

Национальная Академия наук Украины
Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины
Институт физики полупроводников НАН Украины им. В.Е. Лашкарева
ЗАО «НПК «Наука»
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Сборник научных трудов
IV Международной научной конференции

«ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БАЗА НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»

30 сентября - 3 октября 2011г.

Харьков - Кацивели
2011

СЕТКА СТАНДАРТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЧАСТОТ ДЛЯ DWDM ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Лукин¹К.А., Мачехин²Ю.П., Данаилов³М.Б., Татьяна¹Д.Н.

¹Институт 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

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники
г. Харьков, пр. Ленина 14, тел. (057) 702-14-84, факс (057) 702-10-13

³Laser Laboratory, Synchrotron, SS14, km.163.5, 34012, Trieste, Italy

The idea of a spectral interferometry method application for creation of the optical frequency grids used for metrological maintenance of fiber-optics telecommunications is offered and investigated.

Введение. Развитие стандартов оптических частот для таких областей как волоконно-оптическая связь базируется на создании спектров оптических частот, расположенных в виде частотной сетки с определенными интервалами между частотными компонентами. Это в первую очередь относится к WDM системам связи (англ.: Wavelength Division Multiplexing - спектральное уплотнение каналов), в которых каждый информационный канал передается на своей несущей частоте. Вид выходной характеристики для волоконно-оптического усилителя на основе кварцевого волокна, несущего групповой сигнал DWDM (англ.: dense wavelength division multiplexing - WDM системы с высокой спектральной плотностью каналов) показан на рис. 1 [1]. Для того чтобы создать одинаковые амплитуды спектральных линий (WDM каналов), представленных на рис. 1, применяются различные методы и алгоритмы [1].

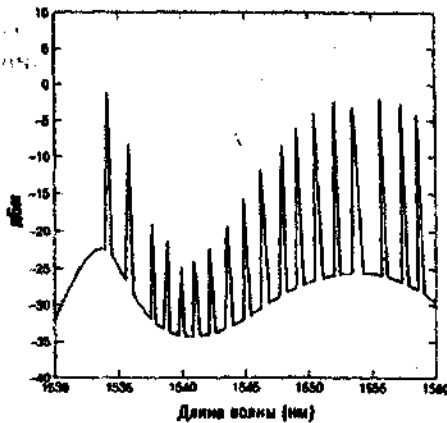


Рис. 1. Вид выходной характеристики для волоконно-оптического усилителя на основе кварцевого волокна, несущего групповой сигнал DWDM.

Для метрологического контроля WDM систем, необходимы стандартные оптические частотные интервалы с заданными значениями, соответствующими частотным интервалам между информационными каналами, которые оговорены международными частотными планами ИТУ-Т. Т.е. необходимы стандарты частотных сеток. Решить такую задачу природными частотными сетками довольно сложно, поэтому нужно формировать

частотные сетки искусственно.

Методы искусственного формирования сетки оптических частот. Искусственное формирование частотных сеток для метрологического обеспечения волоконно-оптических систем связи (как в прочем и для других применений) предлагается осуществить путем трансформации непрерывного частотного спектра в линейчатый (канавчатый) с заданным интервалом между компонентами спектра. Для этого предлагается применить метод спектральной интерферометрии [2] с использованием низкокогерентных источников излучения в инфракрасном диапазоне спектра с привязкой спектральных линий, полученных данным методом, к стабилизированному по частоте когерентному источнику излучения (лазеру).

Теоретическое обоснование применения метода спектральной интерферометрии. Метод спектральной интерферометрии состоит в формировании периодического чередования максимумов и минимумов на оси частот спектра, которые являются следствием линейной интерференции гармонических спектральных составляющих сигналов, суммируемых на выходе интерферометра, при условии, что разность плеч интерферометра превышает длину когерентности источника излучения [2]. Период этого чередования

обратно пропорционален времени запаздывания τ_0 между сигналами, распространяющимися в двух плечах интерферометра. Метод может быть реализован с помощью классического интерферометра Майкельсона (далее интерферометра). Спектр мощности $F_{\Sigma}(f)$ на выходе интерферометра можно записать в следующем виде [2]:

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

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

Источник излучения. Область измерений базирующаяся на методе спектральной интерферометрии называется также низкокогерентной интерферометрией (low-coherence interferometry) или спектральной интерферометрией белого света (white-light spectral interferometry) и применяется для определения микро- и нанорасстояний [3]. В этой области измерений, в промышленно выпускаемых измерительных приборах (низко-когерентных томографах, профилометрах и т.д.), а также в научных исследованиях в роли источников оптического излучения используются источники излучения с широкой спектральной полосой, такие, как суперлюминесцентные (superluminescent) светодиоды, различные виды ламп (вольфрам-галогеновые и кварцевые лампы). И те, и другие имеют либо большую стоимость, либо малую спектральную плотность мощности, что является недостатками для решения рассматриваемой задачи создания стабильных и недорогих стандартов оптических частотных сеток.

Для создания оптических частотных сеток, в качестве наиболее перспективных источников излучения, обладающих большой шириной спектра и мощностью, предлагается использовать обычные светодиоды с повышенной яркостью свечения, которые массово выпускаются для решения задач индикации, локального освещения и т.д. Проверку метода для реализации частотной сетки предложено осуществить с помощью подобного светодиода - InGaAlP светодиода TLRH190P, выпускаемого фирмой Toshiba. Его центральная длина волны излучения - 645 нм, ширина спектра излучения на полувысоте составляет 15-18 нм, излучение на выходе светодиода имеет полный угол расходимости 4° , яркость излучения составляет 19000 мкд.

Экспериментальная установка и результаты измерений. Для проверки предлагаемой идеи была собрана установка на базе интерферометра Майкельсона со светодиодом Toshiba TLRH190P в качестве источника излучения.

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. 2б).

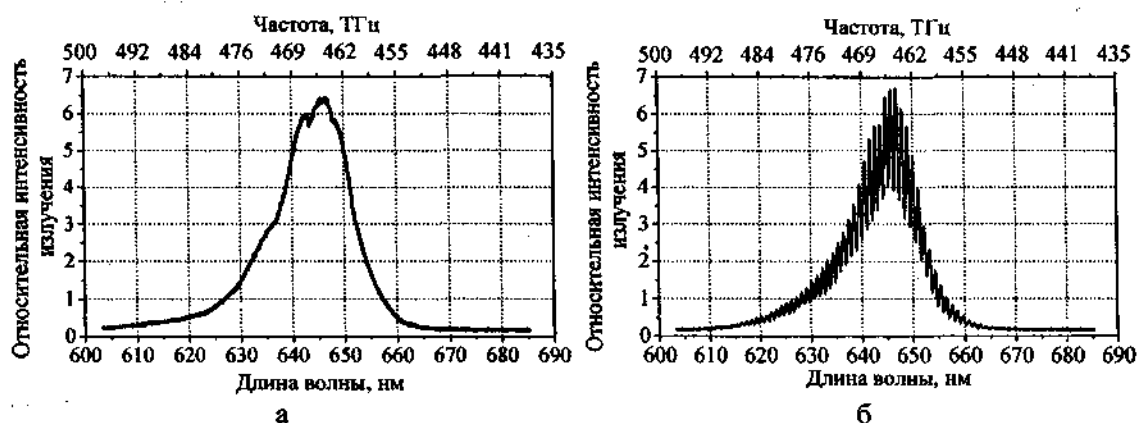


Рис. 2 Спектр излучения светодиода Toshiba TLRH190P: а) на выходе светодиода; б) на выходе интерферометра Майкельсона, разность плеч которого превышает длину когерентности излучения светодиода.

Изменяя разность плеч интерферометра можно получить последовательность равноудаленных спектральных линий с заданной шириной и интервалом частот между линиями. В качестве примера, на рис. 26 показан экспериментально полученный спектр излучения светодиода Toshiba TLRH190P на выходе интерферометра при разности плеч интерферометра равной 200 мкм. При этом интервал между спектральными линиями составляет ~ 1 нм. Это вполне удовлетворяет ИТУ-Т рекомендациям G.694.2 для международного частотного плана CWDM (coarse wavelength division multiplexing) систем связи (интервал по длине волны между каналами равен 20 нм, что в частотном выражении равно $\sim 2,47$ ТГц) и приближается к ИТУ-Т рекомендациям G.694.1 по международному частотному плану DWDM систем связи (интервал по длине волны между каналами равен 0,1 – 0,8 нм, что в частотном выражении равно 12,5 – 100 ТГц).

В работе, с целью демонстрации применения явления спектральной интерференции для создания оптических частотных сеток, спектральные линии были получены в видимой области спектра. Для реализации частотной сетки в оптических телекоммуникациях необходимо перенести полученный канавчатый спектр в инфракрасную область спектра, используя соответствующий источник оптического излучения.

Спектральная плотность каналов WDM систем постоянно растет по мере совершенствования технологий передачи данных. В связи с этим, важной задачей при создании стандартов частотных сеток является уменьшение минимально возможного частотного интервала между периодическими спектральными линиями, который определяется разрешающей способностью измерителя спектра и характеристиками оптических компонент используемых в интерферометре (зеркал, светоделительных элементов и т.п.). В исследуемой установке минимальный интервал между спектральными линиями, обусловленный используемым спектроанализатором, т.е. разрешающая способность установки по частоте, равняется ~ 159 ГГц. Если использовать светодиод с длиной волны излучения 1,55 мкм, т.е. длиной волны, применяемой в телекоммуникациях, и соответствующие настройки спектроанализатора, то разрешающая способность будет составлять ~ 87 ГГц, что сопоставимо с интервалами между каналами WDM систем.

Расчет ширины аппаратной функции интерферометра. Для достижения наилучшей формы спектра на выходе интерферометра, требуемой для работы в качестве стандарта сетки частот для волоконно-оптических систем связи (WDM систем) необходимо определить аппаратную функцию интерферометра с учетом спектральных характеристик используемых в интерферометре оптических элементов (зеркал, светоделительных элементов и т.д.).

На рис. 3а показана упрощенная схема интерферометра Майкельсона, а на рис. 3б – эквивалентная схема, в которой вместо зеркала M_1 введена так называемая «референтная плоскость», занимающая место изображения зеркала M_1 в делительной пластине [4].

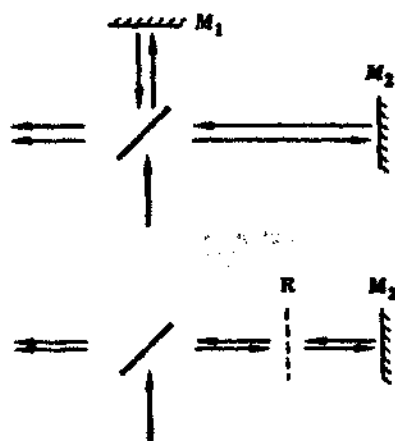


Рис. 3 а) упрощенная схема интерферометра Майкельсона; б) эквивалентная схема интерферометра Майкельсона с «референтной плоскостью»

Из рис. 3 видно, что для анализа работы интерферометра Майкельсона достаточно рассмотреть интерференцию волн, отраженных референтной плоскостью R и зеркалом M_2 . Иначе говоря, возникает задача об интерференции волн, отраженных гранями плоскопараллельной пластинки [4].

Интерференция на гранях плоскопараллельной пластины хорошо описана при рассмотрении интерферометра Фабри-Перо. Таким образом, можно применить математический аппарат интерферометра

Фабри-Перо для описания влияния характеристик зеркал интерферометра Майкельсона на аппаратную функцию.

Ширина инструментального контура или аппаратной функции интерферометра Фабри-Перо равна [5]:

$$\delta\lambda = \frac{\lambda}{q} \cdot \frac{1 - TR_M}{\pi \sqrt{TR_M}}, \quad (2)$$

где L – расстояние между зеркалами (в случае интерферометра Майкельсона – разность плеч интерферометра), λ – длина волны излучения, T – прозрачность по мощности среды между зеркалами (для воздуха $T=1$); R_M – коэффициент отражения зеркал интерферометра; q – порядок интерференции равный $2L/\lambda$.

На рис. 4 показано изменение ширины аппаратной функции интерферометра $\delta\lambda$ для коэффициентов отражения наиболее используемых зеркал, при разности плеч интерферометра L равной 1 мм.

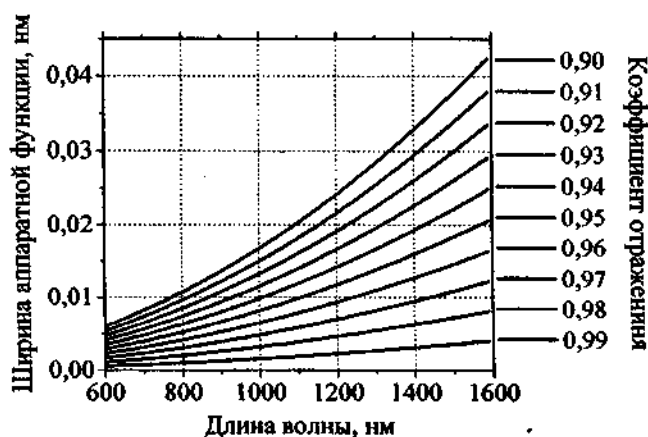


Рис. 4. Ширина аппаратной функции интерферометра $\delta\lambda$ для коэффициентов отражения наиболее используемых зеркал, при разности плеч интерферометра L равной 1 мм.

Таким образом, для создания стандартных сеток частот для WDM систем (инфракрасный диапазон спектра) в соответствии с ИТУ-T рекомендациями G.694.2 (интервал между каналами 20 нм) и ИТУ-T рекомендациями G.694.1 (интервал между каналами 0,1 – 0,8 нм) подходят

как зеркала на полупроводниковой основе, так и зеркала с металлическим напылением.

Выводы. В работе предложена идея и изучены возможности применения метода спектральной интерферометрии для создания оптических частотных сеток. В результате теоретического анализа и экспериментальной проверки метода оптической спектральной интерферометрии сформирована периодическая структура спектра излучения светодиода Toshiba TLRH190P и показана возможность создания частотных сеток данным методом для метрологического обеспечения частотных сеток WDM систем.

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

Список литературы:

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. - М.: Техносфера, 2003. - 440 с.
2. Лукин К. А. Шумовая радарная технология / К. А. Лукин // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. - Х., 1999. - 4, № 3. - С. 105-111.
3. Lazo M. Manojlović. A simple white-light fiber-optic interferometric sensing system for absolute position measurement. Optics and Lasers in Engineering, 48 (2010), pp. 486-490.
4. Физическая оптика: Учебник. 2-е изд./ С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. - М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. - 656 с.
5. В.В. Лебедева. Экспериментальная оптика. - 4-е изд. - М.: Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005.-282 с.