

РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАННЯ ПОЧАТКОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ КРИСТАЛООПТИЧНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

© Степаняк М. В., Степаняк М. М., 2014

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, кодова маска, температурна шкала.

The paper presents the study of crystal optical method for measuring the temperature and received a code mask through which the constructed scale to determine the initial temperature measurements.

Key words: crystal optic method, temperature measurement, code mask temperature scale.

Вступ

У 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 тощо. В перспективі – розроблення нових класів багатофункціональних перетворювачів, наприклад, хімічних, біологічних, створення інтегральних давачів (які містять як чутливий елемент, так і схему обробки сигналу [1, 2]).

Сьогодні виник новий напрям у термометрії з використанням кристалооптичних термоперетворювачів (КОТП), особливістю якого є те, що для передавання вимірювального сигналу від чутливого елемента (ЧЕ) КОТП, який розміщений в зоні вимірювання температури, до вторинного приладу використовується промінь монохроматичного світла, а чутливим елементом є двозаломлювальний кристал [3]. Передбачається створення нових багатофункціональних типів давачів для вимірювання температури давачів, швидкості обертання об'єктів, які працюють за новими принципами і технологіями (з використанням анізотропних кристалів, скла, кераміки, надпровідників тощо). Ці завдання мають перспективу вирішення за допомогою анізотропних кристалів.

Мета роботи

Дослідження КОТП для розширення можливості вимірювання температури та визначення початкової температури під час вимірювання кристалооптичним методом і довірчої ймовірності до їх результатів в умовах дії електромагнітних полів під високим електричним потенціалом.

Дослідження кристалооптичного термоперетворювача з двома чутливими елементами

Якщо двозаломлювальний кристал помістити в середовище, де необхідно вимірювати температуру, то її зміна викликатиме зміну показників заломлення і, відповідно, зміну різниці ходу

між звичайним та незвичайним променями. Інтенсивність монохроматичного поляризованого світла, що пройшло через кристал, має періодичну залежність від температури кристала t :

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

де I_o – інтенсивність світлового потоку, що падає; d – товщина кристала вздовж променя; $\Delta n(t) = n'(t) - n''(t)$; $n'(t), n''(t)$ – показники заломлення кристала в кристалофізичних напрямках, що лежать в площині, перпендикулярній до напрямку поширення випромінювання; λ – довжина хвилі випромінювання [4].

Тоді згідно з (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 – кількість мінімумів фотоструму, зареєстрованих у разі зміни 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 цього ЧЕ КОТП.

Однак тут існує проблема визначення температури t_0 та Δt , хоч цьому методу притаманна висока повторюваність метрологічних характеристик ЧЕ КОТП, що робить його перспективним [5, 6].

Для вимірювання температури кристалооптичним методом та вирішення проблеми визначення t_0 можна використати первинний КОТП на основі двозаломлювальних кристалів [7].

Схема досліджень визначення початкової температури t_0 подана на рис. 1.

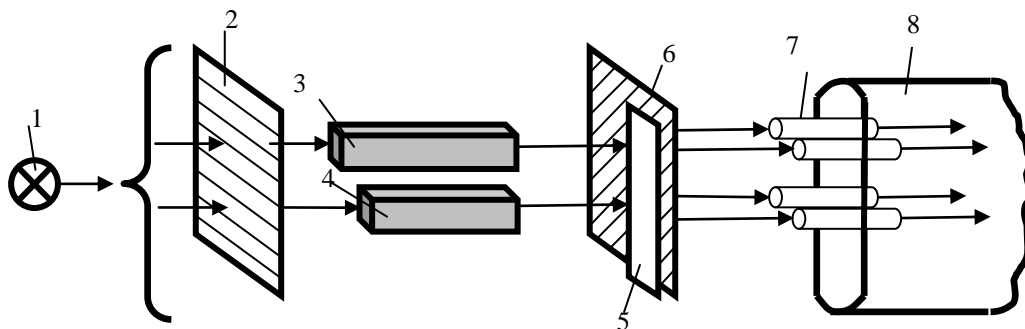


Рис. 1. Визначення початкової температури: 1 – лазер ЛГН-207Б; 2 – поляризатор; 3 – 4 – кристали ЧЕ; 5 – чвертьхвильова пластинка; 6 – аналізатор; 7 – оптоволокно (фотоприймач); 8 – блок опрацювання результатів

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

Щоб уможливити проведення вимірювання, поляризатор 2 та аналізатор 6 встановлюють в схрещеному положенні, кристали ЧЕ 3, ЧЕ 4 в діагональному. У променів, що проходять через ЧЕ 3, ЧЕ 4, буде зсув фаз – між ординарним та екстраординарним променями, що залежить від температури. Частина випромінювання з кожного каналу проходить через чвертьхвильову пластинку 5, отримує додатковий зсув фаз – $\pi/2$ та потрапляє через оптоволокно на фотоприймачі. На виході фотоприймачів отримуємо 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

$$U_{\phi 3-1} = S_{3-1} I_0 \sin^2 \frac{\pi \cdot d \cdot \Delta n}{\lambda} t, \quad (3)$$

$$U_{\phi 3-2} = S_{3-2} I_0 \sin^2 \frac{\pi \cdot d \cdot \Delta n}{\lambda} (t - \frac{t_3}{4}), \quad (4)$$

$$U_{\phi 4-1} = S_{4-1} I_0 \sin^2 \frac{\pi \cdot d \cdot \Delta n}{\lambda} t, \quad (5)$$

$$U_{\phi 4-2} = S_{4-2} I_0 \sin^2 \frac{\pi \cdot d \cdot \Delta n}{\lambda} (t - \frac{t_4}{4}), \quad (6)$$

де I_0 – інтенсивність світла на виході термочутливого елемента двопронезаломлювального кристала – ЧЕ 3, Ч 4; $\lambda = 632,8$ нм – довжина хвилі джерела 1 монохроматичного поляризованого світла; d – товщина кристала вдовж променя; Δn – різниця показників заломлення є функцією від температури t ; t_{T3}, t_{T4} – характерні температурні інтервали для термочутливих кристалів ЧЕ 3, ЧЕ 4 відповідно, що відповідає фазі, кратній до 2π (рис. 2).

Для формування градуювальної характеристики КОТП ЧЗ проводять вимірювання напруги $U_{\phi 3-1}$, використовуючи АЦП і отримують цифровий код N_{T3-1} . Подаючи напругу $U_{\phi 3-2}$ на компаратор, одержують на його виході напругу $U_{\text{вих.комп.}}$, що дорівнює лог. "1", якщо напруга $U_{\phi 3-2} \geq U_0 + U_{\phi 3-2m} / 2$, а якщо напруга $U_{\phi 3-2} < U_0 + U_{\phi 3-2m} / 2$, то лог. "0" та отримують цифровий код N_{T3-2} . Використовуючи цифрові коди N_{T3-1}, N_{T3-2} , формують цифровий код N_{T3-3} , що відповідає дробовій частині температурного інтервалу t_3 . Ділення температурного інтервалу t_3 на 10 подане на рис. 2, а результати поділу внесено в табл. 1 [5]. Аналогічно здійснюють формування градуювальної характеристики КОТП Ч4 з діленням температурного інтервалу t_{T4} на 40 частин (рис. 3).

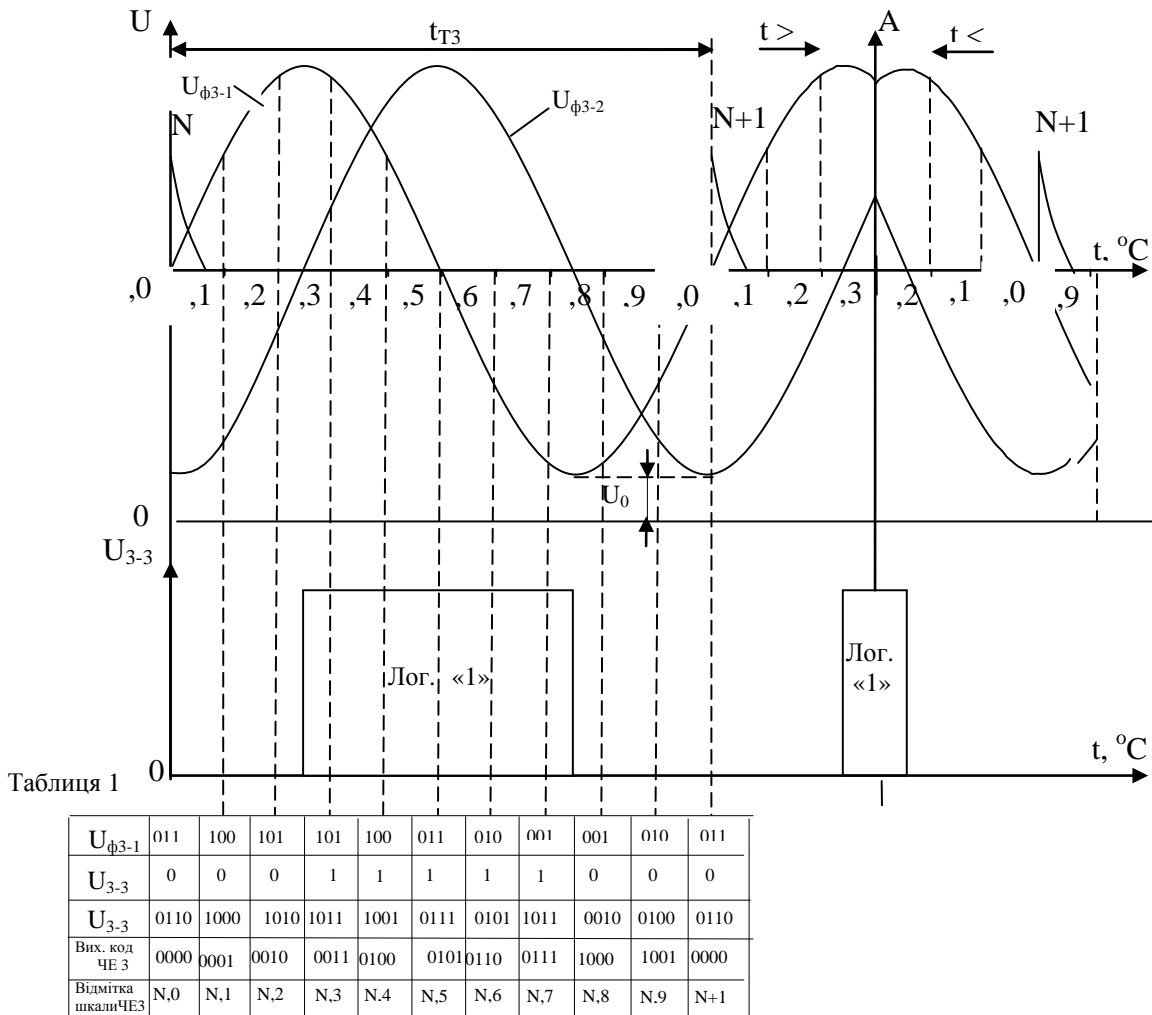


Рис. 2. Часова залежність формування градуювальної характеристики вихідного сигналу від температури ЧЗ КОТП $N = f(t)$

Здійснено дослідження та моделювання шкали такого КОТІ, отримані результати подано на (рис. 3, 4) у відносних одиницях температурних інтервалів $0,1 \cdot T_3$, $0,1 \cdot T_4$ та $0,1 \cdot T_3/4$ та в табл. 2, що формують однозначний код для кожного значення температури n на шкалі. Для формування шкали використано три періоди температурного інтервалу t_{T4} . Результати досліджень наведено на рис. 3 тільки для 1-го періоду температурного інтервалу t_{T4} .

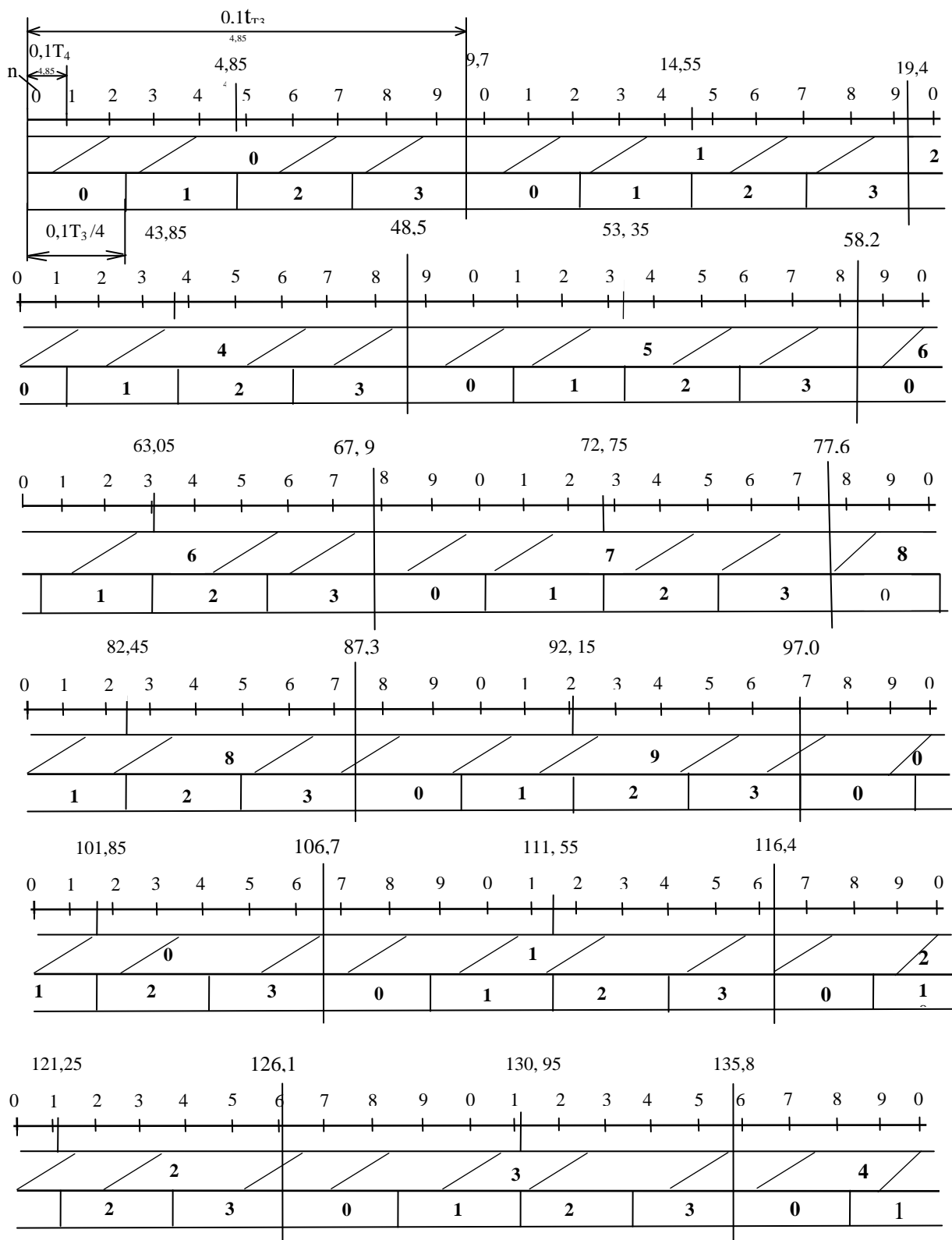


Рис. 3. Кодова маска формування шкали КОТІ на базі двох ЧЕ у відносних одиницях (для 1-го періоду температурного інтервалу t_{T4})

**Результати досліджень зміни температури на 1-му періоді
температурного інтервалу t_{T4}**

N=Kn, K=9,7, n=1,2,3...				N=Kn, K=9,7, n=1,2,3...				N=Kn, K=9,7, n=1,2,3...			
n	ЧЕ №4	ЧЕ №3	0.1T _{3/4}	n	ЧЕ №4	ЧЕ №3	0.1T _{3/4}	n	ЧЕ №4	ЧЕ №3	0.1T _{3/4}
	(тон.)	(тов.)			(тон.)	(тов.)			(тон.)	(тов.)	
0	0	0	0	33	3	3	1	66	6	6	3
1	0	1	0	34	3	4	2	67	6	7	3
2	0	2	0	35	3	5	2	68	7	8	0
3	0	3	1	36	3	6	2	69	7	9	0
4	0	4	1	37	3	7	3	70	7	0	0
5	0	5	2	38	3	8	3	71	7	1	1
6	0	6	2	39	4	9	0	72	7	2	1
7	0	7	2	40	4	0	0	73	7	3	2
8	0	8	3	41	4	1	0	74	7	4	2
9	0	9	3	42	4	2	1	75	7	5	2
10	1	0	0	43	4	3	1	76	7	6	3
11	1	1	0	44	4	4	2	77	7	7	3
12	1	2	1	45	4	5	2	78	8	8	0
13	1	3	1	46	4	6	2	79	8	9	0
14	1	4	1	47	4	7	3	80	8	0	0
15	1	5	2	48	4	8	3	81	8	1	1
16	1	6	2	49	5	9	0	82	8	2	1
17	1	7	3	50	5	0	0	83	8	3	2
18	1	8	3	51	5	1	1	84	8	4	2
19	1	9	3	52	5	2	1	85	8	5	3
20	2	0	0	53	5	3	1	86	8	6	3
21	2	1	0	54	5	4	2	87	9	7	3
22	2	2	1	55	5	5	2	88	9	8	0
23	2	3	1	56	5	6	3	89	9	9	0
24	2	4	1	57	5	7	3	90	9	0	1
25	2	5	2	58	5	8	3	91	9	1	1
26	2	6	2	59	6	9	0	92	9	2	1
27	2	7	3	60	6	0	0	93	9	3	2
28	2	8	3	61	6	1	1	94	9	4	2
29	2	9	3	62	6	2	1	95	9	5	3
30	3	0	0	63	6	3	1	96	9	6	3
31	3	1	0	64	6	4	2	Закінчення 1- періоду температурного інтервалу t_{T4}			
32	3	2	1	65	6	5	2				

Використовуючи ЧЕ 3 з товщиною $d_3 = 1, 67$ мм з та ЧЕ 4, $d_4 = 0, 173$ мм з ніобату літію, температурні інтервали відповідно $t_{T3} = 7, 2$ °С, $t_{T4} = 69, 8$ °С, можна отримати діапазон вимірювання початкової температури

$$\Delta t_0 = b \cdot t_{T4} = 2, 91 \cdot 69, 8 = 203, 1 \text{ °С}, \quad (7)$$

де $b = 2,91$ – коефіцієнт розширення діапазону під час визначення початкової температури t_0 , отриманий у результаті моделювання та дослідження процесу формування шкали КОПІ з температурними інтервалами t_{T4} : $t_{T3} = 9, 7$.

Якщо нижня границя діапазону вимірювання температури $t_{\min} = 176, 4$ °С, то

$$t_{\max} = t_{\min} + \Delta t_0 = 176, 4 + 203, 1 = 379, 5 \text{ °С}. \quad (8)$$

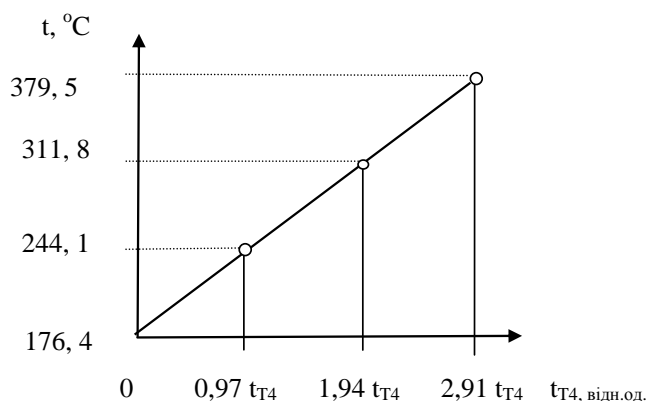


Рис. 4. Температурна залежність діапазону визначення початкової температури t_0 від кількості температурних інтервалів t_{T4}

Висновки

Запронований метод вимірювання температури дає змогу розширити діапазон визначення початкової температури t_0 на коефіцієнт розширення $b = 2,91$ та підвищити точність вимірювання під час опрацювання інформації з чутливого елемента з більшою товщиною, тобто ЧЕЗ КОТП згідно з [5, 6]. На основі результатів досліджень ЧЕ з ніобату літію можна отримати високостабільні метрологічні характеристики КОТП [3, 7, 9], що забезпечує можливість дистанційного вимірювання та визначення початкової температури t_0 на об'єктах у магнітних полях під високим електричним потенціалом, практично без тепловідведення в діапазоні 175 ...380 °С, що значно розширює можливості методу .

1. Байцар Р. І. *Напівпровідникові мікросенсори: навч. посіб. з курсу "Технологія та конструювання засобів вимірювання"*. – Львів: Видавництво ЛьЦНТЕІ, 2001. – 288 с.
2. Степаняк Мик. М., Степаняк М. В. *Створення чутливих елементів для кристалооптичних термометрів: тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції "Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань"* [Львів, 23–27 вересня 2013]. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – С. 155.
3. Стадник Б., Луцик Я., Степаняк М. *Дослідження метрологічних характеристик чутливих елементів кристалооптичних перетворювачів // Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2007. – № 67. – С. 69–72.
4. Габа В. М. *Измерение температуры с использованием оптических датчиков на основе двулучепреломляющих кристаллов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2009. – №1. – С.45–51.
5. А.с. 1500864(СССР) МКИ G01K 11/12. *Поляризационно-оптический цифровой термометр // Степаняк М. В., Кочан В. А., Габа В. М., Столярчук П. Г.* – Опубл. в БИ., 15.08.89. – Бюл. № 30.
6. А.с.1689775(СССР) МКИ G01K 11/12. *Поляризационно-оптический цифровой термометр / Степаняк М.В., Стаднык Б.И., Столярчук П.Г.* – Опубл. в БИ., 07.11.91. Бюл. №5, с.41.
7. Степаняк Микола, Степаняк Михайло. *Розвиток кристалооптичного методу вимірювання з використанням двох чутливих елементів // Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2010. – № 71. – С.58–62.
8. Стадник Б., Луцик Я., Степаняк М. *Дослідження метрологічних характеристик чутливих елементів кристалооптичних перетворювачів // Тези доповідей 8-ї міжнар. конф. "Температура 2003"*. – Львів, 2003. – С.101.
9. Степаняк Мик. М., Степаняк М. В. *Дослідження кристалооптичних термометрів з різною кількістю чутливих елементів // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції "Термографія і термометрія, метрологічне забезпечення вимірювань та випробувань"*. – Львів, 23–27 вересня, 2013. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – С. 156.