



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39155 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01N 21/01МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНО-ПОВОРОТНИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ ОПТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

1

2

(21) u200810203

(22) 08.08.2008

(24) 10.02.2009

(46) 10.02.2009, Бюл.№ 3, 2009 р.

(72) АНДРУЩАК АНАТОЛІЙ СТЕПАНОВИЧ, UA,  
ТИБІНКА БОГДАН ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, АНД-  
РУЩАК НАЗАРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, ДУМИЧ  
СТЕПАН СТЕПАНОВИЧ, UA(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА  
ПОЛІТЕХНІКА", UA(57) Інтерферометрично-поворотний спосіб вимі-  
рювання показника заломлення оптичних матеріа-  
лів, який полягає у тому, що зразок із оптичного  
матеріалу у вигляді плоскопаралельної пластини  
товщиною d обертають в одному із плечей інтер-

ферометра Майкельсона до встановлення нульо-  
вого положення зразка, вимірюють кут повороту  
зразка  $\varphi$  та величину зсуву інтерференційної кар-  
тини в порядках інтерференції K і визначають по-  
казник заломлення n, який **відрізняється** тим, що  
додатково визначають показник заломлення сере-  
довища  $n_c$ , в якому знаходиться досліджувана  
пластина, а показник заломлення n розраховують  
згідно з формулою:

$$n = \frac{\sin^2 \varphi \cdot n_c^2 + [(1 - \cos \varphi) \cdot n_c - K\lambda / 2d]^2}{2[(1 - \cos \varphi) \cdot n_c - K\lambda / 2d]^2},$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі світла.

Корисна модель відноситься до матеріало-  
знавства, а саме до способів визначення фізичних  
параметрів матеріалів.

Відомий [G.D. Gillen and S.Guha. Refractive-  
index measurements of zinc germanium diphosphide  
at 300 and 77 K by use of a modified Michelson  
interferometer // Appl. Opt. - 2004. - V.43. - P.2054-  
2057] спосіб визначення показника заломлення  
кристалічних матеріалів на основі методу інтер-  
ферометрії обертання плоскопаралельних зразків  
(інтерферометрично-поворотного методу), який  
полягає у тому, що зразок у вигляді плоскопара-  
лельної пластини із оптичного матеріалу оберта-  
ють в одному із плечей інтерферометра Майкельсо-  
на до встановлення нульового положення зразка,  
вимірюють кут повороту зразка та величину зсуву  
інтерференційної картини і на основі чого розра-  
ховують показник заломлення досліджуваного  
матеріалу.

Однак, застосування даного способу дає низь-  
ку точність вимірювання показника заломлення за  
рахунок наближеної оцінки нульового положення  
зразка та складності процесу вимірювання, в яко-  
му не враховується показник заломлення сере-  
довища, де знаходиться вимірювальний зразок.

Найближчим до запропонованої розробки є  
спосіб визначення показника заломлення оптичних

матеріалів [Андрущак А.С., Островський І.П., Тибі-  
нка Б.В. Спосіб визначення показника заломлення  
оптичних матеріалів. Патент України на корисну  
модель №17929 від 16.10.2006], який полягає у  
тому, що зразок у вигляді плоскопаралельної пла-  
стини товщиною d обертають в одному із плечей  
інтерферометра Майкельсона до встановлення  
нульового положення зразка, вимірюють кут пово-  
роту зразка  $\varphi$  та величину зсуву інтерференційної  
картини в порядках інтерференції K і визначають  
показник заломлення n.

Однак, в цьому способі не враховано умови  
навколишнього середовища, в якому знаходиться  
досліджуваний зразок в процесі вимірювання, що  
приводить до зменшення точності вимірювання.

В основу корисної моделі поставлене завдан-  
ня створення способу визначення показника залом-  
лення оптичних матеріалів, який дозволив би  
підвищити точність вимірювання оптичних мате-  
ріалів за рахунок врахування показника заломлення  
середовища, в якому знаходиться вимірювальний  
зразок.

Поставлене завдання вирішується тим, що  
для інтерферометрично-поворотного способу ви-  
мірювання показника заломлення оптичних мате-  
ріалів, який полягає у тому, що зразок у вигляді  
плоскопаралельної пластини товщиною d із оптич-

(19) UA (11) 39155 (13) U

ного матеріалу обертають в одному із плеч інтерферометра Майкельсона до встановлення нульового положення зразка, вимірюють кут повороту зразка  $\varphi$  та величину зсуву інтерференційної картини в порядках інтерференції  $K$  і за цими даними визначають показник заломлення  $n$ , згідно з корисною моделлю, показник заломлення  $n$  пластини визначають із врахуванням показника заломлення середовища  $n_c$ , в якому знаходиться досліджувана пластинка, згідно формули:

$$n = \frac{\sin^2 \varphi \cdot n_c^2 + [(1 - \cos \varphi) \cdot n_c - K\lambda / 2d]^2}{2[(1 - \cos \varphi) \cdot n_c - K\lambda / 2d]^2},$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі світла.

$$\delta n = \left\{ \left( \frac{\partial n}{\partial \varphi} \cdot \delta \varphi \right)^2 + \left( \frac{\partial n}{\partial K} \cdot \delta K \right)^2 + \left( \frac{\partial n}{\partial d} \cdot \delta d \right)^2 + \left( \frac{\partial n}{\partial \lambda} \cdot \delta \lambda \right)^2 + \left( \frac{\partial n}{\partial n_c} \cdot \delta n_c \right)^2 \right\}^{1/2}.$$

Тоді співвідношення для теоретичної оцінки середньоквадратичної похибки визначення показ-

Таке врахування показника заломлення середовища  $n_c$ , в якому знаходиться вимірювальний зразок дозволяє більш точно визначити показник заломлення досліджуваного матеріалу, так як можна враховувати умови навколишнього середовища, які впливають на похибку вимірювання.

Враховуючи похибки визначення кута обертання  $\delta \varphi$ , порядку інтерференції  $\delta K$ , товщини пластинки  $\delta d$ , нестабільність джерела електромагнітного випромінювання  $\delta \lambda$  та точність вимірювання показника заломлення середовища  $\delta n_c$ , оцінити похибку визначення показника заломлення  $\delta n$  досліджуваного матеріалу можна за такою формулою:

$$\delta n = \left\{ \left[ \sin(\varphi) \cdot n_c \cdot \frac{\cos(\varphi) \cdot n_c + [(1 - \cos(\varphi)) \cdot n_c - n - K\lambda / 2d]}{[(1 - \cos(\varphi)) \cdot n_c - K\lambda / 2d]} \cdot \delta \varphi \right]^2 + \left[ \left( \frac{\lambda \cdot \delta K}{2d} - \frac{K \cdot \lambda \cdot \delta d}{2d^2} + \frac{K \cdot \delta \lambda}{2d} \right) \cdot \left[ \frac{n}{2[(1 - \cos(\varphi)) \cdot n_c - K\lambda / 2d]} - 1 \right] \right]^2 + \left[ \frac{\sin(\varphi)^2 \cdot n_c + [(1 - \cos(\varphi)) \cdot n_c - K\lambda / 2d] \cdot (1 - \cos(\varphi)) - (1 - \cos(\varphi)) \cdot n}{(1 - \cos(\varphi)) \cdot n_c - K\lambda / 2d} \cdot \delta n_c \right]^2 \right\}^{1/2}.$$

На Фіг.1 зображена схема установки для визначення показника заломлення оптичних матеріалів на базі інтерферометра Майкельсона інтерферометрично-поворотним способом.

Інтерферометрично-поворотний спосіб вимірювання показника заломлення оптичних матеріалів здійснюють на пристрої, що містить 1 - лазер, 2 - розділюючу призму, 3, 4 - дзеркальний відбивач променя, 5 - поляризатор, 6 - лінза, 7 - фотоприймач, 8 - механізм обертання, 9 - блок керування і індикації.

У вимірювальному плечі інтерферометра Майкельсона розташовують досліджуваний зразок 10 у вигляді плоскопаралельної пластини із оптичного матеріалу. Світловий промінь лазера 1 розщеплюється на два за допомогою напівпрозорої розділюючої призми 2. Промінь у плечі еталона, відбивається від дзеркального відбивача 3; промінь у вимірювальному плечі проходить через поляризатор 5 та зразок 10, відбивається від дзеркального відбивача 4 і знову проходить через зразок. Обидва промені зустрічаються у напівпрозорій розділюючій призмі 2, формуючи інтерференційну картину, яка лінзою 6 фокусується на фотоприймач 7, що з'єднаний з блоком керування і індикації 9.

Зразок 10 у вигляді плоскопаралельної пластини товщиною  $d$  із оптичного матеріалу обертають у вимірювальному плечі інтерферометра Майкельсона за допомогою механізму обертання 8, що

ника заломлення в запропонованому способі буде таким:

керується за допомогою блоку керування і індикації 9, який забезпечує фізичний і логічний зв'язок між елементами пристрою, контролює зміну положення рухомих елементів пристрою та спрощує процес вимірювання показника заломлення досліджуваного матеріалу, вимірюють кут повороту зразка  $\varphi$  та величину зсуву інтерференційної картини в порядках інтерференції  $K$  і визначають показник заломлення  $n$ , враховуючи показник заломлення середовища  $n_c$ , в якому знаходиться інтерферометр Майкельсона.

Приклад конкретної реалізації на основі кристалічного кварцу

Оцінимо необхідність врахування показника заломлення середовища (наприклад, повітря, для якого  $n_c = n_{\text{пов}} = 1.000294$ ), в якому знаходиться зразок кристалічного кварцу. Так при розрахунках за формулою із прототипу для заданих значень  $d = 2 \text{ мм}$ ,  $\varphi = 85^\circ$ ,  $\lambda = 0.6328 \text{ мкм}$  та визначеної величини  $K = 3464.48$ , величина показника заломлення кварцу становить  $n' = 1.542721$ . А при тих же значеннях  $d$ ,  $\varphi$ ,  $K$ ,  $\lambda$  та із врахуванням показника заломлення повітря, нова величина показника заломлення буде рівною  $n = 1.542654$ . Різниця цих значень  $\delta n_{\text{пов}} = n' - n = 6.7 \cdot 10^{-5}$ , розрахованих по різних формулах, дає нам величину можливої похибки при розрахунках показника заломлення кристалічного кварцу, тобто без врахування реального показника заломлення повітря.

Проведемо також оцінку похибки вимірювання показника заломлення пластини за пропонованим способом. Прийнемо нестабільність довжини хвилі випромінювання лазера ЛГН-302  $\delta\lambda=3\cdot 10^{-8}$  мкм для  $\lambda=0.6328$  мкм, величину похибки визначення товщини зразка  $\delta d=0.01$  мкм [Коломийцов Ю.И. Интерферометрии. - Л.: Машиностроение, 1976], реальну величину точності реєстрації зсуву інтерференційної картини як  $\delta K=0.007$  [Мищенко Ю.В. Метод измерения показателя преломления стеклянных пластин // Измерительная техника. - 1990. - №8. - С.39-41]. Вимірювання кута обертан-

ня може бути здійснено з точністю  $\delta\varphi=1\cdot 10^{-6}$  [Авторське свідоцтво СССР №1060939, кл. G01B9/02, 1983]. Оцінена при таких параметрах похибка визначення показника заломлення  $\delta n$  для зразка з  $d=2$  мм залежить від кута обертання, асимптотично зменшуючись при прямуванні до високих кутів. Отже, вимірювання  $n$  слід проводити при максимально можливих кутах обертання зразка  $\varphi=50\div 87^\circ$ . Тоді для реальних значень  $n=1.542654$  і  $\varphi=85^\circ$  розрахована нами точність визначення показника заломлення матеріалу становить  $3.5\cdot 10^{-6}$ .

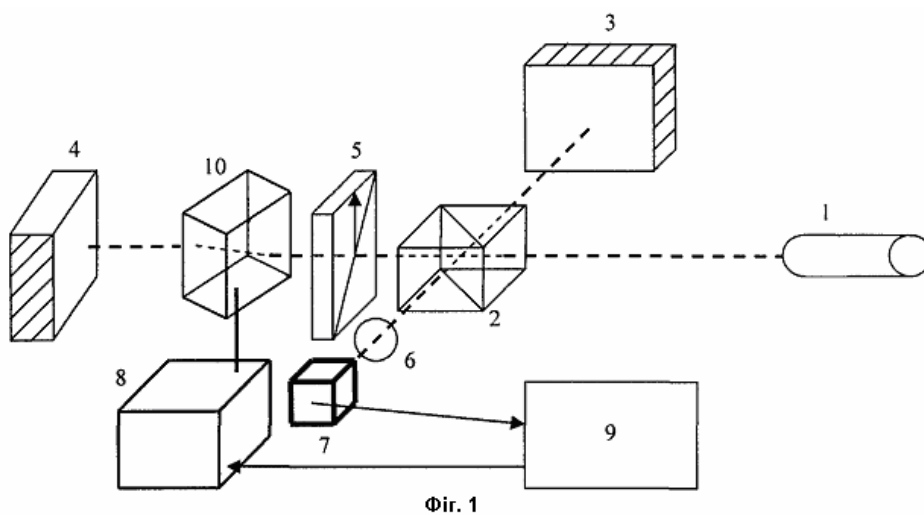


Fig. 1