



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

204515
(11) (B1)

(22) Přihlášeno 29 01 79
(21) (PV 626-79)

(51) Int. Cl.3
G 01 B 9/02
H 01 S 3/00

(40) Zveřejněno 31 07 80

(45) Vydánc 01 11 82

(75)

Autor vynálezu

PETRŮ FRANTIŠEK ing. CSc. a VESELÁ ZDEŇKA ing., BRNO

(54) Způsob vytváření interferenčního pole svazků světla a laserový interferometr k provádění tohoto způsobu

Vynález se týká způsobu vytváření interferenčního pole svazků světla pro laserový interferometr obsahující informaci o poloze a smyslu vzájemného pohybu interferujících svazků světla mezi sebou.

Interferenční pole pro technické použití, například pro měření délek, musí vždy obsahovat informaci o směru pohybu vlnoplochy jednoho z interferujících svazků vůči druhému. Tato informace může být obsažena buď v časovém průběhu interferenčního pole, anebo v prostorovém a fázovém uspořádání tohoto pole.

Pro použití v laserových interferometrech se obvykle využívá interferenčního pole, které vznikne interferencí dvou opačně orientovaných kruhově nebo elipticky polarizovaných svazků. Laserový interferometr poskytuje v tomto případě interferenční pole, z něhož při detekci je možné získat dva signály v kvadratuře (fázově posunuté o 90°), nutné pro rozlišení směru pohybu pohyblivé části interferometru.

Takový laserový interferometr s jedinou pracovní vlnovou délkou, tj. s jedinou frekvencí obvykle sestává z dělicí jednotky, posuvného zpětného odrazného systému, detekční jednotky a zdroje lineárně polarizovaného světla, například jednofrekvenčního laseru. V ose opticky zvětšeného svazku paprsků z jednofrekvenčního laseru je obvykle umístěna čtvrtvlnná destička, která přemění lineárně polarizované světlo laseru na přibližně kruhově polarizovaný svazek paprsků. Za čtvrtvlnnou destičkou je dělicí jednotka, například hranol nebo deska s dělicí a částečně propustnou vrstvou. Na této dělicí vrstvě dochází k rozdělení svazku na referenční svazek a měrný svazek paprsků. Referenční svazek po dvojnásobném odrazu na dělicí vrstvě vychází k detekční jednotce. Měrný svazek prochází nejprve částečně propustnou dělicí vrstvou a postupuje v původním směru k posuvnému zpětnému odraznému systému a po odrazu se rovnoběžně vrací zpět k dělicí vrstvě desky, kterou částečně prochází a postupuje společně s referenčním svazkem k detekční jednotce. V místě průchodu dělicí vrstvou desky se oba svazky, referenční a měrný, sjednocují, vytvářejí interferenční pole a ve společné ose postupují k detekční jednotce. Detekční jednotka obsahuje další dělicí členy (viz např. čs. autorské osvědčení č. 185014), které provedou další rozdělení svazku paprsků tak, že například jedna část odražená v jednom směru prochází prvním optickým polarizačním filtrem a dopadá na první fotodetektor a druhá část svazku paprsků částečně prochází dělicí vrstvou dělicího členu a postupuje přes

druhý optický polarizační filtr ke druhému fotodetektoru. Vhodným natočením polarizačních filtrů se získají dva signály fázově posunuté o 90° (v kvadratuře), což umožní použití vratných čítačů pro měření délek.

Nevýhodou dosavadních laserových interferometrů je, že obvykle používají pouze kruhově polarizované světlo opačné orientace jak pro referenční, tak i pro měrný svazek světla. V obou těchto svazcích jsou tedy nutná opatření pro zachování přibližně kruhově polarizovaného světla na výstupu z interferometru. V některých případech jsou v jedné větvi interferometru (referenční nebo měrné) uspořádány další optické členy, které ztěžují možnost zachování přibližně kruhově polarizovaného světla tohoto svazku na výstupu interferometru.

Tyto dosavadní nevýhody odstraňuje způsob vytvoření interferenčního pole svazků světla pro laserový interferometr, obsahující informaci o poloze a smyslu vzájemného pohybu interferujících svazků světla mezi sebou. Podstatou vynálezu je to, že interferenční pole je vyvoláno interferencí dvou svazků světla, z nichž jeden je lineárně polarizovaný a druhý kruhově nebo elipticky polarizovaný.

Způsob umožňuje interferometr s detekční jednotkou, jehož podstatou je, že buď v interferometru nebo v detekční jednotce v ose měrného a referenčního svazku světla nebo v ose sjednocených svazků jsou mezi deskou a přídavnými optickými členy druhé a třetí polarizační členy, přičemž druhý polarizační člen je tvořen lineární zpožďovací půlvlnnou destičkou a třetí polarizační člen je tvořen lineární zpožďovací čtvrtvlnnou destičkou a lineární půlvlnnou zpožďovací destičkou.

Předností uvedeného způsobu vytváření interferenčního pole laserového interferometru podle vynálezu je možnost jednoduchého uspořádání laserového interferometru a jeho použití v laserovém měřicím systému. Přitom laserový interferometr poskytuje plný interferenční signál a vykazuje vysokou spolehlivost.

Princip vytvoření interferenčního pole je následující: U vstupního světla předpokládáme, že je například vyjádřeno Jonesovým vektorem ve tvaru $\varepsilon_1 = 2\sqrt{2} \begin{bmatrix} 0 \\ E_1 \end{bmatrix}$. Před dopadem na 1. dělicí přibližně nepolarizující vrstvu prochází svazek světla $\lambda/4$ destičkou s azimutem $\Theta = 45^\circ$ a Jonesovou maticí $\begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix}$ nebo rotátorem s úhlem otočení $\xi = 45^\circ$.

Pro druhý odražený svazek a_2 podle obr., když zanedbáváme vliv členů F, F' , platí:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{a_2} &= \begin{bmatrix} \sqrt{R_\perp} e^{i(\delta_2/2)} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_\parallel} e^{-i(\delta_2/2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_\perp} e^{i(\delta_2/2)} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_\parallel} e^{-i(\delta_2/2)} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix} 2\sqrt{2} \begin{bmatrix} 0 \\ E_1 \end{bmatrix} = \\ &= 2\sqrt{\frac{R_\parallel R_\perp}{1}} E_1 \begin{bmatrix} 1 \\ +i \end{bmatrix} = 2\sqrt{R_\perp R_\parallel} E_1 (-i) \begin{bmatrix} -i \\ 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Pro druhý propuštěný svazek b_2 platí:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{b_2} &= \begin{bmatrix} \sqrt{T_\perp} e^{i(\delta'_2/2)} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_\parallel} e^{-i(\delta'_2/2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i(\pi/4)} & 0 \\ 0 & e^{i(\pi/4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_\perp} e^{i(\delta'_2/2)} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_\parallel} e^{-i(\delta'_2/2)} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix} 2\sqrt{2} \begin{bmatrix} 0 \\ E_1 \end{bmatrix} = \\ &= 2\sqrt{T_\perp T_\parallel} E_1 e^{i(\pi/4)} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Pro dělicí vrstvu o vlastnostech

$$R_\parallel R_\perp = T_\parallel T_\perp = \frac{1}{4}$$

dostaneme:

$$\varepsilon_{a_2} = E_1 \begin{bmatrix} 1 \\ i \end{bmatrix}; \quad \varepsilon_{b_2} = E_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

kde:

E_1 je elektrický vektor vstupního světla,

$R_\parallel$ je odrazivost dělicí vrstvy pro složku záření rovnoběžnou s rovinou dopadu,

$R_\perp$ je odrazivost dělicí vrstvy pro složku záření kolmou k rovině dopadu,

δ_2 je rozdíl fázového posuvu dělicí desky na odraz,

$T_\parallel$ je propustnost dělicí desky s dělicí vrstvou pro složku záření rovnoběžnou s rovinou dopadu,

$T_\perp$ je propustnost dělicí desky s dělicí vrstvou pro složku záření kolmou k rovině dopadu a

δ'_2 je rozdíl fázového posuvu dělicí vrstvy na průchod.

Jestliže máme například v detekční jednotce pro referenční svazek:

$$\varepsilon_r = E_1 \begin{bmatrix} -i \\ 1 \end{bmatrix},$$

pro měrný svazek

$$\varepsilon_m = E_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} e^{i\varphi_1},$$

dostaneme pro interferenční pole:

$$\varepsilon_s = E_1 \begin{bmatrix} -i + \cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1 \\ 1 + \cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1 \end{bmatrix}.$$

Po dalším rozdělení interferujících svazků v detekční jednotce a zařazením analyzátoru (polarizačního filtru) s Jonesovou maticí $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ do prvního rozděleného svazku, dostaneme pro intenzitu světla za prvním polarizačním filtrem

$$I_{F_1} = K_1 E_1^2 (1 - \sin \varphi_1),$$

kde:

K_1 je koeficient zeslabení.

Při vložení polarizačního filtru do druhého rozděleného svazku s Jonesovou maticí: $\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ dostaneme pro intenzitu světla za druhým polarizačním filtrem:

$$I_{F_2} = K_1 E_1^2 (1 + \cos \varphi_1).$$

Je vidět, že jsme obdrželi dva signály I_{F_1} , I_{F_2} v kvadratuře s plnou interferencí (plným kontrastem). Tyto dva signály umožní rozlišení směru pohybu pohyblivé části interferometru a jsou zapotřebí pro ovládání vratných čítačů například při použití laserového interferometru pro měření délek. Podobně je možné získat další signály s fázovým posuvem nula až 360° .

Příkladné provedení laserového interferometru s použitím uvedeného způsobu získání interferenčního pole dvou svazků světla je na připojeném výkresu.

Celý laserový interferometr sestává ze zdroje světla A , prvního polarizačního členu B , vlastního interferometru, tvořeného dělicí jednotkou C , zpětným odrazným systémem E , přídavnými optickými členy F a zpětným odrazným systémem D , a dále sestává z detekční jednotky K , jak je dále popsáno.

Zdroj světla A je tvořen jednofrekvenčním laserem, ze kterého vystupuje svazek a paprsků, lineárně polarizovaný v kmitové rovině yz . Uvažujeme pravoúhlý souřadný systém x, y, z , kde osa z je osou šíření svazku a paprsků a v rovině yz je umístěna rovina dopadu dělicí desky 2 . Svazek a paprsků prochází nejdříve prvním polarizačním členem B , který buď natočí rovinu kmitů o 45° z původní roviny, anebo vytvoří kruhově polarizovaný svazek světla, který postupuje dále do dělicí jednotky C . Na přibližně nepolarizující dělicí vrstvě 1 desky 2 dojde k rozdělení svazku a paprsků na první odražený svazek a_1 paprsků a první propuštěný svazek b_1 paprsků.

Předpokládáme, že dělicí vrstva 1 je tzv. nepolarizující, tj. má přibližně stejnou odrazivost v rovině dopadu $R_{\parallel}$ a v rovině k ní kolmé $R_{\perp}$. V každém případě platí, že

$$R_{\parallel} + R_{\perp} = K(T_{\perp} + T_{\parallel}),$$

kde:

$k = 1 - Z_p$ pro případ, že v interferometru jsou přídavné optické členy F v cestě světla propuštěného dělicí vrstvou 1 ;

$k = \frac{1}{1 - Z_p}$ pro případ, že v interferometru jsou přídavné optické členy (F') v cestě světla, odraženého dělicí vrstvou 1 ;

Z_p — ztráty optických členů F nebo F' .

Dále uvádíme případ, kdy svazek a paprsků je kruhově polarizován a dělicí vrstva 1 desky 2 má různou odrazivost pro složku záření rovnoběžnou s rovinou dopadu $R_{\parallel}$ a pro složku kolmou k rovině dopadu $R_{\perp}$ a vykazuje fázový posuv mezi oběma složkami. Potom dostaneme po prvním odrazu na dělicí vrstvě 1 desky 2 první odražený svazek a_1 elipticky polarizovaný s obecnou polohou roviny kmitů vůči rovině dopadu

dělicí vrstvy 1. První odražený svazek a_1 je dále odražen zpětným odrazným systémem E a prochází druhým polarizačním členem G . Funkční vlastností druhého polarizačního členu G je, že otočí azimut procházejícího prvního odraženého svazku a_1 o 90° . Tím se dosáhne, že složka záření, která ležela u svazku a před prvním dopadem na dělicí vrstvu 1 v rovině dopadu, leží před druhým dopadem na stejné dělicí vrstvu 1 v rovině kolmé k rovině dopadu a naopak. Tímto dvojím postupným odrazem na stejné dělicí vrstvě 1 se vykompenzují rozdíly odrazivosti v různých rovinách a odečtou fázové posuvy. Výsledkem je, že potom druhý odražený svazek a_2 paprsků má stejnou formu polarizace jako původní svazek a paprsků. Přitom ztráty Z_p přídavnými optickými členy F' jsou vykompenzovány celkovou vyšší odrazivostí ($R_{\parallel} + R_{\perp}$) dělicí vrstvy 1. Fázové posuvy zpětného odrazného systému E a přídavným optických členů F' , které jsou obvykle malé, je možné zahrnout jako korekci při návrhu konkrétního uspořádání druhého polarizačního členu G .

První propuštěný svazek b_1 paprsků prochází přídavnými optickými členy F a je odražen zpětným odrazným systémem D , prochází opět přídavnými optickými členy F , dále třetím polarizačním členem H a dopadá opět na dělicí vrstvu 1 desky 2. Funkční vlastností třetího polarizačního členu H , je otočení roviny kmitů elipticky polarizovaného světla s obecnou polohou roviny kmitů o 90° a přeměna druhého propuštěného svazku b_2 na světlo lineárně polarizované s rovinou kmitů pod 45° vůči rovině dopadu dělicí desky 2. Toto uspořádání zaručí stejnou celkovou intenzitu kruhově polarizovaného druhého odraženého svazku paprsků a_2 a lineárně polarizovaného druhého prošlého svazku paprsků b_2 .

Předpokládá se, že forma polarizace svazku paprsků a_1 , b_1 spolu s použitými polarizačními členy G , ev. H mohou být spolu přehozeny, tj. první odražený svazek a_1 může být lineárně polarizován a naopak první propuštěný b_1 kruhově polarizován.

V některých případech je výhodné, aby vlastní interferometr pracoval pouze s ortogonálně lineárně polarizovanými svazky světla. Při použití pouze ortogonálně lineárně polarizovaných svazků světla v interferometru a_2 , b_2 se v detekční jednotce K provede přeměna jednoho ze svazků na kruhově polarizovaný, přičemž druhý zůstává lineárně polarizovaný. V tomto případě pracuje tedy interferometr s ortogonálními lineárně polarizovanými svazky a přeměna na kombinaci kruhově a lineárně polarizovaného světla se provede až za interferometrem v detekční jednotce K .

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob vytváření interferenčního pole svazků světla obsahující informaci o poloze a smyslu vzájemného pohybu interferujících svazků světla mezi sebou, vyznačený tím, že interferenční pole se vyvolává interferencí dvou svazků světla, z nichž jeden se polarizuje lineárně a druhý kruhově nebo elipticky.
2. Laserový interferometr k provádění způsobu podle bodu 1 s detekční jednotkou k vytváření interferenčního pole svazku světla, vyznačený tím, že buď v interferometru nebo v detekční jednotce (K) v ose měřného a referenčního svazku (a_1 , b_1) světla nebo v ose sjednocených svazků (a_2 , b_2) jsou mezi deskou (2, 2') a přídavnými optickými členy (F , F') druhé a třetí polarizační členy (G a H ; G' a H'), přičemž druhý polarizační člen (G , G') je tvořen lineární zpožďovací půlvlnnou destičkou (21) a třetí polarizační člen (H , H') je tvořen lineární zpožďovací čtvrtvlnnou destičkou (22) a lineární půlvlnnou zpožďovací destičkou (23).

1 výkres

204515

204515

204515

