

Измерения микро - и нанорасстояний методом спектральной интерферометрии

Лукин К.А., д.ф.-м.н., проф., Татьяна Д.Н.

*Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины
61085, г. Харьков, ул. Академика Проскуры, 12, тел.: (057) 720 33 49,
e-mail: lukin.konstantin@gmail.com, lukin@ire.kharkov.ua*

Ю.П. Мачехин, д.т.н., с.н.с.

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники
г. Харьков, пр. Ленина 14, тел. (057) 702-14-84, факс (057) 702-10-13*

Данаилов М.Б., PhD

Laser Laboratory, Synchrotron, SS14, km.163.5, 34012, Trieste, Italy

Введение. Измерение сверхмалых расстояний является важной задачей особенно в области интенсивно развивающихся нанотехнологий. Поиск оптических интерферометрических методов, альтернативных лазерным интерферометрам, применение которых для измерения нано расстояний имеет определенные трудности, привел в конце прошлого столетия к развитию оптической когерентной томографии (ОКТ). В тоже время развитие спектральной интерферометрии с использованием шумовых сигналов миллиметрового и оптического диапазонов позволило реализовать высокоточные измерения больших расстояний.

В настоящей работе, проведены теоретические и экспериментальные исследования метода спектральной интерферометрии при измерении микро расстояний. Показано, какие источники оптического излучения можно использовать для измерения малых расстояний, и какие ограничения накладываются на точность измерений.

1. Теоретическое обоснование применения метода спектральной интерферометрии для измерения расстояния. Метод спектральной интерферометрии состоит в формировании периодического чередования максимумов и минимумов на оси частот спектра, которые являются следствием линейной интерференции гармонических спектральных составляющих зондирующего и отраженного сигналов при условии, что дальность до зондируемого объекта превышает длину когерентности источника излучения. Период этого чередования обратно пропорционален времени запаздывания τ_0 между зондирующим и отраженным сигналами. Метод может быть реализован с помощью классического интерферометра Майкельсона (далее интерферометра). Спектр мощности $F_{\Sigma}(f)$ на выходе интерферометра можно записать в следующем виде

$$F_{\Sigma}(f, \tau_0) = 2F(f)\{1 + \cos(2\pi f\tau_0 + \theta)\}, \quad (1)$$

где θ – разность фаз между сигналами плеч интерферометра, f – частота источника излучения.

2. Источник излучения. Для измерений микро- и нанорасстояний, в качестве наиболее перспективных источников излучения, обладающих большой шириной спектра и мощностью излучения, предлагается использовать обычные

светодиоды с повышенной яркостью свечения, которые массово выпускаются для решения таких задач, как индикация и локальное освещение. Рассматривалось несколько светодиодов. Наиболее интересными, по мнению авторов, представляются InGaAlP светодиоды TLOH190P и TLRH190P выпускаемые фирмой Toshiba. Помимо высокой яркости свечения, одной из положительных характеристик этих светодиодов является то, что излучение на их выходе имеет малый полный угол расходимости 4° . Это исключает коллимирующую оптику, ослабляющую мощность излучения. Для проверки метода был выбран светодиод TLRH190P, т.к. его ширина спектра превосходит ширину спектра светодиода TLOH190P и составляет на полувысоте ~ 18 нм, что достаточно для формирования периодичной структуры спектра. Центральная длина волны излучения равна 645 нм, что облегчает выполнение юстировочных работ. Производитель характеризует данный тип светодиодов как «LED Lamp» в силу высокой яркости излучения 19000 микро кандел.

3. Экспериментальная установка и результаты измерений. Для проверки возможности измерения расстояния на основе метода спектральной интерферометрии была собрана установка интерферометра на базе светодиода Toshiba TLRH190P. Одно из зеркал интерферометра использовалось для формирования опорного плеча, а другое зеркало использовалось как зондируемый объект, формируя измерительное плечо. Проведенные эксперименты подтвердили, что в том случае, когда разность плеч интерферометра превышает длину когерентности источника излучения, наблюдается интерференция в спектральной области, которая описывается уравнением (1) (рис. 1).

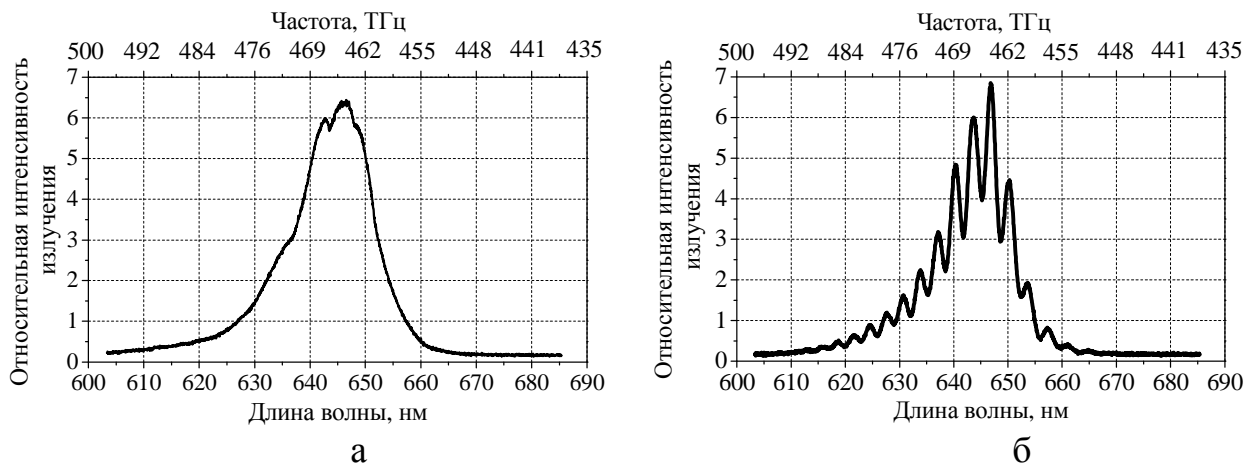


Рис. 1. Спектр излучения светодиода Toshiba TLRH190P: а) на выходе светодиода; б) на выходе интерферометра Майкельсона, разность плеч которого превышает длину когерентности излучения светодиода.

Экспериментально получена зависимость периода структуры спектра интерферометра от разности длин плеч (рис. 2).

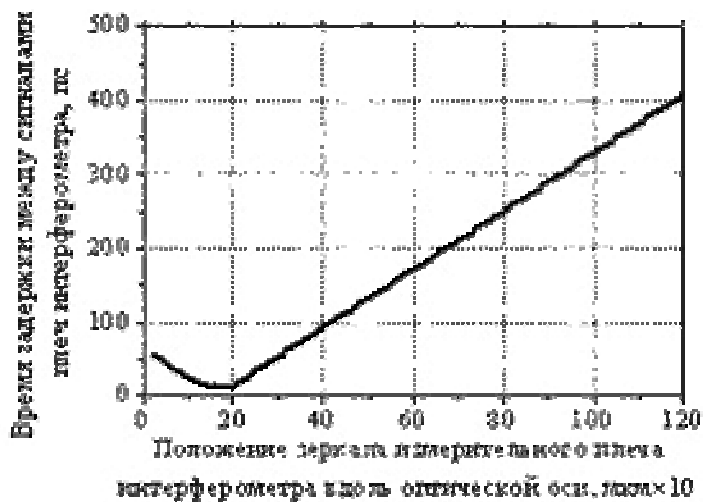


Рис. 2. Экспериментальная зависимость времени задержки между сигналами, распространяющимися в различных плечах интерферометра Майкельсона на базе светодиода Toshiba TLRH190P, от положения зеркала измерительного плеча.

При изменении разности плеч интерферометра на 1 мкм (минимально возможный шаг для используемых механических элементов) период структуры спектра изменяется в среднем на 2,5 нм, что на порядок больше разрешающей способности по длине волны используемого спектроанализатора, равной 0,22 нм. Можно сделать вывод, что точность измерения расстояния на порядок меньше 1 мкм и составляет сотни нанометров.

Выводы. Изучены возможности применения метода спектральной интерферометрии для измерения микро- и нанорасстояний. В результате теоретического анализа и экспериментальной проверки метода оптической спектральной интерферометрии показана возможность формирования периодической структуры спектра излучения светодиода Toshiba TLRH190P и использование его для измерений малых расстояний.

Работа выполнена при поддержке Международного центра теоретической физики (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Триест, Италия) и УНТЦ проекта № 3377.