

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

211122

(11)

(B1)



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

/22/ Přihlášeno 26 03 80
/21/ /PV 2082-80/

(40) Zveřejněno 30 06 81

(45) Vydáno 15 04 84

(51) Int. Cl.³
G 01 B 9/02

(75)

Autor vynálezu

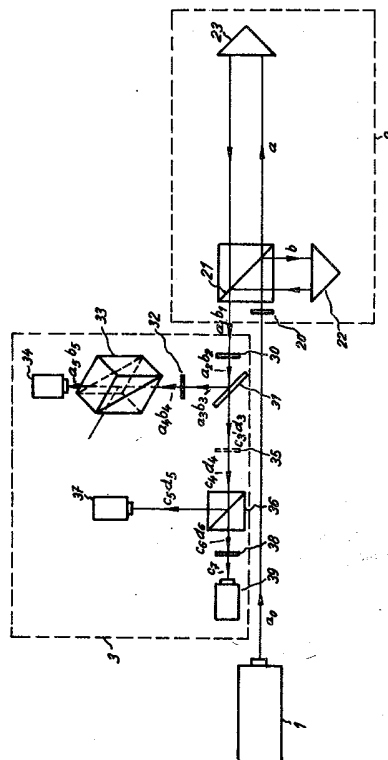
PETRŮ FRANTIŠEK ing. CSc., VESELÁ ZDEŇKA ing., BRNO

(54) Způsob vytváření interferenčních polí svazků světla s libovolným fázovým posuvem v laserovém interferometru a zařízení k provádění tohoto způsobu

Způsob a zařízení k vytváření interferenčních polí svazků světla s libovolným fázovým posuvem pro laserový interferometr. Vynález se týká způsobu a zařízení laserového interferometru obsahujícího informaci o poloze a smyslu vzájemného pohybu interferujících svazků světla mezi sebou. Způsob a zařízení slouží k přesnému měření délek, rovinnosti, přímočarosti, dynamických dějů apod.

Podstatou vynálezu je, že k interferenci jsou přiváděny jednak dva dílčí svazky světla ortogonálně lineárně polarizované, které vytvářejí první interferenční pole, a jednak nejméně další dva dílčí svazky ortogonálně lineárně polarizované, které jsou vůči sobě fázově posunuty o požadovaný posuv např. 90° a tyto svazky vytvářejí druhé interferenční pole.

Způsob a zařízení je určeno pro laserové interferometry. Způsob a zařízení objasněno příloženým obrázkem.



Vynález se týká způsobu a zařízení k 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, např. 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 posuvu 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, jenž jsou 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 hrenol nebo deska s dělicí a částečně propustnou vrstvou. Na této dělicí vrstvě dochází k rozdělení svazku na referenční svazek a měřicí svazek paprsků.

Referenční svazek po dvojnásobném odrazu na dělicí vrstvě vychází k detekční jednotce. Měřicí 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 měřicí, sjednocují, vytvářejí interferenční pole a ve společné ose postupují k detekční jednotce. Detekční jednotka obsahuje další dělicí členy, 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 v kvadratuře fázově posunuté o 90° , 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 měřicí svazek světla. V obou těchto svazcích jsou tedy nutná opatření pro zachování přibližně kruhově polarizovaného světla na výstupu z interferometru. V některých případech jsou ve vlastním interferometru anebo za ním uspořádány další optické členy, které ztěžují možnost zachování kruhově polarizovaného světla v laserovém interferometru.

Tyto dosavadní nevýhody odstraňuje způsob vytváření interferenčních polí s libovolným fázovým posuvem v laserovém interferometru k získání informace o poloze a smyslu vzájemného pohybu interferujících polí mezi sebou. Podstatou vynálezu je, že k interferenci jsou přiváděny jednak dva dílčí svazky světla ortogonálně lineárně polarizované, které vytvářejí první interferenční pole, a jednak nejméně další dva dílčí svazky světla ortogonálně lineárně polarizované, které jsou vůči sobě fázově posunuty o požadovaný fázový posuv např. 90° a tyto svazky vytvářejí druhé interferenční pole.

Způsob umožňuje sestavit laserový interferometr, tvořený laserem, vlastním interferometrem a detekční jednotkou, kde detekční jednotka je opatřena buď v ose prvního sjednoceného odraženého svazku nebo procházejícího svazku nebo v obou rozdělených svazcích zpoždovacím elementem, např. lineární zpožďovací destičkou.

Detekční jednotka je tvořena nepolarizující dělicí deskou, za kterou v ose prvního odraženého sjednoceného svazku za první lineární zpožďovací destičkou je první polarizující dělič a první fotoelektrický detektor a v ose prvního propuštěného sjednoceného svazku je umístěn za druhou lineární zpožďovací destičkou druhý polarizující dělič a v ose druhého odraženého sjednoceného svazku druhý fotoelektrický detektor.

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. Použití interferenčních polí s přímým fázovým posuvem bez přeměny ortogonálních lineárně polarizovaných svazků na opačně orientované kruhově polarizované přináší výhodu nezávislého nastavení intenzit a fází obou interferujících svazků. Přitom dovoluje například dynamické změny fází obou interferujících svazků mimo vlastní interferometr beze změny kontrastu.

Příklad provedení používající způsobu vytváření interferenčních polí s fázovým posunem 90° v laserovém interferometru je znázorněn na výkrese.

Princip vytváření interferenčních polí s libovolným fázovým posuvem je následující.

Předpokládá se, že sjednocený svazek $a_1 b_1$, vystupující z vlastního interferometru, je ortogonálně lineárně polarizován a může se vyjádřit Jonesovým vektorem ve tvaru:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix}$$

kde např. E_1 ... el. vektor referenčního svazku

E_2 ... el. vektor měřicího svazku

Pro druhý odražený sjednocený svazek $a_5 d_5$, který vyjadřuje první interferenční pole, při jednom z možných uspořádání podle obrázku platí:

$$\Sigma_{c_5 d_5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_1} e^{i\delta_T} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_1} e^{-i\delta_T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} (E_1 + E_2) \sqrt{T_1} e^{i\delta_T} \\ 0 \end{bmatrix}$$

kde T_1, T_n ... propustnost nepolarizující dělicí desky 31 v rovině kolmé, resp. rovnoběžné s rovinou dopadu

δ_T ... fázový posuv nepolarizující dělicí desky 31 na průchod

Dále pro intenzitu $I_{c_5 d_5}$, které je úměrný signál na fotoelektrickém detektoru 37 za předpokladu: $E_2 = E_1 e^{i\varphi}$, kde φ je fázový posuv mezi referenčním a měřicím svazkem $a_1 b_1$ na výstupu z vlastního interferometru 2, dostane se:

$$I_{c_5 d_5} = \frac{E_1^2}{2} \cdot T_1 \cdot (1 + \cos \varphi)$$

Druhé fázově posunuté interferenční pole, které vzniká interferencí dalších dvou dílčích svazků $a_5 b_5$, se může vyjádřit ve tvaru:

$$\Sigma_{a_5 b_5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1^2 e^{i\frac{\delta_1}{2}} + S_1^2 e^{-i\frac{\delta_1}{2}} & C_1 S_1 2i \sin \frac{\delta_1}{2} \\ C_1 S_1 2i \sin \frac{\delta_1}{2} & C_1^2 e^{-i\frac{\delta_1}{2}} + S_1^2 e^{i\frac{\delta_1}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_1} e^{i\frac{\delta_1}{2}} & 0 \\ 0 & R_{11} e^{-i\frac{\delta_1}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

kde $C_1, S_1 \dots \cos \Theta$, resp. $\sin \Theta$, kde Θ je azimut lineární zpoždovací destičky 32,

$\delta_1 \dots$ fázové zpoždění lineární zpoždovací destičky 32

$R_1, R_{11} \dots$ odrazivost nepolarizující dělicí desky 31 v rovině kolmé, resp. rovnoběžné s rovinou dopadu

Jestliže se zanedbá vliv malého fázového posuvu ($\delta_R \neq 0$) a dále předpokládá pro azimut zpoždovací destičky 32: $C_1 = S_1 = \frac{\sqrt{2}}{2}$, dostane se:

$$\Sigma_{a_5 b_5} = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \sqrt{R_1} (1 + e^{i\varphi}) \cos \frac{\delta_1}{2} + \sqrt{R_{11}} (-1 + e^{i\varphi}) i \sin \frac{\delta_1}{2} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Pro intenzitu, které odpovídá druhý signál na fotoelektrickém detektoru 34 fázově posunutý např. o požadovaný fázový posuv 90° vůči prvnímu signálu za předpokladu:

$$R_1 \cos^2 \frac{\delta_1}{2} = R_{11} \sin^2 \frac{\delta_1}{2}, \quad \frac{\delta_1}{2} = \arctg \sqrt{\frac{R_1}{R_{11}}}$$

dostane se:

$$I_{a_5 b_5} = E_1^2 \cdot R_1 \cdot \cos^2 \frac{\delta_1}{2} \cdot (1 - \sin \varphi)$$

Srovnáním s výrazem pro $I_{c_5 d_5}$ je vidět, že se obdrží jako výsledek interference dvou fázově posunutých interferenčních polí dva signály s požadovaným fázovým posuvem pro laserový interferometr a s plným kontrastem,

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = 1$$

Příklad provedení používající způsobu vytváření interferenčních polí s fázovým posuvem 90° v laserovém interferometru je na výkrese.

Celý laserový interferometr sestává ze zdroje světla 1, vlastního interferometru 2 a detekční jednotky 3.

Zdroj světla je tvořen jednofrekvenčním laserem 1, ze kterého vystupuje svazek paprsků a_0 lineárně polarizovaný v kmitové rovině yz, uvažujeme-li pravouhlý souřadný systém x, y, z, kde osa z je osou šíření světla svazku. Ve vlastním interferometru prochází svazek světla nejprve půlvlnnou zpoždovací destičkou 20, která natáčí rovinu kmitů pro získání vhodných intenzit na výstupu z vlastního interferometru 2, a pak dopadá na polarizující interferenční dělič 21, kde dochází k rozdělení svazku paprsků na odražený svazek b, který dopadá na první zpětný odrazec 22 a znovu přichází na polarizující dělič 21, a na propuštěný svazek a,

který dopadá na druhý zpětný odražeč 23 a vrací se rovněž na polarizující dělič 22, odkud vycházejí oba svazky, odražený i propuštěný tj. referenční i měřicí sjednoceny. Při použití ideálních optických elementů ve vlastním interferometru 2 nedochází ke změně formy polarizace jednotlivých svazků a výstupní svazky a_1, b_1 vycházejí z vlastního interferometru ortogonálně lineárně polarizovány. Sjednocený svazek a_1b_1 z vlastního interferometru přichází do detekční jednotky 3.

Na vstupu může být zařazen rotátor nebo půlvlnná zpožďovací destička 31, která natočí rovinu kmitů sjednoceného svazku a_1b_1 o 45° ; jinak by bylo nutno natočit celou detekční jednotku 3 vůči vlastnímu interferometru o 45° . Pak dopadá sjednocený svazek a_2b_2 na nepolarizující dělicí desku 31, která odráží část sjednoceného svazku a tento první odražený svazek a_3b_3 prochází první lineární zpožďovací destičkou 32 a jako svazek a_4b_4 fázově posunutý o 90° vůči prvnímu propuštěnému sjednocenému svazku a_3d_3 dopadá na otočný první polarizující dělič 33, kde se první odražený sjednocený svazek dělí na část odraženou, která může být využita pro získání signálu, fázově posunutého o 180° a na část propuštěnou a_5b_5 , která dopadá na první fotoelektrický detektor 34 a vytváří první ze dvou el. signálů.

První propuštěný sjednocený svazek a_3d_3 za nepolarizující dělicí deskou 31 může procházet druhou lineární zpožďovací destičkou 32, kterou se dostaví žádaný fázový posuv např. 90° mezi svazky a_5b_5 a a_5d_5 , a jako svazek a_4d_4 dopadá na druhý polarizující dělič 36, kde se dělí na druhý odražený sjednocený svazek a_5d_5 , který přichází na druhý fotoelektrický detektor 37 a vytváří tak druhý el. signál fázově posunutý v kvadratuře vůči prvnímu el. signálu. Druhý propuštěný sjednocený svazek a_6d_6 , který prochází polarizačním filtrem, v němž se odfiltruje jeho část d_6 , takže pouze část a_7 dopadá na třetí fotoelektrický detektor 39, se využívá ke kontrole přerušení svazku.

Způsob vytváření dvou nebo více interferenčních polí s fázovým posuvem využívá ke svému vzniku vlastností dvojlomných prostředí, která mají různou fázovou rychlost v různých osách. Princip tohoto způsobu spočívá v tom, že interferující svazky, obvykle referenční a měřicí, z vlastního interferometru, které jsou ortogonálně lineárně polarizovány, se nejdříve rozdělí na dva nebo více svazků. V jednom nebo v obou rozdělených svazcích se potom např. měřicí svazek fázově posune vůči druhému svazku, čímž vzniknou fázově posunutá interferenční pole. Všechny rozdělené svazky se potom přivedou k interferenci. K fázovému posuvu je možné využít dvojlomných vlastností krystalů, ev. dalších fyzikálních jevů. K interferenci je možné svazky přivést např. pomocí polarizujících děličů.

Princip funkce laserového interferometru podle uvedeného způsobu spočívá v tom, že fázový posuv se získá lineárními zpožďovacími destičkami, vloženými do rozdělených svazků.

Ze zdroje 1 vychází lineárně polarizovaný svazek světla a_0 s rovinou kmitů v rovině yz nebo xz. Působením půlvlnné zpožďovací destičky 20 a polarizujícího interferenčního děliče 21 dojde ve vlastním interferometru 2 k rozdělení svazků světla na referenční b a měřicí a svazek světla, které jsou navzájem ortogonálně lineárně polarizovány. Pomocí zpětných odražečů 22, 23 jsou oba svazky odraženy zpět a pomocí polarizujícího děliče 21 opět sjednocovány, takže vycházejí z vlastního interferometru jako sjednocený výstupní svazek a_1b_1 , v němž referenční svazek b_1 a měřicí svazek a_1 jsou opět ortogonálně lineárně polarizovány.

Tyto svazky vstupují do detekční jednotky 3, kde se získávají fázově posunutá interferenční pole a fázově posunuté signály z interferometru, v daném případě fázově posunutá o 90° . Na vstupu detekční jednotky 3 je v daném uspořádání rotátor nebo půlvlnná zpožďovací destička 30, která natáčí roviny kmitů obou sjednocených svazků a_1b_1 tak, že dopadají na nepolarizující dělicí desku 31 pod úhlem $\pm 45^\circ$ vůči souřadným osám xz. Nepolarizující dělicí deska 31 rozdělí sjednocený svazek a_2b_2 na dva svazky a_3b_3 a a_3d_3 .

Do jednoho nebo do obou rozdělených svazků je vložena lineární zpožďovací destička 32 ev. 35 s azimutem $\Theta = 45^\circ$. Její fázové zpoždění δ_1 je pro fázový posuv dělicí desky 31 $\delta_R = 0$ dáno výrazem

$$\frac{\delta_1}{2} = \arctg \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

kde R_1 ... odrazivost dělicí desky v rovině kolmé k rovině dopadu

R_2 ... odrazivost dělicí desky v rovině rovnoběžné s rovinou dopadu

Tím se získávají dvě fázově posunutá interferenční pole svazků c_4d_4 a a_4b_4 . Pomocí polarizujících děličů 33 a 36 jsou oba tyto svazky, první odražený sjednocený svazek a_4b_4 i první propuštěný sjednocený svazek c_4d_4 , přivedeny k interferenci. Fázově posunuté signály, v daném případě o 90° , poskytují dva fotoelektrické detektory 34 a 37.

Způsob získání interferenčních signálů umožňuje řadu variant. Např. fázový posuv může být realizován pomocí dvou zpožďovacích členů 32, 35. Rotátor nebo půlvlnnou zpožďovací destičku 30 na vstupu detekční jednotky 3 je možné vynechat a místo toho použít otočení prvního polarizujícího děliče 33 a půlvlnné zpožďovací destičky místo druhé lineární zpožďovací destičky 35. Místo druhého polarizujícího děliče 36 může být použit libovolný polarizátor.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob vytváření interferenčních polí svazků světla s libovolným fázovým posuvem v laserovém interferometru, k získání informace o poloze a smyslu vzájemného pohybu interferujících polí mezi sebou, vyznačený tím, že k interferenci jsou přiváděny jednak dva dílčí svazky světla ortogonálně lineárně polarizované, které vytvářejí první interferenční pole, a jednak nejméně další dva dílčí svazky světla ortogonálně lineárně polarizované, které jsou vůči sobě fázově posunuty o požadovaný fázový posuv např. 90° a tyto svazky vytvářejí druhé interferenční pole.

2. Zařízení k provádění způsobu podle bodu 1 tvořené laserem, vlastním interferometrem a detekční jednotkou, vyznačené tím, že detekční jednotka (3) je opatřena buď v ose prvního sjednoceného odraženého svazku (a_3b_3) nebo procházejícího svazku (c_3d_3), anebo v obou rozdělených svazcích (a_3b_3 , c_3d_3) zpožďovacím elementem, např. lineární zpožďovací destičkou (32, 35).

3. Zařízení podle bodu 2 vyznačené tím, že detekční jednotka (3) je tvořena nepolarizující dělicí deskou (31), za kterou v ose prvního odraženého sjednoceného svazku (a_3b_3) za první lineární zpožďovací destičkou (32) je první polarizující dělič (33) a první fotoelektrický detektor (34) a v ose prvního propuštěného sjednoceného svazku (c_3d_3) je umístěn za druhou lineární zpožďovací destičkou (35) druhý polarizující dělič (36) a v ose druhého odraženého sjednoceného svazku (c_5d_5) druhý fotoelektrický detektor (37).

1 list výkresů

