

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 681.78: 53.082.539: 532.217

ОПТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРОЗРАЧНЫХ ПЛАСТИН С РАССЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

© 2003 г. Д. В. Кизеветтер, канд. физ.-мат. наук

Санкт-Петербургский государственный технический университет, Санкт-Петербург

Рассмотрен оптический способ определения толщины прозрачных пластин с одной диффузно рассеивающей поверхностью. Представлены различные варианты реализации данного метода, в частности для определения уровня жидкости. Дана оценка точности измерений.

Коды OCIS: 120.0120, 120.4630.

Поступила в редакцию 24.05.2002.

В настоящее время разработано довольно большое количество различных методов определения толщины оптических пластин и тонких пленок. Однако при диффузном рассеянии излучения на одной из поверхностей измеряемого образца большинство из оптических методов неприменимы. Рассматриваемый ниже оптический способ [1] может использоваться для измерения толщины прозрачных пластин, имеющих одну рассеивающую поверхность, а также уровня прозрачных жидкостей.

Рассмотрим случай рассеяния излучения плоскопараллельной пластинкой с нерассеивающей (полированной) входной поверхностью P_r и диффузно рассеивающей подложкой – выходной поверхностью P_s (рис. 1). Луч лазера, пройдя образец, рассеивается в точке O , образуя широкую индикатрису рассеяния. Часть лучей, лишь частично отразившись от поверхности P_r , покидает образец. Часть лучей, для которых угол падения на поверхность P_r больше критического ($\gamma_{cr} = \arcsin(1/n)$, где n – показатель преломления материала образца), испытывает полное внутреннее отражение и снова попадает на поверхность P_s . Поэтому в плоскости подложки на точки, лежащие на расстоянии $L < 2H/\text{tg}\gamma_{cr}$ от центра луча, отраженное излучение практически не попадает. Точки, лежащие

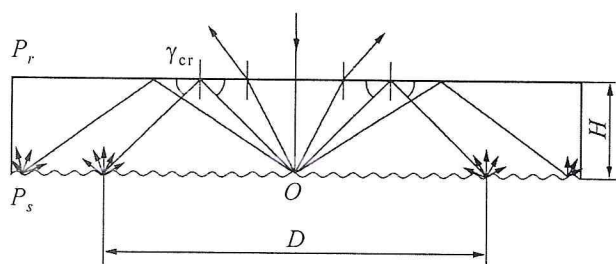


Рис. 1. Рассеяние луча на плоскопараллельной пластинке с рассеивающей подложкой.

на расстоянии $L > 2H/\text{tg}\gamma_{cr}$, будут освещаться отраженным светом и, являясь рассеивателями, диффузно рассеивать излучение во все направления, что позволяет наблюдать рассеянные лучи в любой точке приема. Итак, в результате падения лазерного луча на рассматриваемый образец образуется освещенная поверхность P_s с темной (неосвещенной) областью вокруг лазерного луча. Из рис. 1 видно, что диаметр теневой области D связан с толщиной образца как

$$H = (1/4)D \text{tg}\gamma_{cr}. \quad (1)$$

Необходимыми требованиями являются: наличие рассеивающей выходной поверхности с широкой индикатрисой рассеяния и плоской нерассеивающей входной поверхности, отсутствие объемного рассеяния в образце и размеры образца, превышающие величину D . Так, при малой величине диффузной составляющей индикатрисы рассеяния или ее малой полуширине интенсивность излучения на углы $\gamma > \gamma_{cr}$ также будет мала, что затруднит измерения. При объемном рассеянии в образце или при рассеянии на входной поверхности P_r происходит уменьшение контраста изображения, а при малых размерах образца – данный метод вообще неприменим.

При использовании когерентного источника излучения необходимо усреднить спекл-структуру изображения, например накапливая функции распределений интенсивности при различных положениях образца [2] или вращая последний с его параллельным перемещением [3]. Освещать образец целесообразно наклонным лучом в плоскости, перпендикулярной исследуемому образцу. В этом случае можно избежать попадания излучения, отраженного от нерассеивающей грани P_r , на фотоприемное устройство и в то же время не нарушать симметрии распределения $I(x)$.

Пример усредненного распределения интенсивности $I(x)$ по диаметру области тени, полученного с помощью матричной телевизионной ПЗС-камеры, приведен на рис. 2. Диаметр луча He-Ne-лазера (ЛГН-207Б, $\lambda = 0,63$ мкм) составлял 0,75 мм по уровню $1/e$ (распределение $I(x)$ значительно шире вследствие эффекта насыщения ПЗС), толщина пластинки 3 мм, высота шероховатости R_a 0,5 мкм. Участок зависимости I является зоной тени, 2 – переходной областью, 3 – освещенной областью, 4 – изображением лазерного луча на плоскости P_s . Фактически распределение $I(x)$ в зоне 3 соответствует индикатрисе рассеяния поверхности для углов $\gamma > \gamma_{cr}$, где $\gamma = \arctg(l/2H)$ с учетом поправочного коэффициента $\cos\gamma$.

Точность способа определяется, в основном, качеством объектива, проектирующего изображение на фоточувствительный элемент телевизионной камеры или ПЗС-линейки, точностью определения масштабного коэффициента, связывающего размер изображения в плоскости P_s с размером его проекции в плоскости приемника и нерезкостью границ изображения. Для уменьшения влияния последнего фактора необходимо оптимизировать диаметр падающего луча в зависимости от расстояния до принимающей камеры. Если полагать, что влияния искажений объектива и нерезкости границ могут быть уменьшены за счет цифровой обработки изображения в 5–10 раз, то оценочная точность данного метода при измерении толщины в 1–10 мм в реальных условиях может достигать 5–20 мкм.

Если образец имеет обе нерассеивающие поверхности, то измерения можно проводить, искусственно создав рассеяние на подложке либо посредством нанесения светорассеивающего лака, либо поместив исследуемый образец на диффузно отражающую поверхность, обеспечив оптический контакт с помощью иммерсионной жидкости. В простейшем случае в качестве рассеивателя может быть использована обычная бумага с масштабной-координатной сеткой, а в качестве иммерсии – вода, так как некоторая небольшая разница показателей преломления образца и иммерсии не мешает проведению измерений.

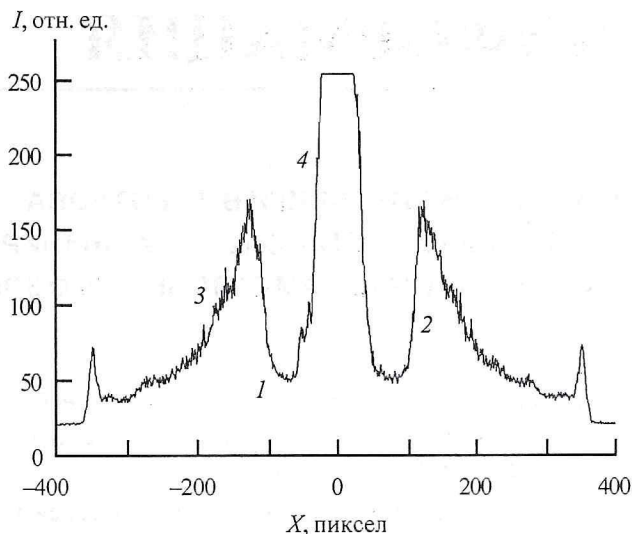


Рис. 2. Распределение интенсивности по диаметру области тени. 1 – область тени, 2 – переходная область, 3 – освещенная область, 4 – изображение лазерного луча в точке O .

Рассмотренный способ позволяет также определять уровень прозрачных жидкостей. Для этого достаточно сделать дно сосуда диффузно отражающим с координатными метками, направить лазерный луч и измерить размер области тени D . Следует отметить, что измеряемый уровень H должен быть существенно меньше диаметра сосуда, в котором находится жидкость.

Аналогичным способом можно измерять толщину пластин с рассеивающей входной поверхностью и нерассеивающей подложкой. Однако в этом случае контраст изображения будет значительно ниже из-за отражения света от нерассеивающей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кизеветтер Д.В. А.с. № 1672209 // Бюл. изобр. 1991. № 31. С. 157.
2. Бабулевич А.Ю., Кизеветтер Д.В., Малюгин В.И. А.с. № 1397728 // Бюл. изобр. 1988. № 19. С. 155.
3. Кизеветтер Д.В. А.с. № 1649264 // Бюл. изобр. 1991. № 18. С. 151.