

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИСТАЛООПТИЧНОГО ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Анотація. Подано дослідження кристалооптичного методу вимірювання температури та отримано кодову маску, за допомогою якої побудовано шкалу для визначення початкової температури вимірювань.

Ключові слова: кристалооптичний метод, вимірювання температури, температурна шкала.

Вступ. В сучасній техніці велику роль відіграють вимірювальні перетворювачі або давачі, які є необхідними елементами автоматичних систем, систем збирання і обробки інформації, моніторингу. Крім того, високоточні перетворювачі потрібні для таких галузей, як електроніка, медицина, енергетика, кріогеніка, для систем контролю технологічних процесів, наукових досліджень і т.п.

В даний час виник новий напрям в термометрії з використанням кристалооптичних термоперетворювачів (КОТП), особливістю якого є те, що для передачі вимірювального сигналу від чутливого елемента (ЧЕ) КОТП, який знаходиться в зоні вимірювання температури до вторинного приладу використовується промінь монохроматичного світла, а чутливим елементом є двозаломлюючий кристал [1].

Мета роботи. Дослідження КОТП для підвищення точності та розширення можливості вимірювання температури і довірчої ймовірності до їх результатів в умовах дії електромагнітних полів під високим електричним потенціалом.

Інтенсивність світла $I(t)$, яку реєструє фотоприймач [2], можна подати у виді :

Якщо двозаломлюючий кристал помістити середовище, де необхідно вимірювати температуру, то її зміна буде викликати зміну показників заломлення i , відповідно, зміну різниці ходу між звичайним та незвичайним променями. Інтенсивність монохроматичного поляризованого світла, що пройшло через кристал, має періодичну залежність від температури кристалу t :

$$I = I_o \cdot \sin^2 \frac{p \cdot d \cdot \Delta n(t)}{l}, \quad (1)$$

де I_o – інтенсивність падаючого світлового потоку; d – товщина кристалу вдовж променя; $\Delta n(t) = \Delta n'(t) - \Delta n''(t)$; $\Delta n'(t), \Delta n''(t)$ – показники заломлення кристалу в кристалофізичних напрямках, що лежать в площині, перпендикулярній напрямку розповсюдження випромінювання; l – довжина хвилі випромінювання.

Тоді згідно (1) вимірювану температуру можна подати:

$$t = t_0 + m t_T + \Delta t, \quad (2)$$

де t_0 – відома початкова температура, коли $t_0 = 0$ і $m = 0$; m – число мінімумів фотоструму, зареєстрованих при зміні температури ЧЕ від початкової t_0 до вимірюваної t ; $\Delta t < t_T$ – температура неповного температурного інтервалу t_T . Видно, що деякому значенню фотоструму відповідає набір температур $(m \cdot t_T + \Delta t)$, де $m = 0, +1, +2, \dots$, t_T – інтервал температур, характерний для даного ЧЕ КОТП.

Однак тут існує проблема визначення температури t_0 та Δt , хоч даний метод має високу повторювальність метрологічних характеристик ЧЕ КОТП, що робить його перспективним.

Для вимірювання температури кристалооптичним методом та вирішення проблеми визначення t_0 можна використати первинний КОТП на основі двозаломлюючих кристалів [2].

Щоб розширити діапазон вимірювання температур та підвищити точність вимірювання з можливістю визначити початкову температуру t_0 , нами запропоновано КОТП, поданий на рис. 1.

В цьому КОТП товщини кристалів ЧЕ 3, ЧЕ 4 відповідно d_3, d_4 відносяться, як $d_3 : d_4 = 9,7$, тоді температурні інтервали $t_{T4} : t_{T3} = 9,7$.

Для можливості проведення вимірювання поляризатор 2 та аналізатор 6 знаходяться в схрещеному положенні, кристали ЧЕ 3, ЧЕ 4 в діагональному. Промені, що проходять через ЧЕ 3, ЧЕ 4 отримують зсув фаз між ординарним та екстраординарним променями, що залежить від

температури. Частина випромінювання з кожного каналу проходить через чверть хвильову пластинку 5 та отримує додатковий зсув фаз – $\pi/2$ та потрапляє через оптоволокно на фотоприймачі. На виході фотоприймачів отримаємо електричні сигнали $U_{\phi 3-1}$, $U_{\phi 3-2}$, $U_{\phi 4-1}$, $U_{\phi 4-2}$, що визначаються квадратом амплітуди відповідних оптичних сигналів на вході, їх чутливістю (крутизною перетворення) S_{3-1} , S_{3-2} , S_{4-1} , S_{4-2} , тобто

$$U_{\phi 3-1} = S_{3-1} I_0 \sin^2 \frac{p \cdot k}{T} t, \quad (3)$$

$$U_{\phi 3-2} = S_{3-2} I_0 \sin^2 \frac{p \cdot k}{T} (t - \frac{T_3}{4}), \quad (4)$$

$$U_{\phi 4-1} = S_{4-1} I_0 \sin^2 \frac{p \cdot k}{T} t, \quad (5)$$

$$U_{\phi 4-2} = S_{4-2} I_0 \sin^2 \frac{p \cdot k}{T} (t - \frac{T_4}{4}), \quad (6)$$

де I_0 – інтенсивність світла на виході термочутливого елементу двопроточного кристалу – ЧЕ 3, ЧЕ 4; $\lambda = 632,8$ нм – довжина хвилі джерела 1 монохроматичного поляризованого світла; k – може бути функцією від температури t ; t_{T3} , t_{T4} – характерний температурний інтервал для термочутливого кристалу ЧЕ 3, ЧЕ 4 відповідно, що відповідає фазі кратній до 2π .

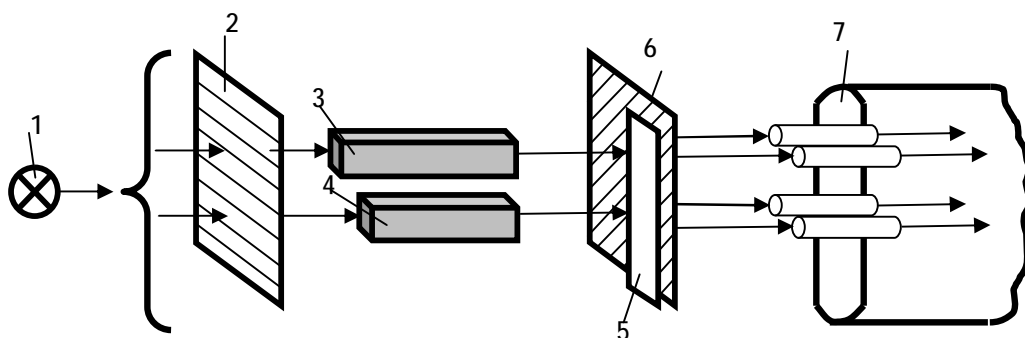


Рис. 1. Лазер ЛРН-207Б (1); поляризатор (2), – кристали ЧЕ (3 – 4); чверть хвильова пластинка (5); аналізатор (6); оптоволокно (фотоприймач) (7)

Результати досліджень та використання двох ЧЕ для КОТП з ніобату літію дозволяють отримати високостабільні метрологічні характеристики, що забезпечує можливість дистанційного вимірювання температури в магнітних полях на об'єктах під високим електричним потенціалом, практично без тепловідводу в діапазоні 175...380°C.

Висновок. Розвиток наукових досліджень кристалооптичних методів та пошук нових матеріалів для ЧЕ КОТП вказує на їх перспективність з огляду на значне розширення можливості вимірювання температури і підвищення їх точності [2].

Література

1. Б. Стадник, Я. Луцик, М. Степаняк. // Дослідження метрологічних характеристик чутливих елементів кристалооптичних перетворювачів. Тези доповідей 8 –ої міжнародної конференції «Температура 2003 .- Львів, 2003. – С.101.
2. Степаняк М. В., Степаняк М. М. Розширення діапазону вимірювання початкової температури з використанням кристалооптичних термоперетворювачів // Автоматика, вимірювання та керування. – 2014. № 802, – С. 93-98.