

И.У. ПРИМАК, *А.Б. СОТСКИЙ, А.В. ХОМЧЕНКО
 ГУ ВПО «БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 *УО «МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
 им. А.А. Кулешова»

При эксплуатации элементов оптики и электроники в условиях переменных или больших термических нагрузок необходимы данные о теплофизических постоянных оптических материалов. В докладе рассмотрены возможности определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности тонких пленок волноводным методом. Рассматривается призмная схема возбуждения оптического волновода (рис. 1), где используются два оптических пучка, имеющих разные длины волн. Пучок накачки создает модулированное (с частотой ω) температурное поле в пленке. Второй пучок (считывающий) используется для регистрации термоиндуцированных приращений $\Delta\beta_c$ постоянной распространения β_c возбуждаемой им волноводной моды пленки.

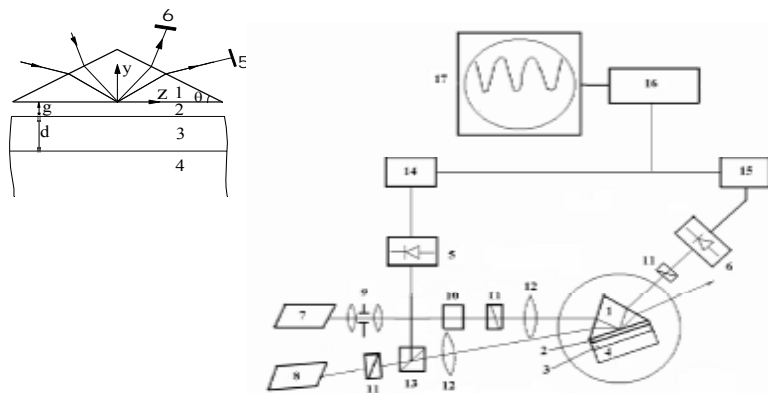


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – призма; 2 – буферный слой; 3 – волноводная пленка; 4 – подложка; 5 и 6 – фотоприемники, регистрирующие пучок накачки и считывающий пучок, соответственно; 7, 8 – лазер; 9 – коллиматор; 10 – аттенюатор; 11 – поляризатор; 12 – фокусирующий элемент; 13 – делитель пучка; 14, 15 – усилитель; 16 – блок сравнения каналов; 17 – компьютер; на вставке – призмное устройство связи

Термоиндуцированное приращение постоянной распространения моды зависит от теплофизических постоянных тонкопленочной структуры.

В случае возбуждения ТЕ-моды:

$$\Delta\beta_C = k_C^2 (\text{Re } n_w) \frac{dn_w}{dT} \int_{-g-d}^{-g} \Delta T(x, y, z, t) Y_C^2 dy \left(\text{Re}(\beta_C) \int_{-\infty}^{\infty} Y_C^2 dy \right)^{-1}, \quad (1)$$

где $k_C = 2\pi/\lambda_C$, λ_C – длина волны считывающего пучка; n_w , dn_w/dT – показатель преломления и термооптический коэффициент пленки; $Y_C(y)$ – поле волноводной моды, возбуждаемой считывающим пучком, $\Delta T(x, y, z, t)$ – приращение температуры в пленке, вызванное поглощением света. При этом

$$\Delta\beta_C = \Delta\beta_0 + \Delta\beta_\omega,$$

где $\Delta\beta_0$ – постоянная величина, $\Delta\beta_\omega \sim \sin(\omega t + \alpha + \arg P)$ – модулированное приращение постоянной распространения моды.

Таким образом, функция $\Delta\beta_C(t)$ колеблется с той же частотой, что и мощность пучка накачки, но сдвинута относительно нее по фазе на $\arg P$. Величина $\arg P$ зависит от теплофизических постоянных пленки. Поэтому для определения \bar{k}_3 и a_3^2 целесообразно использовать параметр $\arg P$. Он может быть измерен с погрешностью $\sim 10^{-3}$ рад путем преобразования во временной интервал [1]. На рис. 2 представлены результаты моделирования зависимости $\arg P(\omega)$. Расчеты выполнены для пленки из оксида алюминия, толщиной $d = 1$ мкм и коэффициентом температуро-проводности $a_3^2 = 8.3 \cdot 10^{-6}$ м²/с, расположенной на подложке из кварцевого стекла ($\bar{k}_4 = 6.3$ Вт/(Км), $a_4^2 = 3.2 \cdot 10^{-6}$ м²/с). Использована призма связи из тяжелого флинта ($\bar{k}_1 = 0.62$ Вт/(Км), $a_1^2 = 0.32 \cdot 10^{-6}$ м²/с), отделенная от пленки воздушным слоем толщиной $g = 0.2$ мкм.

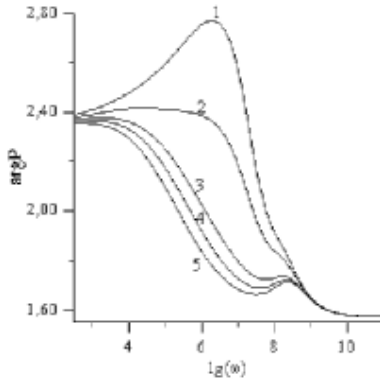


Рис. 2. Зависимость величины $\arg P$ от частоты модуляции пучка накачки. Кривые 1 – 5 для $\bar{k}_3 = 1$ Вт/(Км), $\bar{k}_3 = 5$ Вт/(Км), $\bar{k}_3 = 25.1$ Вт/(Км), $\bar{k}_3 = 40$ Вт/(Км), $\bar{k}_3 = 60$ Вт/(Км).

Длина волны пучка накачки и считывающего излучения равна $\lambda_p = 0,67$ мкм и $\lambda_c = 0,63$ мкм соответственно. Из анализа рис. 2 следует, что существенное различие в сдвигах фаз $\arg P$ для пленок с различной теплопроводностью наблюдается в диапазоне частот $10^3 < \omega < 10^8$ с⁻¹. В результате теплофизические параметры пленки могут быть определены путем обработки регистрируемой зависимости $\arg P(\omega)$ (например, методом наименьших квадратов).

Экспериментальный сдвиг фазы сигналов иллюстрируется на рисунке 3. Измерения выполнены при туннельном возбуждении основной моды пленки SnO₂ толщиной 0,5 мкм, полученной ВЧ распылением на подложку из кварцевого стекла. Аналогичные зависимости наблюдались и для пленок из Al₂O₃, ZnO, TiO₂.

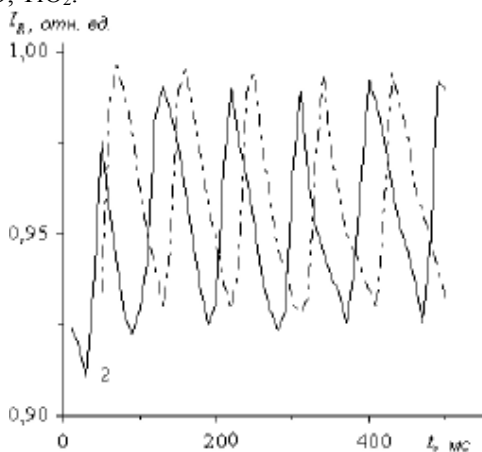


Рис. 3. Временная зависимость интенсивности отраженного излучения при возбуждении волновода пучком накачки (1) и после его выключения (2)

Таким образом, проанализирована возможность измерения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности тонких пленок волноводным методом при использовании двух лазерных пучков, возбуждающих волноводные моды на разных длинах волн

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Евтихийев, Н. Н.** Измерение электрических и неэлектрических величин / Н. Н. Евтихина. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

E-mail: avkh@mogilev.by