

УДК 538.955/956

## ПРОСТОЙ КВАЗИОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ НА МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

А. И. Ритус

*Описан квазиоптический метод измерения показателя преломления твердых материалов; легко реализуемый в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн. Точность измерений метода в этих диапазонах – порядка 0,5%.*

Метод основан на измерении коэффициента пропускания плоскопараллельной пластины из исследуемого материала в зависимости от угла падения  $i$  параллельного пучка ММ излучения. Оптическая разность хода  $\Delta$  для луча, прошедшего сквозь пластину толщиной  $d$ , и луча, испытавшего двукратное отражение от ее поверхностей, есть

$$\Delta = 2nd\sqrt{1 - \sin^2 i/n^2}, \quad (1)$$

здесь  $n$  – неизвестный показатель преломления. Интерференция этих лучей дает максимумы пропускания при  $\Delta = m\lambda$ , где  $m$  – целое число, а  $\lambda$  – длина волны в вакууме.

Для двух соседних максимумов пропускания имеем систему уравнений

$$\sqrt{n^2 - \sin^2 i_m} = m\lambda/2d, \quad (2)$$

$$\sqrt{n^2 - \sin^2 i_{m-1}} = (m-1)\lambda/2d. \quad (3)$$

Исключая  $n$  из системы, получаем для порядка интерференции  $m$  уравнение

$$2m - 1 = (2d/\lambda)^2(\sin^2 i_{m-1} - \sin^2 i_m). \quad (4)$$

Таким образом, измеряя углы  $i_m$  и  $i_{m-1}$ , при которых имеются соседние максимумы пропускания, из (4) можно найти порядок  $m$ , а затем из уравнения (2) показатель преломления

$$n = \sqrt{m^2(\lambda/2d)^2 + \sin^2 i_m}. \quad (5)$$

Экспериментально таким методом мы измерили показатель преломления тефлона на  $\lambda = 2,14$  м.м. Излучение генератора на лавиннопролетном диоде коллимировалось линзой с  $F = 60$  м.м в квазипараллельный пучок, который проходил сквозь плоскопараллельную пластину из тефлона толщиной  $d = 10$  м.м, причем пластина могла поворачиваться вокруг оси, направленной параллельно вектору  $E$  электромагнитной волны. Для такой поляризации коэффициент френелевского отражения монотонно растет с ростом угла падения  $i$  на пластину. Прошедшее излучение регистрировалось пироэлектрическим приемником, расположенным в фокусе линзы приемной системы. Измерялась зависимость пропускания от угла поворота  $i$  пластины.

Максимумы пропускания были получены при углах  $i = 16, 37, 52$  и  $70,5$  градусов, причем последний максимум был на 20% слабее остальных из-за частичного увода пучка из апертуры линзы приемника вследствие преломления в пластине. Расчет по формулам (4) и (5) для пар углов 16 и 37 градусов и 37 и 52 градуса дает соответственно  $m = 13$  и  $m = 12$  и  $n = 1,418$ , что согласуется с литературными данными (например, в [1] для тефлона приводится значение  $\epsilon = n^2 = 2$ ).

Оценим точность измерений данного метода. Дифференцируя (2) по  $i$ , находим

$$dn/di = \cos 2i/2n < 1/2n, \quad (6)$$

или

$$dn < di/2n. \quad (7)$$

Из нашего эксперимента следует, что положение максимумов можно определить с точностью порядка 1 градус, т.е.  $di = 1/60$ , что дает при  $n = 1,4$ , согласно оценке (7),  $dn = 0,006$  или  $dn/n = \pm 0,4\%$ .

Отметим, что этот метод хорошо работает на ММ волнах, поскольку для обычных толщин образцов  $\simeq 1$  см получаются  $m = (10 - 30)$  и расстояния между соседними максимумами 10 – 30 градусов. В оптическом диапазоне даже для толщины  $d = 1$  м.м порядок  $m$  будет составлять несколько тысяч, а расстояние между соседними максимумами будет порядка минуты, поэтому даже для лазерного пучка потребуется дополнительная коллимация и прецизионный гониометр для измерения углов. Кроме того, в оптическом диапазоне крайне затруднительно изготовление плоскопараллельной пластинки толщиной в несколько микрометров из исследуемого материала.

В наших экспериментах в качестве плоскопараллельной пластины использовалась пластина листового тефлона в том виде, как он выпускается промышленностью, без какой-либо дополнительной обработки. Тем не менее полученные экспериментальные

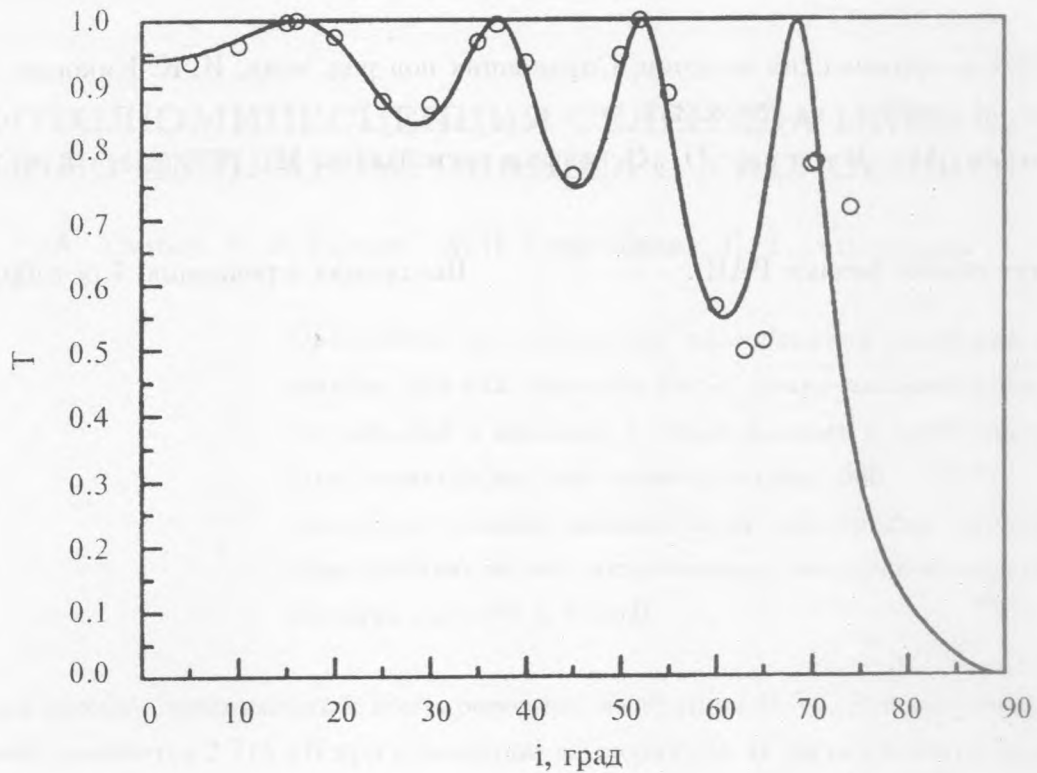


Рис. 1. Коэффициент пропускания  $T(i)$  плоскопараллельной пластины из тефлона толщиной 10 мм для параллельного пучка ММ излучения с длиной волны  $\lambda = 2,14$  мм в зависимости от угла падения  $i$ . Сплошная линия – расчет для  $n = 1,418$ , кружки – экспериментальные точки.

данные по пропусканию  $T(i)$  пластины в зависимости от угла падения прекрасно совпадают с расчетными для  $n = 1,418$  и  $d = 1$  см (см. рис. 1). Расчет проводился по формуле для пропускания интерферометра Фабри – Перо, коэффициенты отражения  $R$  зеркал которого равны коэффициенту френелевского отражения  $R = \sin^2(i-r)/\sin^2(i+r)$  для выбранной нами поляризации (здесь  $r$  – угол преломления,  $\sin i/\sin r = n$ ) [2]. Отклонение экспериментальных точек от расчетной кривой наблюдается лишь при  $i > 60$  градусов, когда сказывается сдвиг пучка вследствие преломления.

Автор признателен А. А. Волкову и Г. В. Козлову за предоставление квазиоптической ММ техники и полезное обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Таблицы физических величин. Справочник под ред. акад. И. К. Кикоина, Атомиздат, М., 1976 г., гл. 20, с. 333.
- [2] Борн М., Вольф Э. Основы оптики, Наука, М., 1973 г., гл. 1, гл. 7.

Институт общей физики РАН

Поступила в редакцию 7 октября 1996 г.

