



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76390

(13) U

(51) МПК

G01N 21/23 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2012 03635**

(22) Дата подання заявки: **26.03.2012**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.01.2013**

(46) Публікація відомостей **10.01.2013, Бюл.№ 1**
про видачу патенту:

(72) Винахідник(и):

**Влох Ростислав Орестович (UA),
Саварин Вікторія Іванівна (UA),
Крупич Олег Миколайович (UA),
Васильків Юрій Васильович (UA),
Скаб Ігор Петрович (UA)**

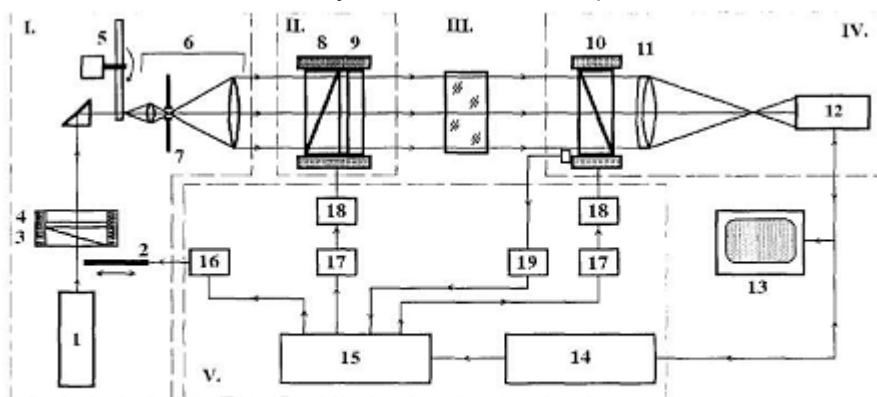
(73) Власник(и):

**ІНСТИТУТ ФІЗИЧНОЇ ОПТИКИ
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ
ТА СПОРТУ УКРАЇНИ,
вул. Драгоманова, 23, м. Львів, 79005 (UA)**

(54) МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ П'ЄЗООПТИЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ

(57) Реферат:

Поляриметричний метод вимірювання п'єзооптичних коефіцієнтів полягає у вимірюванні різниці фаз світлових хвиль, які пройшли крізь зразок, та кута повороту оптичної індикатрисини індукованих механічним напруженням, причому досліджуваний кристалічний зразок виготовляється у формі диска орієнтованого певним чином до пов'язаної з оптичною індикатрисою системою координат досліджуваного матеріалу, а механічне напруження прикладається шляхом стиснення диску вздовж його діаметра.



Фіг. 1

UA 76390 U

Корисна модель належить до дослідження матеріалів за допомогою оптичних засобів і може бути використана при дослідженні нових матеріалів для систем керування оптичним випромінюванням.

Відомий метод визначення п'єзооптичних коефіцієнтів, оснований на визначенні індукованої зміни різниці ходу в оптичних матеріалах (Пат. на корисну модель 39218 Україна. Поляризаційно-оптичний пристрій для визначення індукованої зміни різниці ходу в оптичних матеріалах /Мицик Б.Г., Андрущак А.С, Кость Я.П., Юркевич О.В.; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 3), шляхом обробки результатів інтерференції двох оптичних променів, один з яких пройшов крізь певну ділянку поперечного перерізу досліджуваного зразка. Оптична різниця ходу виникає під дією одноосного механічного напруження прикладеного до зразка, виготовленого в формі паралелепіпеда.

Однак даний спосіб має ряд недоліків. Даний спосіб має високу похибку визначення коефіцієнтів, яка пов'язана з відсутністю інформації про розподіл напружень всередині досліджуваного зразка.

Найбільш близьким - прототипом - є поляризаційно-оптичний метод визначення п'єзооптичних коефіцієнтів (див. В.Н. Mytsyk, A.S. Andrushchak, Ya. P. Kost', I.M. Solskii //Journal of physical studies. - 2008. - V. 12 - № 3-3702(5 p.)), оснований на визначенні індукованої зміни різниці ходу в оптичних матеріалах за допомогою аналізу стану поляризації оптичного випромінювання, яке пройшло крізь досліджуваний зразок. Для аналізу зміни стану поляризації зразком, до якого прикладене механічне напруження, зразок поміщується в систему, яка складається з джерела оптичного випромінювання, поляризатора, аналізатора та пластинки, яка компенсує температурні зміни лінійних розмірів і двозаломлення зразка. Зразок виготовляється в формі близькій до форми куба. Напруження прикладається з допомогою пуансонів.

Однак даний спосіб має ряд недоліків: 1) даний спосіб має високу похибку (~10 %) визначення коефіцієнтів, викликану неоднорідним просторовим розподілом механічних напружень в зразку, яке виникає під дією одноосового напруження. Тому при використанні цього способу відсутня інформація про точний розподіл напружень всередині досліджуваного зразка, що призводить до збільшення похибки при визначенні п'єзооптичних коефіцієнтів; 2) при визначенні однієї з компонент п'єзооптичного тензора даним методом на практиці, для вимірювання потрібно проводити додаткові експерименти, а це призводить до додаткового збільшення похибок.

В основу корисної моделі поставлено задачу підвищити точність визначення п'єзооптичних коефіцієнтів шляхом прикладання до зразка механічних напружень з заздалегідь відомим розподілом.

Поставлена задача вирішується тим, що досліджуваний кристалічний зразок виготовляється у формі диска орієнтованого певним чином до системи координат, пов'язаної з основними осями оптичної індикатриси досліджуваного матеріалу і напруження прикладається шляхом механічного стиску вздовж діаметра диска.

Індукована механічним напруженням різниця фаз вимірюється з допомогою відеополяриметра, конструкція якого умовно може бути розбита на наступні складові частини:

I. Секція джерела випромінювання, задачею якої є створення монохроматичної плоскої світлової хвилі з регульованою інтенсивністю. Окрім цього, необхідно, щоб ця хвиля володіла циркулярною поляризацією. До складу цієї секції входять: лазер (1 на Фіг. 1), пристрій регулювання інтенсивності випромінювання, "перемішувач когерентності" (5 на Фіг. 1) та розширювач пучка (6 на Фіг. 1) з просторовим фільтром (7 на Фіг. 1).

Пристрій регулювання інтенсивності складається з лінійного поляризатора (3 на Фіг. 1) (призма Глана) та чвертьхвильової пластинки (4 на Фіг. 1). Окрім вказаних елементів до складу секції джерела випромінювання може входити програмно керований світловий затвор (2 на Фіг. 1). Задачею його є перекривати світловий пучок на виході з лазера;

II. Секція генератора поляризації задачею якої є завдання потрібного стану поляризації світлової хвилі на вході в зразок. Це означає, що генератор поляризації повинен давати можливість змінювати азимут та еліптичність еліпса поляризації світлової хвилі. До складу генератора поляризації входить лінійний поляризатор (8 на Фіг. 1) (призма Глана) та фазова пластинка (9 на Фіг. 1) з різницею ходу $\lambda/4$;

III. Секція досліджуваного зразка окрім власне зразка може містити інші допоміжні пристрої, а саме: кювету з імерсійною рідиною, пристрій обертання зразка, навантажувальний пристрій;

IV. Аналізуюча частина, задачею якої є аналіз стану поляризації світлового пучка на виході із досліджуваного зразка. До складу аналізуючої частини входять аналізатор (10 на Фіг. 1) (призма Глана), об'єктив (11 на Фіг. 1) та відеокамера (12 на Фіг. 1).

Зображення зразка реєструється за допомогою відеокамери (12 на Фіг. 1) на базі ПЗЗ-матриці. Зареєстроване зображення розподілу інтенсивності відображається на контрольному моніторі (13 на Фіг. 1) а також за допомогою інтерфейсу відеокамери надходить на комп'ютер;

5 V. Електронна частина, до складу якої входять інтерфейс відеокамери (14 на Фіг. 1), комп'ютер (15 на Фіг. 1), контролер світлового затвору (16 на Фіг. 1), контролери крокових двигунів (17 на Фіг. 1), крокові двигуни (18 на Фіг. 1) та контролер позиційного датчика аналізатора (19 на Фіг. 1).

10 Процес вимірювання виглядає наступним чином. Чвертьхвильова пластинка (9 на Фіг. 1) повернута на кут 45° по відношенню до поляризатора (8), внаслідок цього світло на виході з секції формування поляризації є циркулярно поляризованим. Для вимірювання стану поляризації світла, що пройшло крізь зразок, аналізатор повертається на кут від 0° до 180° . Коли кут повороту аналізатора досягає значення 90° , світловий пучок відсікається і записується фонове зображення.

15 У випадку, коли світло, що входить в зразок з інтенсивністю I_0 є циркулярно поляризованим, а сам зразок добре описується моделлю лінійного оптичного затримувача, залежність інтенсивності світла від азимута аналізатора описується формулою

$$I = \frac{I_0}{2} \{1 + \sin \Delta\Gamma \sin[2(\alpha - \zeta_3)]\},$$

20 де ζ_3 - кут повороту оптичної індикатриси відносно лабораторної системи координат, $\Delta\Gamma = 2\pi\Delta n d/\lambda$ - індукована оптична різниця фаз, λ - довжина світлової хвилі, d - товщина зразка і Δn - оптичне двозаломлення, α - кут повороту аналізатора відносно лабораторної системи. Після запису і фільтрування зображень азимутальні залежності інтенсивності I кожного пікселя зображення апроксимуються функцією синуса з коефіцієнтами апроксимації:

$$C_1 = \frac{I_0}{2}, C_2 = \frac{I_0}{2} \sin \Delta\Gamma, C_3 = \zeta_3,$$

де C_1, C_2 , і C_3 - коефіцієнти апроксимації.

25 Оптична різниця фаз $\Delta\Gamma$ визначається коефіцієнтами C_1 і C_2 ,

$$\sin \Delta\Gamma = \frac{C_2}{C_1}.$$

Після апроксимації інтенсивності світла кожного пікселя зображення зразка, як функції азимута поляризації, можна побудувати двомірні карти параметрів оптичної анізотропії досліджуваного зразка, а саме фазової затримки і орієнтації осей індикатрис.

30 Коли диск є перпендикулярним до осі Z і навантажувальна сила P прикладена вздовж осі Y (Фіг. 2), виникають такі три компоненти тензора напруження:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= -\frac{2P}{\pi d} \left[\frac{(R-Y)X^2}{(X^2 + (R-Y)^2)^2} + \frac{(R+Y)X^2}{(X^2 + (R+Y)^2)^2} - \frac{1}{2R} \right], \\ \sigma_2 &= -\frac{2P}{\pi d} \left[\frac{(R-Y)^3}{(X^2 + (R-Y)^2)^2} + \frac{(R+Y)^3}{(X^2 + (R+Y)^2)^2} - \frac{1}{2R} \right], \\ \sigma_3 &= \frac{2P}{\pi d} \left[\frac{(R-Y)^2 X}{(X^2 + (R-Y)^2)^2} + \frac{(R+Y)^2 X}{(X^2 + (R+Y)^2)^2} \right].\end{aligned}$$

де d - товщина диска, R - радіус диска.

35 Розглянемо кристалічний диск (Фіг. 2) виготовлений з кристалу ніобату літію. П'єзооптичний тензор для точкової групи симетрії $3m$, до якої належать кристали $LiNbO_3$, має вигляд:

$$\pi_{ij} = \begin{pmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{13} & \pi_{14} & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{11} & \pi_{13} & -\pi_{14} & 0 & 0 \\ \pi_{31} & \pi_{31} & \pi_{33} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{41} & -\pi_{41} & 0 & \pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 2\pi_{41} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{14} & \pi_{66} \end{pmatrix}$$

Для визначення різниці п'єзооптичних коефіцієнтів $\pi_{11} - \pi_{12}, n_o^3 \pi_{11} - n_e^3 \pi_{31}, n_e^3 \pi_{33} - n_o^3 \pi_{13}$ в кристалах групи симетрії $3m$ досліджуваний зразок виготовляється у формі диска з площинами

перпендикулярними до осі Z. В цьому випадку двозаломлення індуковане механічним тиском, прикладеним вздовж осі X визначатиметься співвідношенням:

$$\Delta n_{12} = -\frac{1}{2}n_o^3(\pi_{11} - \pi_{12})(\sigma_1 - \sigma_2) = -n_o^3(\pi_{11} - \pi_{12})\frac{2RP}{\pi d(R^2 - Y^2)}.$$

5 Проапроксимувавши залежність двозаломлення від координати Y з виміряного розподілу різниці фаз, отримаємо різницю коефіцієнтів $\pi_{11} - \pi_{12}$.

Різницю коефіцієнтів $n_e^3\pi_{33} - n_o^3\pi_{13}$ можна визначити, використовуючи диск, вирізаний таким чином, що його площини є перпендикулярними до осі X, а приріст двозаломлення індукованого механічним тиском P, прикладеним вздовж осі Y, визначатиметься співвідношенням:

$$\delta(\Delta n)_{23} = \frac{P}{2\pi dR} \left[n_o^3(\pi_{11} - 3\pi_{13}) - n_e^3(\pi_{31} - 3\pi_{33}) + (n_e^3\pi_{33} - n_o^3\pi_{13})\frac{4R^2}{R^2 - Z^2} \right].$$

10 Різницю коефіцієнтів $n_o^3\pi_{11} - n_e^3\pi_{31}$ можна визначити, використовуючи диск, вирізаний таким чином, що його площини є перпендикулярними до осі Y і приріст двозаломлення індукованого механічним тиском P, прикладеним вздовж осі X, визначатиметься співвідношенням:

$$\delta(\Delta n)_{23} = \frac{P}{2\pi dR} [n_o^3(\pi_{11} - 3\pi_{13}) - n_e^3(\pi_{31} - 3\pi_{33})]$$

15 Крім того, коефіцієнти π_{44} і π_{41} можуть бути визначені, базуючись на вимірюванні кута повороту оптичної індикатрис:

$$\tan 2\zeta_1 = -\frac{\bar{n}^3}{\Delta n_{32}} \pi_{41}\sigma_2$$

$$\tan 2\zeta_2 = \pi_{44}\sigma_5 \frac{\bar{n}^3}{\Delta n_{31}}$$

20 Запропонований метод був перевірений на прикладі кристалів LiNbO₃ при вимірюванні коефіцієнтів $\pi_{11} - \pi_{12}$. Зразок кристалу LiNbO₃, який використовувався в даному експерименті, був приготовлений в формі диска (Фіг. 2), з гранями перпендикулярними до осі Z. Радіус зразка становив 7.5 мм, а його товщина дорівнювала 3 мм. Площина YZ була паралельною до однієї з площин симетрії кристалу. Промінь з гелійнеонового лазера (довжина хвилі $\lambda=632.8$ нм) поширювався вздовж осі Z.

Навантажувальна сила (P=19.8 Н) прикладалась вздовж діаметра диска паралельного до осі Y.

25 Експериментально отримані карти індукованого оптичного двозаломлення і кута повороту оптичної індикатрис зображені на Фіг. 3 та Фіг. 4, відповідно. В результаті ми визначили п'єзооптичний коефіцієнт $|\pi_{66}| = |\pi_{11} - \pi_{12}| = (0.20 \pm 0.01) \times 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$, використовуючи рівняння для визначення Δn_{12} і експериментально отриманий розподіл двозаломлення вздовж осі Y (Фіг. 5). Експериментальна похибка даного методу вимірювання п'єзооптичних коефіцієнтів не

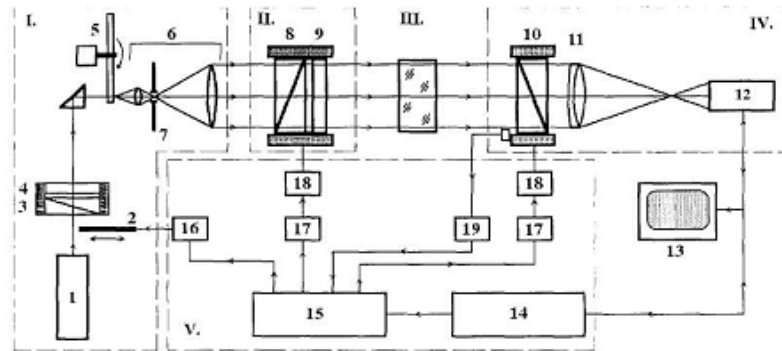
30 перевищувала 6 %. На Фіг. 5: суцільна крива відповідає розрахунку розподілу двозаломлення на основі отриманої в роботі [Mytsyk D G, Andrushchak A S, Demyanyshyn N, Kost' Ya P, Kityk A V, Mandracci P and Schranz W, 2009. Piezooptic coefficients of MgO-doped LiNbO₃ crystals. Appl. Opt. 48: 1904-1911] різниці п'єзооптичних коефіцієнтів $\pi_1 - \pi_{12} = -0.47 \times 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$ з відображеною

35 похибкою, а кола - нашим експериментальним результатам. Викладені матеріали доводять, що перевагою запропонованого методу для визначення п'єзооптичних коефіцієнтів є зменшення похибки вимірювання, що забезпечується створенням заздалегідь відомого розподілу механічного напруження, в кристалічному диску стиснутому

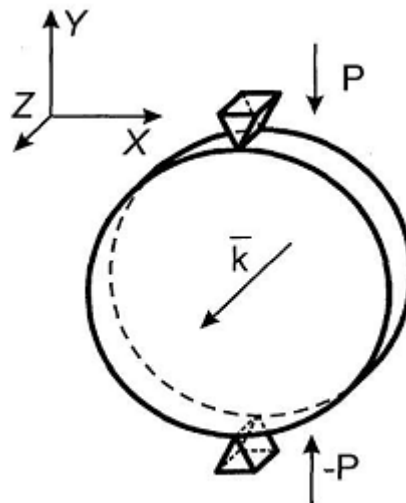
40

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

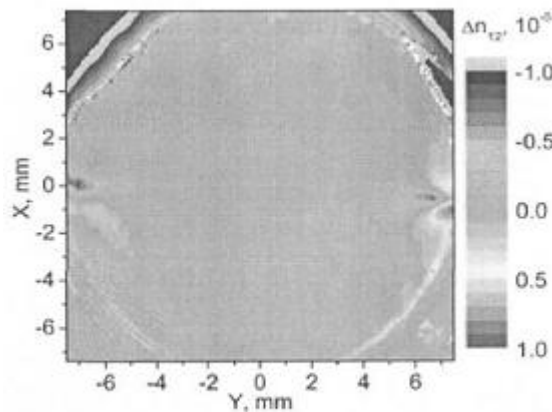
- 5 Поляриметричний метод вимірювання п'єзооптичних коефіцієнтів, що полягає у вимірюванні різниці фаз світлових хвиль, які пройшли крізь зразок, та кута повороту оптичної індикатрисиндукованих механічним напруженням, який **відрізняється** тим, що досліджуваний кристалічний зразок виготовляється у формі диска орієнтованого певним чином до пов'язаної з оптичною індикатрисою системою координат досліджуваного матеріалу, а механічне напруження прикладається шляхом стиснення диска вздовж його діаметра.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

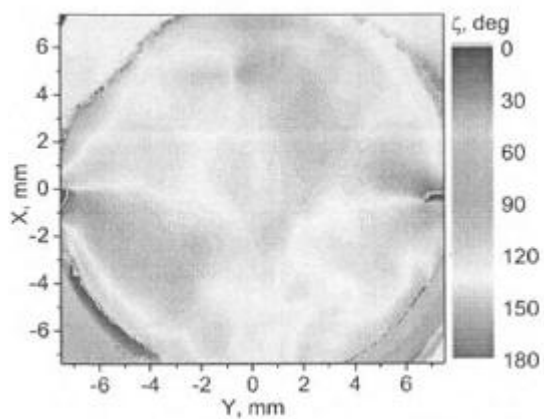


Fig. 4

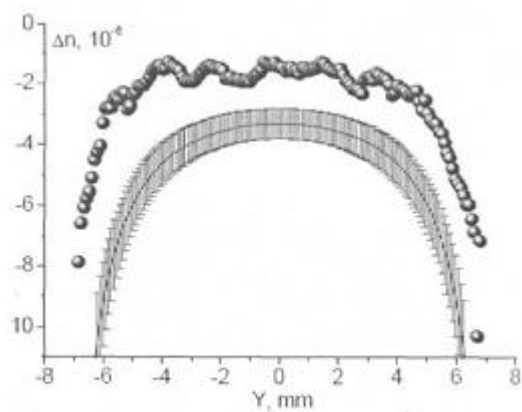


Fig. 5

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601