

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра оптики и биофотоники

Исследование спектральных и когерентных св-в излучения лазерных диодов и их влияние на интерферометрические датчики вибраций и вращения.

**АВТОРЕФЕРАТ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

студента 2 курса 253 группы

направления 03.04.02 «Биофотоника»

физический факультет

Луконина Петра Андреевича

Научный руководитель

д. ф.-м. н., доцент



---

Г.Г.Акчурин

Заведующий кафедрой

профессор, д.ф.-м.н.



---

В.В.Тучин

Саратов 2020

### **Введение:**

Исследование когерентных и спектральных свойств излучения суперлюминесцентного диода составляет основу новых биомедицинских технологий лежащих в основе оптических когерентных томографов.

### **Цель:**

Экспериментальное исследование когерентных и спектральных свойств излучения лазерного диода при изменении параметров неравновесности (тока инжекции до и после порога генерации). А так же экспериментальное исследование влияния конечной длины когерентности суперлюминесцентного диода на масштабный коэффициент в волоконном оптическом гироскопе.

### **1 Исследование функции временной когерентности полупроводникового инжекционного лазерного диода на длине волны 650 нм**

Для измерения спектра излучения лазерных диодов, был разработан модернизированный спектрометр ДФС- 3 с фиксацией оптического излучения с помощью видеоматрицы. Позволивший измерять интенсивность излучения со спектральным разрешением  $\Delta\lambda = 0.0016$  нм и соответственно частотным  $\Delta\nu = \Delta\lambda c / \lambda^2$  равным 1.13 ГГц для лазерного диода с длиной волны 650 нм, что позволило определять модовые сдвиги и нестабильности при изменении тока инжекции. Для измерения функции временной когерентности поля излучения лазерных диодов, видимого диапазона, использовался сканирующий интерферометр Майкельсона с цифровой индикацией.

Как показали проведенные нами исследования до порога генерации такие лазеры излучают сплошной спектр, при этом форма функции временной когерентности мало отличается от излучения ИК суперлюминесцентного диода в ближней ИК области с длиной 800 нм.

В нашем случае, вблизи генерации минимальная длина когерентности должна составлять не менее  $L_c=50$  мкм.

С ростом тока инжекции число мод в лазерном диоде сокращается вследствие увеличения нелинейного взаимодействия мод, амплитуды мод сильно отличаются и функция временной когерентности усложняется.

## **2 Экспериментальное исследование спектральных характеристик излучения полупроводникового инжекционного квантово-размерного лазерного диода на длине волны 650**

При ширине линии излучения ЛД в 1 ГГц длина временной когерентности должна составлять более 30 см, что на несколько порядков превышает условие максимальной контрастности интерференционных полос и соответственно требования на длину когерентности, которая должна превышать разность хода лазерных пучков в интерферометре Жамена, лежащем в основе лазерного ретинометра с He-Ne излучателем. Для полупроводникового лазерного диода типичные цифры по флуктуационному дрейфу лазерной частоты для инжекционных полупроводниковых лазеров составляют единицы гигагерц на миллиампер тока инжекции и до 10 ГГц на градус изменения температуры лазерного кристалла и практически не влияют

на пространственный период интерференционных полос. Для реализации одночастотного режима в полосковом инжекционном полупроводниковом лазере используется дополнительное зеркало резонатора, расположенное в десятках микрон от торца лазерного кристалла и параллельное ему. Это частотно-зависимое выходное зеркало, созданное с помощью дополнительного интерферометра Фабри-Перо, осуществляет селекцию продольных мод в лазере.

Однако при тепловой перестройке длины резонатора возможно не только быстрые перескоки частоты генерации между соседними модами, что практически не отражается на видимости и периоде интерференционных полос в ретинометре, так как изменение длины волны порядка 0.3 нм, но и возникновением при определенных режимах многочастотного режима с генерацией трех сильных мод. В этом случае временная корреляционная функция лазерного поля становится квазипериодической функцией, а длина когерентности, оценивается из соотношения равного двойной оптической длине резонатора деленной на число возбуждаемых мод.

Оценки длины когерентности при условии возбуждения трех продольных мод показали, что  $L_c$  равна 0.44 мкм, в то время как в одночастотном режиме длина когерентности может составлять сотни метров.

### **3 Экспериментальное исследование лазерных диодов при разных токах инжекции до порога генерации.**

Прежде чем детально исследовать спектр полупроводникового лазера, была проведена калибровка дифракционного спектрометра ДФС-3 с целью определения предельного спектрального разрешения. Для этого на входную щель дифракционного спектрометра ДФС-3 фокусируется излучение ртутной лампы. Спектрометр настраивают на желтый дублет  $\lambda = 577 - 579$  нм для

которого спектральное расстояние между центрами спектральных линий составляет  $\Delta\lambda = 2.060$  нм и в выходной фокальной плоскости спектрометра на матовом стекле визуально наблюдают спектр излучения ртути. Снимают кассету с матовым стеклом, и медленно вращая барабан, смещают положения спектральных линий, настраивая их на центр видеоматрицы, наблюдая двумерную видео-картину на мониторе компьютера.

После получения нормировочного коэффициента, ртутная лампа была заменена полупроводниковым лазерным диодом, излучение которого при помощи линзы сфокусировали на щель дифракционного спектрометра. Спектрометр настроили на среднюю длину волны 650 нм.

Были проведены наблюдения по изменению спектра полупроводникового лазерного диода в зависимости от тока инжекции.

Для измерения функции временной когерентной поля лазерного диода характеристики для тока инжекции 11.96 мА и обработки интерферограмм была получена  $\tau = 20,8244$  нм (длина когерентности);

Получив интерферограмму функции временной когерентности поля излучения лазерного диода при токе инжекции 11.96 мА, а затем, увеличив можно увидеть то, что сигнал не уходит в ноль, а так же имеет своего рода пики, которые появились вследствие шумов. Растянув ещё сильнее видно, что сигнал является многомодовым

Также посчитав нескольких когерентных характеристик ( $\tau_{9.5} = 4,217$  нм,  $\tau_{10.5} = 7$  нм) можно сделать следующий вывод.

До порога генерации функция временной когерентности лазерных диодов соизмерима с суперлюминесцентным диодом по времени когерентности при этом если повышать ток инжекции, то длина когерентности лазерного диода при приближении к порогу будет нарастать.

Экспериментально измерив функцию когерентности поля излучения для разного кол-ва мод, при изменении тока до и после порога, с током инжекции с 9.5 до 14.3 мА, а так же сопоставив со спектральной характеристикой, было выяснено, что до порога генерации лазер работает как суперлюминесцентный диод и имеет широкую линию излучения несколько десятков нанометров и с длиной когерентности десятки нм, а после порога генерации функция когерентности становится квазипериодической с периодом равным времени двойного обхода активного резонатора.

#### **4 Экспериментальное обнаружение изменения масштабного коэффициента ВОГ от конечного времени когерентности суперлюминесцентного диода.**

Эксперименты по обнаружению влияния когерентных свойств СЛД на масштабный коэффициент ВОГ проводились на высокопрецизионных одноосных волоконно-оптических гироскопах. Одноосные ВОГ имеют так называемую минимальную конфигурацию, которая обеспечивает взаимность оптических путей для двух световых волн.

Предварительно были проведены спектральные исследования зависимости интенсивности излучения СЛД (DL-C 55153A «Denselight», SWI) от тока инжекции при фиксированной температуре диода. Спектральные измерения проводились с помощью оптического спектрометра высокоразрешающей силы с точностью 0.01 нм на основе сканирующего интерферометра Фабри-Перо.

Ширина спектральной линии излучения СЛД измеренная на половине интенсивности составила 52.64 нм, при токе инжекции 150 мА. При этом частотная ширина линии излучения СЛД равна  $\Delta\nu=6.62$  ТГц и в соответствие с соотношением Хинчина-Винера время когерентности можно оценить равным 66.8 фс при периоде оптических колебаний 5.15 фс.

Использование суперлюминесцентного диода с малым временем когерентности в качестве излучателя в ВОГ должно отражаться на информационном интерференционном сигнале ВОГ при больших фазовых сдвигах на несколько интерференционных полос относительно нулевой, соответственно при больших угловых скоростях вращения ВОГ.

С этой целью проводились экспериментальные исследования при стендовых измерениях на высокочувствительном гироскопе при линейном изменении угловой скорости вращения от 0 до 1000 град/с.

Проведя экспериментальные исследования, было обнаружено уменьшение амплитуды интерференционных полос с ростом частоты вращения гироскопа.

Для сравнения когерентных свойств суперлюминесцентного диода и лазерного диода, излучающего до порога генерации, проводились измерения на сканирующем интерферометре Майкельсона.

При изменении тока инжекции от 100 до 200 мА, ширина линии излучения СЛД увеличивается от 40 до 60 нм и соответственно уменьшается время когерентности. Таким образом, проведенные исследования показали необходимость учета влияния когерентных свойств излучателя на масштабный коэффициент ВОГ, особенно при разработке чувствительных ВОГ с большим динамическим диапазоном.

## **6 Экспериментальное исследование спектральных свойств суперлюминесцентных диодов используемых в ВОГ при различных токах инжекции.**

Проведя экспериментальные исследования спектральных характеристик суперлюминесцентных диодов с длиной волны 1560 нм для различных токов инжекции 150 мА до 300 мА с помощью сканирующего интерферометра Фабри- Перо (Inritsu, Япония). Можно увидеть, что при изменении тока инжекции изменяется не только интегральная интенсивность СЛД, но и

ширина линии, что должно сказаться на когерентных свойствах излучения. Кроме того изменяется длина волны, соответствующая максимальной оптической мощности излучения. Как показали проведенные спектрально-поляризационные исследования, в видимой области спектра для одномодового анизотропного волокна с внутренним диаметром 4 микрона, период таких спектральных осцилляций составляет 20 нм для длины оптического волокна 20 см и приблизительно обратно-пропорционально уменьшается с ростом длины волокна. При длине оптического анизотропного волокна порядка тысячи метров, используемого в ВОГ, период осцилляций может составлять  $10^{-3}$  нм, что должно отразиться на шумовых и когерентных свойствах интерференционного сигнала ВОГ.

При эксплуатации ВОГ интенсивность излучения уменьшается, и для восстановления рабочего уровня излучения увеличивают ток инжекции СЛД. При такой регулировке, изменения тока могут достигать десятка процентов, что должно вызывать изменения максимума длины излучения СЛД, которые могут достигать  $10^{-2-3}$  нм, что в свою очередь должно отразиться на масштабном коэффициенте, которые можно учесть при калибровке на стенде. Однако такие незначительные сдвиги длин волн могут приводить к существенным изменениям в интерференционном сигнале вследствие флуктуаций и дрейфа поляризационных характеристик используемых в ВОГ анизотропных оптических волокнах.

В ходе исследований был обнаружен эффект влияния когерентных свойств излучения суперлюминесцентного диода на интерференционный сигнал волоконно-оптического гироскопа при больших скоростях углового вращения. Экспериментально установлено, что при линейном росте угловой

скорости вращения гироскопа информационный оптический сигнал отражает функцию временной когерентности излучателя, когда фазовый сдвиг Саньяка превышает  $2\pi$ . Экспериментально обнаружено существенное изменение ширины линии излучения от тока инжекции и соответственно времени когерентности суперлюминесцентного диода. Этот эффект необходимо учитывать в волоконно-оптических гироскопах с системой стабилизации оптической мощности при расширении динамического диапазона гироскопа.

Экспериментальные исследования, проведенные на промышленном образце волоконно-оптического гироскопа (НПК «Оптолинк») позволили установить влияние когерентных свойств излучения суперлюминесцентного диода на масштабный коэффициент ВОГ. Показано, что изменение тока инжекции суперлюминесцентного диода, изменяет не только ширину и форму спектральной линии излучения, но и существенно влияет на масштабный коэффициент ВОГ в области предельных характеристик  $10^{-3}$  град/час и ограничивает его динамический диапазон при больших скоростях вращения 100-1000 град/с. Синергетический эффект связанный с обнаруженными ранее спектрально-поляризационными явлениями в анизотропных одномодовых волокнах при наличии дрейфа излучательных характеристик суперлюминесцентных диодов, используемых в ВОГ должен определять предельные точностные возможности таких волоконно-оптических гироскопов, приближая их чувствительность к лазерным.

## **7 Вывод**

1. Впервые в рамках одного эксперимента разработаны и апробированы методы исследования спектральных и когерентных свойств излучения полупроводниковых лазерных диодов видимого диапазона. И установлено, что изменением тока инжекции (параметра неравновесности) возможно управление не только энергетическими характеристиками, т.е. непрерывном режиме зависимостью выходной мощности от тока инжекции, но и модовым составом излучения, что отражается на функции временной когерентности оптического поля излучения.

2. Если до порога генерации полупроводниковый лазерный диод излучает сплошной спектр с шириной десятки нанометров и соответственно спектральной частотной полосой в десятки терагерц, и соответственно длиной когерентности десятки микрон, то сразу после порога возникновения генерации функция временной когерентности становится квазипериодической с периодом равным времени двойного обхода активного резонатора.

3. Экспериментально установлено, что конечная длина когерентности и соответственно ширина спектра излучения суперлюминесцентного диода ограничивает динамический диапазон угловых скоростей, измеряемых волоконно-оптическим гироскопом на приборах НПК «Оптолинк». Изменение тока инжекции суперлюминесцентного диода изменяет не только масштабный коэффициент ВОГ, но и влияет на динамический диапазон измеряемых угловых скоростей, если они превышают один оборот в секунду.