

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

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА
ПРИ НАНО- И МИКРОСМЕЩЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО АВТОДИНА»**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

студента 4 курса 4051 группы
по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
Института физики
Селезнёва Михаила Александровича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.		15.06.22	С.Ю. Добдин
должность, уч. степень, уч. звание	подпись, дата		инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.		15.06.2022	А.В. Скрипаль
должность, уч. степень, уч. звание	подпись, дата		инициалы, фамилия

Саратов 2022

Содержание

Введение

1. Устройство лазеров
 - 1.1 Принцип действия и конструкция лазеров
 - 1.2 Активные среды лазеров
 - 1.3 Источник накачки
 - 1.4 Оптический резонатор
 - 1.5 Типы лазеров
2. Методы определения параметров движения
 - 2.1 Лазерная интерферометрия
 - 2.2 Гомодинный метод
 - 2.3 Гетеродинный метод
 - 2.4 Лазерные доплеровские методы
 - 2.5 Полупроводниковый лазерный автодин
3. Компьютерное моделирование автодинного сигнала при равномерном и ускоренном движении отражателя
 - 3.1 Алгоритм анализа автодинного сигнала
 - 3.2 Модель автодинного сигнала при амплитуде вибраций
4. Экспериментальное определение параметров движения объекта при равномерном и ускоренном движении отражателя
 - 4.1 Экспериментальная установка
 - 4.2 Экспериментальное определение параметров движения объекта

Заключение

Для измерения параметров движения объектов при микро- и наносмещениях широкое распространение получили методы, основанные на использовании эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых лазерах. Автодинные измерительные обладают уменьшенными габаритами, весом, низким энергопотреблением [1].

Она совмещает функции генератор и детектор фазы электромагнитной волны в одном устройстве. В состав системы входит полупроводниковый лазер и внешний отражатель. Возвращаемая внешними отражателями в резонатор лазера волна изменяет концентрацию носителей зарядов на активной среде и влияет на показатели преломления активированной области. Изменения показателя преломления, в свою же очередь, вызывают изменение оптической частоты генерации. Поскольку в силу вышеизложенной причины форма автодинного сигнала начинает отличаться от формы интерференционного сигналов, формируемых таким же движением отражателя на фоне системы с развязкой источника излучения [1].

Автодинные системы используются для контроля перемещений. Известна их высокое качество чувствительности к микро- и нановибрациям. В частности, был разработан метод измерений сверхмалых скоростей теплового расширения твердого тела в ограниченный временной промежуток, проводимых на основе анализе низкочастотного спектра автодинной частоты сигнала[2].

При проведении измерений с высокой степенью локальности область применения автодинных измерителей существенно расширяется. В частности, удастся определить параметры вибраций биологических объектов, непосредственное измерение параметров движений которых является сложной задачей. Однако при увеличении локальности отражения от объекта исследований может расти уровень внешней оптической обратной связи, которая оказывает существенное влияние на форму автодинного сигнала полупроводникового лазерного излучателя и, как результат, на точность

определения параметров движения отражателя в автодинных системах. Актуальным направлением автодинной лазерной интерферометрии является разработка новых методик регистрации и анализа параметров движений, позволяющих учитывать недоработки существующих методов.

Данная выпускная квалифицированная работа посвящена изучению и анализу существующих методов измерения параметров движения объекта при микро- и наносмещениях, проведению компьютерного моделирования, а также проведению эксперимента по измерению параметров движения на тестовом объекте.

Цель работы: разработать методику измерений параметров движений объекта при микро- и наносмещениях с помощью полупроводникового лазерного автодина.

Поставленные задачи:

- Провести критический анализ методов определения параметров движения при микро- и наносмещениях.
- Провести компьютерное моделирование, позволяющее по автодинному сигналу определять параметры движения внешнего отражателя, используя оконное преобразование Фурье.
- Экспериментально определить параметры движения тестового объекта с помощью полупроводникового лазерного автодина.

Основное содержание

Первый раздел описывает 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, а также критическому анализу этих методов

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

Движение внешнего отражателя описывается некоторой функцией $f(t)$. $P(t)$ – переменная составляющая автодинного сигнала, которая зависит от функции движения $f(t)$. При периодическом движении внешнего отражателя функция движения может быть представлена в следующем виде:

$$f(t) = A \sin(2\pi vt) \quad (1)$$

где, A – амплитуда, v – частота вибраций, t – время наблюдения. Моделирование автодинного сигнала проводилось при разных значениях амплитуды вибраций 4μm, 8μm и 12μm. Переменная составляющая автодинного сигнала $P(t)$ в используемой модели записывается в виде:

$$P(t) = \cos\left(\theta + \frac{4\pi f(t)}{\lambda}\right) \quad (2)$$

где, θ – набег фазы автодинного сигнала, λ – длина волны лазерного излучения,

t – интервал времени, наблюдаемого автодинного сигнала, $f(t)$ – функция движения внешнего отражателя.

Далее будет рассмотрена методика анализа автодинного сигнала, позволяющая по Фурье-спектру определить параметры движения объекта.

Моделирование автодинного сигнала проводилось при следующих параметрах: длина волны излучения лазерного диода $\lambda = 655\text{нм}$, набег фазы

автодинного сигнала $= \frac{\pi}{2}$ Амплитуды вибраций автодинного сигнала при моделировании: 4 μ m, 8 μ m и 12 μ m.

После того как мы проверили возможность реализации предлагаемого нами подхода необходимо было экспериментально подтвердить наши теоретические предпосылки. Для этого мы реализовали ряд экспериментальных работ. Для выполнения эксперимента была создана установка, приведена ее блок-схема.

Были проведены экспериментальные исследования по регистрации автодинного сигнала при предположение равноускоренного и равномерного отражении сигнала.

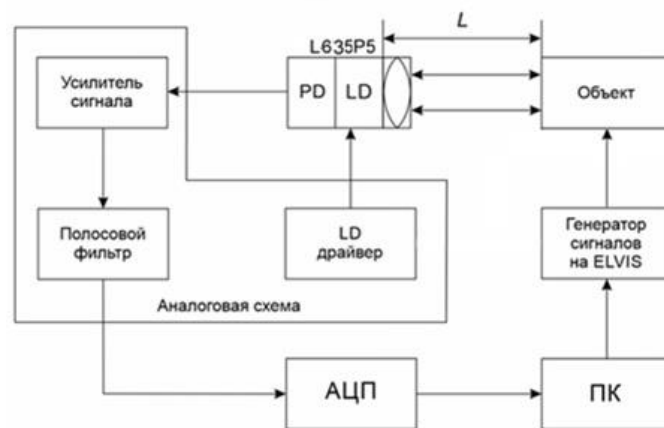


Рисунок 1. Блок-схема экспериментальной установки

Суть компьютерного моделирования предполагает, что объект движется по гармоническому закону. Для этого функцию движения подставляем в аргумент автодинного сигнала f . Это у нас траектории движения, то как у нас введет себя объект.

В ходе выполнения выпускной квалифицированной работы были получены следующие результаты.

1. Проведён критический анализ существующих методов определения параметров движения объекта при микро- и наносмещениях.

2. Проведено компьютерное моделирование, позволяющее по автодинному сигналу определять параметры движения внешнего отражателя, используя оконное преобразование Фурье. Для реализации компьютерного алгоритма было использовано программное обеспечение LabVIEW, для реализации оконного преобразования Фурье разработана программа на языке Python в редакторе Visual Studio Code.

3. Экспериментально определены параметры движения тестового объекта, совершающего периодические колебания, с помощью полупроводникового лазерного автодина.

Таким образом в работе была показана возможность измерения параметров равномерного движения объекта с помощью полупроводникового лазерного автодина.

