

## РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДАВАЧА ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОЇ ТЕРМОМЕТРІЇ

Головня В. М., асистент; Демчук В. О., магістрант  
 Національний технічний університет України  
 «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Задача точного вимірювання температури є важливою складовою багатьох технологічних процесів. На термометрію припадає 40 – 50% всіх вимірювань, що виконуються у промисловості [1, 2]. Серед відомих способів вимірювання температури особливе місце займають безконтактні методи.

Основним носієм інформації в безконтактних методах вимірювання температури є електромагнітне поле оптичного діапазону частот. Відбита нагрітим тілом електромагнітна хвиля несе інформацію про процеси, що протікають у досліджуваному об'єкті. Ці процеси впливають на енергію відбитої хвилі. Таким чином, такі вимірювання відносять до оптико-фізичних методів дослідження, у яких первинним носієм інформації є оптичний сигнал.

Особливої актуальності набуває розрахунок елементів системи безконтактної активної оптичної термометрії з метою відбору оптимальних для розв'язуваної задачі характеристик.

В системах лазерної інтерференційної термометрії (ЛІТ) давач виконує перетворення температури  $T$  у вимірювану оптичну величину - коефіцієнт відбиття  $\mathcal{R}$ , пропускання  $\mathcal{T}$ , еліпсометричні кути  $\Psi$ ,  $\Delta$ , показники заломлення та поглинання. Ці величини залежать від параметрів чутливого елемента давача.

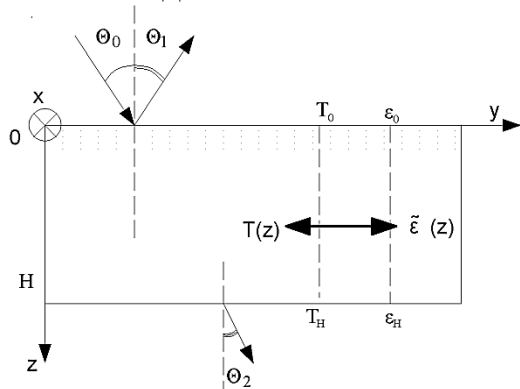


Рис.1 Падіння електромагнітної хвилі на діелектричну пластинку з неоднорідним розподілом температур

Розглянемо необмежений по осях  $x$  і  $y$  плоский шар діелектрика (чутливий елемент давача), що має уздовж напрямку  $z$ , перпендикулярного бічним граням, кінцеву товщину  $H$ .

Просторовий розподіл комплексної діелектричної проникності вздовж осі  $z$  можливий лише внаслідок наявності температурної залежності, що може бути виражена через показники заломлення та поглинання по формулі

$$\sqrt{\tilde{\epsilon}(T)} = \tilde{n}(T) = n(T) + i \cdot \chi(T), \quad (1)$$

де  $\tilde{n}(T)$  — комплексний показник заломлення,  $n(T)$ ,  $\chi(T)$  — відповідно дійсна та уявна частини.

Залежність від температури для дійсної й уявної частин комплексного показника заломлення розраховується поліноміальною апроксимацією в околиці деякої заданої температури  $T_0$ :

$$\begin{aligned} n(T) &= n_0(1 + a_1(T - T_0) + a_2(T - T_0)^2 + \dots), \\ \chi(T) &= \chi_0(1 + b_1(T - T_0) + b_2(T - T_0)^2 + \dots), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $T_0$  — температура, поблизу якої виконується лінеаризація температурної залежності,  $a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots$  — емпіричні коефіцієнти розкладу.

Таблиця 1 Коефіцієнти розповсюдження для  $n(T)$  в рівнянні (2) для деяких типів діелектриків [3]:

| Матеріал                | $n_0$ | $a_1$                 | $a_2$                 | Діапазон температур, °C |
|-------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Плавлений кварц $SiO_2$ | 1,46  | $6,2 \cdot 10^{-6}$   | $5,1 \cdot 10^{-9}$   | 25...125                |
| Монокристал кремнію Si  | 3,413 | $5,484 \cdot 10^{-5}$ | $1,358 \cdot 10^{-8}$ | 20...400                |

Обчислення температурної динаміки, яка спостерігається в товщі діелектрика зводиться до знаходження розв'язку рівняння теплопровідності [4]:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + F(z, t) = \rho c_v \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (3)$$

де  $k$  — коефіцієнт теплопровідності,  $\rho$  — щільність матеріалу,  $c_v$  — питома теплоємність при постійному об'ємі.

Подальші розрахунки проводилися при різних випадках: 1) коли тепловиділення в середовище відсутнє, то залежність температури  $T$  лінійна, і значення величини  $k$ ,  $\rho$  і  $c_v$  є постійними; 2) коли тепловиділення в середовищі наявне, то виникає просторова неоднорідність коефіцієнта теплопровідності, що виражається в залежності  $k(T(z))$ .

На основі проведених розрахунків найкращим представленням давача ЛІТ є модель плоскопаралельної пластини діелектрика з температурно-залежними властивостями та обрахунок його параметрів методом еліпсометрії.

#### Література

1. Гордов А. Н. и др. Основы температурных измерений / А. Н. Гордов, О. М. Жагулло, А. Г. Иванова — М.: Энергоатомиздат, 1992 — 304 с.
2. Магунов А. Н. Лазерная термометрия твердых тел / А. Н. Магунов — М.: Физматлит. — 2001. — 224 с.
3. Беляев Б. А., Дрокин Н. А., Шабанов В. Ф. Диэлектрические и оптические свойства жидкого кристалла 5-пропил-2-(п-цианфенил)-пиридин. // Физика твёрдого тела, 2003, — Т. 45, — Вып. 4, — С. 756 — 760.
4. Власова Е. А., Зарубин В. С., Кувыркин Г. Н. Приближенные методы математической физики: Учеб. для вузов / Под ред. В. С. Зарубина, П. Крищенко. — М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2001. — 700 с.