



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42215 (13) A

(51) 7 G01J9/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ВИМІРЮВАЧ СТЕПЕНЯ ЧАСОВОЇ КОГЕРЕНТНОСТІ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

(21) 2000116599

(22) 22 11 2000

(24) 15 10 2001

(33) UA

(46) 15 10 2001, Бюл. № 9, 2001 р

(72) Землянський Володимир Михайлович, Чудесов Олександр Павлович

(73) Землянський Володимир Михайлович, UA

(57) 1 Вимірювач степеня часової когерентності лазерного випромінювання, який складається з оптично узгоджених лазера, двох ірисових діафрагм, електромеханічного модулятора, двох дзеркал та послідовно встановлених на шляху кожного з двох зформованих лазерних пучків частотозсувного пристрою, підключеного до генератора високої частоти, поляризатора, півхвильової фазової пластини, нейтрального фільтра, коліматора, фокусуєчого об'єктива, комірки з розташованих у ній атестованих сферичних частки, збираючого об'єктиву з апертурною діафрагмою з щільноподібним отвором, інтерференційного світлофільтра, фотоприймача, вимірювача глибини модуляції фотоструму, синхронного детектора, вольтметра, подвоювача частоти та підсилювача потужності, який відрізняється тим, що в ньому додатково розташовані світлодіодний, а також оптично узгоджений з виходом світлодіодника та виходом першого час-

тотозсувного пристрою третє дзеркало, поворотна призма з двома дзеркальними гранями, багатоканальний пристрій вводу і виводу оптичного випромінювання в світловод з "n" числом входів і виходів, "n" - число оптичних ліній затримок, причому світлодіодник встановлений поміж електромеханічним модулятором і двома дзеркалами і на його виході формуються два лазерних пучки рівної інтенсивності, один з яких, пройшовши світлодіодник в напрямку оптичної осі схеми, повертається другим дзеркалом на кут 90° в напрямку третього дзеркала і поворотної призми, за допомогою яких здійснюється оберт лазерного променя на 270° і далі цей промінь прямує на вхід частотозсувного пристрою, крім того, багатоканальний пристрій вводу і виводу оптичного випромінювання, в якому між кожним "i"-м входом і виходом встановлена "i"-та зразкова лінія затримки, розташована на шляху лазерного пучка, що розвертається поворотною призмою, а також атестована лінія затримки з відповідним пристроєм вводу і виводу оптичного випромінювання в світловод, яка оптично узгоджена з входом другого частотозсувного пристрою

2 Вимірювач за п 1, який відрізняється тим, що лінії затримки виконані у вигляді одномодового світловоду, зберігаючого поляризаційні параметри лазерного пучка

Винахід відноситься до квантової електроніки та може бути використаний для дослідження когерентних властивостей випромінювання лазерів

Відомий вимірювач степеня часової когерентності лазерного випромінювання [1], який містить оптично узгоджений лазер, двохпучковий інтерферометр із двома світловодами, в одному з плеч якого розташований модулятор інтенсивності і який виконує просторове суміщення двох лазерних пучків під кутом γ на фотокатоді першого фотоприймача, перед яким встановлена діафрагма з отвором діаметром не перевищуючим ширину інтерференційного періоду. Вихід першого фотоприймача через підсилювач та випрямляч подається на перший вхід вимірювача відношення напруг, на другий вхід якого подається сигнал з виходу другого фотоприймача через випрямляч, на фотокатод якого подається модульований по інтенсивності лазерний пучок. У вимірювачі відношень напруг

формується сигнал, пропорційний степені когерентності

Проте відомий вимірювач має ряд недоліків. Для просторового виділення та вимірювання максимуму інтенсивності інтерференційної картини перед фотоприймачем встановлюється приймальна діафрагма з малим отвором. У цьому випадку нестабільність інтерферометра, вплив на нього змінювання температури, вологості та вібрацій приводить до зміни просторового положення максимуму інтенсивності інтерференційної картини у кожний момент часу. Ця нестабільність просторового положення інтерференційної картини виявляється тим більше, чим більша різниця оптичного ходу між інтерферуючими пучками, яка утворюється в інтерферометрі за допомогою цього пристрою. Тому здійснити точне вимірювання модуля степені часової когерентності в залежності від часової затримки θ при великій довжині когерентнос-

ті лазерного випромінювання практично стає неможливим. Крім того, при встановленні великої різниці оптичного ходу між інтерферуючими пучками спостерігається роз'юстировка інтерферометра, зміна кута у між цими пучками при зміщенні торців світловодів, що знижує ефективність виділення максимумів інтерференційної картини та точність виміру модуля степені часової когерентності відомими пристроями [2].

Найбільш близьким технічним рішенням, яке обрано в якості прототипу, є пристрій [3], який складається з оптично узгоджених лазера, двох ірисових діафрагм, електромеханічного модулятора, двох дзеркал, та послідовно встановлених на шляху кожного з двох зформованих лазерних пучків частотозсувного пристрою, підключеного до генератора високої частоти, поляризатора, півхвильової фазової пластини, нейтрального фільтра, коліматора, фокусуєного об'єктива, комірки з розташованою у ній атестованою сферичною частинкою, збираючого об'єктиву з апертурною діафрагмою з щілиноподібним отвором, інтерференційного світлофільтра, фотоприймача, вимірювача глибини модуляції фотоструму, синхронного детектора, вольтметра, подвоювача частоти та підсилювача потужності.

Проте відомий пристрій дозволяє вимірювати модуль степені часової когерентності тільки для одномодового (або одночастотного) режиму роботи лазера і дослідити залежність цієї функції від різниці оптичного ходу l між двох лазерних пучків і відповідної часової затримки $\theta=1/c$, де c – швидкість світла, можливо тільки в границях відстані рівної діаметру d_2 розширеного лазерного пучка і відповідно $\theta_2=d_2/c$. Для цього необхідно переміщувати призму з двома дзеркальними гранями в напрямку перпендикулярному оптичній осі схеми. Ці обмежені границі змін різниці оптичного ходу не дозволяють вимірювати функцію модуля степені часової когерентності в робочому діапазоні її вимірювання і, як слід, не можна визначити час когерентності лазерного випромінювання для одночастотного, одномодового і багатомодового режиму роботи лазера.

Завданням запропонованого винаходу є підвищення точності і динамічного діапазону вимірювання модуля степені часової когерентності для різних режимів роботи лазера. Це досягається тим, що в відомий пристрій додатково встановлені світлодіодник, третє дзеркало, поворотна призма з двома дзеркальними гранями, багатоканальний пристрій вводу та виводу оптичного випромінювання в світловод з n -ним числом входів і виходів, а також n -ним числом атестованих оптичних ліній затримок. Причому світлодіодник установлений поміж електромеханічним модулятором і двома дзеркалами і на його виході формуються два лазерних пучки рівної інтенсивності, один з яких пройшовши світлодіодник в напрямку оптичної осі схеми, повертається другим дзеркалом на кут 90° в напрямку третього дзеркала і поворотної призми, за допомогою яких здійснюється оберт лазерного променя на 270° і далі цей лазерний промінь прямує на вхід частотозсувного пристрою. Багатоканальний пристрій вводу і виводу оптичного випромінювання, в якому між кожним i -тим входом і виходом встановлена i -та атестована лінія затримки,

розміщена на шляху лазерного пучка, що розвертається поворотною призмою. Крім того, також установлена оптично узгоджена зі входом другого частотозсувного пристрою атестована лінія затримки, з відповідним пристроєм вводу і виводу оптичного випромінювання в світловод, на шляху другого лазерного пучка, сформованого світлодіодником, причому атестовані лінії затримки виконані у вигляді одномодових світловодів, які зберігають поляризаційні параметри лазерного променя незмінними після проходження його через світловод.

На фігурі зображена схема запропонованого пристрою, який містить лазер 1, який випромінює вертикально поляризований промінь 2, дві ірисові діафрагми 3 і 4, електромеханічний модулятор 5, закріплений на осі синхронного двигуна 6, світлодіодник 7, який ділить лазерний промінь 2 на два промені 2_1 і 2_2 рівної інтенсивності, 8, 9, 10 – дзеркала, 11 – зворотню призму з двома дзеркальними гранями, встановлену на юстировочному столику з можливістю мікропереміщення призми впродовж осі OZ, 12 і 13 – частотозсувні пристрої, які підключені до генератора високої частоти 14, за допомогою яких, відповідно, лазерний промінь 2_1 зміщується по частоті $+\Omega_{M1}$ і на виході пристрою 12 має частоту $\omega_0+\Omega_{M1}$ ($\omega_0=2\pi\nu_0$ – частота випромінювання лазера, $+\Omega_{M1}$ – частота генератора 14), а лазерний промінь 2_2 на величину $-\Omega_{M1}$ і на виході 13 лазерний промінь має частоту $\omega_0-\Omega_{M1}$, два поляризатори 15, 16, 17, 18 – півхвильові фазові пластини, 19 і 20 – нейтральні фільтри з змінною густиною, за допомогою яких можна плавно послаблювати потужність відповідно лазерних пучків 2_1 і 2_2 , коліматор 21, за допомогою якого паралельні лазерні пучки з відстанню між ними $2x_1$ перетворюються в два паралельні пучки з відстанню $2x_2 \ll 2x_1$, фокусуєний об'єктив 22, комірку 23 з розташованою в ній зразковою сферичною частинкою діаметром d_r і показником заломлення n_r , причому, частинка розміщена в оптично прозорому середовищі з показником заломлення n_0 , збираючий об'єктив 24, оптична вісь якого збігається з віссю схеми OZ, щілиноподібну апертурну діафрагму 25, в якій вісь симетрії щілиноподібного отвору орієнтована впродовж осі OY, інтерференційний світлофільтр 26, фотоприймач 27, вимірювач глибини модуляції 28, синхронний детектор 29, подвоювач частоти 30, вольтметр 31, підсилювач потужності 32, 33 і 34 – багатоканальний пристрій вводу і виводу лазерного променя в i -у атестовану лінію затримки 35, 35₁ – 35_n, "n"- число атестованих ліній затримки, виконаних, наприклад, з одномодового світловоду, 36 і 37 – відповідно зразкова лінія затримки з пристроєм вводу і виводу в неї оптичного випромінювання.

Вертикально поляризований лазерний пучок 2 після проходження діафрагм 3 і 4, отвору електромеханічного модулятора 5, ділиться світлодіодником 7 на два пучки 2_1 і 2_2 рівної інтенсивності. Лазерний пучок 2_2 після відображення від дзеркал 9 і 10 прямує на вхід багатоканального пристрою вводу оптичного випромінювання 33, який має конструкцію барабанного типу з "n" числом входів. Нехай, наприклад, встановлений "0" вхід, який являє собою отвір. Тоді лазерний пучок 2_2 після відображення від дзеркала 10 поступає на вхід поворотної призми 11, на виході якої формується

пучок, що розповсюджується паралельно осі OZ. Перед початком вимірювання призма 11 розташована в крайньому правому положенні. В цьому випадку пучок 2₂ набуває по відношенню до пучка 2₁ оптичну різницю ходу рівну L₀. Другий лазерний пучок 2₁ після відображення від дзеркала 8 проходить зразкову лінію затримки 36, яка виконана у вигляді одномодового світловода і яка має відповідний пристрій вводу і виводу оптичного випромінювання 37. Лінія затримки 36 забезпечує компенсацію різниці оптичного ходу L₀. Далі два паралельних і симетричних відносно осі OZ пучки 2₁ і 2₂, які після відповідної настройки схеми не мають різниці оптичного ходу, проходять відповідно частотозсувний пристрій 12 і 13, поляризатори 15 і 16, азимутні осі пропускання яких дорівнюють і складають кути 90°, півхвильові фазові пластинки 17 і 18, нейтральні фільтри 19 і 20 і потім перетворюються коліматором 21 в два паралельних і симетричних відносно осі OZ пучки з відстанню між ними 2x₂. Паралельні пучки 2₁ і 2₂ далі фокусуються об'єктивом 22 в зону вимірювання, яка уявляє собою область перетинання двох лазерних пучків під кутом γ. В зоні вимірювання формується бігуча інтерференційна картина з частотою 2Ω_{M1}, в якій максимуми орієнтовані паралельно площині OYZ з періодом δ_c.

$$\delta_c = \frac{\lambda}{2 \sin(\gamma/2)},$$

де λ - довжина хвилі випромінювання лазера

Розсіяне частинкою вперед випромінювання від першого 2₁ і другого 2₂ пучків збирається об'єктивом 24 в межах апертурної діафрагми 25 з щілиноподібним отвором і далі через інтерференційний світлофільтр 26 прямує на фотоприймач (фотоелектронний помножувач) 27. Внаслідок оптичного зміщення двох розсіяних хвиль, які мають різні частоти, на виході фотоприймача формується сигнал

$$U_{\Phi n} = \frac{\eta e}{h \nu_0} M R_n \left[\iint_s (I_{s1i} + I_{s2i}) dS + \right. \\ \left. + 2 \left| \gamma_{11}(\theta) \right| K_{\Phi} \iint_s \sqrt{I_{s1i} I_{s2i}} dS \cos(2\Omega_{M1} t + \Phi) \right] \quad (1)$$

де η - квантова ефективність, e - заряд електрона, h - стала Планка, ν₀ - частота випромінювання лазера, ω₀=2πν₀, M - коефіцієнт посилення ФАП, R_n - опір навантаження фотоприймача, S - поверхня щілиноподібного отвору апертурної діафрагми 25, K_Φ - коефіцієнт поляризаційно-фазового узгодження змішуваних хвиль, I_{s1i} і I_{s2i} - інтенсивності розсіяного випромінювання в i-му напрямку відповідно від першого 2₁ і другого 2₂ лазерних пучків, Φ - фаза високочастотної складової сигналу, θ=L/c - часова відносна затримка двох пучків, які змішуються на фотокатоді, L - різниця оптичного ходу, яка залежить від положення призми 11 і включеної і-ї лінії затримки 35. В початковому стані, коли призма 11 установлена так, що відстань встановлює L₀, в силу властивостей симетрії схеми (фіг.) лазерні пучки 2₁ і 2₂ проходять один і той же оптичний шлях через ідентичні оптичні елементи і пристрої і, крім того, оскільки хвильові вектори розсіяних пучків \vec{K}_{s1i} і \vec{K}_{s2i} просторово сполучені, то рі-

зниця оптичного ходу між розсіяними пучками дорівнює нулю, тому можна вважати, що при правильній настройці схеми θ=0

За допомогою півхвильових пластин 17 і 18 забезпечують повне поляризаційне узгодження пучків 2₁ і 2₂ в зоні вимірювання. А за допомогою нейтральних фільтрів 19 і 20 забезпечують рівність інтенсивностей цих пучків, здійснюючи при настройці схеми відповідний контроль параметрів випромінювання в площині OXY. В площині OXY в центрі зони вимірювання розміщується атестована частинка в комірці 23 розміром d_r<<δ_c (сучасні технології забезпечують виробництво сферичних частинок діаметром d_r від одиниці до долей мкм). Атестована частинка опромінюється двома вертикально поляризованими пучками 2₁ і 2₂ узгодженими по стану поляризації і рівних по інтенсивності, які мають різницю частот 2Ω_{M1}. Змінювати різницю оптичного ходу L та відповідно θ=L/c можна дискретно ΔL шляхом включення і-атестованої лінії затримки, а також плавно шляхом мікропереміщення призми 11 в напрямку протилежному осі OZ. Наприклад, нехай багатоканальний пристрій вводу та виводу 33 і 34 містить n=120 ліній затримки з шагом дискретності ΔL=0,5 м, тоді, якщо включена 120-та лінія затримки (35₁₂₀), то внесена лінією затримки 35₁₂₀ фіксована різниця оптичного ходу складає L=60 м, а різниця оптичного ходу, яка вноситься в залежності від положення призми 11 може змінюватися в межах ΔL=0÷0,5 м. Таким чином, запропонована схема, має значно менші габарити, ніж відомі схеми інтерферометрів Майкельсона, Жамена і т.п., та дозволяє в значних межах (від нуля до сотень м) змінювати різницю оптичного ходу між двома лазерними пучками, що, по-перше, дозволяє дослідити різні режими роботи лазерів (одномодові і одночастотні, багатомодові) і, по-друге, при цьому, забезпечити більш високу стабільність інтерферометра до різних зовнішніх збуджень.

Аналіз виразу (1) показує, що вихідний сигнал фотоприймача являє собою адитивну суму сталої V₁ і високочастотної складової сигналу U₂ на частині 2Ω_{M1} (U_{Φn}=V₁+U₂). Виконані дослідження сумарного розсіяного поля на основі теорії розсіювання показують, що, якщо прийом розсіяного випромінювання здійснювати в межах отвору симетричного відносно осі OX (розмірів отвору 2a_x) і відносно осі OY (розмір отвору 2a_y>>2a_x), то в цьому випадку спостерігається амплітудне, поляризаційне і фазове узгодження змішуваних хвиль і тому K_Φ=1.

Отже, в цьому випадку глибина модуляції фотоструму (1) буде визначатися тільки модулем степені часової когерентності

$$0 \leq V_1 = |\gamma_{\Phi 1}(\theta)| < 1$$

За допомогою пропонуємого пристрою можна досліджувати залежність |γ_{Φ1}(θ)|=f(θ) і знайти час когерентності (відповідну довжину когерентності) випромінювання лазера. Розмір щілиноподібного отвору (S=2a_x×2a_y) для заданих параметрів схеми γ, λ, d_r, n_r, n_c - розраховуються по методиці запропонованій раніше. Вихід фотоприймача 27 підключений до входу вимірювача глибини модуляції 28, який видає в реальному масштабі часу інформацію про модуль степені часової когерентності для заданої часової затримки θ.

Для настройки схеми (фіг.) необхідно використовувати стабілізований по потужності одночастотний лазер 1. Включається електромеханічний модулятор 5, який здійснює модуляцію лазерного пучка по інтенсивності з частотою $2\Omega_{\text{М}}$. Цей модулятор 5 обертається синхронним двигуном 6, який підключений до високостабільного (кварцевого) генератора 14 через подвоювач частоти 30 і підсилювач потужності 32. Крім того, вихід подвоювача частоти 30 з'єднаний з одним входом синхронного детектора 29, другий вхід якого підключений до виходу фотоприймача 27. Потім, змінюючи положення призми 11 і дискретно включаючи лінії затримки 35 і, для кожного фіксованого значення різниці оптичного ходу ΔL_i , послідовно вимірюють вихідні напруги сигналу синхронного детектора 29 за допомогою вольтметра 31 спочатку при прийомі розсіяного випромінювання від пучка 2_2 (пучок 2_1 перекритий), а потім при прийомі розсіяного випромінювання від пучка 2_1 (пучок 2_2 перекритий). Якщо ці сигнали нерівні то необхідно забезпечити їх рівність шляхом юстировки схеми і послаблення більш потужного лазерного пучка за допомогою відповідного фільтру 19 або 20. Крім того, для кожного фіксованого значення L_i при виключеному модуляторі 5 і включених частотозсувних пристроях 12 і 13, вимірюють високочастотну складову сигналу U_2 за допомогою вольтметра 31, а також глибину модуляції вимірювачем 28. При правильній настройці схеми виміряна і розрахована глибина модуляції фотоструму не повинні залежати

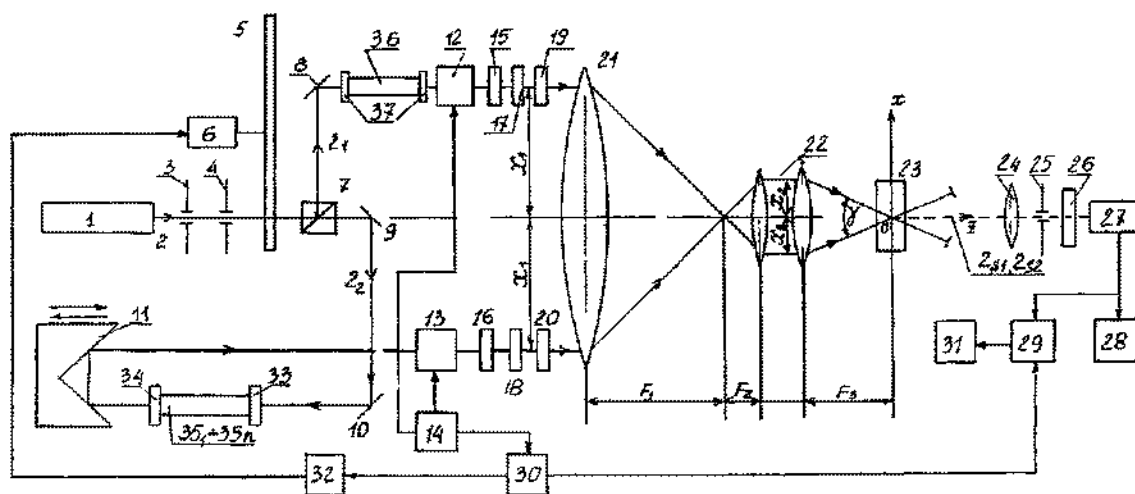
від L_i в межах довжини когерентності одночастотного лазера і повинні дорівнювати $V_i=1$. Запропонована схема пристрою усуває недоліки, які притаманні відомим пристроям і прототипу і дозволяє підвищити більш ніж на порядок точність вимірювання модуля степені часової когерентності в більшому динамічному діапазоні вимірювання різниці оптичного ходу пучків 2_1 від мм до сотень і більше метрів, що робить можливим за її допомогою вимірювати час когерентності лазерів, які працюють як в багатомодовому, так і в одномодовому і одночастотному режимах. Крім того, запропонований пристрій має значно менші габарити і на його роботу практично не впливають температурні та інші нестабільності і вібрації, оскільки в ньому реалізується диференційна схема оптичного зміщення лазерних пучків.

Джерела інформації

1 А с СРСР № 1427971, кл. G01J9/00, 1991 / О. К. Склярів. Вимірювач степені когерентності лазерного випромінювання (аналог)

2 Вимірювання спектрально-частотних і кореляційних параметрів і характеристик лазерного випромінювання / Під ред. А. Ф. Котюка і Б. М. Степанова - М. Радіо та зв'язок, 1982 - 272 с.

3 Спосіб та пристрій вимірювання степені просторової когерентності лазерного випромінювання / В. М. Землянський, О. П. Чудесов. Заявка подана в Держпатент України 02.10.2000 (прототип) (2000105602)



Фіг.

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

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 80x84 1/8
Обсяг _____ обл.-вид арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

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