

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 541.64:539.2

ИЗМЕРЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Геворкян С. Ш., Петросян А. С., Забуянян М. А.

Призменный элемент связи, используемый в интегральной оптике для измерения параметров оптических волноводов, может быть применен для прецизионного измерения параметров промышленных полимерных пленок. Предлагаемый способ обеспечивает высокую точность и локальность измерения коэффициента преломления в направлениях, как параллельных, так и перпендикулярных плоскости пленки.

Тонкие полимерные пленки содержат локальные неоднородности, обусловленные технологией их изготовления, которые определяют качество и надежность данных пленок в работе. В частности, это относится к электроизоляционным пленкам. Существуют различные методы измерения параметров полимерных пленок в направлении, перпендикулярном их плоскости. Это в основном емкостные методы [1], однако они не обеспечивают необходимую точность и локальность измерений. Измерению локальных параметров в направлениях, совпадающих с плоскостью пленок, до настоящего времени уделено мало внимания. Метод измерения в указанных направлениях основан на исследовании эллипса, образующегося при нагревании, иглой локальной области теплочувствительного слоя, нанесенного на поверхность пленки [2]. Несмотря на простоту, локальность и точность измерения в этом случае тоже получаются невысокими.

В интегральной оптике для измерения параметров тонких диэлектрических волноводных пленок, жестко связанных с неэластичной подложкой, широко используется призменный элемент связи [3], предназначенный для ввода и вывода оптических лучей в тонкопленочный волновод. Луч света входит в призму и испытывает полное внутреннее отражение от ее основания (рис. 1, а). При этом из-за несовершенства полного внутреннего отражения некоторая часть световой энергии оказывается под основанием призмы, и интенсивность света падает по экспоненциальному закону при удалении от основания призмы. Если тонкую пленку с показателем преломления, меньшим показателя преломления призмы, плотно прижать к основанию призмы, в ней могут возбуждаться световые волны, распространяющиеся в пленке, как это имеет место в оптических волокнах. Световые волны в пленке в зависимости от толщины и показателя преломления пленки возбуждаются только при определенных углах падения луча на входную грань призмы. Это так называемые углы «синхронности» φ_m , при которых достигается равенство фазовых скоростей волн в направлении оси Y как для пленки, так и для призмы. При этом

$$n_2 \sin \theta = n_1 \sin \theta_1,$$

где θ — угол внутреннего отражения от основания призмы; θ_1 — угол внутреннего отражения от границы волноводного слоя — подложка; n_1 — показатель преломления волноводного слоя; n_2 — показатель преломления призмы.

Измерение углов φ_m позволяет вычислить толщину и показатель преломления волноводного слоя, в частности диффузионного, если известны параметры призмы и показатель преломления подложки. Этот способ отличается простотой техники измерения и обработки результатов.

В настоящей работе показано, что призменный элемент связи может с успехом применяться для прецизионного измерения параметров полимерной пленки в локальной области. Сложность в данном случае заключается в том, что полимерная пленка не обладает достаточной жесткостью, и для обеспечения оптического контакта между пленкой и призмой необходимо предпринять специальные меры. В частности, оптический контакт между пленкой и призмой может быть образован силами поверхностного натяжения, введением между пленкой и призмой иммерсионной жидкости (рис. 1, б) или прижатием пленки к основанию призмы дополнительной подложкой (рис. 1, в).

Недостатками первого способа является то, что трудно регулировать прочность связи пленки с призмой и обработка результатов измерений сложна. Во втором слу-

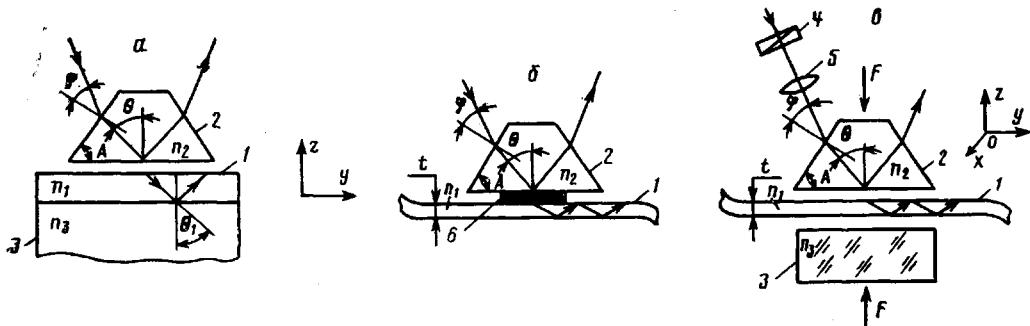


Рис. 1

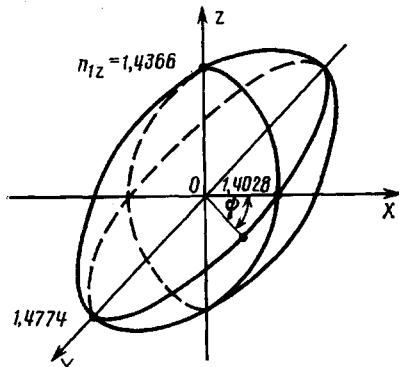


Рис. 2

чае образуются воздушные зазоры между пленкой и призмой, с одной стороны, между пленкой и подложкой – с другой. Толщина зазоров зависит от усилия сжатия, которое подбирается экспериментально. При больших усилиях сжатия зазор между полимерной пленкой и подложкой практически исчезает, и если соблюдаются условия $n_2 > n_1 > n_3$ и луч на входную грань призмы падает под углом синхронности, в полимерной пленке возбуждаются световые волны, которые за счет многократного полного внутреннего отражения от границы пленка – подложка распространяются в ней так, как это происходит в интегрально-оптическом волноводе [3]. Измеряя значения углов φ_m (рис. 1, *в*), соответствующих появлению световых волн в пленке, можно вычислить коэффициент преломления пленки по методу, описанному в работе [3]. Однако с целью повышения точности измерений и упрощения вычислений предпочтительно в эксперименте выбрать слабые усилия сжатия F . Если при этом размер подложки *з* превышает размер основания призмы, толщина зазора между нею и пленкой получается больше зазора между пленкой и призмой. В таком случае возбужденные в полимерной пленке световые волны не излучаются в дополнительную неэластичную подложку *з* даже при $n_3 > n_1$. При соблюдении этих условий полимерную пленку можно рассматривать как ленточный диэлектрический волновод [3].

Когда вектор напряженности электрического поля световой волны \mathbf{E} имеет направление плоскости пленки (*TE*-мода), коэффициент преломления пленки n_1 связан с коэффициентом распространения волн β_m соотношением, полученным из условия многократного полного внутреннего отражения от границ полимерной пленки [3].

$$(N_m^2 - 1) = (n_1^2 - N_m^2) \operatorname{tg}^2(tk\sqrt{n_1^2 - N_m^2}), \quad (1)$$

где $N_m = \beta_m/k$ называется эффективным показателем преломления, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны света, t – толщина пленки.

Когда напряженность электрического поля \mathbf{E} имеет компоненту, перпендикулярную плоскости пленки (*TM*-мода), связь n_1 и N_m дается формулой

$$n_1(N_m^2 - 1) = \operatorname{tg}^2(tk\sqrt{n_1^2 - N_m^2}) \quad (2)$$

В случае призменного элемента связи эффективный показатель преломления может быть определен экспериментально. Если направить луч на входную грань призмы, то не при всех углах падения φ в полимерной пленке возбуждаются световые волны. Для тех дискретных значений φ_m , при которых в пленке возбуждаются световые волны, N_m может быть вычислен по формуле

$$N_m = kn_2 \sin \left(A + \arcsin \frac{\sin \varphi_m}{n_2} \right), \quad (3)$$

где A – угол у основания призмы.

Таким образом, измерение коэффициента преломления полимерной пленки сводится к следующему. С помощью поляризатора 4 (рис. 1, в) выбирают плоскость поляризации, которая для TE -волны (направление Е) должна быть параллельна плоскости пленки (плоскость XOY на рис. 1, в). Выбором угла падения ϕ возбуждаются световые волны в пленке. Для этого значения Φ_m по формуле (3) вычисляют N_m и далее по формуле (1) коэффициент преломления пленки $n_{1\phi}$ в плоскости XOY . Значение $n_{1\phi}$ при этом соответствует направлению Е. Для TE -моды Е перпендикулярно направлению распространения волны в пленке. Ясно, что для данной поляризации (положение поляризатора 4), изменив направление распространения света в пленке поворотом пленки под призмой на угол ϕ (рис. 2), можно определить коэффициент преломления пленки в других направлениях, лежащих в плоскости пленки. Полученные таким путем значения $n_{1\phi}$ образуют эллипс в плоскости XOY (рис. 2). При повороте поляризатора 4 на 90° в пленке возбуждаются световые волны, для которых вектор Е перпендикулярен ее плоскости (TM -мода). Используя значения Φ_m , полученные в этом случае, и вычисляя N_m по формуле (3) из соотношения (2), определим n_{1z} в направлении, перпендикулярном плоскости пленки.

Экспериментально были исследованы промышленные полимерные пленки из ПП и других полимеров толщиной 5–50 мкм. Призма была изготовлена из стекла ТФ-2, $n_2=1,6725$, с углом у основания $A=61^\circ 29' 45''$. Призма с пленкой и подложкой была заключена в прижимную скобку и закреплена на поворотном столике, оборудованном на теодолите 2Т2А. Луч из лазера ЛГ-105 с длиной волны 0,6328 мкм, пройдя через поляризатор 4 с помощью объектива, через входную грань призмы был сфокусирован на локальную область пленки диаметром 10 мкм. Результаты измерений для пленки из ПП толщиной 12 мкм указаны на эллипсоиде показателя преломления (рис. 2). В данном случае ось OY соответствует направлению протяжки пленки. Из приведенных выше соотношений следует, что погрешность измерения показателя преломления зависит от точности измерения углов, Φ_m . Теодолит 2Т2А позволяет производить угловые измерения с точностью до $1''$, что при известных значениях n_2 , t и A обеспечивает измерение с точностью до 0,005%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриценко В. Л., Матвеева И. А., Поренин В. П. // Рост и легирование полупроводниковых кристаллов и пленок. Новосибирск, 1977. С. 340.
2. Мюллер Ф. Одноосное растяжение и анизотропия. Физика полимеров/Пер. с англ. под ред. Роговина З. А., Малкина А. Я. М., 1969. С. 254.
3. Ulrich R., Torge R. // Appl. Opt. 1973. V. 12. № 12. P. 2901.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркаса

Поступила в редакцию
12.III 1987

MEASUREMENT OF LOCAL PARAMETERS OF POLYMER FILMS

Gevorkyan S. Sh., Petrosyan A. S., Zabunyan M. A.

Summary

The prism connection element used in the integral optics to measure the parameters of optic waveguides can be used for precise measurement of parameters of commercial polymer films. The proposed method provides the high accuracy (0.005%) and locality of the refraction index measurement in direction both parallel and normal to the film plane.

УДК 541.64:543.422.23:539.72

ИНТРАСКОПИЯ ЯМР – НОВЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ДИФФУЗИИ В ПОЛИМЕРАХ

Артемов Д. Ю., Самойленко А. А., Иорданский А. Л.,
Сибелльдина Л. А., Косенко Р. Ю.

С помощью метода ЯМР-интраскопии в твердых телах исследовали процессы диффузии воды и электролитов в полиамидах. Рассмотрены преимущества и указаны перспективы применения предложенной методики.

Исследования кинетических закономерностей и механизмов диффузии агрессивных сред в полимерных материалах необходимы при прогнозировании их эксплуатационных параметров. Ряд традиционных методов определения коэффициентов