

УДК 535.8.225:543.432

М-ЛИНЕЙНЫЙ СПЕКТРОМЕТР

Осинов С.М., к.т.н.,

Чапный Т.М., инж.,

Кириченко М.В., инж.

Национальный технический университет Украины «Киевский Политехнический институт»

Тел.(044) 527-83-82

Аннотация– в этой статье сделан короткий обзорный анализ методов измерения коэффициента преломления тонких пленок, описан принцип М-линейной спектроскопии и структурная схема разработанного М-линейного спектрометра. Было проведено первое измерение для систем материалов Epsocore/Epsoclad Ormocore/Ormoclad (которые применяются для создания планарных оптических проводников на уровне печатных плат) при помощи этого прибора и установлено от чего зависит точность измерений.

Ключевые слова–оптический проводник, передача данных, показатели преломления, лазерный луч.

Постановка проблемы. Использование полимерных оптических проводников на печатных платах позволяет увеличить скорость передачи данных и плотность трассировки.

Анализ последних исследований. В сравнении с медными проводниками полимерные оптические проводники (рис. 1) обладают меньшими потерями при передаче данных, меньшей ценой и возможность передачи данных на скорости больше чем 10 Gb/s [1].

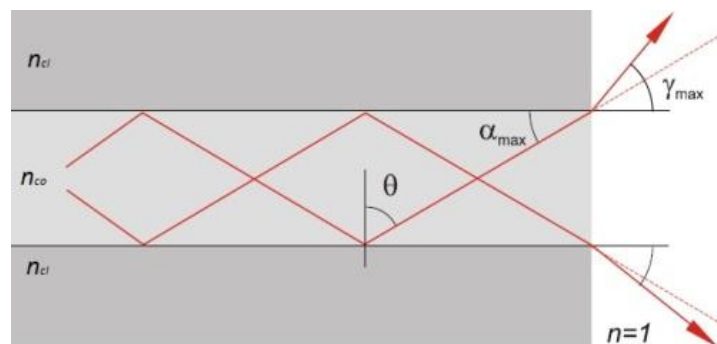


Рис.1. Структура оптического проводника.

Формулирование цели статьи. Для повышения точности измерений нужно установить на сколько угол призмы отличается от номинального значения с целью упрощения изготовления материалов Ormocore/Ormoclad.

Основная часть. Лазерные лучи могут пересекаться без взаимодействия друг с другом, поэтому для оптических проводников не может быть короткого замыкания.

Для максимального угла при котором излучение проходит в оптический проводник справедлива следующая формула [2]

$$\sin(\gamma_{\max}) = \sqrt{n_{co}^2 - n_{cl}^2}. \quad (1)$$

Для максимальной ширины полосы пропускания справедлива следующая формула [2]

$$f_{\max} \cdot L = \frac{2 \cdot n_{co} \cdot c_0}{n_{co}^2 - n_{cl}^2}. \quad (2)$$

где L – длина оптического проводника; c_0 – скорость света в вакууме; n_{cl}, n_{co} – показатели преломления оболочки и ядра соответственно.

Из формул (1) и (2) видно, что чем больше разница $n_{co}^2 - n_{cl}^2$, тем больше максимальный угол γ_{\max} , при котором излучение проходит в оптический проводник, и тем меньше максимальная ширина полосы пропускания f_{\max} . Для достижения высокого f_{\max} разница $n_{co}^2 - n_{cl}^2$ должна быть небольшой. Поэтому возникает необходимость в точном измерении показателя преломления.

Известны следующие способы измерения показателя преломления: рефрактометрия [3], эллипсометрия [4], М-линейная спектроскопия [5], сравнительная характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов измерений показателя преломления тонких пленок

Рефрактометрия		Эллипсометрия		М-линейная спектроскопия	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Простота	Точность измерений $\Delta n = \pm 0,001$	Бесконтактное измерение	Данные измерений периодичные с толщиной исследуемой пленки.	Точность измерений $\Delta n = \pm 0,0001$	Контактное измерение
		Измерение многослойных структур	Чувствительность к оптическому поглощению.	Не нужны точные данные о материале подложки или толщины пленки.	
				Скорость измерений	

Главным преимуществом М-линейной спектроскопии является то, что точность измерения показателя преломления зависит от параметров, которые можно измерять непосредственно при помощи этого метода. Для точного определения показателя преломления при помощи эллипсометрии необходимы дополнительные измерения оптических и геометрических параметров пленок.

Принцип работы и конструкция М-линейного спектрометра показан на рис. 2.

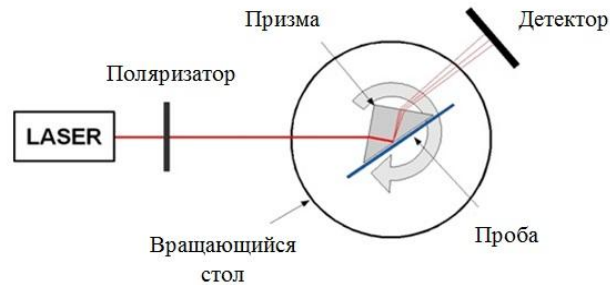


Рис. 2. Принцип работы М-линейного спектрометра.

При определенных углах падения лазерного излучения на пробу происходит «вхождение» луча в исследуемую пробу, что соответствует модам, которые могут распространяться в этой пленке. При этом мощность отраженного луча уменьшается, что фиксируется детектором.

Разработанный прибор состоит из следующих частей (рис. 3): He-Ne лазер, блоки питания лазера и детектора, модуль управления мотором вращающегося стола *FaulhaberMCDC2805*, вращающийся стол с держателем призмы и исследуемой пробой, детектор, амплитудно-цифровой преобразователь, *USB-Serial* преобразователь для осуществления соединения между модулем управления мотором и ЭВМ. Управление осуществляется при помощи программы *LabVIEW*.

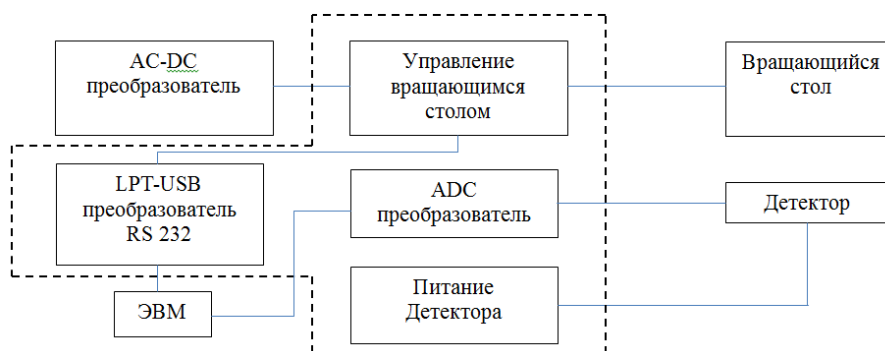


Рис. 3. Структурная схема прибора.

Измерять разницу $n_{co}^2 - n_{cl}^2$ уже структурированных оптических проводников очень сложно, поэтому измерения проводились для материалов ядра и оболочки отдельно. Исходные материалы (система материалов *Epocore/Epoclad* и *Ormocore/Ormoclad*) были нанесены на

подложку из боросиликатного оптического стекла *borofloat 33* фирмы *SHOT* в виде тонких пленок как показано на рис.4.



Рис.4. Схема изготовления проб.

Условия изготовления этих пленок максимально приближены к условиям изготовления структурированных оптических проводников. После изготовления проб был проведен контроль качества поверхности полимерной пленки и ее толщины. На рис. 5 показан результат измерения качества поверхности для материала Еросоге при помощи прибора $\mu Scan$ фирмы *Siemens*.

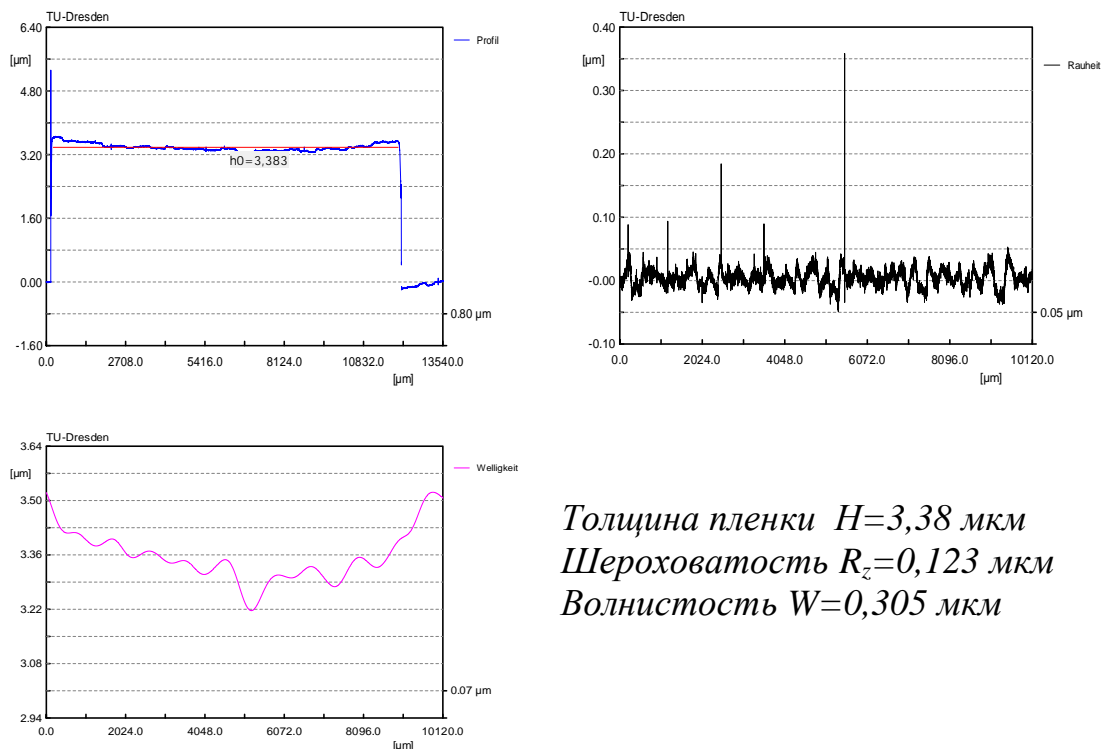


Рис.5. Механические свойства материала Еросоге.

Далее было проведено измерение показателя преломления при помощи разработанного прибора, результат измерений для материала Еросоге представлен на рис. 6.

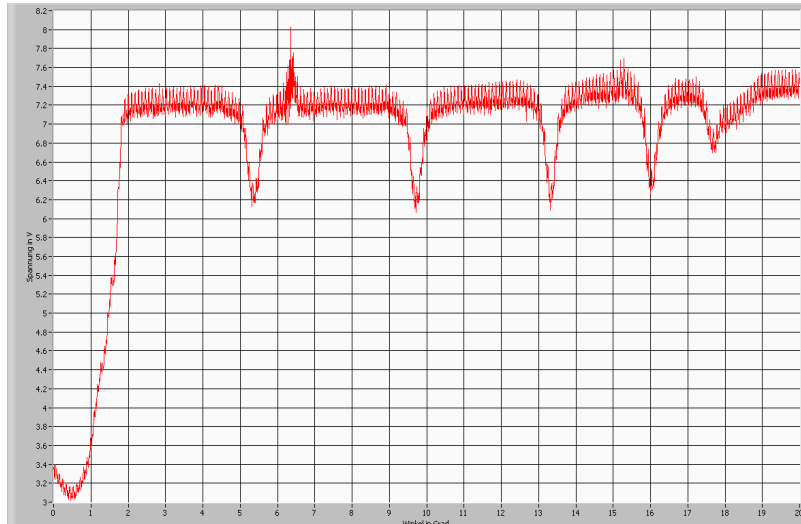


Рис. 6. Результат измерений для материала Eroscore.

С данных измерений при помощи М-линейного спектрометра, были определены углы, при которых возникают моды. Далее был проведен расчет коэффициента преломления при помощи следующих формул [5]:

$$N_m = n_p \cdot \sin \left(\varepsilon + \arcsin \left(\sin \left(\frac{\alpha_m}{n_p} \right) \right) \right); \quad (3)$$

$$\pi m = k \cdot d \sqrt{n_f^2 - N_m^2} - \arctg \left(\frac{\sqrt{N_m^2 - n_s^2}}{\sqrt{n_f^2 - N_m^2}} \right) - \arctg \left(\frac{\sqrt{N_m^2 - n_a^2}}{\sqrt{n_f^2 - N_m^2}} \right), \quad (4)$$

где N_m – эффективный показатель преломления; n_p , n_f , n_s , n_a – показатели преломления призмы, пленки, подложки и воздуха соответственно; k – волновой вектор; m – номер моды; ε – угол призмы; α_m – угол падающего излучения, при котором возникает «вхождение» излучения в пробу.

Уравнение (4) можно решить при помощи Mathcad или других программ, где используются численные методы решения уравнений. На точность измерений влияет точность определения α_m и угол призмы ε .

Выводы. В результате проведенных измерений для систем материалов Eroscore/Erosclad/Ormocore/Ormoclad было установлено, что система материалов Ormocore/Ormoclad имеет большую разницу $n_{co}^2 - n_{cl}^2$, а значит меньшую f_{max} , однако процесс изготовления этих материалов значительно проще, чем для системы Eroscore/Erosclad. Прибор имеет следующие параметры: диапазон измеряемых значений показателя преломления 1,4-3; точность измерений показателя преломления $\Delta n = \pm 0,0003$, диапазон рабочих температур $-55^\circ - +75^\circ\text{C}$. Для повышения точности измерений нужно установить на сколько угол призмы отличается от номинального значения. Сигнал с детектора не равномерный, поэтому нужна дополнительная фильтрация.

Литература

1. Wang K. Photolithographically Manufactured Acrylate Polymer Multimode Optical Waveguide Loss Design Rules / Kai Wang, R. D. Selviah, I. Papakonstantinou // Second Electronics System integration Technology Conference. – Greenwich, 2008. – Vol. 2. – P. 1251-1256.
2. Nieweglowski K. Beiträge zur Aufbau - und Verbindungstechnik für optische Kurzstreckverbindung / K. Nieweglowski // Doktorarbeit. – Dresden, 2011. – Vol. 4. – P. 230-238.
3. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wikipedia.org>.
4. Vogel Thomas. Mess automatisierung eines Prismenkopplers für die Charakterisierung optischer Dünnschichten / Thomas Vogel // Studienarbeit. – Dresden, 2010. – Vol. 1. – P. 12-22.
5. Rieske R. Optimierung des Versuchsaufbaus zur M-Linien Spektroskopie / R. Rieske // Studienarbeit. – Dresden, 2001. – Vol. 2. – P. 394-402.

М-ЛІНІЙНИЙ СПЕКТРОМЕТР

Осінов С.М., Чапний Т.М., Кириченко М.В.

Анотація

У статті зроблений короткий оглядовий аналіз методів вимірювання коефіцієнту переломлення тонких плівок, описані принципи М-лінійної спектроскопії та структурної схеми розробленого М-лінійного спектрометра. Було проведено перше вимірювання для систем матеріалів Epocore/ Epoclad и Ormocore/Ormoclad (котрі використовуються для створення планарних оптичних провідників на рівні печатних плат) при допомозі цього прибору та встановлено від чого залежить точність вимірювань.

M-LINE SPECTROMETRY

S. Osinov, T. Chapnyi, M. Kirichenko

Summary

In this paper was made a short review of the methods for measurement of refractive index of thin films, described principle of m-line spectrometry and structure of the developed device called m-line spectrometer. Was made first measurements for materials Epocore/Epoclad and Ormocore/Ormoclad (Which are used for production of optical waveguides on PCB) with this device and establish what have influences on accuracy.