



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142939** (13) **U**
(51) МПК (2020.01)
G01J 4/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 10866</p> <p>(22) Дата подання заявки: 04.11.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.07.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.07.2020, Бюл.№ 13</p>	<p>(72) Винахідник(и): Погорєлов Станіслав Вікторович (UA), Кокодій Микола Григорович (UA), Тіманюк Володимир Олександрович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Пушкінська, 53, м. Харків, 61002 (UA)</p>
--	--

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМУ ПОЛЯРИЗАЦІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб визначення напрямку поляризації лазерного випромінювання включає проходження променя крізь приймач випромінювання, який містить приймаючий болометричний пристрій у вигляді решіток і реєстрацію сигналів болометричних решіток. Як болометричний пристрій використовують чотирирешіткові болометри, які складаються з тонких металевих дротинок, які розміщені один за одним на шляху поширення лазерного пучка перпендикулярно хвильовому вектору і паралельно один одному. Причому болометри найближчої до лазера решітки встановлені вертикально, а наступні болометричні решітки розташовані під кутами 45°, 90° і 135° відносно першої.

UA 142939 U

Корисна модель належить до лазерних вимірювань і може бути використана у системах вимірювання характеристик випромінювання лазера, у тому числі потужного лазерного випромінювання у видимій і інфрачервоній областях спектра в пучках з великими розмірами поперечного перерізу.

5 Широко відомий спосіб вимірювання параметрів вектора стокса для будь-якого поляризованого пучка світла, за допомогою якого визначають напрям і ступінь поляризації. Цей спосіб характеризується тим, що випромінювання пропускають крізь чотири поляризатори, осі поляризації яких зміщені на кут 45° градусів одна від одної, вимірюють інтенсивність випромінювання на виході кожного поляризатора. Сигнали обробляються в мікропроцесорній
10 системі згідно з формулою, наведеною в [1].

Сучасні тенденції розвитку вимірювальних систем потребують нових способів і методів визначення характеру поляризації випромінювання лазерів, зокрема потужних лазерів.

Відома корисна модель, яка належить до області оптичних вимірювань і стосується пристрою для визначення характеру поляризації. У корисній моделі описаний спосіб на базі
15 пристрою, який містить He-Ne лазер, дифракційну решітку, компенсатор, першу чвертьхвильову пластину, вісь якої розташована під кутом 0° відносно вертикалі, другу чвертьхвильову пластину, вісь якої розташована під кутом 45° відносно вертикалі, чотири поляризатори і реєструючий пристрій. Вісь першого поляризатора розташована під кутом 0° відносно вертикалі. Осі другого, третього і четвертого поляризаторів розташовані під кутами 90° , 45° і -45° відносно вертикалі. Технічний результат полягає у забезпеченні можливості здійснювати дослідження характеру поляризації у режимі реального часу [2].
20

Відомий також спосіб вимірювання параметрів поляризації лазерного випромінювання, при якому випромінювання проходить крізь три поляризатори, осі поляризації яких орієнтовані через 45° градусів, потім перетворюють інтенсивність випромінювання на виході кожного елементу поляризатора і фотоприймача в електричний сигнал, далі перетворюють їх у мікропроцесорній системі згідно з формулою, наведеною в [3].
25

Недоліками вказаних аналогів є використання надлишкової кількості каналів вимірювання, що веде до зниження швидкодії і точності вимірювання особливо у випадках використання потужних лазерів, застосування коштовних призм, які виконані з кварцу, ісландського шпату,
30 збільшує вартість реалізації способу.

Найбільш близьким аналогом за сукупністю ознак є спосіб вимірювання напрямку поляризації електромагнітного випромінювання [4], що містить приймальний болометричний пристрій у вигляді трьох ідентичних тонкодротяних болометричних решіток, розміщених у близьких перерізах оптичного пучка, елементи кожної з яких з'єднані послідовно і заживлені від джерела постійного струму через опори навантаження.
35

Недоліком цього способу є недостатня точність вимірювань, тривалість процесу обробки інформації, складність пристрою для реалізації способу.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити точність і швидкодію вимірювання поляризаційних характеристик лазерного випромінювання, у тому числі потужного лазерного випромінювання у видимій і інфрачервоній областях спектра в пучках з великими розмірами поперечного розрізу за рахунок скорочення числа операцій в математичній моделі обробки інформації; спростити спосіб і понизити собівартість (за рахунок швидкодії і простоти обробки інформації) при використанні способу.
40

Поставлена задача вирішується тим що у способі визначення напрямку поляризації лазерного випромінювання, що включає проходження променя крізь приймач випромінювання, який містить приймаючий болометричний пристрій у вигляді решіток і реєстрацію сигналів болометричних решіток, згідно з корисною моделлю, як болометричний пристрій використовують чотирирешіткові болометри, які складаються з тонких металевих дротинок, які розміщені один за одним на шляху поширення лазерного пучка перпендикулярно хвильовому вектору і паралельно один одному, причому болометри найближчої до лазера решітки встановлені вертикально, а наступні болометричні решітки розташовані під кутами 45° , 90° і 135° відносно першої.
45
50

Кількість дротинок у болометрах складає від 8 до 16 одиниць.

Технічна суть корисної моделі пояснюється тим, що болометр (приймач випромінювання) являє собою чотири решітки з тонких металевих дротинок (діаметр дротинки - кілька десятків мікрометрів), розташованих на шляху розповсюдження лазерного пучка. Площини решіток перпендикулярні хвильовому вектору. Болометри в одній решітці паралельні один одному, а в кожній решітці розташовані під певним кутом до вертикалі відповідно (0° , 45° , 90° , 135°). Випромінювання нагріває болометри, що приводить до зміни їх електричного опору.
55
60 Вимірюється загальний опір болометрів у кожній решітці. Він пропорційний поглиненій у решітці

потужності випромінювання, яка залежить від кута між напрямом поляризації і напрямом болометрів у решітці.

На кожний елемент решіток крізь додатковий резистор подається напруга живлення. Сигнали, зняті з болометрів, вводяться в комп'ютер. Математична обробка сигналів дає

5 можливість визначити напрям поляризації випромінювання. Спосіб визначення напрямку поляризації потужного лазерного випромінювання полягає у наступному.

Величина поглинання випромінювання в болометрі характеризується фактором ефективності поглинання Q_{abs} , який залежить від довжини хвилі випромінювання λ , діаметру

10 дротинки D і її комплексного показника заломлення m . Він може бути обрахований за формулами електродинаміки. Фактор ефективності поглинання дротинки залежить також від напрямку поляризації падаючого випромінювання, тобто від кута між електричним вектором падаючої хвилі E і віссю болометра. Зазвичай обчислюються два фактори: фактор Q_{abs}^E - для хвилі, у якій електричний

15 вектор E паралельний осі дротинки і Q_{abs}^H - для хвилі, у якій магнітний вектор H паралельний осі дротинки. При довільному напрямку поляризації падаючої хвилі фактор ефективності поглинання можна знайти, знаючи фактори ефективності поглинання Q_{abs}^E і Q_{abs}^H :

$$Q_{abs} = Q_{abs}^E \cos^2(\varphi - \theta) + Q_{abs}^H \sin^2(\varphi - \theta) \quad (1),$$

де φ - кут між вектором E і вертикаллю, θ - кут між болометром і вертикаллю (Фіг. 1).

20 Введений параметр:

$$k_D = Q_{abs}^H / Q_{abs}^E \quad (2),$$

де k_D - коефіцієнт дихроїзму, який визначає різницю у поглинанні дротинкою E- і H-хвиль.

Його значення для деяких дротинок при $\lambda=1,06$ мкм і $\lambda=10,6$ мкм наведені нижче в Таблиці 1.

Таблиця 1

Поглинання випромінювання в металічних дротинках

Никель						
D, мкм	$\lambda=1,06$ мкм $m=2,22-5,91i$			$\lambda=10,6$ мкм $m=40-40i$		
	Q_{abs}^E	Q_{abs}^H	k_D	Q_{abs}^E	Q_{abs}^H	k_D
10	0,161	0,324	2,01	0,0514	0,0708	1,38
20	0,158	0,314	1,98	0,0449	0,0738	1,64
40	0,157	0,303	1,93	0,0410	0,0754	1,84
$D \gg \lambda$	0,156	0,256	1,64	0,0384	0,0726	1,89
Платина						
D, мкм	$\lambda=1,06$ мкм $m=3,42-6,30i$			$\lambda=10,6$ мкм $m=37-41i$		
	Q_{abs}^E	Q_{abs}^H	k_D	Q_{abs}^E	Q_{abs}^H	k_D
10	0,191	0,366	1,92	0,0514	0,0708	1,38
20	0,188	0,357	1,90	0,0449	0,0738	1,64
40	0,185	0,302	1,86	0,0410	0,0754	1,84
$D \gg \lambda$	0,185	0,302	1,86	0,0373	0,0706	1,89

25 Формулу (1) можна записати у вигляді, більш зручному для використання у розрахунках:

$$Q_{abs} = Q_{abs}^E \left[1 + (k_D - 1) \sin^2(\varphi - \theta) \right]. \quad (3)$$

Цей спосіб можна пояснити такими теоретичними співвідношеннями.

Нехай є дві решітки - i і j , елементи яких розташовані під кутами θ_i і θ_j до вертикалі, u_i і u_j - сигнали з решіток. Оскільки ці сигнали пропорційні факторам ефективності поглинання Q_{iabs} і Q_{jabs} , можна за допомогою співвідношення (3) записати таке рівняння:

$$\frac{u_i}{u_j} = \frac{1 + (k_D - 1)\sin^2(\varphi - \theta_i)}{1 + (k_D - 1)\sin^2(\varphi - \theta_j)} \quad (4).$$

Розв'язання цього рівняння відносно кута φ дозволяє знайти напрям вектора \vec{E} , який падає на приймач випромінювання. Але в необхідному інтервалі кутів φ від 0° до 180° рівняння (4) має два корені.

Приклад

5 Нехай є дві решітки з платинової дротинки діаметром 20 мкм. Довжина хвилі випромінювання 1,06 мкм. Коефіцієнт дихроїзму у цьому випадку дорівнює 1,90 (Таблиця 1). Решітки розташовані під кутами 0° і 45° до вертикалі.

Задамо положення вектора електричного поля - $\varphi = 30^\circ$. Тоді сигнали з решіток, обчислені за формулою (1) у відносних одиницях дорівнюють:

10 $u_1=1,225, u_2=1,060$.

Розв'язання рівняння (4) дає два корені:

$\varphi_1=30^\circ \varphi_2=101^\circ$.

Для вибору правильного значення φ необхідно використовувати декілька решіток (три і більше), і відповідно декілька рівнянь (4).

15 Нехай є чотири решітки, розташовані під кутами до вертикалі $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ і 135° . Сигнали з них такі:

$u_1=1,23, u_2=1,05, u_3=1,65, u_4=1,83$.

В значення, обчислені за формулою (1), введені випадкові доданки, які імітують експериментальні похибки вимірювань.

20 Використаємо шість комбінацій пар решіток і відповідно шість рівнянь (4). Розв'язання цих рівнянь для інтервалів кутів від 0° до 270° будуть такими:

Таблиця 2

Розв'язання рівняння (3) - математичне моделювання

Решітки	φ_1°	φ_2°
1-2	31	100
1-3	28	152
1-4	26	188
2-3	32	204
2-4	31	58
3-4	29	108

25 Видно, що один із коренів в усіх рівняннях близький до 30° . Різниця в значеннях викликана наявністю у сигналах довільних доданок, які імітують експериментальні похибки вимірювання сигналів. Це ще один фактор, який показує доцільність використання більше ніж двох решіток. Середнє з шести значень кута φ_1 дорівнює $29,5^\circ$, що близько до заданого напрямку поляризації - 30° .

Приклад реалізації способу вимірювань проводився на експериментальній установці.

30 В установці для експериментальної перевірки способу визначення напрямку поляризації потужного лазерного випромінювання джерелом випромінювання вибраний пульсовий неодимовий лазер, який працює на довжині хвилі 1,06 мкм. Його випромінювання було лінійно поляризовано (електричний вектор E розташований вертикально). Приймач випромінювання містить чотири решітки з 8 платинових болометрів діаметром 20 мкм. Болометри найближчої до лазера решітки розташовані під кутом 80° до вертикалі. Їх напрям прийнятий за початок відліку таким чином, що напрям поляризації випромінювання повинен дорівнювати 80° . Наступні решітки розташовані під кутами $45^\circ, 90^\circ$ і 135° відносно першої.

Сигнали з решіток крізь аналого-цифровий перетворювач вводяться у комп'ютер.

На Фіг. 2 зображено конструкцію решітки; 1-8 - дротинки (болометри).

40 Елементи решітки - тонкі металічні дротинки з нікелю, вольфраму, платини або інших матеріалів. Діаметр дротинки - кілька десятків мікрметрів. Кількість дротинок - від 8 до 16. Дротинки працюють як болометри - крізь них пропускається електричний струм. Вони поглинають оптичне випромінювання, яке на них падає, і нагріваються, їх опір змінюється, на виході решітки утворюється електричний сигнал, пропорційний потужності випромінювання.

Площини решіток перпендикулярні осі пучка випромінювання. Болметри першої решітки розташовані вертикально, болметри наступних решіток розташовані під кутами 45°, 90° і 135° до вертикалі відповідно.

5 На Фіг. 3 наведений приймач потужного лазерного випромінювання, виконаний у вигляді чотирьох решіток, виготовлених з тонкої дротинки, розташованих паралельно одна за іншою на шляху розповсюдження пучка випромінювання.

Виміряні значення сигналів з приймача наведені у Таблиці 3.

Таблиця 3

Сигнали з решіток

Номер решітки	θ°	U, мВ
1	0	660
2	45	442
3	90	354
4	135	556

10 Рівняння (4) розв'язано для шести комбінацій решіток: 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4. Результати розв'язку для інтервалу кутів від 0° до 270° показані у Таблиці 4.

Таблиця 4

Розв'язок рівняння (3) - експеримент

Решітки	φ_1°	φ_2°
1-2	77,0	46,8
1-3	81,0	99,0
1-4	81,0	148,8
2-3	79,0	139,7
2-4	79,4	10,6
3-4	81,5	66,5

15 Середнє з шести значень кута φ_1 дорівнює 79,8°. Це дуже близько до істинного напрямку поляризації - 80°. Випадкова складова похибки при довірчій ймовірності 0,95 дорівнює $\Delta\varphi = 1,8^\circ$.

Методична похибка визначення кута φ визначається похибкою визначення коефіцієнта дихроїзму K_D і похибкою вимірювання сигналу з решітки U:

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \sqrt{\left(\frac{\Delta K_D}{K_D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad (5).$$

20 Похибка ΔK_D визначається похибкою комплексного показника заломлення платини. Значення його дійсної частини, наведене у різних літературних джерелах, лежить у межах від 2,2 до 2,44, мнимой - від 5 до 6. Обчислені за цими даними значення K_D лежать у межах від 2,1

до 2,2. Тому можна прийняти, що $\Delta K_D = 0,05$ і похибка $\frac{\Delta K_D}{K_D} = 2,5\%$.

Похибка вимірювання сигналів з приймача визначена в основному шумами аналого-цифрового перетворювача, який використовується для вводу даних у комп'ютер. Ширина шумової дорожки складала близько 5 мВ, отже похибка вимірювань сигналу $\frac{\Delta U}{U} = 1\%$.

25 Подстановка цих значень у формулу (5) дає $\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = 3\%$, тобто абсолютна похибка одержаного в експерименті результату: $\Delta\varphi = 2^\circ$.

З урахуванням похибки результату вимірювань можна записати таким чином:

$$\varphi = 80^\circ \pm 3^\circ.$$

30 Описана корисна модель, у якій приймач лазерного випромінювання за допомогою болметричних решіток дозволяє вимірювати напрям лінійної поляризації, у тому числі потужного лазерного випромінювання з великими поперечними розмірами пучків. Похибка

методу не перевищує $\pm 3^\circ$. Випадкова складова похибки в проведеному експерименті склала близько $\pm 2^\circ$.

Використання корисної моделі порівняно з відомими аналогами дозволяє підвищити швидкодію і точність вимірювання поляризаційних характеристик потужного лазерного випромінювання у видимій і інфрачервоній областях спектра у пучках з великими розмірами поперечного перерізу, спростити математичну модель обробки інформації.

Корисна модель практично легко застосована, оскільки для її реалізації можуть бути використані типові оптичні і радіотехнічні вузли і пристрої.

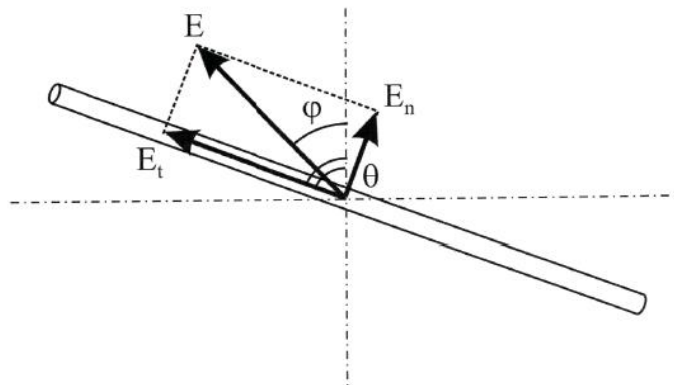
Джерела інформації:

1. В.А. Москалев. Теоретические основы оптико-физических исследований. Л.: Машиностроение, 1987, С. 261.
2. Патент RU №168752 МПК G01J 4/00. Устройство для определения и исследования распределения поляризации /Рыбась Александр Федорович (RU), Погребная Анна Олеговна (RU) Бюл. № 5 от 17.02.17 г.
3. Патент RU № 2193168, МПК G01J 4/00 от 20.11.2002г. Способ измерения степени поляризации /Зиятдинов Р.Р., Звездин В.В., Гумеров А.Ф., Сабиров И.С. (Заявка № 2000118517/28).
4. Катрич А.Б., Кузьмичев В.М. Измерение направления поляризации электромагнитного излучения //Импульсная фотометрия. - Л.: Машиностроение. - 1978. - Вып. 5. - С. 129-131.
5. ВандеХюлст Г. Рассеяние света малыми частицами. - М.: ИЛ, 1961. – С. 536. (Н.С. vandeHulst.Light scattering by small particles. NY, Wiley, Dover, 1981. – P. 536).
6. М. Kerker. The scattering of light and other electromagnetic radiation. N.Y. and London, Academic Press, 1969. – P. 671.
7. К. Борен, Д. Хафмен. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М. Мир: 1986. – С. 664.

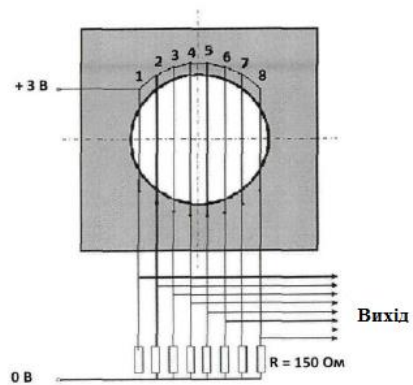
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб визначення напряму поляризації лазерного випромінювання, що включає проходження променя крізь приймач випромінювання, який містить приймаючий болометричний пристрій у вигляді решіток, і реєстрацію сигналів болометричних решіток, який **відрізняється** тим, що як болометричний пристрій використовують чотирирешіткові болометри, які складаються з тонких металевих дротинок, які розміщені один за одним на шляху поширення лазерного пучка перпендикулярно хвильовому вектору і паралельно один одному, причому болометри найближчої до лазера решітки встановлені вертикально, а наступні болометричні решітки розташовані під кутами 45° , 90° і 135° відносно першої.

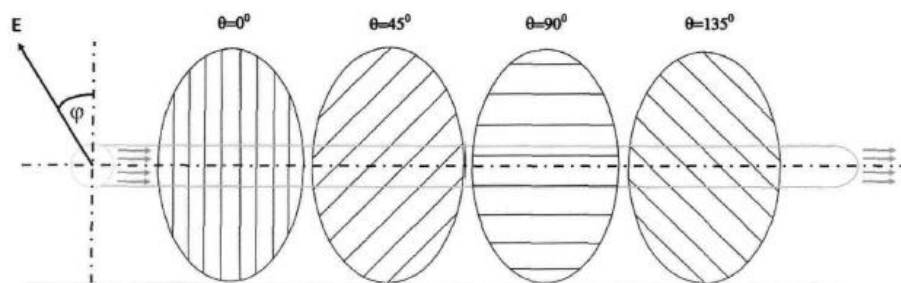
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що кількість дротинок у болометрах складає від 8 до 16 одиниць.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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