

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

Кафедра физики твёрдого тела

**ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА
АВТОДИННУЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЮ РАССТОЯНИЯ ПРИ
ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 2 курса 201 группы
по направлению 11.04.04 «Диагностика nano- и биомедицинских систем»
факультета nano- и биомедицинских технологий
Плотниковой Марии Алексеевны

Научный руководитель

д. ф.- м. н., профессор

должность, уч. степени, уч. звание

подпись, дата

Ан. В. Скрипаль

инициалы, фамилия

И. о. зав. кафедрой

д. ф.- м. н., профессор

должность, уч. степени, уч. звание

подпись, дата

Ал. В. Скрипаль

инициалы, фамилия

Саратов 2019

ВВЕДЕНИЕ

Целью выпускной квалификационной работы являлось исследование влияния внешней оптической обратной связи на точность определения расстояния в методе автодинной интерферометрии с токовой модуляцией длины волны лазерного излучения.

Задачи практики: Провести анализ современного состояния исследований в области теории работы полупроводниковых лазеров с внешней оптической обратной связью. Провести анализ современного состояния исследований в области влияния внешней оптической обратной связи на форму и спектр автодинного сигнала. Провести компьютерное моделирование формы и спектра автодинного сигнала при токовой модуляции с разными уровнями внешней оптической обратной связи. Провести сравнительный анализ влияния уровня ВООС на форму и спектр автодинного сигнала, смоделированного методом гармонической токовой модуляции. Оценить погрешности измерений при наличии внешней оптической обратной связи.

Содержание выпускной квалификационной работы:

- 1 Характеристики и описание процессов в полупроводниковом лазере
- 2 Шумы в полупроводниковых лазерах. Амплитудные и частотные
 - 2.1 Лазерные шумы. Внешние и внутренние. Подавление частотного шума с помощью внешней отрицательной обратной связи
3. Внешняя оптическая обратная связь в полупроводниковых лазерах
 - 3.1 Эффекты внешней оптической обратной связи
 - 3.2 Влияние внешней оптической обратной связи на формирование автодинного сигнала при вибрации
 - 3.3 Влияние внешней оптической обратной связи на спектр автодинного сигнала при вибрации
 - 3.4 Модель составного резонатора. Подавление шумов обусловленных внешней оптической обратной связью
- 4 Динамически одночастотные полупроводниковые лазеры. Условия

одночастотного режима

- 4.1 Брэгговский волновод. Отражательные и резонансные характеристики. РОС-лазер
- 5 Форма и спектр автодинного сигнала при токовой модуляции
- 6 Автодинная интерферометрия расстояния
- 6.1 Метод интерферометрии основанный на использовании гармонической модуляции излучения лазерного автодина
- 7 Моделирование влияния внешней оптической обратной связи на форму и спектр автодинного сигнала методом гармонической токовой модуляции

Основное содержание работы

Используя формулы (1) – (5) для расчета мощности излучения частотномодулированного полупроводникового лазера и программного обеспечения «РТС Mathcad» были смоделированы частотномодулированные автодинные сигналы и их спектры при различных уровнях внешней оптической обратной связи и при различных расстояниях до внешнего отражателя.

$$P(j(t)) = P_1(j(t)) + P_2 \cos(\omega(j(t))\tau_0(t)), \quad (1)$$

где $P_1(j(t))$ составляющая мощности, независимая от расстояния до внешнего отражателя, P_2 – амплитудная составляющая мощности, зависящая от фазы волны, являющейся результатом интерференции отраженной волны от объекта с волной, излучаемой лазером, τ_0 – время обхода лазерным излучением расстояния до объекта, $\omega(j(t))$ – частота излучения полупроводникового лазера, зависящая от плотности тока накачки $j(t)$ и уровня обратной связи.

При частотной модуляции излучения полупроводникового лазера частота и амплитудная составляющая мощности излучения лазера определяются соотношениями:

$$\omega(j(t)) = \omega_0 + \Delta\omega \cdot \sin(2\pi \nu_1 t), \quad P_1(j(t)) = I_1 \sin(2 \cdot \pi \cdot \nu_1 \cdot t), \quad (2)$$

где ω_0 – собственная частота излучения полупроводникового лазерного диода; $\Delta\omega$ – девиация частоты излучения полупроводникового лазерного диода; ν_1 – частота модуляции тока питания лазерного диода, I_1 – амплитуда токовой модуляции составляющей $P_1(j(t))$.

Таким образом, выражение для мощности излучения частотномодулированного полупроводникового лазера (1) запишется в виде:

$$P(j(t)) = I_1 \sin(2\pi\nu_1 t) + P_2 \cos(\omega_0 \tau_0 + \Delta\omega \tau_0 \sin(2\pi\nu_1 t)), \quad (3)$$

$$\omega_0 \tau = \omega \tau + C \cdot \sin(\omega \tau + \psi),$$

где стационарная фаза автодинного сигнала $\theta = \omega_0 \tau_0$, амплитуда фазы токовой модуляции $\sigma = \Delta\omega \tau_0$, круговая частота модуляции тока питания лазерного диода $\Omega = 2\pi\nu_1$.

Для описания низкочастотного спектра автодинного сигнала при гармонической частотной модуляции излучения лазерного диода мощность автодинного сигнала может быть представлена в виде разложения в ряд по функциям Бесселя первого рода J_n :

$$P(t) = I_1 \sin(\Omega t) + P_2 \cos(\theta) J_0(\sigma) + 2P_2 \cos(\theta) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\sigma) \cdot \cos(2n \cdot (\Omega t)) - 2P_2 \sin(\theta) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(\sigma) \cdot \cos((2n-1)(\Omega t)), \quad (4)$$

и в ряд Фурье с коэффициентами разложения a_n и b_n :

$$P(t) = a_0 / 2 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_{2n} \cos(2n\Omega t) - b_{2n} \sin(2n\Omega t)) + \sum_{n=1}^{\infty} (a_{2n-1} \cos((2n-1)\Omega t) - b_{2n-1} \sin((2n-1)\Omega t)), \quad (5)$$

Для определения расстояния до объекта L , входящего в параметр σ , используем отношения для S_{2n} и S_{2n+2} и отношение S_{2n+1} и S_{2n+3} спектральных гармоник Фурье-спектра автодинного сигнал:

$$S_{2n} / S_{2n+2} = (J_{2n}(\sigma)) / (J_{2n+2}(\sigma)), \quad (6)$$

$$S_{2n+1} / S_{2n+3} = (J_{2n+1}(\sigma)) / (J_{2n+3}(\sigma)). \quad (7)$$

Решение полученных уравнений (59) и (60) относительно неизвестного параметра $\sigma = \Delta\omega\tau_0$, требует знания параметров токовой модуляции лазерного автодина, в частности, девиации частоты излучения лазерного диода ω_A . Принимая во внимание, что $\tau_0 = 2 \cdot L / c$, получаем соотношение для определения расстояния до объекта:

$$L = \frac{c}{2} \cdot \frac{\sigma}{\Delta\omega}. \quad (8)$$

Моделирование автодинного сигнала с использованием данного метода проводилось при параметрах: $\lambda=650$ нм, девиация частоты излучения полупроводникового лазерного диода $\Delta\omega = 3.123 \cdot 10^{10}$ рад/с. Модуляция длины волны излучения проводилась на частоте $\nu_1 = 100$ Гц. Расстояние до объекта было выбрано в диапазоне от 10 см до 60 см, при этом уровень ВООС был выбран в диапазоне значений равно $0 \leq C \leq 1$.

На погрешность в определении расстояния до отражателя будет существенным образом влиять точность определения амплитуд спектральных составляющих автодинного сигнала, которая в свою очередь зависит от зашумленности автодинного сигнала.

Для увеличения точности измерений гармоническим методом использовалась процедура анализа автодинного сигнала, включающая регистрацию амплитуд спектральных составляющих и выбор пары таких составляющих, которые дают минимальную погрешность.

Смоделировав частотномодулированные автодинные сигналы и их спектры при различных уровнях внешней оптической обратной связи и при различных расстояниях до внешнего отражателя были получены зависимости мощности излучения лазерного диода от времени, при расстоянии до отражателя в диапазоне от 10 см до 60 см и уровнем внешней оптической обратной связи в диапазоне значений равно $0 \leq C \leq 1$. Также были получены

спектры автодинного сигнала при соответствующих расстояниях и уровнях внешней оптической обратной связи.

Далее используя формулы (6) – (8) были рассчитаны расстояния до объекта и минимальные погрешности при разных уровнях внешней оптической обратной связи. Результаты расчета минимальной погрешности при разных уровнях внешней оптической обратной связи (ВООС) представлены на Рисунках 1-6.

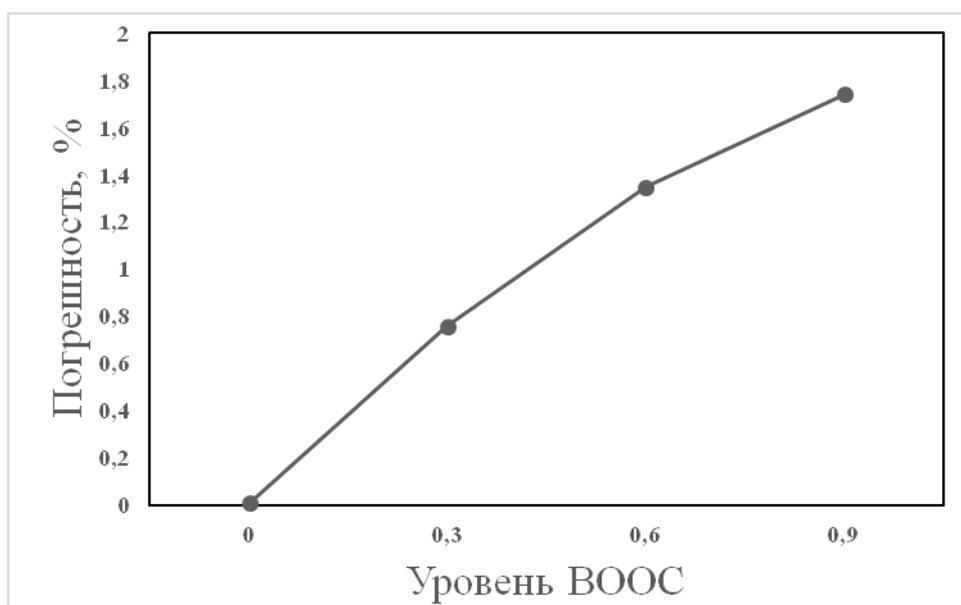


Рисунок 1- Зависимость разброса измеряемых величин от уровня ВООС при 10 см для метода автодинного детектирования с гармонической токовой модуляцией.

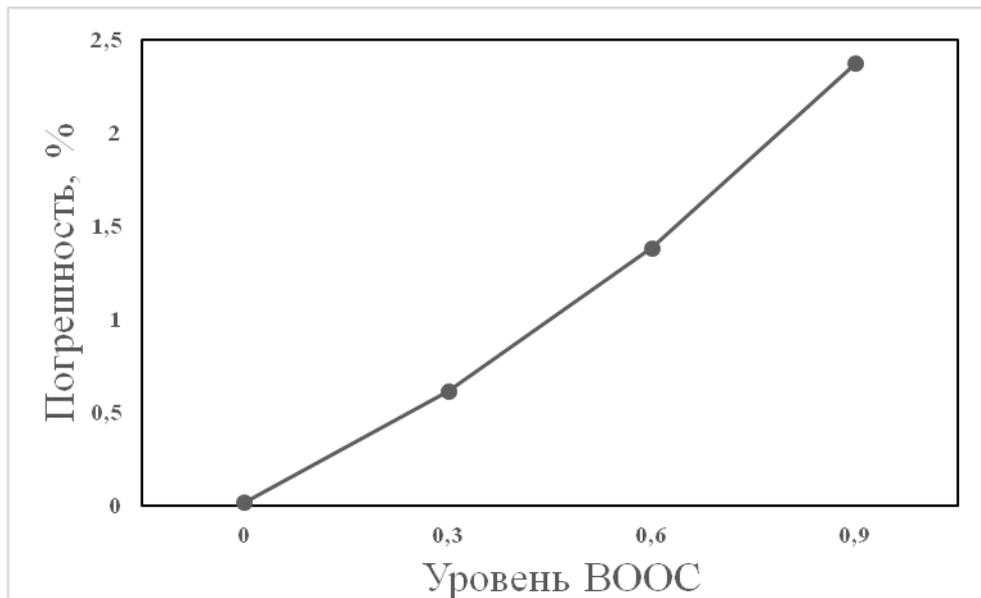


Рисунок 2- Зависимость разброса измеряемых величин от уровня ВООС при 20 см для метода автодинного детектирования с гармонической токовой модуляцией.

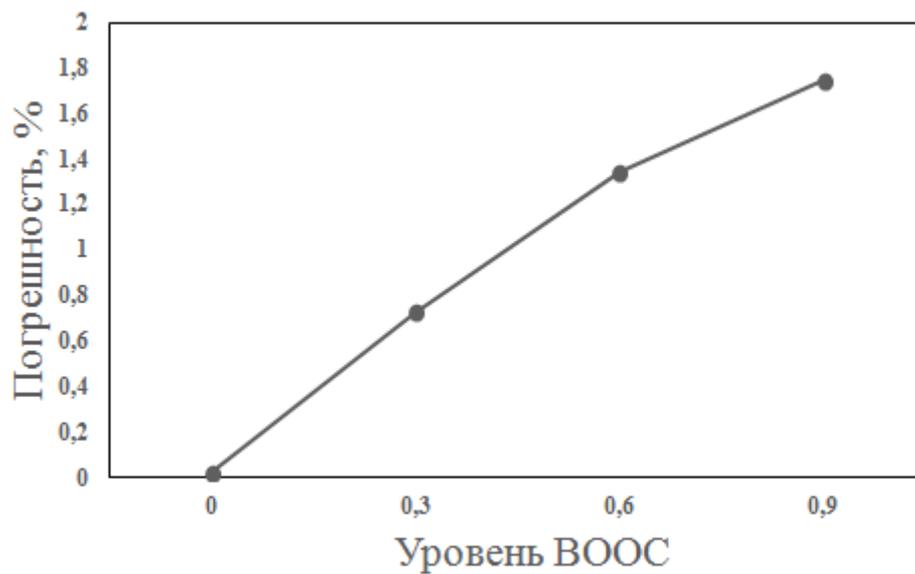


Рисунок 3- Зависимость разброса измеряемых величин от уровня ВООС при 30 см для метода автодинного детектирования с гармонической токовой модуляцией.

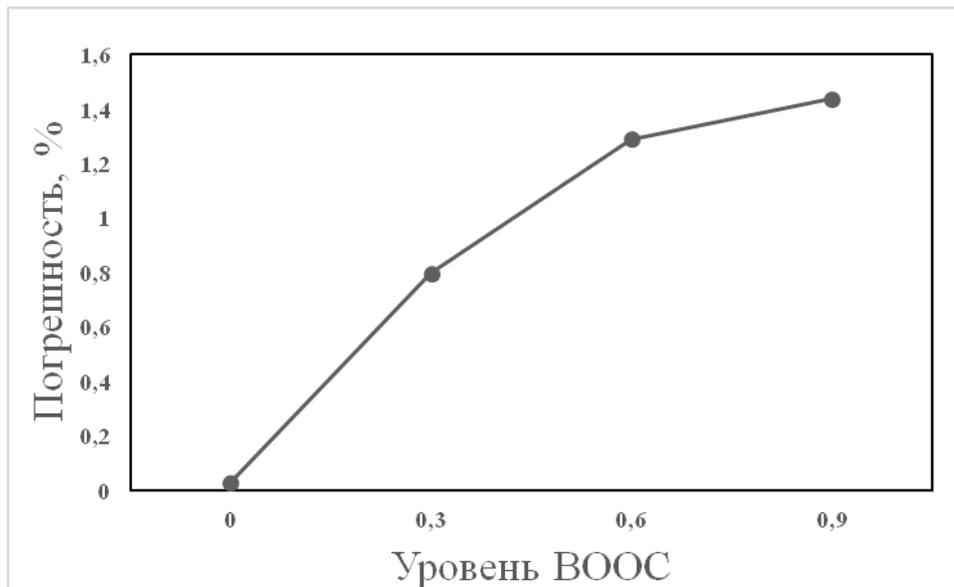


Рисунок 4- Зависимость разброса измеряемых величин от уровня ВООС при 35 см для метода автодинного детектирования с гармонической токовой модуляцией.

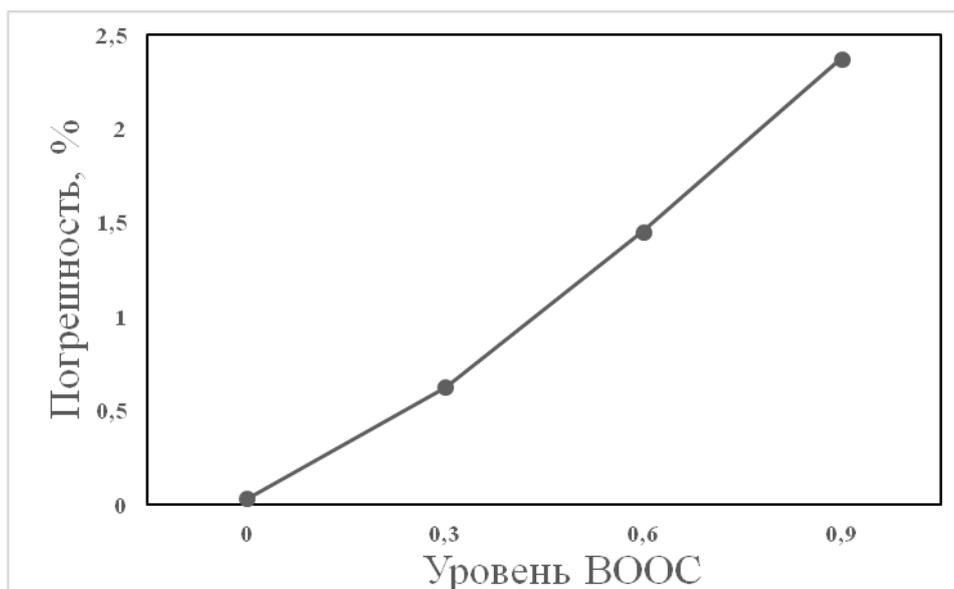


Рисунок 5- Зависимость разброса измеряемых величин от уровня ВООС при 50 см для метода автодинного детектирования с гармонической токовой модуляцией.

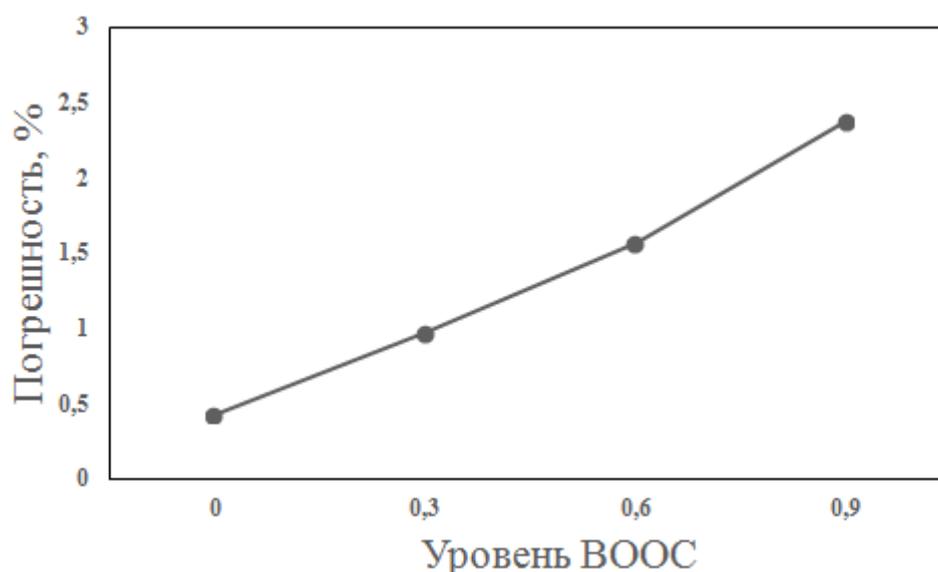


Рисунок 6- Зависимость разброса измеряемых величин от уровня ВООС при 60 см для метода автодинного детектирования с гармонической токовой модуляцией.

Также был проведен расчет разброса в определении расстояния до отражателя для различных наборов спектральных гармоник. Расстояние до объекта было выбрано в размере 30 см. В ходе расчета задавались различные наборы гармоник, и определялось расстояние до объекта при следующих уровнях ВООС $C=0$, $C=0.01$, $C=0.3$, $C=0.6$, $C=0.9$. Результаты такого расчета приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Погрешность определения расстояния по промоделированному спектру автодинного сигнала при гармонической модуляции излучения лазера, при заданном расстоянии и уровнях ВООС.

Расстояние до отражателя 30 см					
C	0	0,01	0,3	0,6	0,9
$\Delta L, \text{мм}$	0,013	0,198	6,2	11,4	14,96

Таким образом, показано, что с ростом уровня внешней оптической обратной связи увеличивается погрешность определения расстояния методом гармонической токовой модуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведен анализ современного состояния исследований в области теории работы полупроводниковых лазеров с внешней оптической обратной связью, были исследованы особенности формирования автодинного сигнала при гармонической токовой модуляции, исследовано влияние внешней оптической обратной связи на спектр автодинного сигнала при гармонической токовой модуляции. Также было промоделировано влияние параметров обратной связи на спектр излучения лазерного автодина.

Из результатов моделирования следует, что с ростом уровня оптической обратной связи возрастает погрешность. Также погрешность возрастает в том случае, когда увеличивается расстояние до отражателя. Обусловлено это тем, что чем больше расстояние до отражателя, тем большие номера гармоник спектров автодинного сигнала мы используем для определения расстояния до объекта.