



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **68466** (13) **U**
(51) МПК (2012.01)
G01J 1/04 (2006.01)
H01S 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2011 10944**
(22) Дата подання заявки: **12.09.2011**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **26.03.2012**
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **26.03.2012, Бюл.№ 6**

(72) Винахідник(и):
Кокодій Микола Григорович (UA),
Пак Анастасія Олегівна (UA),
Балкашин Валерій Петрович (UA),
Сафронов Борис Вікторович (UA),
Приз Іван Опанасович (UA),
Козлов Ігор Іванович (UA)
(73) Власник(и):
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В.Н. КАРАЗІНА,
пл. Свободи, 4, м. Харків, 61077, Україна (UA)

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛАЗЕРІВ

(57) Реферат:

Пристрій для вимірювання енергетичних параметрів випромінювання лазерів містить джерело електричного живлення, вимірювальний міст, ланцюг калібрування та болометричний приймальний елемент, виконаний у вигляді двох розташованих у паралельних площинах та послідовно з'єднаних дротяних решіток, в кожній з яких дротинки з'єднані послідовно. Дротинки однієї решітки розташовані перпендикулярно дротинкам іншої решітки. При цьому, площини решіток болометричного приймального елемента орієнтовані нормально до напрямку розповсюдження лазерного випромінювання. Дротинки решіток болометричного приймального елемента можуть бути виготовлені із графіту.

U
68466
UA

Корисна модель належить до вимірювальної техніки і може бути використана для вимірювання енергетичних параметрів імпульсного та безперервного випромінювання оптичних квантових генераторів (лазерів) середніх та великих рівнів потужності.

У класичній оптиці відомі засоби для досліджень і вимірювання енергетичних параметрів оптичного випромінювання, такі як піроелектричні, калориметричні приймачі.

До недоліків зазначених засобів вимірювання параметрів лазерного випромінювання можна віднести малу вхідну апертуру, низькі рівні оптичної інтенсивності випромінювання, швидкодії, обмежений спектральний діапазон, труднощі вимірювання імпульсного випромінювання, залежність від місця розташування вимірюваного пучка або невизначеність розподілу вносить додаткову невраховувану похибку. Крім того, ці пристрої містять приймальні елементи непрохідного типу, що різко зменшує область їх використання.

Відомі вимірювачі безперервної потужності випромінювання CO₂-лазерів мають низку недоліків. Дротяний болометр [1] дозволяє реєструвати лише інтенсивне випромінювання, вимірювач ІМО-2, вугільний калориметр [2] та плівковий ватметр [3] є пристроями кінцевого типу й розраховані на малі рівні потужності, калориметр великих рівнів потужності [4] дуже інерційний. Пондеромоторні вимірювачі й вимірювачі малих рівнів з відгалужувачами мають значні втрати енергії основного променя й додаткову поляризаційну похибку.

Відомий болометричний вимірювач потужності лазерного випромінювання [5], призначений для вимірювання потужності випромінювання технологічних CO₂-лазерів, містить приймальний елемент у вигляді подвійної болометричної решітки, виконаної із платинових дротинок 12 мкм та блока реєстрації, дротинки в різних решітках взаємно перпендикулярні.

Недоліком цього пристрою є невеликий спектральний та динамічний діапазони вимірювань, що пов'язані з характером матеріалу (платина), який використовується в якості основи приймального елемента, та значна постійна часу, що відповідає за швидкодію пристрою.

Відомий калориметричний вимірювальний перетворювач [6] для вимірювання повної енергії або потужності випромінювання, що містить конусний калориметр з рівномірно розподіленими вздовж конуса термобатареями.

Зазначений пристрій має високу точність, але, у зв'язку з невеликим кутом розкриття конуса, його вхідна апертура обмежена декількома сантиметрами. Крім того, швидкодія цього пристрою низька через масивність прийомного елемента, а залежність від розташування вимірюваного пучка або невизначеність розподілу вносить додаткову невраховувану похибку.

Відомий вимірювач поляризації лазерного випромінювання [7] містить болометричний приймальний пристрій у вигляді трьох ідентичних тонкодротяних болометричних решіток (з відомим коефіцієнтом дихроїзму K_D), що виконані з платини та кожна з них розміщена під кутом $\pi/3$ до інших.

Недоліком цього пристрою є невеликий спектральний та динамічний діапазони вимірювань, що пов'язані з характером матеріалу (платина), який використовується в якості основи приймального елемента.

Найбільш близьким за технічною суттю до запропонованої корисної моделі є вимірювач випромінювання оптичного квантового генератора (ОКГ) [8] що містить джерело електричного живлення, вимірювальний міст, ланцюг калібрування та болометричний приймальний елемент, виконаний у вигляді двох розташованих у паралельних площинах та послідовно з'єднаних дротяних решіток, в кожній з яких дротинки з'єднані послідовно, причому дротинки однієї решітки розташовані перпендикулярно дротинкам іншої решітки.

Пристрій забезпечує вимірювання середніх та великих рівнів оптичних потоків з мінімальними втратами оптичної енергії та майже не вносить викривлень у оптичний пучок. Але при роботі з пучками, що мають великий поперечний переріз та значну інтенсивність, залежність між збільшенням опору болометричного елемента й падаючої енергії має нелінійний характер завдяки тому, що теплофізичні й оптичні константи металів та сплавів залежать від температури. Таким чином, сигнал, що надходить з болометричної решітки не пропорційний енергії випромінювання, а несе також інформацію про неоднорідність розподілу густини енергії у поперечному перерізі пучка, характеристикою якої є дисперсія. Визначення дисперсії при обробці результату вимірювань за допомогою даного пристрою не є можливим, що позначається на достовірності вимірювань.

Зазначений пристрій не дозволяє проводити вимірювання з достатньою точністю, тому що зміна температури навколишнього середовища визиває розбаланс мостової вимірювальної схеми. Основним недоліком цього пристрою є невеликий спектральний та динамічний діапазони вимірювань, що пов'язані з характером матеріалу (платина), який використовували в якості основи приймального елемента.

Технічною задачею корисної моделі є удосконалення вимірювача енергетичних параметрів лазерного випромінювання з метою збільшення точності, а також рівня оптичної інтенсивності випромінювання та верхньої границі динамічного діапазону, розширення спектрального діапазону вимірювань, створення можливості вимірювання імпульсного випромінювання.

Поставлена задача вирішується тим, що у вимірювачі, обраному за найближчий аналог, що містить джерело електричного живлення, вимірювальний міст, ланцюг калібрування та болометричний приймальний елемент, виконаний у вигляді двох розташованих у паралельних площинах та послідовно з'єднаних дротяних решіток, в кожній з яких дротинки з'єднані послідовно, причому, дротинки однієї решітки розташовані перпендикулярно дротинкам іншої решітки, згідно корисної моделі площини решіток орієнтовані нормально до напрямку розповсюдження лазерного випромінювання, крім того, дротинки решіток виготовлені із графіту.

Запропонований пристрій для вимірювання енергетичних параметрів випромінювання лазерів є вимірювачем прохідного типу середнього та високого рівня потужності випромінювання лазера з малою постійною часу. У запропонований корисній моделі приймальним елементом служать дві рідкі решітки із тонких графітових дротинок, що перекривають весь переріз пучка від джерела лазерного випромінювання, до того ж дротинки однієї решітки розташовані перпендикулярно дротинкам іншої решітки й всі вони з'єднані послідовно. Використання графіту для виготовлення дротинок решіток, як матеріалу з підвищеною стійкістю до надвисоких температур, призводить до розширення діапазону вимірюваної енергії.

Принцип роботи пристрою базується на болометричному ефекті, який виникає при частковому поглинанні випромінювання, що проходить крізь решітку.

Кожна решітка проводить інтегрування розподілу густини потужності $p(x,y)$ у поперечному перерізі пучка. Якщо загальна потужність пучка

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x,y) dx dy, \quad (1)$$

то поглинена потужність однієї решітки

$$P_1 = \varepsilon d \sum_{i=1}^n \int p(x_i, y) dy, \quad (2)$$

де i - порядковий номер дротяного елемента;

n - кількість елементів решітки;

d - діаметр дротинок;

ε - коефіцієнт, що залежить від поглинаючих властивостей матеріалу дротинок й поляризації випромінювання.

Вираз (2) представляє собою формулу прямокутників у наближеному інтегруванні, похибка якої обернено пропорційна числу елементів розбиття інтервалу інтегрування. Якщо зміна густини потужності на періоді решітки X буде плавною й по перерізу пучка вкладається більш десяти довжин дротинок, то похибка вимірювань, що викликана неточністю просторового інтегрування, буде складати одиниці процентів.

Для рідкої подвійної решітки, коли її період значно більший діаметра проволони, з якої виконані дротинки, повні втрати оптичного пучка, складені з втрат на віддзеркалення, поглинання в елементах решітки й дифракцію, не будуть перевищувати величини $4d/\chi$. Використовуючи в решітках дротинки діаметром у декілька мікрон з періодом більше 1 мм, легко отримати коефіцієнт проходження приймача близько 98 % й вище.

Наявність двох взаємно перпендикулярних решіток необхідна для усунення залежності показів пристрою від напрямку поляризації вимірюваного випромінювання. Якщо ε_{\parallel} та ε_{\perp} - коефіцієнти поглинання випромінювання дротинками з поляризацією паралельною та перпендикулярною до їх осей, то при послідовному з'єднанні решіток їх показання підсумовуються й вираз для потужності не залежить від напрямку поляризації

$$P_{\text{полгл}} = P_1 + P_2 = (d/\chi)(\varepsilon_{\parallel} + \varepsilon_{\perp})P,$$

де P_1 і P_2 - потужності, поглинені кожною решіткою.

Довжина дротинок значно більше їх діаметра, тому можна знехтувати втратами на тепловіддачу через торці дротинок (внаслідок їх малості порівняно з втратами на конвекцію, теплопровідність через повітря та випромінювання). Пограничний тепловий шар навколишнього

повітряного середовища [9] буде значно більше діаметрів використаних у найближчого аналога [8] металевих дротинок (3...20 мкм), що призводить до незалежності коефіцієнта теплообміну з навколишнім середовищем від діаметра дроту. Для невеликих температур нагріву решітки, коли теплообмін пропорційний різниці температур дротинок й навколишнього середовища, середнє зростання температури дротинкових елементів ΔT дорівнює

$$\Delta T = P_{\text{пол}} / \gamma \cdot 1 = (\varepsilon_{\parallel} + \varepsilon_{\perp}) d \cdot P / \chi \cdot \gamma \cdot 1, \quad (3)$$

де γ - коефіцієнт теплообміну одиниці довжини дротинки з навколишнім середовищем, 1 - повна довжина дротинкових елементів решіток.

Чутливість не залежить від повної довжини дротинок решіток й обернено пропорційна діаметру дротинок й періоду решітки.

Постійна часу охолодження τ_T буде визначатися співвідношенням

$$\tau_T = \pi d^2 \rho c / 4 \gamma,$$

де ρ і c - питома густина й теплоємність матеріалу дротинок.

Для зменшення постійної часу й збільшення чутливості вимірювача необхідно використовувати металеві дроти малих діаметрів. Зменшення діаметра дротинки обмежується її механічною міцністю та технічною складністю виготовлення приймального елемента. Матеріал дротинок повинен мати стабільні фізичні характеристики, достатню механічну міцність, великий температурний коефіцієнт опору. Серед існуючих матеріалів найбільш високу температуру плавлення має графіт ($T_{\text{пл}} = 3500^\circ \text{C}$), в той час як температура плавлення, наприклад, платини набагато менше ($T_{\text{пл}} = 1770^\circ \text{C}$). Таким чином, відзначається значна стійкість матеріалу дротинок (графіт) до лазерного випромінювання. І, як наслідок, можна вимірювати більші потужності, що досягають дуже великих значень.

Із графітових дротинок діаметром 10-50 мкм можна виготовити решітки з поперечними розмірами від декількох сантиметрів до десятків сантиметрів.

Нижня границя вимірюваної потужності переважно обмежується флуктуаціями температури навколишнього середовища й може бути визначена відповідно до формули (3). Верхня границя вимірюваної потужності визначається залежністю опору болометричного елемента від потужності, що розсіюється на ньому - чим більш теплоємним буде матеріал, тим більші потужності ми зможемо виміряти. При цьому максимальна середня температура дротинки

$$T_{\text{max}} = \frac{\Delta R_{\text{max}}}{\alpha R_0} = \frac{1}{\alpha}.$$

Максимальна потужність, що вимірюється, визначається підстановкою T_{max} у співвідношення (3).

Критична густина оптичної потужності $\rho_{\text{кр}}$, що приводить до плавлення дротинок, визначається співвідношенням

$$\rho_{\text{кр}} \approx \frac{\gamma T_{\text{пл}}}{d \varepsilon_{\text{max}}}, \quad (4)$$

де $T_{\text{пл}}$ - температура плавлення матеріалу дротинок;

ε_{max} - найбільша величина із ε_{\parallel} і ε_{\perp} .

Із виразу (4) видно, що $\rho_{\text{кр}}$ можна збільшити ще й за рахунок зменшення діаметра використовуваних дротинок.

Запропонована корисна модель була використана авторами у експерименті. В ньому вимірювали параметри випромінювання лазера. Поглинена потужність змінювалась у діапазоні від 0,1 до 10 кВт. Таким чином, максимальна вимірювана потужність дорівнювала 10 кВт, а критична густина оптичної потужності - 5 кВт/см²

Експериментальний макет приймального елемента був виготовлений із графітових дротинок діаметром 10 мкм, що значно перевищує довжину хвилі випромінювання $\lambda = 0,45$ мкм, а період решітки T значно більший діаметра d . Усі елементи кожної дротяної решітки із графіту з'єднали послідовно й розташували в одній площині перпендикулярно до осі поширення пучка. За допомогою мостової схеми індикації реєстрували зміни опору елементів решітчастої структури внаслідок нагрівання частиною випромінювання, що проходить.

Верхня границя вимірюваної енергії випромінювання лазера визначається геометричними та термофізичними властивостями дроту, з якого виготовлена решітка, а також коефіцієнтом поглинання.

Таким чином, практичне застосування запропонованого пристрою дозволить збільшити верхню границю динамічного діапазону вимірювання потужності електромагнітного випромінювання за рахунок використання у якості основи болометричного приймального елемента, надстійкого до великих потужностей, що супроводжуються значними температурами, матеріалу - графіту.

Джерела інформації:

1. J. G. Siekman, R. E. Morijn. Phil. Res. Rep., 23,375 (1968).
2. S.D. Jacobs. Appl. Optics, 10, 2564 (1971).
3. J. Strieker, J. Rom. Rev. Sci. Instr., 43, 1168 (1972).
4. R.L. Smith, T.W. Russel, W.E. Case. IEEE Trans. Instr. and Measur., IM-21, 434 (1972).
5. Кузьмичев В.М., Балкашин В.П., Золотайкин А.В. Болометрический измеритель мощности лазерного излучения. // Журнал ПТЭ. - № 2. - 1988. - С. 225.
6. Патент UA № 21494, G01J5/02, H01J47/00, 16.12.1997.
7. Патент UA № 35374, G01J1/04, G01J5/00, 10.09.2008.
8. A.C. SU № 411561, HOIS 3/00, 15.01.1974.
9. В.П. Исаенко, В.А. Осипова, А.С. Сухомел. Теплопередача. - М, "Энергия", 1965.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Пристрій для вимірювання енергетичних параметрів випромінювання лазерів, що містить джерело електричного живлення, вимірювальний міст, ланцюг калібрування та болометричний приймальний елемент, виконаний у вигляді двох розташованих у паралельних площинах та послідовно з'єднаних дротяних решіток, в кожній з яких дротинки з'єднані послідовно, причому дротинки однієї решітки розташовані перпендикулярно дротинкам іншої решітки, який **відрізняється** тим, що площини решіток болометричного приймального елемента орієнтовані нормально до напрямку розповсюдження лазерного випромінювання.
2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що дротинки решіток болометричного приймального елемента виготовлені із графіту.

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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