



УКРАЇНА

(19) UA (11) 40886 (13) A

(51) 7 G01J9/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ СТУПЕНЯ ПРОСТОРОВОЇ КОГЕРЕНТНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

(21) 2000105602

(22) 02.10.2000

(24) 15.08.2001

(46) 15.08.2001, Бюл. № 7, 2001 р.

(72) Землянський Володимир Михайлович,
Чудесов Олександр Павлович

(73) ЗЕМЛЯНСЬКИЙ ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ

(57) 1. Спосіб вимірювання ступеня просторової когерентності лазерного випромінювання шляхом виділення з розширеного лазерного пучка двох лазерних пучків, рівних за інтенсивністю та узгоджених за поляризацією, який **відрізняється** тим, що в зоні вимірювання, утвореній в результаті перетину цих двох лазерних пучків під кутом γ , формують інтерференційну картину, що біжить з постійною частотою, період якої не залежить від відстані між двома виділеними лазерними пучками, а в центрі зони вимірювання розміщують атестовану сферичну частинку діаметром

$$d_r \ll \frac{\lambda}{4 \sin(\gamma/2)},$$

на якій відбувається розсіювання двох лазерних пучків, різниця частот між якими лежить в області радіодіапазону, а також здійснюють прийом розсіяного випромінювання в просторовій області, в межах якої для кожного i -го напрямку прийому забезпечують амплітудне, поляризаційне і фазове узгодження розсіяних змішаних хвиль на фотокатоді квадратичного детектора, і вимірюють глибину модуляції фотоструму, що чисельно дорівнює модулю ступеня просторової когерентності (де d_r – діаметр частинки, λ – довжина хвилі, γ – кут перетину двох лазерних пучків).

2. Пристрій вимірювання ступеня просторової когерентності лазерного випромінювання, що

складається з оптично узгоджених лазера, коліматора, фокусуючого об'єктива і фотоприймача, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введені між лазером і коліматором дві ірисові діафрагми, а також оптично узгоджені з виходом коліматора призма з двома дзеркальними гранями, дві діафрагми з круглими отворами, два дзеркала, а на шляху кожного з виділених лазерних пучків встановлені частотозсувні пристрої, підключені до генератора високої частоти, поляризатор, напівхвильова фазова пластина, нейтральний фільтр, оптичний пристрій перетворення паралельних лазерних пучків, а також оптично узгоджені з фокусуючим об'єктивом осередок із розміщеною в ньому атестованою сферичною частинкою, об'єктив, збираючий розсіяне світло, апертурна діафрагма із щілиноподібним отвором, інтерференційний світлофільтр і вимірювач глибини модуляції фотоструму, підключений до виходу фотоприймача, причому в призмі кут між дзеркальними гранями складає β і його бісектриса збігається з оптичною віссю схеми, і призма розташована на юстирувальному столику з можливістю її мікропереміщення вздовж оптичної осі, а щілиноподібний отвір апертурної діафрагми орієнтований перпендикулярно до схеми і площині, утвореній двома лазерними пучками.

3. Пристрій по п. 2, який **відрізняється** тим, що в ньому оптичний пристрій перетворення паралельних лазерних пучків, що не вносить різниці оптичного ходу між ними, виконаний у вигляді коліматора.

4. Пристрій по п. 2, який **відрізняється** тим, що призма з двома дзеркальними гранями виконана з кутом між цими гранями $\beta=90^\circ$.

Винахід відноситься до квантової електроніки і може бути використаний для дослідження когерентних властивостей випромінювання лазера та вимірювання модуля ступеня просторової когерентності лазерного або іншого джерела оптичного випромінювання.

Відомий спосіб вимірювання ступеня просторової когерентності [1], заснований на вимірюванні кутового розходження світлового пучка, що функціонально пов'язаний із ступенем просторової когерентності, а також пристрій [4], що дозволяє вимірювати кутове розходження когерентного випро-

мінювання. Недоліком способу вимірювання є невисока точність, що є результатом значної методичної похибки вимірювання. Априорно в більшості випадків невідомий модовий спектральний склад випромінювання лазера і точне значення залежності кутового розходження від ступеня просторової когерентності. Тому цей спосіб та пристрій не знайшли практичного застосування.

Найбільше близьким технічним рішенням, що обрано в якості прототипу, є спосіб вимірювання модуля ступеня просторової когерентності [2]. Засіб оснований на виділенні з розширеного лазерного пучка за допомогою діафрагми з двома круглими отворами двох лазерних пучків, рівних за інтенсивністю та узгоджених за поляризацією, а також формуванні в зоні вимірювання, утвореної цими двома лазерними пучками пересіченими під кутом γ на оптичній вісі розширеного лазерного пучка, стаціонарної інтерференційної картини з наступним непрямым виміром контрасту інтерференційної картини на основі прямих вимірів послідовно в часі відповідно максимумів і мінімумів інтенсивностей інтерференційної картини.

Відомий також пристрій для здійснення цього засобу [2], що складається з послідовно встановлених та оптично узгоджених лазера, електро-механічного модулятора, коліматора, що складається з двох лінз, діафрагми з двома круглими отворами, розташованими симетрично щодо оптичної вісі з можливістю зміни відстані l_1 між отворами діафрагми, фокусуючого об'єктива, приймальної діафрагми з круглим отвором, розташованої в області фокуса об'єктива, фотоприймача, вихід якого сполучений через синхронний детектор із цифровим вольтметром, причому фотоприймач із приймальною діафрагмою встановлені на юстировочному столику з можливістю одночасного мікро-переміщення їх у напрямку, перпендикулярному оптичній вісі і прямуванням отвору діафрагми в площині двох лазерних пучків. За допомогою вольтметра, при деякому фіксованому положенні фотоприймача з діафрагмою, спочатку вимірюється сигнал, пропорційний інтенсивності в максимумі інтерференційної картини, а потім, після її зсуву на половину періода інтерференційної картини, вимірюється сигнал, пропорційний інтенсивності в мінімумі інтерференційної картини і т.д. За результатами цих вимірів розраховується контраст інтерференційної картини та приймається, що він дорівнює модулю ступеня просторової когерентності.

Проте, відомий спосіб та пристрій мають такі недоліки. Для просторового виділення та вимірювання максимумів і мінімумів інтенсивності інтерференційної картини перед фотоприймачем необхідно встановити приймальну діафрагму з дуже малим отвором

$$d \ll \frac{\lambda}{2 \sin(\gamma/2)}$$

де λ - довжина хвилі випромінювання лазера.

На практиці діаметр цього отвору складає $d = (10 \dots 20)$ мкм і тому виконати отвір такого розміру і, тим більше, ще меншого діаметра дуже складно. Крім того, при збільшенні відстані між двома отворами діафрагми спостерігається збільшення кута γ між пересіченими лазерними пучками і, отже, періоду інтерференційної картини в зоні ви-

мірювання. У цьому випадку за допомогою приймальної діафрагми з заданим фіксованим отвором d уже не можна точно просторово виділити максимуми і мінімуми інтерференційної картини, що призводить до значної методичної похибки вимірювання контрасту інтерференційної картини. З іншого боку встановлення перед фотоприймачем приймальної діафрагми з малим отвором призводить до виникнення великих інструментальних похибок, оскільки не можна виключити нестабільність різниці оптичного ходу пучків, що інтерферують, через вплив на схему інтерферометра змін температури та вібрації. Нестабільність інтерферометру зумовлює зміну просторового положення максимумів і мінімумів інтерференційної картини в кожний момент часу. Ця інструментальна похибка була б відсутня тільки в тому випадку, якби вдалося "заморозити" у часі інтерференційну картину, використовуючи, наприклад, для цього прецизійну стабілізацію схеми інтерферометра. Проте, здійснити це технічно складно, і тому така стабілізація на практиці не використовується. Тому похибка вимірювання модуля ступеня просторової когерентності відомим способом та пристроєм складає до $(10 \dots 15)\%$ [1, 2].

В основу запропонованого винаходу поставлено задачу підвищення точності виміру модуля ступеня просторової когерентності, усуваючи недоліки, властиві відомому способу та пристрою, тобто усунення як інструментальної похибки, обумовленої зміною просторового положення максимумів і мінімумів інтерференційної картини через нестабільність інтерферометра, так і методичної похибки вимірювання, обумовленої зміною кута γ між лазерними пучками.

Це досягається шляхом того, що в зоні вимірювання, утвореної двома пересіченими лазерними пучками, виділеними з розширеного лазерного пучка, формують інтерференційну картину, що біжить із постійною частотою, період якої не залежить від відстані між двома виділеними лазерними пучками, а в центрі зони вимірювання, що являє собою область перетинання під кутом γ двох лазерних пучків рівних за інтенсивністю та узгоджених за поляризацією, розміщують атестовану сферичну частинку діаметром

$$d_r \ll \frac{\lambda}{4 \sin(\gamma/2)}$$

(де d_r - діаметр частинки, λ - довжина хвилі, γ - кут перетину двох лазерних пучків), на якій відбувається розсіювання двох лазерних пучків, різниця частот між якими складає $2\Omega_m$ та лежить в області радіодіапазону, а також здійснюють прийняття розсіяного випромінювання у просторовій області, в межах якої для кожного i -го напрямку прийому розсіяного випромінювання забезпечують амплітудне, поляризаційне та фазове узгодження змішуваних розсіяних хвиль на фотокатоді квадратичного детектора та вимірюють глибину модуляції фототока. В цьому випадку на виході фотоприймача формується сигнал, що складає адитивну суміш постійної U_0 та височастотної складової U_1 сигналу на частоті $2\Omega_m$ та глибини модуляції фототока V численно дорівнює модулю ступеня просторової когерентності γ_{12}

$$V = |\lambda_{12}(\theta = 0; l_1)|$$

Для пристрою поставлене завдання досягається тим, що в пристрої [2], який складається з оптично узгоджених лазера, коліматора, фокусуємого об'єктива і фотоприймача, відрізняється тим, що в нього додатково введені між лазером і коліматором дві ірисові діафрагми, а також оптично узгоджені з виходом коліматора призма з двома дзеркальними гранями, дві діафрагми з круглими отворами, два дзеркала, а на шляху кожного з виділених лазерних пучків встановлені частотозсувні пристрої, підключені до генератора високої частоти, поляризатор, напівхвильова фазова пластина, нейтральний фільтр, оптичний пристрій перетворення паралельних лазерних пучків, а також оптично узгоджені з фокусуємым об'єктивом осередок із розміщеною в ньому атестованою сферичною частинкою, об'єктив, збираючий розсіяне світло, апертурна діафрагма із щілиноподібним отвором, інтерференційний світлофільтр і вимірювач глибини модуляції фотострума, підключений до виходу фотоприймача, причому в призмі кут між дзеркальними гранями складає β і його бісектриса збігається з оптичною віссю схеми і призма розташована на юстировочному столику з можливістю її мікропереміщення вздовж оптичної вісі, а щілиноподібний отвір апертурної діафрагми орієнтований перпендикулярно вісі схеми і площині, утвореної двома лазерними пучками. Крім того пристрій відрізняється тим, що в ньому оптичний пристрій перетворення паралельних лазерних пучків, що не вносить різниці оптичного ходу між ними, виконаний у виді коліматора, а також призма з двома дзеркальними гранями, виконана з кутом між цими гранями $\beta=90^\circ$.

На фіг. 1 подана схема пристрою для реалізації запропонованого способу, яка включає: лазер 1, що випромінює вертикально поляризований луч 2, діаметром d_1 ; дві ірисові діафрагми 3 і 4; електро-механічний модулятор 5, що закріплюється на вісі синхронного двигуна 6; коліматор 7, за допомогою якого лазерний пучок 2 перетворюється та розширюється в пучок 8 діаметром $d_2 > d_1$; призму 9 з двома дзеркальними гранями та кутом при вершині β , за допомогою якої лазерний пучок 8 ділиться на два лазерних пучка 8₁ і 8₂; дві діафрагми 10 і 11, за допомогою яких виділяється два вузьких лазерних пучки, відстань між котрими l_i залежить від положення призми 9 (яка за допомогою мікропередачі може переміщуватися вздовж оптичної вісі схеми OZ і має відліковий пристрій для визначення l_i); два дзеркала 12 і 13; частотозсувні пристрої 14 і 15 підключені до генератора високої частоти 16, за допомогою яких відповідно лазерний промінь 8₁ зсувається по частоті на Ω_m і на виході устрою 14 має частоту $\omega_0 + \Omega_m$ ($\omega_0 = 2\pi\nu_0$ - частота випромінювання лазера), а лазерний промінь 8₂ - на $-\Omega_m$ і на виході пристрою 15 має частоту $\omega_0 - \Omega_m$; два поляризатора 17 і 18, азимути вісі проходження яких виставляються рівним 90° ; напівхвильові фазові пластини 19 і 20; нейтральні фільтри із змінною щільністю 21 і 22, за допомогою яких можна плавно послаблювати потужність відповідно лазерних пучків 8₁ і 8₂; оптичний пристрій перетворення паралельних лазерних пучків 23, виконаний, наприклад, у виді коліматора, за допомогою якого паралельні лазерні пучки з відстанню $2x_1$, перетворюються в два паралельні пучки з відстанню між ними $2x_2 < 2x_1$; фокусуєчий

об'єктив 24; осередок 25 із розташованою в ній атестованою сферичною частинкою діаметром d_f і показником заломлення n_f , причому частинка розміщена в оптично прозорому середовищі з показником заломлення n_0 ; збираючий об'єктив 26, оптична вісь якого збігається з віссю схеми OZ; щілиноподібну апертурну діафрагму 27, в якій вісь симетрії щілиноподібного отвору орієнтована вздовж вісі OY, інтерференційний світлофільтр 28; фотоприймач 29; вимірювач глибини модуляції фототока 30; синхронний детектор 31; подвоювач частоти 32; вольтметр 33 і підсилювач потужності 34.

Розглянемо роботу пристрою.

При дослідженні залежності модуля ступеня просторової когерентності $|\lambda_{12}(\theta = 0; l_i)| = f(l_i)$ від відстані l_i між виділеними лазерними пучками в схемі (фіг. 1) електромеханічний модулятор 5 виключений, а частотозсувні пристрої 14 і 15 включені.

Лазерний пучок 2 після проходження діафрагм 3 і 4, отвору електромеханічного модулятора 5 (закріпленого на вісі двигуна 6), а також коліматора 7, ділиться призмою 9 на два симетричних пучки 8₁ і 8₂. З цих пучків за допомогою діафрагм 10 і 11 виділяються два симетричних щодо оптичної вісі OZ лазерних пучка, відстань між якими l_i можна змінювати, переміщуючи вздовж вісі OZ призму 9. При вкрай правому положенні призми 9 ця відстань мінімальна - l_{\min} , а при вкрай лівому - максимальна - l_{\max} . Нехай кут при вершині призми 9 дорівнює $\beta=90^\circ$, тоді після відбитка від дзеркал 12 і 13 під кутом 90° лазерні пучки 8₁ і 8₂ розповсюджуються паралельно і симетрично щодо вісі OZ. Кожний з пучків послідовно проходить частотозсувні пристрої 14 і 15, поляризатори 17 і 18, напівхвильові пластини 19 і 20, а також нейтральні фільтри 21 і 22. На виході поляризаторів 17 і 18 лазерні пучки 8₁ і 8₂ мають вертикальну поляризацію, площіна коливання електричного вектора перпендикулярна площині пучків OXY, в якій вони розповсюджуються маючи азимут поляризації 90° із невідомою похибкою. Для виключення впливу цієї похибки на результат виміру забезпечують повне поляризаційне узгодження пучків 8₁ і 8₂ в зоні вимірювання (площині OXY) за допомогою напівхвильових пластин 19 і 20. За допомогою нейтральних фільтрів 21 і 22 забезпечують рівність інтенсивностей пучків 8₁ і 8₂, здійснюючи їх контроль при настройці схеми в площині OXY. Паралельні лазерні пучки 8₁ та 8₂ перетворюються пристроєм 23 у два паралельних пучки без внесення різниці оптичного ходу і далі фокусуються об'єктивом 24 в зону вимірювання, що являє собою область перетинання двох лазерних пучків під кутом γ у фокусі об'єктива 24. У зоні вимірювання формується інтерференційна картина, що біжить із частотою $2\Omega_m$ і періодом $\delta_x = \frac{\lambda}{2\sin(\gamma/2)}$, у якій

максимуми орієнтовані паралельно площині OYZ. Таким чином, для аналізованої схеми період інтерференційної картини δ_x не залежить від відстані l_i між виділеними лазерними пучками, тому що кут γ при цьому залишається постійним. У площині OXY у центрі зони вимірювання розміщується атестована сферична частинка в осередку 25, діаметр

якої $d_r < \frac{\delta_x}{2}$. Якщо в схемі обраний кут $\gamma \leq 1^\circ$, то завжди можна забезпечити виконання нерівності $d_r < \frac{\delta_x}{2}$ (сучасні технології забезпечують виготовлення сферичних частинок діаметром d_r від одиниць до долей мкм). Використання коліматора 23 дозволяє зменшити габарити схеми. Якщо в схемі коліматор 23 не встановлювати, то в цьому випадку в схемі необхідно використовувати довгофокусний фокусувальний об'єктив 24 із великою апертурою. Замість коліматора 23 можливе використання іншого варіанта виконання оптичного пристрою перетворення паралельних лазерних

пучків 23, що не вносить різниці оптичного ходу між цими пучками.

Атестована частинка опромінюється двома лазерними пучками, різниця частот між якими складає $2\Omega_m$. Розсіяне вперед від першого 8_{s1} і другого 8_{s2} лазерних пучків випромінювання збирається об'єктивом 26 у межах апертурної діафрагми 27 із щілиноподібним отвором і далі через інтерференційний світлофільтр 28 прямує на фотоелектронний помножувач 29 (фотоприймач). В результаті оптичного змішування двох розсіяних хвиль, що мають різноманітні частоти, на виході фотоприймача формується сигнал

$$U_{\Phi\P} = \left(\frac{\eta e}{h\nu_0} MR_H \left[\int_S (I_{s_{1i}} + I_{s_{2i}}) dS + 2 \left| \gamma_{12}(\theta=0; l_i) \right| K_{\Phi\P} \int_S \sqrt{I_{s_{1i}} I_{s_{2i}}} dS \cos(2\Omega_{M\Phi} + \Phi) \right] \right) \quad (1)$$

де η - квантова ефективність фотокатода; e - заряд електрона; h - постійна Планка; ν_0 - частота випромінювання лазера ($\omega_0 = 2\pi\nu_0$); M - коефіцієнт підсилення ФЄП; R_H - опір навантаження ФЄП; S - поверхня, обмежена щілиноподібним отвором апертурної діафрагми 27; $K_{\Phi\P}$ - коефіцієнт поляризаційно-фазового узгодження хвиль, що змішуються; I_{s1} і I_{s2} - інтенсивність розсіяного випромінювання в i -ому напрямку відповідно від першого 8_{s1} і другого 8_{s2} лазерних пучків; Φ - фаза високочастотної складової сигналу; θ - відносна часова затримка двох пучків, що змішуються на фотокатоді.

Слід зазначити, що в силу властивостей повної симетрії схеми (фіг. 1) лазерні пучки 8_1 і 8_2 проходять той самий оптичний шлях через ідентичні оптичні елементи та пристрої і, крім того, хвильові вектори розсіяних пучків K_{s1i} і K_{s2i} просторово сполучені. Тому практично можна вважати, що при настройці схеми виконується рівність $\theta=0$. Таким чином, як показує аналіз виразу (1), вихідний сигнал фотоприймача являє собою адитивну суму постійної U_+ і високочастотної складової сигналу U_- на частоті $2\Omega_m$ ($U_{\Phi\P} = U_+ + U_-$).

Виконані дослідження сумарного розсіяного поля на основі теорії розсіювання [3] показують, що якщо прийом розсіяного випромінювання здійснювати в межах щілиноподібного отвору симетричного відносно вісі ОХ (розмір отвору $2a_x$) і відносно вісі ОУ (розмір отвору $2a_y$; $a_y \gg a_x$), то в цьому випадку спостерігається амплітудне, поляризаційне і фазове узгодження хвиль, що змішуються і тому $K_{\Phi\P}=1$. Тому в цьому випадку глибина модуляції фототока (1) буде визначатися тільки модулем ступеня просторової когерентності

$$0 \leq V_l = |\lambda_{12}(\theta=0; l_i)| < 1.$$

Розмір щілиноподібного отвору ($S=2a_x \cdot 2a_y$) для заданих параметрів схеми: γ , λ , d_r , n_r , n_c - розраховується за методикою, поданою в роботі [3].

Вихід фотоприймача 29 підключений до вимірювача глибини модуляції 30, що видає в реальному масштабі часу інформацію про ступінь просторової когерентності для заданого значення l_i .

У даному способі та пристрої нестабільність різниці оптичного ходу інтерферуєчих променів

практично не впливає на результати вимірювання глибини модуляції фототока.

Крім того, запропонований спосіб та пристрій істотно скорочує тимчасові витрати на проведення досліджень залежності модуля ступеня просторової когерентності $|\lambda_{12}(\theta=0; l_i)| = f(l_i)$, тому що при вимірах немає необхідності проводити переміщення фотоприймача, як це здійснюється в прототипі.

Для настройки схеми та її метрологічної атестації (фіг.1) необхідно використовувати стабілізований по потужності лазер 1, що працює в одночастотному (або одномодовому) режимі, а також електромеханічний модулятор 5 із синхронним двигуном 6, синхронний детектор 31, подвоювач частоти 32, вольтметр 33 та підсилювач потужності 34. Вмикають електромеханічний модулятор 5, що повинний здійснювати модуляцію лазерного пучка по інтенсивності з частотою $2\Omega_m$. Крім того, вихід подвоювача частоти 32 сполучений з одним входом синхронного детектора 31, другий вхід якого підключений до виходу фотоприймача 29. Цей модулятор 5 обертається синхронним двигуном 6, що живиться від генератора 16 через подвоювач частоти 32 і підсилювач потужності 34. Потім, змінюючи положення призми 9, для кожного фіксованого значення l_i , послідовно вимірюють вихідну напругу сигналу синхронного детектора 31 за допомогою вольтметра 33 спочатку при прийомі розсіяного випромінювання від лазерного пучка 8_1 (пучок 8_2 перекритий) U_{s1} , а потім при прийомі розсіяного випромінювання від пучка 8_2 (пучок 8_1 перекритий) U_{s2} . Якщо ці сигнали не рівні, то необхідно забезпечити їх рівність шляхом юстировки схеми й ослаблення більш потужного лазерного пучка за допомогою відповідного фільтра 21 або 22. Крім того, для кожного фіксованого значення l_i при виключеному модуляторі 5 і включених пристроях 14 і 15 вимірюють високочастотну складову сигналу U_- за допомогою вольтметра 33, а також глибину модуляції фототока за допомогою вимірювача 30. При правильній настройці схеми, розрахована глибина модуляції фототока дорівнює $V_l = U_- / (U_{s1} + U_{s2})$, а вимірювана глибина модуляції

фототока не залежить від I_1 і повинна дорівнювати одиниці $V_1=1$. Виконання настройки схеми (фіг.1) перед кожним циклом виміру ступеня просторової когерентності лазерного джерела випромінювання забезпечує досягнення високої точності результатів вимірювання $I_{\gamma 12} = f(I_1)$. Запропонований спосіб та пристрій дозволяють на порядок підвищити точність вимірювання ступеня просторової когерентності в порівнянні з відомими засобами та пристроями.

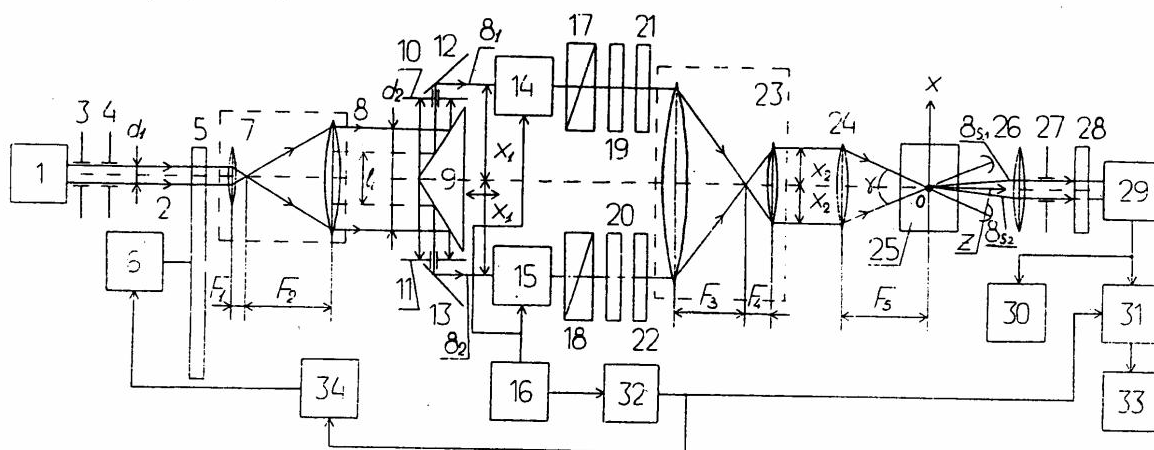
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Іващенко П.А., Калінін Ю.А., Морозов Б.Н. Вимірювання параметрів лазерів. — М.: Вид-во стандартів, 1982, 168с., с. 141.

2. Вимірювання спектрально-частотних і кореляційних параметрів і характеристик лазерного випромінювання. / Під ред. Котюка А.Ф. і Степанова Б.М. — М.: Радіо і зв'язок, 1982, 272с., с. 255-266 (прототип).

3. Землянський В.М. Вимірювання швидкості потоків лазерним доплерівським методом. — К.: Вища школа, 1987, 177с.

4. Авторське посвідчення СРСР №1144479, кл. G 01 J 1/00, 1985, Рукман Г.И., Шелемин Е.Б. (аналог).



Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03

