

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

Кафедра оптики и биофотоники

**«Исследование возможности создания спектрального
(RGB) лазерного ретинометра для определения
разрешающей способности матрицы «красных»,
«зеленых» и «синих» фоторецепторных колбочек глаза
человека»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 254 группы
03.04.02 «Физика» (Физика оптических и лазерных явлений)
Физического факультета
Аль-Майяхи Мохаммед Джавад

Научный руководитель
к.ф.-м.н., доцент



Г. Г. Акчурин

Заведующий кафедрой
профессор, д.ф.-м.н.



В.В. Тучин

Саратов 2017

ВВЕДЕНИЕ

Известен традиционный метод определения макулярной остроты зрения человека с использованием опто типов. В основе метода определения остроты зрения лежит возможность измерения минимального углового разрешения с помощью стандартных опто типов, которые подсвечиваются некогерентным источником света с фиксированным уровнем мощности и пациент наблюдает опто типы на фиксированном расстоянии с помощью оптической системы глаза, при этом для нормального глаза, фокальная плоскость глаза находится в фоторецепторном слое, представляющем слой фоторецепторных клеток макулярной области сетчатки - колбочек. Стандартный диапазон измерения остроты зрения с помощью опто типов составляет величину от 2 до 0.1, при этом нормальная острота зрения соответствует 1. Среднестатистическое максимальное угловое разрешение, равное одной угловой минуте, соответствует остроте зрения равной единице, что обусловлено функциональной и морфологической организацией матрицы фоторецепторных клеток сетчатки. В фовеальной области сетчатки, соответствующей максимальному угловому разрешению, колбочки со средним поперечным размером ≈ 1 мкм и расстоянием между монохромными клетками порядка 3-4 мкм взаимно-однозначно связаны с нейронными ганглиозными клетками, которые генерируют нервные импульсы и передают информацию об интенсивности детектируемого излучения в зрительную область коры головного мозга.

Классические методы исследования функции зрения человека сводятся к определению остроты зрения и поля зрения, которые в значительной степени зависят от состояния прозрачных сред глаза. От этого избавлен метод определения ретинальной остроты зрения (РОЗ), позволяющий определять разрешающую способность сетчатки. При ретинометрии лазерный пучок делят на два пучка приблизительно равной интенсивности и

направляют их в глаз таким образом, чтобы они перекрывались на сетчатке. В результате наложения когерентных пучков на сетчатке образуется интерференционная картина в виде полос. Влияние рефракции глаза на число полос в значительной мере исключается, если оба пучка фокусируются в узловой плоскости глаза. Одно из основных преимуществ лазерной ретинометрии — это возможность определения разрешающей способности сетчатки при наличии катаракты.

Цель дипломной работы, во-первых, заключается в возможности апробации метода определения спектральной ретинальной остроты зрения человека при зондировании фоторецепторных «синих», «зеленых» и «красных» колбочек при облучении пространственно-перестраиваемой системой интерференционных полос, создаваемых перестраиваемым интерферометром Жамена (на основе модернизированного ретинометра АРОЛ-1, НПО «Тантал» г. Саратов), создаваемых непрерывным излучением YAG: Nd микролазерами с диодной накачкой и удвоением частоты с длинами волн 473 и 532 нм и полупроводниковым инжекционным гетеролазером с длиной волны 650 нм.

Во-вторых, **цель состоит** в исследовании спектральных и когерентных свойств излучения таких лазеров для получения максимальной контрастности интерференционных полос на сетчатке глаза при управлении и контроле соответствующей длины когерентности лазеров при изменении параметрами неравновесности (тока инжекции).

Глава 1. Методы определения остроты зрения человека

Зрение человека в основе своей характеризуется 3 свойствами: световой чувствительностью, контрастной чувствительностью и остротой зрения. Все три величины взаимосвязаны и в процессе зрения не изолированы. Первые внешние нарушения акта зрения связаны с изменением остроты зрения, поэтому исследование остроты зрения обязательно практически во всех офтальмологических исследованиях.

Все приборы для исследования остроты зрения можно подразделить на приборы для субъективного и объективного методов исследования. По методу предъявления знаков — на осветители печатных таблиц, транспарантные аппараты, приборы для проецирования знаков (зрительных тестов) и коллиматорные приборы.

При наличии даже ранней стадии катаракты, сравнение высоконтрастного метода при использовании пространственно-некогерентного источника, создаваемого излучением дисплея и интерференционных полос, создаваемых с помощью лазерного излучения, показало расхождение результатов на порядки, хотя для прозрачного хрусталика измерения остроты зрения были эквивалентны.

Метод определения ретинальной остроты зрения. Экспериментальные исследования в рамках этой работы и анализ литературных данных показали, что прибор для определения РОЗ — ретинометр должен удовлетворять следующим требованиям. Во-первых, при определении РОЗ должна быть обеспечена четкая и стабильная картина интерференционных полос на глазном дне, во-вторых, должно быть предусмотрено устройство для контроля за восприятием пациентом направления интерференционных полос, для чего обычно применяется устройство, позволяющее менять направление полос на 180°. Фокусировку

лазерного излучения, очевидно, удобнее всего производить под контролем щелевой лампы, что особенно важно при наличии помутнений в хрусталике глаза для поиска в нем микроскопических просветов. Диапазон измерения РОЗ должен быть в пределах 0,01—1,5, поле зрения — 5—6°.

Принцип действия и оптическая схема лазерного ретинометра (АРОЛ-1). Анализатор выполнен как приставка к стандартной щелевой лампе без ее модернизации и позволяет плавно менять ширину интерференционных полос в пределах 1,8— 60 угл. мин, что соответствует изменению остроты зрения, определяемому по таблице опто типов, 0,01— 1,2 соответственно. Наличие манипулятора позволяет эффективно использовать прибор для определения РОЗ и при значительных помутнениях глазных тканей путем поиска под контролем микроскопа щелевой лампы прозрачных участков. Лазерный ретинометр АРОЛ-1, разработан в НПО “Тантал” (Саратов).

К настоящему времени определение РОЗ превратилось в «рутинный» метод дифференциальной диагностики функциональной способности глаза, причем получаемая с помощью ретинометров информация недоступна другим диагностическим методам. Определение РОЗ позволяет прогнозировать результаты хирургического и консервативного лечения при аномалиях рефракции, дефектах оптического аппарата глаза и заболеваниях сетчатки, в том числе при острых нарушениях кровообращения в ретинальных артериях, а также при начальных и незрелых катарактах. И только при плотных травматических катарактах и зрелых старческих катарактах, а также при интенсивных тотальных помутнениях роговицы проводить измерения РОЗ обычно не представляется возможным из-за значительного рассеяния лазерного излучения.

Возможность создания RGB лазерного ретинометра на основе твердотельных микролазеров с диодной накачкой и полупроводни-

ковых лазеров. В данном разделе обсуждается возможность создания оптического трехволнового лазерного ретинометра, позволяющего определять макулярную остроту зрения человека, оценивать разрешающую способность матрицы фоторецепторных «красных», «зеленых» и «синих» колбочек в фовеальной области сетчатки, впервые предложенный в патенте. Использование трехволнового лазерного ретинометра позволяет определять остроту зрения при наличии патологии цветного зрения, а также использование когерентных свойств зондирующего лазерного излучения позволяет определять остроту зрения при любом типе катаракты, когда все известные офтальмологические методы диагностики остроты зрения не функционируют, а необходимо производить предоперационную диагностику состояния сетчатки.

Для диагностики пространственного распределения красных, зеленых и синих колбочек сетчатки глаза человека используются соответствующие лазеры с определенными длинами волн. Вследствие частичного перекрытия кривых спектральной чувствительности, соответствующих колбочек глаза человека выбирают такие длины волн лазеров, чтобы идентифицировать селективно красные, зеленые и синие колбочки. Максимум поглощения красных колбочек соответствует длине волны 590 нм, поэтому длина волны лазера выбирается на длинноволновом склоне их спектральной характеристики поглощения равной $\lambda = 630-650$ нм, чтобы идентифицировать пространственное разрешение только красных фоторецепторных колбочек. Максимум поглощения синих колбочек соответствует длине волны 450-470 нм, однако излучение лазера с длиной волны 473 нм будет поглощаться только синими колбочками. Длина волны лазера с $\lambda = 532$ нм соответствует максимуму поглощения зеленых колбочек при этом чувствительность красных колбочек на этой длине волны на порядок меньше. Основная проблема создания компактного RGB лазерного

ретинометра заключается в малой длине когерентности твердотельных микролазеров с диодной накачкой или полупроводниковых лазерных диодов с характерной длиной лазерного кристалла порядка нескольких миллиметров.

Глава 2. Исследование спектральных и когерентных свойств излучения твердотельных микролазеров с диодной накачкой и полупроводниковых лазерных диодов для создания RGB лазерного ретинометра.

Проблема управления спектральным (модовым) составом излучения полупроводниковых лазеров, суперлюминесцентных диодов на их основе, а также твердотельных микролазеров с преобразованием частоты актуальна при использовании таких лазеров в интерферометрических измерительных и диагностических комплексах видимого и ближнего ИК диапазона, а также в таких биомедицинских приложениях как оптическая когерентная томография.

Экспериментальное исследование спектральных характеристик излучения полупроводникового инжекционного квантово-размерного лазерного диода на длине волны 650 нм и соответствующих интерференционных полос ретинометра. Для целей лазерной ретинометрии и диагностики разрешающей способности матрицы «красных» фоторецепторных колбочек в фовеальной области сетчатки необходимо использовать непрерывное излучение инжекционного полупроводникового лазера с длиной волны 630-670 нм, но работающий в одночастотном режиме. Оценки показывают, что при ширине линии излучения 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.

Экспериментальное исследование спектральных характеристик излучения твердотельного микролазера с диодной накачкой на длине волны 532 нм и соответствующих интерференционных полос ретинометра. В данном разделе приводятся результаты спектральных исследований такого твердотельного микролазера типа с длиной волны 532 нм с максимальной выходной мощностью более 100 мВт типа Optronic KLM- 532/ SLX 3, используемый в качестве излучателя в ретинометре для диагностики и определения разрешающей способности матрицы зеленых фоторецепторных колбочек.

Экспериментальное исследование спектральных характеристик излучения твердотельного микролазера с диодной накачкой на длине волны 473 нм и соответствующих интерференционных полос ретинометра. В данном разделе приводятся результаты спектральных исследований твердотельного микролазера типа с длиной волны 473 нм с максимальной выходной мощностью более 100 мВт типа Optronic KLM- 473/ SLX 3, используемый в качестве излучателя в ретинометре для диагностики и определения разрешающей способности матрицы синих фоторецепторных колбочек.

Экспериментальное исследование временной когерентности излучения лазерных диодов и твердотельных микролазерами при

изменении параметров неравновесности для получения максимальной контрастности интерференционных полос RGB лазерного ретинометра. Экспериментальное исследование когерентных свойств излучения твердотельных микролазеров с диодной накачкой и внутрирезонаторным генератором второй гармоники в сине-зеленой области спектра проводились на модифицированной установке сканирующего интерферометра Майкельсона, разработан в группе проф. Рябухо В.П.

Исследование функции временной когерентности полупроводникового инжекционного лазерного диода на длине волны 650 нм. Как показали проведенные нами исследования до порога генерации такие лазеры излучают сплошной спектр, при этом форма функции временной когерентности мала отличается от излучения ИК суперлюминесцентного диода в ближней ИК области с длиной 800 нм.

Исследование функции временной когерентности твердотельного микролазера с диодной накачкой и внутрирезонаторным преобразователем второй гармоники с выходной длиной волны 532 нм. Исследование спектральных характеристик твердотельного микролазера с диодной накачкой с выходной длиной волны 532 нм, типа Optronic KLM-532/ SLX 3, используемый в качестве излучателя в ретинометре для диагностики и определения разрешающей способности матрицы зеленых фоторецепторных колбочек, представленные в дипломной работе показали, что вблизи порога генерации такой лазер может работать в режиме генерации одной продольной моды, но при наличии примеси поперечной. Как показали измерения в таком режиме длина когерентности видность интерференционной картины в диапазоне перестройки одного из плеч интерферометра Майкельсона достигающем 14 мм не принимает нулевое значение, но может уменьшиться в три раза.

Исследование функции временной когерентности твердотельного микролазера с диодной накачкой и внутриврезонаторным преобразователем второй гармоники с выходной длиной волны 473 нм.

В настоящем разделе проводились сравнительные исследования когерентных свойств излучения в режимах, соответствующих спектральным измерениям. Исследование когерентных свойств синего микролазера с диодной накачкой типа Optronic KLM- 473/ SLX 3 сильно затруднено вследствие сложного спектрального состава излучения, как показано в разделе 3.1.3. связанных с возникновением режимов динамической конкуренции мод, что и отражается не только на соответствующей временной функции когерентности, но и видности интерференционных полос лазерного ретинометра. Уже при токе накачки 80 мА режим динамической конкуренции мод сильно искажает результаты измерений функции временной когерентности

Выводы по главе. Таким образом, выбором параметра неравновесности (тока инжекции и соответствующего уровня резонансной оптической накачки в твердотельных микролазерах видимого диапазона возможно управление не только спектральным (модовым) составом излучения, но и когерентными свойствами излучения, что позволило впервые создать компактный RGB лазерный ретинометр для диагностики пространственного разрешения матрицы фоторецепторных «красных», «зеленых» и «синих» клеток в макулярной области сетчатки. Проведенные тестовые измерения на добровольцах с остротой зрения 1 и менее показали не только работоспособность лазерного ретинометра для трех длин волн на основе одного интерферометра Жамена, установить соответствующую калибровку пространственного периода интерференционных полос равную отношению длин волн $K = 532/650 = 0.818$ для «зеленых» колбочек и $K = 473/650 = 0.727$ и «синих» колбочек. Измерения остроты зрения для нормального глаза позволили экспериментально подтвердить коэффициенты

равные 0.8 и 0.7 соответствующие теоретические коэффициенты лазерной ретинальной остроты зрения. На наш взгляд эти результаты представляют фундаментальное значение не только для нейрофизиологии зрения человека, но и для оптических информационных технологий, так как впервые установлено равномерность распределения матрицы фоторецепторных «красных», «зеленых» и «синих» колбочек в фовеальной области сетчатки глаза человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые апробирован лазерный метод определения спектральной (RGB) ретинальной остроты зрения глаза человека на основе измерения пространственной разрешающей способности «красных», «зеленых» и «синих» колбочек в макулярной области сетчатки. А также проведена калибровка для измерения разрешающей способности RGB ретинометра при использовании в одном приборе трех длин волн и соответствующих коэффициентов пересчета 532/650 и 473/650 вследствие изменения плотности интерференционных полос для зеленой и синей длин волн, а сравнительные тестовые измерения РОЗ в трех спектральных RGB областях на добровольцах, показавшие сравнимую разрешающую способность цветной фоторецепторной матрицы сетчатки глаза человека позволившие впервые утверждать о равномерном пространственном распределении фоторецепторных клеток (колбочек) в макулярной области глаза человека.

Установлено влияние спектральных (модовых) и когерентных свойств излучения твердотельных микролазеров с длиной волны 532 нм и 473 нм с диодной накачкой и внутрирезонаторным генератором второй гармоники на видность интерференционных полос в модифицированном ретинометре типа АРОЛ-1.

Измерен спектр продольных мод твердотельных микролазеров с длиной волны 532 нм и 473 нм и полупроводникового инжекционного лазера с длиной волны 650 нм и показана возможность управления спектральным составом излучения изменением параметра неравновесности (тока инжекции).

Установлена возможность управления длиной когерентности твердотельных микролазеров с длиной волны 532 нм и 473 нм и полупроводникового инжекционного лазера с длиной волны 650 нм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. М.: Медицина, 1999. 410 с.
2. Урмахер Л.С., Айзенштат Л.И. Офтальмологические приборы. М.: Медицина, 1988. 230 с.
3. Хьюбел Д.Н. Глаз, мозг, видение. Пер.с англ. М.: Мир, 1990. 234 с
4. Jankelovits E.R., Lichtenstein S.J., Groll S.L., et al. Assessment of retinal function in cataract patients by a combination of laser interferometer and conventional display method to measure contrast sensitivity// Applied Optics. 1988. V.27. P. 1057-1063.
5. Kanski J.J. Clinical Ophthalmology. Butterworth.1995.450p.;
6. Приезжев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. “Лазерная диагностика в биологии и медицине, М.:Наука, 1989. 240 с.
7. Akchurin. G.G., Bakutkin V.V., Radchenko E.Yu., et al. New potentials of laser retinometry // Proc.SPIE. 1999. V. 3726. P.297-306.
8. Патент RU(11) 2 308 215(13) C1.Устойство для измерения ретинальной остроты зрения . Акчурин Г.Г. Опубл. 20.10.2007 Бюлл.29.
9. Ч.Пэдхем, Дж.Сондерс. Восприятие света и цвета.М.:Мир.1978. 210 с.
- 10.Владимиров Ю.А., Потапенко А.Я. Физико-химические основы фотобиологических прцессов. М.:Дрофа, 2006, 285 с.
- 11.Ф.Хуго. Нейрохимия. М.:Мир.1990. 384 с.
- 12.В.Кюнель. Цветной атлас по цитологии, гистологии и микроскопической анатомии, 2006.533 с.
- 13.Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.:Наука, 1981. 640 с.
- 14.Лебедева В.В. Экспериментальная оптика. М.:МГУ.1994. 363 с.