

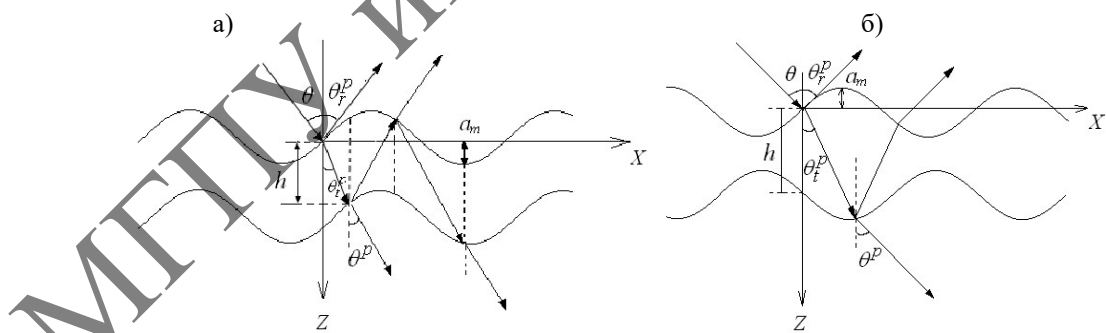
Г. В. КУЛАК, Т. В. НИКОЛАЕНКО
 УО МГПУ им. И. П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛНАХ ЛЭМБА НИЗШИХ ПОРЯДКОВ В ИЗОТРОПНЫХ СРЕДАХ

Показано, что дифракционный спектр света, дифрагированного на основной симметричной и антисимметричной моде Лэмба тонкой пластинки, соответствует раман-натовскому режиму дифракции на искривленных границах слоя и для волн различных дифракционных порядков описывается обобщенными формулами Эйри. Энергетические коэффициенты отражения при дифракции на симметричной моде Лэмба всегда меньше коэффициентов отражения при дифракции на антисимметричной моде.

Если толщина слоя мала ($h < \Lambda_S$, где Λ_S – длина объемной сдвиговой УЗ волны в слое), то в нем распространяется незначительное число мод Лэмба [1, 2]. При $h \ll \Lambda_S$ возможно распространение только основных мод Лэмба s_0 и a_0 , которые являются соответственно продольной и изгибной волнами в пластинке (слое).

Теоретические результаты и обсуждение. Плоскопараллельный слой, толщина которого h и показатель преломления n_2 , расположен в воздухе ($n_1 = 1$). Начало системы координат XYZ расположено на верхней границе слоя, а ось OY перпендикулярна плоскости падения света. При этом основные моды Лэмба s_0 и a_0 локализуются только в поверхностном слое толщиной $\sim \Lambda_s$ (рисунок 1).



θ – угол падения света, θ_r^p – угол отражения, θ_t^p – угол преломления, θ^p – угол преломления на выходе слоя;

$p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок дифракционного максимума;

h – толщина слоя в отсутствие деформации, a_m – амплитуда смещения границ слоя

Рисунок 1. - Схема отражения световой волны от плоскопараллельного слоя, возмущенного антисимметричной (а) и симметричной (б) модой Лэмба

Поля смещений слоя и поверхностей ($z = 0, h$) для симметричной моды Лэмба имеют вид:

$$U_z = U_0 \left(\frac{q}{K} \right) \left[\frac{sh[q(h/2 - z)]}{sh(qh)} - \frac{2K^2}{(K^2 + S^2)} \frac{sh[q(h/2 - z)]}{sh(sh)} \right] \sin(Kx - \Omega t) \quad (1)$$

Поле смещений слоя и поверхности ($z = 0, h$) для антисимметричной моды Лэмба определяется в соответствии с соотношением:

$$U_z = U_0 \left(\frac{q}{K} \right) \left[\frac{ch[q(h/2 - z)]}{ch(qh)} - \frac{2K^2}{(K^2 + S^2)} \frac{ch[q(h/2 - z)]}{ch(sh)} \right] \sin(Kx - \Omega t) \quad (2)$$

Углы отражения и преломления света, соответствующие волнам разных дифракционных порядков, определяются на основе формул [3]:

$$\sin \theta_r^p = \sin \theta - \frac{p\lambda_0 f}{n_2 v}, \quad (3)$$

$$\sin \theta_t^p = \sin \theta / n_2 - \frac{p\lambda_0 f}{n_2 v},$$

где λ_0 – длина световой волны в вакууме, f – частота ультразвука; $p = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок дифракционного максимума; θ – угол падения света.

С использованием результатов, опубликованных в работе [3] (для одной искривленной границы), несложно записать амплитудные коэффициенты отражения r_{\perp}^p и r_{\parallel}^p соответственно для TE - и TM -поляризованных составляющих падающего света:

$$r_{\perp, \parallel}^p = r_{\perp, \parallel} J_p(2ka_m \cos \theta), \quad (4)$$

где $r_{\perp, \parallel}$ – амплитудный френелевский коэффициент отражения (соответственно индексам) для TE - и TM -поляризованных составляющих падающего света в отсутствие УЗ возмущения поверхности слоя; $k = 2\pi n_2 / \lambda_0$ – волновое число падающего света, a_m – амплитуда смещения поверхности соответствующей (симметричной или антисимметричной) моды Лэмба.

Энергетические коэффициенты отражения (R^p) дифрагированных волн для антисимметричных волн Лэмба вычисляются по формулам [3]:

$$R_{\perp, \parallel}^p = \frac{4R_p^{\perp, \parallel} \sin^2(\delta_p / 2)}{[(1 - R_p^{\perp, \parallel})^2 + 4R_p^{\perp, \parallel} \sin^2(\delta_p / 2)]}, \quad (5)$$

где $R_p^{\perp, \parallel} = |r_{\perp, \parallel}^p|^2$ – энергетические коэффициенты отражения от границы раздела двух сред;

$\delta_p = 4\pi n_2 \cos \theta_t^p / \lambda_0$ – набег фазы световой волны.

Если мода Лэмба симметричная, то при отражении света от нижней границы слоя амплитудный коэффициент отражения испытывает фазовый сдвиг на π радиан, и энергетический коэффициент отражения определяется по формуле

$$R_{\perp, \parallel}^p = \frac{4R_p^{\perp, \parallel} \cos^2(\delta_p / 2)}{[(1 - R_p^{\perp, \parallel})^2 + 4R_p^{\perp, \parallel} \sin^2(\delta_p / 2)]}. \quad (6)$$

Очевидно, что энергетические коэффициенты пропускания дифрагированных световых волн связаны с энергетическими коэффициентами отражения соотношениями $T_{\perp, \parallel}^p = 1 - R_{\perp, \parallel}^p$.

При дифракции света на модах Лэмба дифракционное распределение интенсивности с четко выраженными дифракционными максимумами формируется как в отраженном, так и в прошедшем свете. При этом картина дифракции на модах низших порядков аналогична дифракции Рамана – Ната в согласованных АО структурах. Наибольший интерес представляют прошедшие дифрагированные волны первого порядка, для которых достигается наибольшая глубина акустооптической модуляции. На основе результатов измерения поляризационных и энергетических характеристик дифрагированного света возможно установление основных параметров различных мод Лэмба. Эффективность дифракции на антисимметричной основной моде значительно ниже эффективности дифракции на симметричной моде. Моды Лэмба низших порядков могут быть диагностированы посредством анализа результатов дифракции света на искривлениях верхней и нижней поверхностей слоя.

Таким образом, акустооптический метод позволяет диагностировать волны Лэмба низших порядков плоскопараллельной пластинки из изотропного материала. Энергетические коэффициенты отражения при дифракции на симметричной моде Лэмба всегда меньше коэффициентов отражения при дифракции на антисимметричной моде, что обусловлено значительным (противофазным) фазовым рассогласованием волн, отражённых от верхней и нижней границы слоя при дифракции на симметричной моде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Викторов, И. А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэля и Лэмба в технике / И. А. Викторов. – М. : Наука, 1966. – 167 с.
2. Diodati, P. Lamb wave reflection at the plate edges. / P. Diodati, G. Tassi, A. Alippi // Appl. Phys. Lett. – 1985. – Vol. 47, № 6. – P. 573 – 575.
3. Ярив, А. Оптические волны в кристаллах / А. Ярив. – М. : Мир, 1987. – 616 с.

МГТУ ИМ. И.П. ШАМЯКИНА