



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38693 (13) A

(51) 7 G01J5/10, G01J5/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ВИМІРЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(21) 2000084973

(22) 22.08.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Загоруйко Юрій Анатолійович, Коваленко Назар Олегович, Федоренко Ольга Олександрівна

(73) Науково-дослідне відділення "Оптичні та конструкційні кристали" Науково-технологічний концерн "Інститут монокристалів" НАН України

(57) Вимірювач потужності лазерного випромінювання, який містить у собі приймальний елемент,

виконаний із прозорого в ІЧ діапазоні матеріалу у вигляді платівки, на бічній поверхні якої розташовані датчики, підключені до входу підсилювача-індикатора, який **відрізняється** тим, що датчиками є термочутливі елементи, підключені по диференційному принципу, і які знаходяться у тепловому контакті з поверхнею площинки, виконаних із матеріалів з різними коефіцієнтами поглинання ІЧ випромінювання, попередньо нанесених на бічну поверхню приймального елемента.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання потужності лазерного ІЧ-випромінювання.

В останні роки широке застосування отримали медичні та технологічні лазерні установки із СО₂-лазерами, у яких (особливо у медицині) під час експлуатації є необхідним вимірювання потужності.

Відомий вимірювач теплового випромінювання [а. с. № 1179114 СССР, МКИ G01J5/16] з приймальним чутливим елементом, який знаходиться у тепловому зв'язку з пристроєм для стабілізації його температури, який складається із датчика температури, підсилювача і активного термостабілізуючого елемента, розташованого на стороні чутливого елемента, протилежній його приймальній поверхні. При цьому датчик температури розташовано на приймальній поверхні чутливого елемента і виконано плоским, що повторює її форму.

Відомий приймач теплового випромінювання [а. с. № 1636697 СССР, МКИ G01J5/12], який містить термоелемент, виконаний у вигляді стрижня з двома мідними виводами на стику бокової поверхні стрижня із торцями, а також приймальної площадки на одному з торців термоелементу і тепловідводу, на якому встановлено іншим торцем термоелемент. При цьому стрижень виконано із анізотропного монокристала антимоніда кадмію, вирізаного вздовж кристалографічної осі [001].

Відомі вимірювачі потужності лазерного випромінювання [проспект фірми "Molelectron. Detector, Incorporated", USA, 1999], які містять приймальний чутливий елемент, що являє собою во-

ронуваті металічні мембрани, розташовані у водо- або повітряно-охолоджувальному корпусі і з'єднані із підсилювачем-індикатором.

Відомі вимірювачі (приймачі) теплового випромінювання являються вимірювачами кінцевого (непрохідного) типу. Їх використання для вимірювання потужності безперервного, модульованого або імпульсного лазерного випромінювання ІЧ-діапазону неможливе без застосування додаткової системи відгалужувачів, послаблювачів і модуляції (у випадку безперервного) самого лазерного випромінювання, що ускладнює конструкцію пристрою; крім того, частина потужності випромінювання при цьому буде втрачена на цих додаткових елементах, тобто вимірювана потужність не буде відповідати дійсній потужності випромінювання ІЧ-лазеру.

Відомі вимірювачі потужності лазерного випромінювання [Н.А.Панкратов. Сучасні болометри, приймачі на основі р-п переходів і на основі термопружного ефекту в кристалічному кварці // Оптичний журнал. – 1994. - № 4. - С. 125-133], які містять оптичне зв'язані перепроектує дзеркало, переднє дзеркало, резонатор, вихідне вікно (світлорозділювальна платівка), поглинач, фотоприймальний пристрій, до складу якого входить модулятор, приймач випромінювання та електричний блок. Як світлорозділювальна платівка, яка відгалужує частину випромінювання, пропорційну загальному потоку, у фотометричний канал вимірювача, використовується вихідне вікно лазеру, що виконане з монокристалу KCl. У вимірювачі застосовуються два ступеня послаблення, що використовуються для вимірювання випромінюван-

(19) UA (11) 38693 (13) A

ня. Послаблювачем френелівського типу, який для запобігання інтерференції відбитих від його поверхонь пучків має невелику клиноподібність, є вихідне вікно резонатора, а послаблювачем тимчасового типу являється модулятор. Приймачі випромінювання працюють на основі термопружного ефекту у кварці і містять погоджувальний фокон. Він захищений екранами від електромагнітного випромінювання. Електромагнітний блок узгоджує сигнал, що розвивається приймачем, із вихідним пристроєм, що керується за допомогою ЕОМ.

Вимірювачі на термопружному ефекті характеризуються високою чутливістю, малою інерційністю, великим динамічним діапазоном. Тому вони придатні для проведення прецизійних вимірювань потужності оптичних випромінювань малих інтенсивностей. Але їх використання у технологічних та медичних лазерних установках, що генерують інфрачервоне випромінювання середньої і високої потужності, невиправдано із-за високої вартості, трудомісткості юстування, складності конструкції, що обумовлене необхідністю використання у цьому приймачі як чутливого елементу вирізаної спеціальним чином відносно кристалографічних осей платівки із монокристалічного кварцу, а також цілого ряду додаткових допоміжних елементів, таких як перепроєктувальне дзеркало, модулятор та інші, наявність яких ускладнює конструкцію пристрою і знижує точність вимірювання за рахунок втрати енергії на цих елементах.

Наведені вимірювачі потужності лазерного випромінювання призначені для роботи у спектральному діапазоні довжин хвиль випромінювання: від 0,4 до 15 мкм; при діапазоні енергій випромінювання ($10^{-6} \dots 10$) Дж (при роботі в імпульсному режимі) або у діапазоні потужності випромінювання ($10^{-7} \dots 1,5 \cdot 10^{-2}$) Вт (при роботі у безперервному режимі), граничне значення щільності потужності не перевищує $1 \cdot 10^3$ Вт/см².

Є відомим вимірювач потужності імпульсного лазерного випромінювання [Бабійчук С.В., Тесленко А.И. Прохідний вимірювач енергії. Допов. 5 // Всес. науково-техн. конф.: "Фотометрія та її метрологічне забезпечення". - М.: ВНИИФТРИ, 1984. - С. 44], який має приймальний елемент (підкладку) із монокристалічного NaCl (або іншого, прозорого в ІЧ-діапазоні матеріалу), на поверхні якого нанесена плівка телуру оптичної товщини $\lambda/2$ (де λ - довжина хвилі лазерного випромінювання), розміщена у металічному корпусі-тримачі. У цьому ж корпусі розташовано і проміжний підсилювач, на вхід якого підключено електричні контакти плівки телуру. Підсилений за допомогою проміжного підсилювача електричний сигнал, пропорційний потужності лазерного випромінювання, подається на індикатор. Даний вимірювач є вимірювачем прохідного типу.

Недоліками цього прохідного приймача лазерного випромінювання є:

- обмежений діапазон вимірювання потужності: діапазон вимірювання імпульсної потужності при середній потужності, що не перевищує 100 W, складає $(20 \dots 2 \cdot 10^3)$ W, а максимальна щільність потужності безперервного лазерного випромінювання не перевищує 10^3 Вт/см²;

- можливість вимірювання потужності тільки на одній довжині хвилі, що пояснюється особливістю

конструкції, а саме, - товщиною осадженої плівки телуру;

- високий рівень втрат оптичного випромінювання (вимірювач відбирає від досліджуваного пучка до 15% потужності випромінювання);

- висока похибка вимірювання, котра складає $\pm 21\%$, внаслідок залежності від зміни температури, "старіння" плівки, нерівномірності її зонної характеристики, динамічних переключень та інших причин;

- складність технології виготовлення, яка потребує осадку плівок телуру рівної і точно заданої оптичної товщини.

Недоліком цього вимірювача є також його суттєва чутливість до акустичних і вібраційних впливів, яка є наслідком нерівномірності зонної характеристики вимірювача і залежності його показників від зміни площини поляризації випромінювання.

Відомий вимірювач потужності лазерного випромінювання [а. с. № 1542203 СССР, МКИ G01 J5/10], який містить у собі приймальний чутливий елемент із монокристала, виконаного у вигляді диску, на бічну поверхню якого нанесені електроди, підключені до узгоджувального підсилювача. При цьому електроди нанесені на ті ділянки бокової поверхні, в яких функція, що визначає кутову залежність електростатичного потенціалу, має визначений вигляд для різних зрізів. Електроди, що покривають ділянки з одним і тим самим знаком функції, яка визначає кутову залежність електростатичного потенціалу, електрично сполучені між собою і підключені до входів узгоджувального підсилювача.

Підвищення точності і верхньої межі динамічного діапазону (до 10^3 Вт/см² у частотно-імпульсному режимі лазерного випромінювання) обумовлене використанням у пристрої більш температуростабільних зрізів кристалу, а також виконанням чутливого елементу у вигляді диску, що зменшує величини поперечних градієнтів температури.

Принцип роботи даного пристрою ґрунтується на піроелектричному ефекті.

Цей вимірювач потужності дає можливість вимірювати потужність безпосередньо модульованого лазерного випромінювання, яке проходить крізь кристал. Перевагами піроелектричних вимірювачів потужності є їхня висока чутливість і дуже висока швидкість.

Недоліками піроелектричних вимірювачів потужності є:

- чутливість до акустичних та вібраційних впливів;

- необхідність модуляції при проведенні вимірювань безперервних лазерних випромінювань, що пояснюється принципом роботи вимірювачів цього типу, який базується на піроелектричному ефекті, тобто появою спонтанної поляризації піроелектричного кристалу внаслідок градієнта температури, що виникає у кристалі внаслідок його нагріву прохідним імпульсно-періодичним або модульованим лазерним випромінюванням;

- низька верхня межа вимірювань (густина потужності в імпульсно-безперервному або модульованому режимі лазерного випромінювання не перевищує $1 \cdot 10$ Вт/см²), тому для вимірювання і реєстрації лазерного випромінювання з більш високою густиною потужності ці вимірювання можна

провадити лише у спеціальному вимірювальному тракті з використанням послаблювачів випромінювання;

- нелінійна залежність показань вимірювача в залежності від температури.

Невисока верхня межа зареєстрованої щільності потужності пов'язана з наявністю у піроелектричних матеріалів температури фазових переходів (температури Кюрі), котра у сучасних піроелектриків дорівнює 100...600 К. Піроелектричний ефект знижується з ростом температури, що також обмежує застосування піроелектричних вимірювачів при підвищених температурах. Діапазон хвиль, в якому реєструються і вимірюються потоки лазерного випромінювання, залежить від використовуваного в піроелектричних приймачах матеріалу і для різних матеріалів становить: 0,2-3 мкм; 1,8-2,0 мкм; 0,5-12 мкм.

Ці недоліки ускладнюють застосування піроелектричних вимірювачів прохідної потужності оптичного випромінювання ІЧ діапазону на практиці, наприклад, у технологічних та медичних CO₂-лазерних установках.

Найбільш близьким за технічною суттю, досягнутому ефекту і обраним як прототип є вимірювач потужності за а. с. № 1542203.

В основу даного винаходу поставлена задача створення вимірювача потужності лазерного ІЧ випромінювання, котрий забезпечував би можливість вимірювання потужності як імпульсно-періодичного, так і безперервного випромінювання ІЧ лазерів у широких інтервалах енергетичних потоків та температур при спрощенні його конструктивного виконання.

Вирішення поставленої задачі забезпечується тим, що у вимірювачі потужності лазерного ІЧ випромінювання, який містить приймальний елемент, виконаний із прозорого в ІЧ діапазоні матеріалу у вигляді платівки, на бічній поверхні котрої розташовані датчики, що підключені до входу підсилювача-індикатора, згідно з винаходом, датчиками є термочутливі елементи, що включені за диференційним принципом і знаходяться у тепловому контакті з поверхнею площинок, що попередньо нанесені на бокову поверхню приймального елемента і виконані із матеріалів, які мають різні коефіцієнти поглинання ІЧ випромінювання.

Спрощення конструктивного виконання запропонованого вимірювача забезпечується завдяки можливості використання як приймального елемента будь-якого моно- або полікристалічного матеріалу, що звичайно використовується в ІЧ техніці при виготовленні пасивних оптичних елементів прохідного типу і не потребує вибору спеціальної кристалографічної орієнтації, місця розташування контактів або нанесення покриттів.

Як показали дослідження, вольт-ватна залежність запропонованого вимірювача є лінійною у широкому діапазоні потужностей падаючого оптичного випромінювання, а його показання у широкому інтервалі температур (від 0°C до 120°C) не залежать від температури. Верхня межа вимірюваних потужностей і робочих температур визначається тільки характеристиками променевої та механічної міцностей матеріалу, що використовується як приймальний елемент. Такими матеріалами можуть бути: KCl, NaCl, LiF, BaF₂, Si, Ge, ZnSe,

ZnS, CdTe, CdS, GaAs, GaP, A₂O₃, а також оптичні кераміки K03, K04, K06, кристали KDP, DKDP та інші.

Використання диференційного принципу включення термочутливих елементів, виводи котрих знаходяться в однакових умовах теплового контакту з поверхнею платівок, що виконані із матеріалів з різними коефіцієнтами поглинання ІЧ випромінювання, а також незалежність отриманого сигналу від температури самого вимірювача, дозволяє вимірювати величину, пропорційну потужності, що проходить через вимірювач, як у разі безперервного, так і імпульсно-періодичного падаючого ІЧ випромінювання.

Запропонований вимірювач не є джерелом додаткових втрат падаючого лазерного випромінювання, таких, наприклад, як втрати у світлочутливих плівках, послаблювачах, модуляторах і т.п.

На фіг. 1 наведено ескіз запропонованого вимірювача, що не потребує примусового охолодження і використовується для вимірювання потужності ІЧ лазерів, виконаного у переносному варіанті і розташованого у корпусі.

На фіг. 2 наведено використання запропонованого вимірювача потужності в ІЧ-лазері, де приймально-чутливим елементом вимірювача є безпосередньо вихідне вікно лазера.

На фіг. 3 наведена схема вимірювань потужності оптичного випромінювання з використанням запропонованого вимірювача.

Запропонований вимірювач складається з приймального елемента 1, що виконаний у вигляді платівки із прозорого в ІЧ області спектру матеріалу, на бічній поверхні котрого нанесені площинки 2 і 3, виконані із матеріалів з різними коефіцієнтами поглинання. У тепловому контакті з вказаними площинками знаходяться виводи 4 і 5 термочутливих елементів, що підключені за диференційним принципом, другі виводи котрих підключені до входу підсилювача-індикатора 6.

На фіг. 1 наведено корпус 7, який не потребує примусового охолодження, в який вміщено запропонований вимірювач.

На фіг. 2 наведено ІЧ-лазер 7 і лазерний промінь 8.

На фіг. 3 додатково наведено два об'єкти опромінювання при використанні запропонованого вимірювача у схемі вимірювань.

Термочутливими елементами можуть бути терморезистори, напівпровідникові діоди, підключені за диференційним принципом.

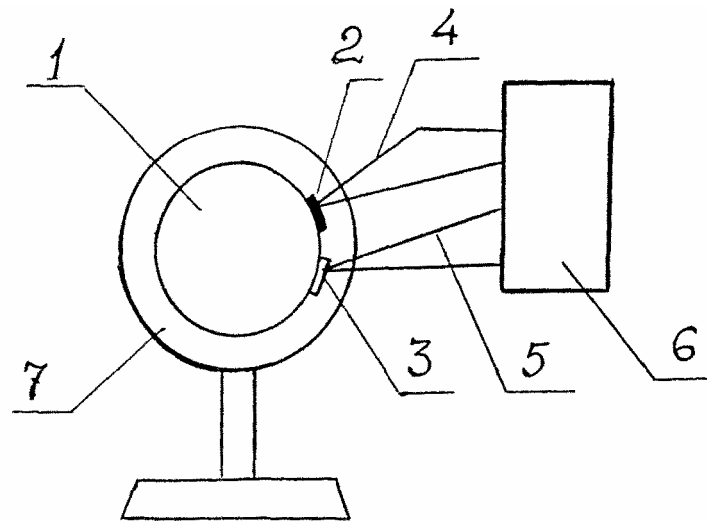
Площинки 2 і 3 можуть бути виконані із металевих, оксидних матеріалів у вигляді тонких платівок або нанесених у вигляді покриттів. При цьому не має значення геометрія розташування цих площинок - паралельно або перпендикулярно (як вказано на фіг.) осі приймального елемента вони розташовані, а сам приймальний елемент може мати будь-яку геометричну форму, а не тільки у вигляді диска.

Запропонований вимірювач працює таким чином. При проходженні падаючого ІЧ випромінювання крізь приймальний елемент 1, частина цього випромінювання розсіюється у ньому і попадає на площинки 2 і 3 (як правило відбиваюча і поглинаюча площинки). Під дією розсіяного випромінювання поглинаюча площинка нагрівається швидше

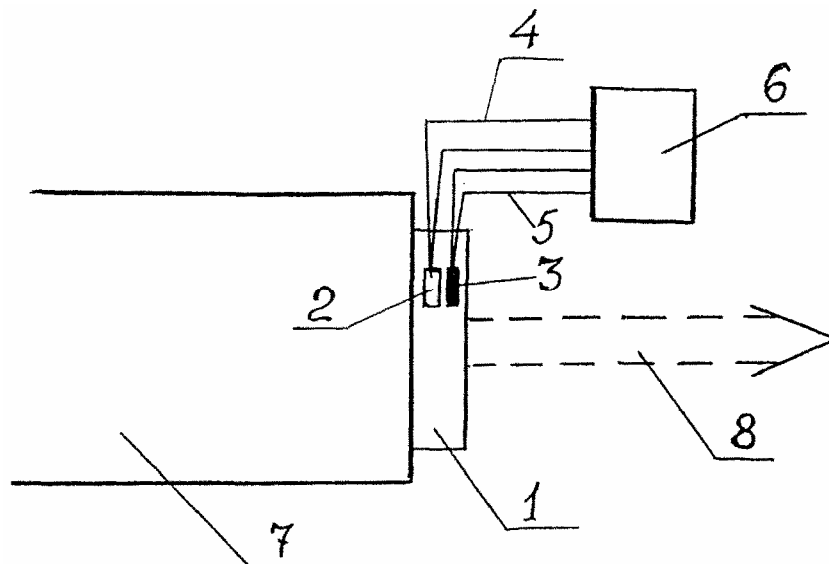
відбиваючої. Через деякий час (за рахунок теплообміну між площинками) встановлюється постійна різниця температур, яка детектується термочутли-

вими елементами, виводи 4 і 5 яких підключені до підсилювача-індикатора 6.

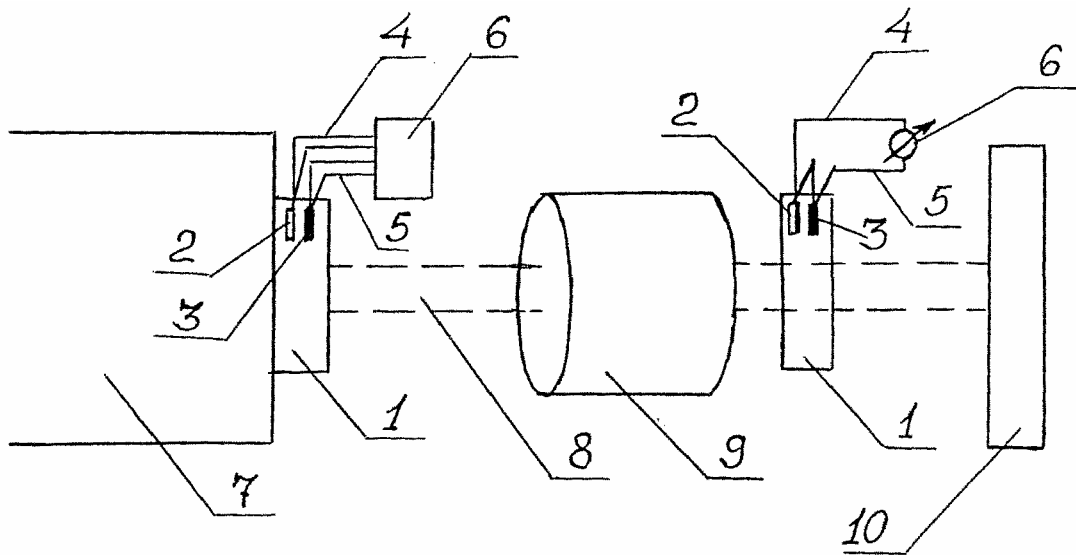
Вимірювач не чутливий до акустичних і вібраційних впливів.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22