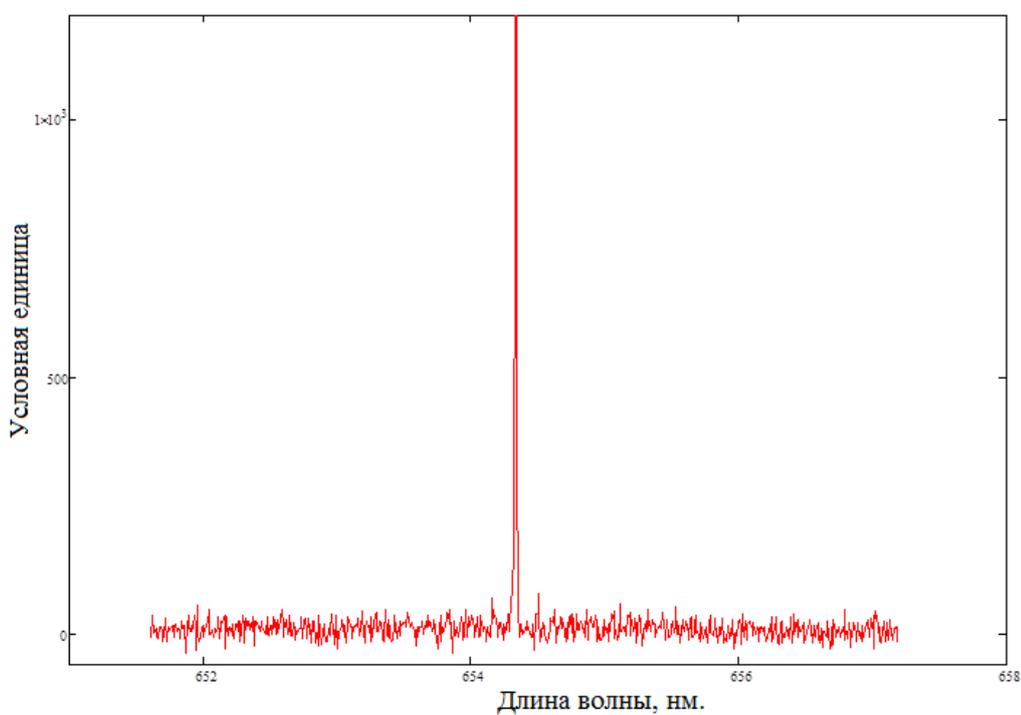


Рисунок 8 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №1.

На Рисунке 9 представлен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина при увеличении уровня обратной связи. При этом длина волны стала равна 654.147 нм.

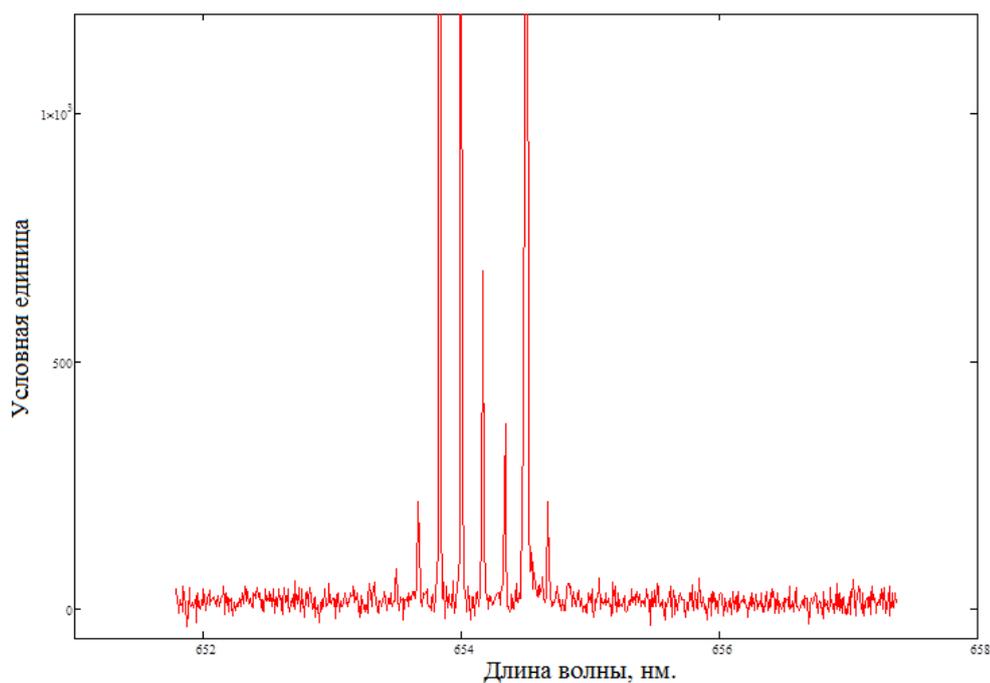


Рисунок 9 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №2.

На Рисунке 10 представлен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина при увеличении уровня обратной связи относительно уровня обратной связи установленного при измерении № 2. При этом длина волны стала равна 654.232 нм.

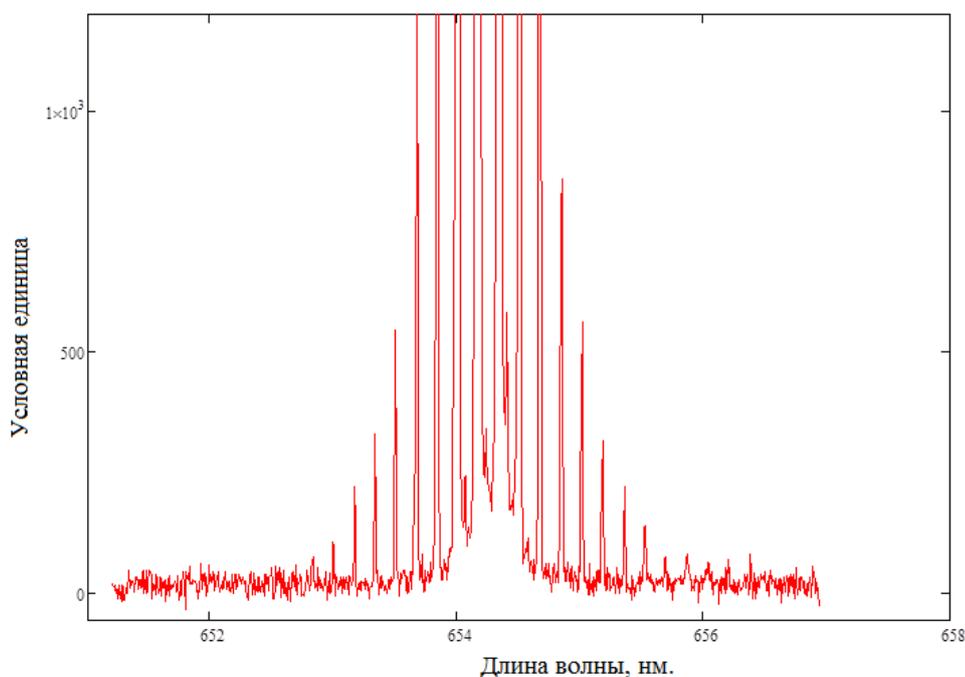


Рисунок 10 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №3.

На Рисунке 11 представлен спектр излучения полупроводникового лазерного автодина при увеличении уровня обратной связи относительно уровня обратной связи установленного при измерении № 3. При этом длина волны стала равна 654.26 нм.

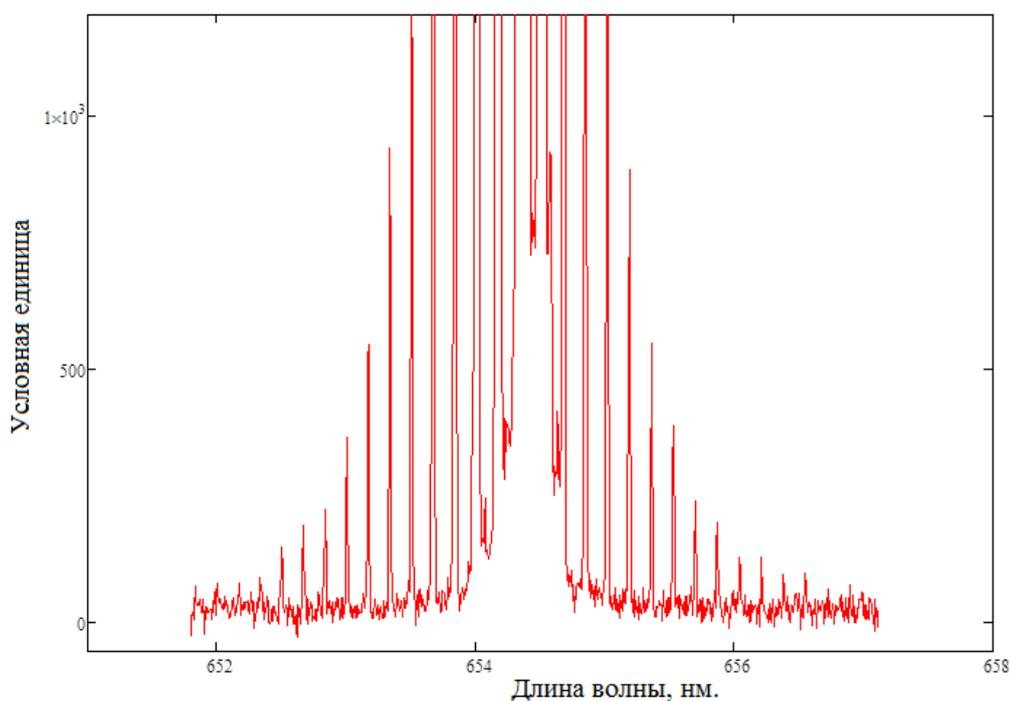


Рисунок 11 – Спектр излучения полупроводникового лазера. Измерение №4.

Из Рисунков 8-11 видно, что при увеличении уровня внешней оптической обратной связи увеличивается количество мод, следовательно, полупроводниковый лазерный автодин переходит в многомодовый режим.

### **Заключение.**

В ходе выполнения квалификационной работы проведен анализ современного состояния исследований в области теории работы полупроводниковых лазеров с внешней оптической обратной связью. Также была собрана установка, включающая в себя полупроводниковый лазер с внешней оптической обратной связью.

Показано, что при увеличении тока накачки, длина волны увеличивается, происходит высокочастотная перестройка частоты по причине того, что мода становится резонансной. Это обусловлено тем, что чем больше свободных носителей (увеличение концентрации), тем больше показатель преломления, а также эффективная оптическая длина становится больше. Таким образом, с накачкой увеличивается концентрация электронов и увеличивается показатель преломления.

Показано, что при увеличении уровня внешней оптической обратной связи увеличивается количество мод, следовательно, полупроводниковый лазерный автодин переходит в многомодовый режим.

Таким образом, из проведенных исследований следует, что важно знать уровень обратной связи и контролировать его с помощью спектрометра. Параллельное подключение спектрометра, при измерениях, позволит утверждать, что снимаемый спектр будет чистым, при условии того, что будем исключать измерения с такими же спектрами, как те, которые получили в экспериментальной части, так как они формируют погрешности.

#### **Список использованных источников**

1. Камия Т. Физика полупроводниковых лазеров / [Т. Камия и др.]; под ред. Х. Такумы; пер. с яп. М. Е. Белкина, Е. Н. Кручины под ред. канд. физ.-мат. наук В. Л. Величанского. М.: Мир, 1989. 310 с.
2. Окоси Т. Волоконно-оптические датчики/ Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х. Нисихара, К. Кюма, К - Хататэ; Под ред. Т. Око-си: Пер. с япон. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 256 с.
3. Усанов Д.А. Лазерные автодинные технологии для анализа нано - и биомедицинских систем: учебное пособие / Д.А. Усанов, Ал. В. Скрипаль, Ан. В. Скрипаль. Саратов, 2008. 204 с.
4. Звелто О. Принципы лазеров/ О. Звелто: Пер. с англ.// 3-е перераб. Изд. М.: Мир, 1990. 560 с.
5. Lang R., Kobayashi K. External optical feedback effects on semiconductor injection laser properties// IEEE J. Quantum Electron. 1980. Vol. QE-16. P. 347-355.
6. Коган И.М. Автодины/ Коган И.М., Тамарчак Д.Я., Хотунцев Ю.Л.// Итоги науки и техники. Сер. Радиотехника. М: ВИНТИ, 1984. Т. 33. 3-175с.
7. Усанов Д.А. Физика полупроводниковых радиочастотных и оптических автодинов/ Усанов Д.А., Скрипаль Ал.В., Скрипаль Ан.В. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2003. 312с.
8. Solar laser systems [Электронный ресурс] / Copyright SOLAR Laser Systems 2002-2017. URL: <https://solarlaser.com/ru/> (дата обращения 18.05.2017). Яз. рус.

9. Гершензон Е.М. Автодинные и модуляционные характеристики инжекционных полупроводниковых лазеров/ Гершензон Е.М., Туманов Б.Н., Левит Б.И.// Изв. Вузов. Радиофизика. 1980. Т.23 №5. 535-541с.
10. Усанов Д.А. Полупроводниковые лазерные автодины для измерения параметров движения при микро- и наносмещениях / Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2014. 132с.
11. Пихтин А.Н. Оптическая квантовая электроника / А.Н. Пихтин. М.: Высшая школа, 2001. 573 с.
12. Усанов Д.А. Изменение спектра сигнала лазерного полупроводникового автодина при фокусировке излучения/ Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, К.С. Авдеев // Изв. вузов «ПНД», т. 17, № 2, 2009. 54 - 64 с.
13. Хаус Х. Волны и поля в оптоэлектронике / Х. Хаус: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 432 с.
14. Гершензон Е. М. Автодинные и модуляционные характеристики инжекционных полупроводниковых лазеров/ Гершензон Е. М., Туманов Б. Н., Левит Б. И.// Изв. вузов. Радиофизика. 1980. Т.23, №5. 535–541 с.
15. Kobayashi S., Yamamoto Yo., Ito M., Kimura T. Direct frequency modulation in AlGaAs semiconductor lasers// IEEE Journ. Quant. Electron.1982. QE-18, N 4. P. 582.
16. Усанов Д.А. Измерение амплитуды нановибраций с помощью полупроводникового лазерного автодина с учетом влияния обратной связи / Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Кащавцев Е.О., Калинин М.Ю.// Письма в ЖТФ. 2012. Том 38, № 12. 81-86 с.
17. Астахов Е.И. Автодинная интерферометрия расстояния при модуляции длины волны излучения полупроводникового лазера/ Астахов Е.И., Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Добдин С.Ю.// Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика № 3, том 15, 2015. 12–15 с.
18. Economou G., Youngquist R. G., Davies D. E. N. Limitations and noise in interferometric systems using frequency ramped single-mode diode lasers // Journ. Lightwave Technol. 1986. LT-4,N11. P. 1601.

19. Сурис Р. А. Когерентность и спектральные свойства излучения полупроводникового лазера с внешним отражателем/ Сурис Р. А., Тагер А. А.// Квантовая электроника. 1984. Т.11, №4. 35–43с.
20. Bosch Th., Servagent N., Donati S. Optical feedback interferometry for sensing application // Opt. Eng. 2001. 40, N 1. P. 20.