

ФОТОДЕФЛЕКЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР

Г.С. Митюрич¹, Е.В. Лебедева², В.В. Кожушко³, А.Н. Сердюков¹

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь; george_mityurich@mail.ru

²Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Гомель, Беларусь

³Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель Беларусь

В последние годы особенное внимание исследователей привлекает изучение структуры и свойств низкоразмерных сред, обладающих пространственной дисперсией, таких, например, как сверхрешетки (СР). Такие среды обладают довольно необычными физическими свойствами. Поэтому ясное понимание закономерностей физических процессов формирования низкоразмерных структур требует разработки методов неразрушающей диагностики.

К одним из достаточно эффективных методов относится метод лазерной фотодефлекционной (ФД) спектроскопии с использованием в качестве источника возбуждения бесселевые световые пучки (БСП), позволяющие увеличивать фокусную глубину результирующего сигнала [1]. Преимуществом лазерной ФД спектроскопии также является дополнительная возможность управления амплитудно-фазовыми характеристиками путем использования оптических схем с регулируемым углом конусности аксикона.

В основе лазерного ФД метода лежит преобразование поглощённой в объеме исследуемого образца световой энергии падающего пучка в тепловое поле, обуславливающее возникновение градиента показателя преломления, как в образце, так и в окружающей среде. По величине угла, на который отклоняется пробный лазерный пучок малой мощности при прохождении его через область с неоднородным показателем преломления, можно судить об оптических, диссипативных, теплофизических и других характеристиках образца.

Цель. Построение теоретической модели регистрации ФД сигнала в трёхслойной системе, состоящей из подложки, исследуемого образца и окружающей среды.

Теоретическая модель. Путём использования интегральных преобразований Фурье-Бесселя и Лапласа получено следующее выражение ФД сигнала

$$\Phi(\rho, z, t) = \frac{\pi^2 w_0}{4n_{eff}} \frac{dn_{eff}}{dT} T \times \int_0^t \frac{(\sin^2 \Omega t - 1)x}{\left[w_0^2 + 8\beta_S(t-\tau)\right]^{3/2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{w_0^2+8\beta_S(t-\tau)}} \cdot e^{-\alpha_{eff}\beta_S(t-\tau)} d\tau, \quad (1)$$

где β_S — эффективный коэффициент температуропроводности гиротропной СР, связанный с коэффициентом теплопроводности соотношением $\beta_S = k_S / (\rho_0 C)$; ρ_0 — плотность образца; C — удельная теплоёмкость; α_{eff} — эффективный коэффициент

поглощения сверхрешетки; w_0 — перетяжка пучка; t — время воздействия излучения; Ω — частота модуляции БСП; n_{eff} — эффективный показатель преломления СР. В выражении (1) T — распределение поля температур, которое определяется равенством

$$T = 2\pi \left[\frac{b_1^0 c_2^0 - b_2^0 c_1^0}{b_1^0 a_2^0 - b_2^0 a_1^0} e^{\sigma_S z} + \frac{a_1^0 c_2^0 - a_2^0 c_1^0}{b_1^0 a_2^0 - b_2^0 a_1^0} e^{-\sigma_S z} + e^{-\alpha_{eff} z} \right] \times \frac{A_1 [N_1 R_1(0) + N_2 R_2(0) - N_3 R_3(0)]}{\alpha_{eff}^2 - \sigma_S^2} A_0 B^{TE} e^{-r^2/w_0^2},$$

где параметром B^{TE} определяется скорость диссипации энергии бесселевых световых пучков.

Результаты и их обсуждение. Анализ полученного в настоящей работе соотношения произведён численными методами. На рис. 1 изображена зависимость угла фотодефлекции от радиальной координаты ρ , рассчитанные по формуле без учёта влияния подложки, описанной в работе [2], и по формуле (1) с учётом параметров подложки. Видно, что при игнорировании влияния подложки в результате вычисления получаются завышенные значения амплитуды фотодефлекционного сигнала.

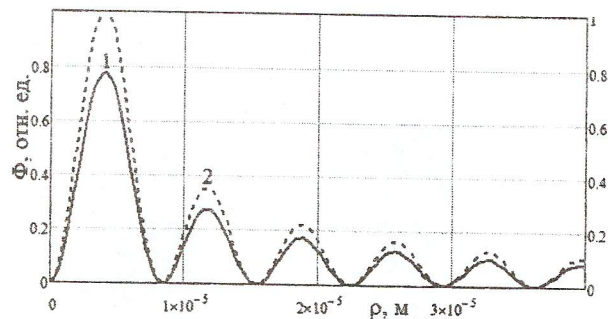


Рис. 1. Пример оформления подписи рисунка

Установлено, что значение амплитуды фотодефлекционного сигнала от гиротропной сверхрешетки сложным образом зависит от временных и поляризационных свойств БСП, а также геометрических, теплофизических, диссипативных и дихроичных параметров сверхрешётки.

- Shi J., et al. Bessel-Beam Grueneisen Relaxation Photoacoustic Microscopy with Extended Depth of Field // Journal of Biomedical Optics. — 2015 (20), № 11, 116002-1—6
- Митюрич Г.С. и др. Формирование фотодефлекционного отклика в гиротропной сверхрешётке, облучаемой бесселевым световым пучком // ПФМТ. — 2016 (27), № 2, 18—23