

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

Кафедра физики твёрдого тела

**«ИЗМЕРЕНИЕ МИКРО- И НАНОСМЕЩЕНИЙ ПРИ
МОДУЛЯЦИИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО АВТОДИНА»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 3 курса 314 группы
по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета нано- и биомедицинских технологий
Кокун Александра Сергеевича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Ю. Добдин

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.А. Усанов

инициалы, фамилия

Саратов 2018

Введение. Данная дипломная работа посвящена изучению и анализу существующих методов измерения микро- и наносмещений основанных на использовании лазера, проведению компьютерного моделирования, а также проведению эксперимента по измерению микро- и наносмещений с использованием автодинной установки при токовой модуляции.

Интерес к бесконтактным методам измерения обусловлен развитием современных технологий требующих непрерывного контроля над различными параметрами. Параметры исследуемого образца или параметры создаваемой структуры. Применение бесконтактных методов измерения различных состояний биологических объектов. Это делает все более востребованными бесконтактные средства измерения. Возникает необходимость нахождения способов увеличения разрешающей способности бесконтактных методов измерения, так как прямое определение параметров не всегда представляется возможным.

Цели и задачи работы

Цель исследования – определить микро- и наносмещения внешнего отражателя при токовой модуляции лазерного автодина.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

Поставленные задачи:

1. Провести критический анализ методов определения расстояний при микро- и наносмещениях.
2. Провести компьютерное моделирование, позволяющее по сигналу полупроводникового лазерного автодина определить смещение внешнего отражателя.
3. Экспериментально определить расстояния смещения при токовой модуляции полупроводникового лазерного автодина.

Бакалаврская работа содержит 4 главы:

1. Лазеры

1.1 *Принцип действия лазеров*

1.2 *Конструкция лазеров*

1.2.1 *Активные среды лазеров*

1.2.2 *Источник накачки*

1.2.3 *Оптический резонатор*

1.2.4 *Типы лазеров*

2. Известные методы измерения расстояний.

2.1 *Лазерная интерферометрия*

2.2 *Гомодинный метод*

2.3 *Гетеродинный метод*

2.4 *Полупроводниковый лазерный автодин*

2.5 *Лазерные доплеровские методы*

2.6 *Голографический метод*

3. Компьютерное моделирование

4. Экспериментальное определение смещения объекта

4.1 *Установка*

4.2 *Экспериментальное определение расстояния*

Основное содержание

Первый раздел описываются принцип действия лазера, конструкция лазеров и их типы.

Второй раздел посвящен рассмотрению таких методов определения микро- и наносмещений как: метод лазерной интерферометрии, гомодинный, гетеродинный, лазерный доплеровский, голографический, автодинный метод, а также критическому анализу этих методов

В третьем разделе описываются моделирование по решению обратной задачи для определения расстояния смещения внешнего отражателя.

Переменная составляющая автодинного сигнала в используемой модели записывается в виде(1):

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

С учетом модуляции длины волны полупроводникового лазера, выражение будет иметь вид(2).

$$P(j(t)) = I_1 \sin(2\pi\nu_1 t + \varepsilon_1) + I_2 \sin(2\pi\nu_1 t + \varepsilon_1) * \cos(\theta + \sigma * \sin(2\pi\nu_1 + \varepsilon_1)) \quad (2)$$

Для описания низкочастотного спектра автодинного сигнала при гармонической модуляции длины волны излучения лазерного диода мощность автодинного сигнала представлена в виде разложения в ряд по функциям Бесселя первого рода J_n и в ряд Фурье с коэффициентами разложения a_n и b_n .

$$S_{2n} = \sqrt{a_{2n}^2 + b_{2n}^2}, S_{2n+1} = \sqrt{a_{2n+1}^2 + b_{2n+1}^2} \quad (3)$$

$$S_{2n} = \sin(\theta) I_2 (J_{2n-1}(\sigma) - J_{2n+1}(\sigma)) \quad (4)$$

$$S_{2n+1} = \cos(\theta) I_2 (J_{2n}(\sigma) - J_{2n+2}(\sigma)) \quad (5)$$

Соотношение (4)-(5) показывают связь между спектральными составляющими частотно-модулированного автодинного сигнала и функциями Бесселя первого рода.

Для определения расстояния до объекта L , входящего в параметр σ используем отношение $2n$ и $2n+2$ спектральных гармоник и отношение $2n+1$ и $2n+3$ спектральных гармоник:

$$\frac{S_{2n}}{S_{2n+2}} = \frac{(J_{2n-1}(\sigma) - J_{2n+1}(\sigma))}{(J_{2n+1}(\sigma) - J_{2n+3}(\sigma))} \quad (6)$$

$$\frac{S_{2n+1}}{S_{2n+3}} = \frac{(J_{2n}(\sigma) - J_{2n+2}(\sigma))}{(J_{2n+2}(\sigma) - J_{2n+4}(\sigma))} \quad (7)$$

Решение полученных уравнений (6) и (7) относительно неизвестного параметра $\sigma = \omega_A \tau_0$ требует знания параметров токовой модуляции лазерного автодина, в частности девиации частоты излучения лазерного диода ω_A .

Зная параметр σ можно определить θ как:

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{S_{2n+1} * I_{2n}(\sigma)}{S_{2n} * I_{2n+1}(\sigma)} \right) \quad (8)$$

Принимая во внимание то что $\tau_0 = \frac{\theta}{\omega_0}$, получаем соотношение для определения расстояния до объекта:

$$L = \frac{c}{2} * \frac{\theta}{\omega_0} \quad (9)$$

Используя уравнения (6) и (7) были рассчитаны значения параметров σ по наборам четных и не четных спектральных гармоник. При этом было установлено что вычисленное из спектров автодинного сигнала значение параметра σ совпадает с заданным при компьютерном моделировании автодинного сигнала при соответствующих частотах девиации, что позволяет с высокой точностью определить расстояние до объекта.

В четвертом разделе описывается экспериментальная установка и экспериментальное определение смещения.

Экспериментальная установка.

Установка состоит из полупроводникового лазерного автодина на базе диода RLD-650 с дифракционно-ограниченной одиночной пространственной модой. Излучение полупроводникового лазера направлялось на поверхность объекта, закрепленного на шаговом трансляторе. Питание полупроводникового лазера осуществлялось с помощью генератора сигналов лабораторной станции на базе NI ELVIS. Тока питания, полупроводникового лазерного диода изменялся за счет изменения напряжения питания, подаваемого на полупроводниковый лазер с LD драйвера управляющего током питания. После отражения от поверхности объекта излучение попадает на фотоприемник. После регистрации сигнал проходит усиление и фильтрацию и поступает на вход АЦП соединенного с компьютером. Измерение девиации частоты

лазерного излучения $\Delta\lambda$ производилось спектрометром высокого разрешения SHR (SolarLaserSystems).

Была разработана программа в среде Lab VIEW 8.5. Модельный гармонический сигнал в программе LabVIEW Arbitrary Waveform Editor.

Подача сигнала осуществлялась с помощью LabVIEW Arbitrary Waveform Generatr. длина волны излучения лазера составила $\lambda = 654$ нм. Модуляция длины волны лазерного диода производилось на частоте $\nu = 300$ Гц за счет модуляции тока питания

Результаты исследования

Целью эксперимента было определение смещения. Для этого бы ли зарегистрированы сигналы при разных положениях зонда R1-R6, с полупроводникового лазерного автодина

После проведения вычислений по экспериментально полученным сигналам полупроводникового лазерного автодина, были определены следующие значения смещения: 29, 32, 27, 31, 28, нм.

Из результатов экспериментальных исследований видно, что метод токовой модуляции позволяет определить смещение внешнего отражателя по экспериментальным функциям с высокой точностью.

Заключение

В ходе выполнения курсовой работы были получены следующие результаты:

1. Рассмотрены методы определения расстояний при микро- и наносмещениях.
2. Проведено компьютерное моделирование, позволяющее по сигналу полупроводникового лазерного автодина определить смещение внешнего отражателя.
3. Экспериментально определены смещения при модуляции длинны волны излучения полупроводникового лазерного автодина.

Была разработана программа в программном обеспечении LabVIEW предназначенная для модуляции тока питания лазерного диода

В ходе проведения экспериментальных исследований были определены наносмещения при модуляции длины волны излучения полупроводникового лазерного автодина. Были определены следующие значения смещения: 29, 32, 27, 31, 28, нм.