

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

37 962

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01B 9/02

(2022.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2024-42003**
(22) Přihlášeno: **30.05.2024**
(47) Zapsáno: **25.06.2024**

(73) Majitel:
Ústav přístrojové techniky AV ČR, v. v. i., Brno,
Královo Pole, CZ

(72) Původce:
Mgr. Šimon Řeřucha, Ph.D., Brno, Veverčí, CZ
Mgr. Miroslava Holá, Ph.D., Žernovník, CZ
prof. Ing. Josef Lazar, Dr., Brno, Královo Pole, CZ
Ing. Ondřej Číp, Ph.D., Brno, Nový Lískovec, CZ
Ing. Břetislav Mikel, Ph.D., Tišnov, CZ

(74) Zástupce:
KANIA, SEDLÁK, SMOLA, s.r.o., Mendlovo
náměstí 907/1a, 603 00 Brno, Staré Brno

(54) Název užitého vzoru:
**Optická soustava pro interferometrické
měření vnitřních rozměrů**

CZ 37962 U1

Optická soustava pro interferometrické měření vnitřních rozměrů

Oblast techniky

5

Vynález se týká optické soustavy pro interferometrické měření vnitřních rozměrů, například pro testování a velmi přesnou kalibraci vnitřního rozměru pro specializované metrologické aplikace.

10

Dosavadní stav techniky

Laserová interferometrie představuje nejpřesnější kategorii technik pro délkové odměřování, která umožňuje provádět měření s velkou přesností a opakovatelností a dále umožňuje přímou metrologickou návaznost na definici jednotky jeden metr dle mezinárodní soustavy jednotek SI.

15

Realizace měření délky vyžaduje využití optického uspořádání interferometru, které je vhodné pro konkrétní měřicí scénář. Nejběžnějšími typy jsou interferometry s jedním fixním a jedním pohyblivým odražečem. V tomto uspořádání se délka odměřuje pomocí pohyblivého odražeče relativně vůči poloze základny (těla) interferometru. Složitějším případem jsou diferenční interferometry, které odměřují délku relativně mezi dvěma odražeči, v tomto případě téměř výlučně mezi dvěma planárními odraznými plochami.

20

25

Ve vědecké literatuře, v patentové databázi ani v produktové nabídce výrobců měřicí techniky zatím nefiguruje takové uspořádání interferometru, které by umožnilo jednoduché a konstrukčně robustní měření vnitřního rozměru, tedy diferenční měření mezi dvěma protilehlými odražeči.

Podstata technického řešení

30

Nevýhody dosavadního stavu techniky jsou eliminovány optickou soustavou pro interferometrické měření vnitřních rozměrů, která obsahuje:

35

- polarizační dělič obsahující vstupní rovinu a výstupní rovinu, která je rovnoběžná se vstupní rovinou, a dále dělicí rovinu procházející pod úhlem 45° vzhledem ke vstupní rovině;

40

- první zpoždovač uspořádaný podél první strany polarizačního děliče v dráze svazku odraženého od dělicí roviny polarizačního děliče; a

- druhý zpoždovač uspořádaný podél opačné strany polarizačního děliče rovnoběžně s prvním zpoždovačem,

příčemž vstupně-výstupní osa optické soustavy prochází kolmo na vstupní rovinu a na výstupní rovinu a měřicí osa je kolmá na vstupně-výstupní osu, a

45

příčemž optická osa obou zpoždovačů je orientována kolmo na měřicí osu a zároveň v úhlu $45^\circ \pm$ maximálně 5° vůči základnové rovině optické soustavy určené měřicí osou a vstupně-výstupní osou.

50

Přednostně je první zpoždovač tvořen čtvrtvlnným zpoždovačem, nebo půlvlnným zpoždovačem, a druhý zpoždovač čtvrtvlnným zpoždovačem, nebo půlvlnným zpoždovačem.

Výhodné provedení optické soustavy dále obsahuje:

55

- první koutový odražeč, který je přivrácený k prvnímu zpoždovači; a

- druhý koutový odražeč, který je přivrácený ke druhému zpoždovači,

přičemž osy koutových odražečů se shodují s měřicí osou a alespoň jeden z koutových odražečů je uložený posuvně vzhledem k polarizačnímu děliči podél měřicí osy.

5

Optická soustava navíc s výhodou obsahuje půlvlnnou zpožďovací desku, která je uspořádána podél vstupní strany polarizačního děliče v rovině kolmé vzhledem k rovinám zpožďovačů.

Přednostně je natočení půlvlnné zpožďovací desky kolem její optické osy vzhledem k základnové rovině optické soustavy $45^\circ \pm$ maximálně 15° .

10

Optická soustava s výhodou dále obsahuje polarizační hranol, jehož podélná osa se shoduje se vstupně-výstupní osou, přičemž půlvlnná zpožďovací deska je uspořádána mezi polarizačním děličem a polarizačním hranolem.

15

Optická soustava přednostně obsahuje zdroj laserového záření, který je opticky propojený s polarizačním děličem pro přivádění laserového svazku do polarizačního děliče.

S výhodou je výstup zdroje laserového záření propojený se vstupním koncem optického vlákna, jehož výstupní konec je opatřený kolimátorem, který je uspořádán pro přivádění laserového svazku do polarizačního děliče volitelně skrz polarizační hranol nebo skrz půlvlnnou zpožďovací desku.

20

Optická soustava dále přednostně obsahuje detekční jednotku, která je přivrácená k výstupní rovině polarizačního děliče a je kolmá na vstupně-výstupní osu.

25

A dále může optická soustava obsahovat vyhodnocovací jednotku, která je signálově propojená s detekční jednotkou.

30

Objasnění výkresů

Technické řešení je dále podrobněji popsáno na základě příkladného provedení, které je znázorněno na připojených výkresech, kde:

35

obr. 1 představuje schéma příkladného provedení soustavy; a
obr. 2 představuje schéma zařízení, které obsahuje tuto soustavu.

Příklady uskutečnění technického řešení

40

Jak je znázorněno na obr. 1, obsahuje příkladné provedení optické soustavy pro interferometrické měření vnitřních rozměrů laserový zdroj 21, k němu připojené optické vlákno 20 pro přivádění laserového svazku z laserového zdroje 21, přičemž toto optické vlákno 20 je zaústěno do vstupu kolimátoru 1.

45

Výstup kolimátoru 1 je přivrácen k polarizačnímu hranolu 2, např. typu Glan-Thompson nebo Glan-Taylor.

V dráze svazku přiváděného z kolimátoru 1, resp. polarizačního hranolu 2 je za polarizačním hranolem 2 uspořádána půlvlnná zpožďovací deska 3 a za ní polarizační dělič 4 se vstupní rovinou kolmou na dráhu svazku a s dělicí rovinou pod úhlem 45° vzhledem ke vstupní rovině.

50

Půlvlnná zpožďovací deska 3 může být buď víceřádková nebo nultého řádu a její rovina polarizace, tedy její natočení kolem její optické osy vzhledem k základnové rovině, je obecně 45° , s výrobně danou, nebo v rámci justáže nastavitelnou odchylkou od 45° o až $\pm 15^\circ$ pro dosažení optimálního kontrastu svazků na výstupu 9 interferometru 13.

5

V dráze měřicího svazku, tedy svazku odraženého od dělicí roviny polarizačního děliče 4 je vedle polarizačního děliče 4 uspořádán první zpožďovač 5, tvořený v tomto příkladném provedení čtvrtvlnným zpožďovačem, a za ním první koutový odražeč 6, který je uspořádán tak, že měřicí svazek přivedený z polarizačního děliče 4, resp. skrz první zpožďovač 5, je odražen prvním koutovým odražečem 6 zpět skrz první zpožďovač 5 do polarizačního děliče 4, přičemž tento odražený měřicí svazek prochází rovnoběžně s původně přivedeným měřicí svazkem.

10

Na straně odvrácené od prvního zpožďovače 5 je vedle polarizačního děliče 4 uspořádán druhý zpožďovač 7, tvořený v tomto příkladném provedení čtvrtvlnným zpožďovačem a který je rovnoběžný s prvním zpožďovačem 5.

15

Rovina polarizace obou zpožďovačů 5, 7, tedy jejich natočení kolem jejich optické osy, je orientována v úhlu $45^\circ \pm$ až 5° vůči základnové rovině optické soustavy, která je určena vstupně-výstupní osou 22 a měřicí osou 12.

20

V alternativním provedení lze při vhodném uspořádání nahradit čtvrtvlnné zpožďovače tvořící první a druhý zpožďovač 5,7 půlvlnnými zpožďovači.

25

V dráze měřicího svazku, který po odrazu v prvním koutovém odražeči 6 a průchodu prvním zpožďovačem 5 prošel polarizačním děličem 4 je tedy uspořádán druhý zpožďovač 7 a za ním druhý koutový odražeč 8, který je uspořádán tak, že měřicí svazek přivedený z polarizačního děliče 4, resp. skrz druhý zpožďovač 7, je odražen druhým koutovým odražečem 8 zpět skrz druhý zpožďovač 7 do polarizačního děliče 4, přičemž tento - druhým koutovým odražečem 8 odražený - měřicí svazek prochází rovnoběžně se svazkem původně přivedeným do druhého koutového odražeče 8.

30

Druhý koutový odražeč 8 je uspořádán s možností posuvu po lineární dráze rovnoběžné s dráhami přiváděného a odraženého svazku do/z koutového odražeče 6, 8, tedy po měřicí ose 12.

35

V alternativním provedení je druhý koutový odražeč 8 fixní, zatímco první koutový odražeč 6 je uspořádán suvně. A v ještě dalším provedení znázorněném na obr. 2 jsou oba koutové odražeče 6, 8 uloženy s možností posuvu vzhledem k polarizačnímu děliči 4 se společnou osou posuvu, kterou představuje měřicí osa 12. Pro posuv lze s výhodou využít hnací mechanismus, resp. aktuátor 63, 83.

40

Polarizační dělič 4 a zpožďovače 5, 7 společně tvoří interferometr 13, který má definovanou měřicí osu 12 kolmou na vstupně-výstupní osu 22.

45

V dráze svazku přivedeného z druhého odražeče 8 a odraženého polarizační rovinou polarizačního děliče 4, která rovněž odpovídá dráze svazku, který po přivedení z kolimátoru 2 prošel dělicí rovinou polarizačního děliče 4, je uspořádána detekční jednotka 10, která může být s výhodou propojená s vyhodnocovací jednotkou 11.

Funkce optické soustavy znázorněné na obr. 1 je následující:

50

Vstupní laserový svazek, vycházející z laserového zdroje 21, dopravený optickým vláknem 20 a zkolimovaný kolimátorem 1 je filtrován pomocí polarizačního hranolu 2, přičemž jeho polarizace je na vstupu interferometru 13 přizpůsobena (natočena) půlvlnnou zpožďovací deskou 3 tak, aby na dělicí rovinu polarizačního děliče 4 svazků dopadal lineárně polarizovaný svazek s rovinou polarizace pod úhlem $45^\circ \pm$ až 10° vůči základní rovině polarizačního děliče 4.

55

V alternativním provedení je laserový svazek z laserového zdroje 21 přiveden přímo na vstup polarizačního hranolu 2.

5 Svazek se na dělicí rovině polarizačního děliče 4 rozdělí na referenční svazek, který prochází dále ve stejném směru skrz polarizační dělič 4, a měřicí svazek, který se odrazí od dělicí roviny polarizačního děliče 4, prochází jím a pak ho opouští a prochází prvním zpoždovačem 5. Následně se odrazí od prvního koutového odražeče 6, podruhé prochází prvním zpoždovačem 5, podruhé prochází polarizačním děličem 4, kterým prochází bez odrazu a za ním dále prochází druhým
10 zpoždovačem 7, odrazí se od druhého koutového odražeče 8, podruhé prochází druhým zpoždovačem 7, potřetí vstupuje do polarizačního děliče 4 a na dělicí rovině se v identickém bodě, ve kterém došlo k oddělení měřicího svazku, odrazí a opouští polarizační dělič 4 ve stejné ose jako referenční svazek, tedy ve vstupně výstupní ose 22. Z polarizačního děliče 4 tak vystupuje polarizačně oddělená dvojice svazků, tedy referenční svazek a měřicí svazek dohromady, a tvoří
15 optický výstup 9 interferometru. Tento výstup je pak volitelně snímán detekční jednotkou 10, například ve formě homodynního přijímače, který uvedený optický výstup převádí na sadu elektrických (napětřových) signálů. Tato sada elektrických signálů je pak snímána vhodnou vyhodnocovací jednotkou 11, například ve formě interogátoru, která převádí fázovou informaci, obsaženou v interferogramu, na délku.

20 Interferometrické měření je v principu inkrementální. Jeden nebo oba koutové odražeče 6, 8 jsou uloženy suvně vůči interferometru 13 tak, že se koutové odražeče 6, 8 posouvají podél měřicí osy 12. Takováto optická soustava umožňuje přesně změřit změnu vzdálenosti mezi těžišti koutových odražečů 6, 8 vlivem posuvu tím způsobem, že během posuvu se mění pozorovaný
25 fázový optický výstup interferometru 13, kdy změna fáze o jednu periodu odpovídá posuvu délky o polovinu střední efektivní vlnové délky vstupního laserového svazku. Fázovou změnu lze v závislosti na použité detekční elektronice detekovat s rozlišením lepším než jedna desetitisícina periody.

30 Při použití optické soustavy podle tohoto technického řešení lze použít zdroj záření s libovolnou vlnovou délkou, praktické je použití vlnových délek viditelného spektra, tedy 390 nm až 760 nm.

Zdroj záření by měl být jednofrekvenční a dostatečně koherentní (lepší stabilita přináší lepší parametry měření); s výhodou se využije frekvenčně stabilizovaný zdroj laserového záření.

35 Ve zvlášť preferovaném provedení se použije zdroj 21 laserového koherentního záření v oblasti kolem vlnové délky 633 nm z důvodu přímé metrologické návaznosti na realizaci jednotky délky jeden metr dle SI.

40 Optická soustava podle tohoto technického řešení je využitelná pro měření vnitřního rozměru, který je vymezený dvojicí koutových odražečů 6, 8. Příkladem aplikace je například testování a velmi přesná kalibrace vnitřního rozměru pro specializované metrologické aplikace, jak je to například popsáno v souvislosti s obr. 2.

45 Na obr. 2 je znázorněno zařízení v podobě přesného dvojkleštinového manipulátoru, které optickou soustavu tohoto typu obsahuje a s výhodou využívá pro kalibraci a charakterizaci.

Manipulátor obsahuje dvojici pohyblivých ramen, ve znázorněném provedení kleštin 62, 82, které jsou pohánitelné vhodným aktuátorem 63, 83 tak, že se pohybují podél měřicí osy 12 k sobě a od sebe. Mezi nimi je uložený interferometr 13, a to tak, že na první kleštině 62 je pomocí prvního držáku 61 upevněn první koutový odrazeč 6 a na druhé kleštině 82 je pomocí druhého držáku 81 upevněn druhý koutový odrazeč 8, přičemž jsou oba koutové odražeče 6, 8 k sobě navzájem
50 přivrácené a jejich osa odpovídá měřicí ose 12.

Vložený interferometr 13 obsahuje komponenty popsané výše a je do něj ze zdroje 21 laserového záření optickým vláknem 20 a kolimátorem přiváděn vstupní laserový svazek. Výstup interferometru 13 je opticky propojen s detekční jednotkou 10.

- 5 Pomocí takového zařízení lze měřit / verifikovat / charakterizovat / kalibrovat pohyb manipulátoru, v tomto případě kleštin 62, 82.

NÁROKY NA OCHRANU

1. Optická soustava pro interferometrické měření vnitřních rozměrů, **vyznačující se tím**, že obsahuje:

5 - polarizační dělič (4) obsahující vstupní rovinu a výstupní rovinu, která je rovnoběžná se vstupní rovinou, a dále dělicí rovinu procházející pod úhlem 45° vzhledem ke vstupní rovině;

- první zpoždovač (5) uspořádaný podél první strany polarizačního děliče (4) v dráze svazku odraženého od dělicí roviny polarizačního děliče (4); a

10 - druhý zpoždovač (7) uspořádaný podél opačné strany polarizačního děliče (4) rovnoběžně s prvním zpoždovačem (5),

přičemž vstupně-výstupní osa (22) optické soustavy prochází kolmo na vstupní rovinu a na výstupní rovinu a měřicí osa (12) je kolmá na vstupně-výstupní osu (22), a

15 přičemž optická osa obou zpoždovačů (5, 7) je orientována kolmo na měřicí osu (12) a zároveň v úhlu $45^\circ \pm$ maximálně 5° vůči základnové rovině optické soustavy určené měřicí osou (12) a vstupně-výstupní osou (22).

2. Optická soustava dle nároku 1, **vyznačující se tím**, že první zpoždovač (5) je tvořen čtvrtvlnným zpoždovačem, nebo půlvlnným zpoždovačem, a druhý zpoždovač (7) je tvořen čtvrtvlnným zpoždovačem, nebo půlvlnným zpoždovačem.

3. Optická soustava dle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje:

20 - první koutový odražeč (6), který je přivrácený k prvnímu zpoždovači; a

- druhý koutový odražeč (8), který je přivrácený ke druhému zpoždovači,

přičemž osy koutových odražečů (6, 8) se shodují s měřicí osou (12) a alespoň jeden z koutových odražečů (6, 8) je uložený posuvně vzhledem k polarizačnímu děliči (4) podél měřicí osy (12).

25 4. Optická soustava podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že obsahuje půlvlnnou zpožďovací desku (3), která je uspořádaná podél vstupní strany polarizačního děliče (4) v rovině kolmé vzhledem k rovinám zpožďovačů (5, 7).

5. Optická soustava podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že natočení půlvlnné zpožďovací desky (3) kolem její optické osy vzhledem k základnové rovině optické soustavy je $45^\circ \pm$ maximálně 15° .

30 6. Optická soustava podle kteréhokoli z nároků 4 až 5, **vyznačující se tím**, že obsahuje polarizační hranol (2), jehož podélná osa se shoduje se vstupně-výstupní osou (22), přičemž půlvlnná zpožďovací deska (3) je uspořádaná mezi polarizačním děličem (4) a polarizačním hranolem (2).

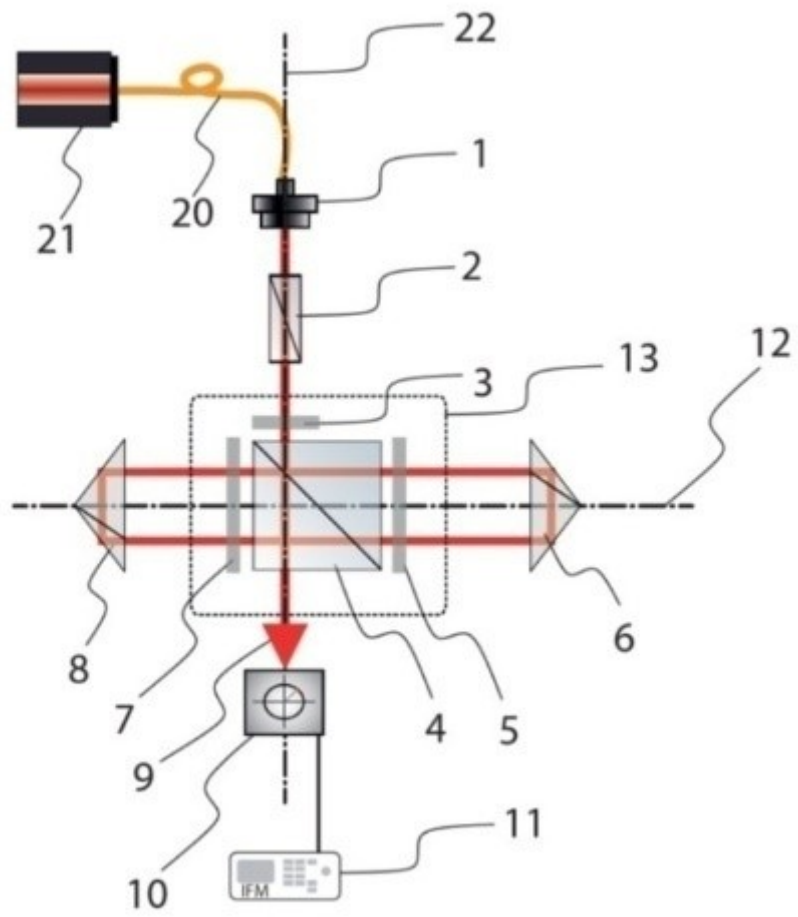
7. Optická soustava podle kteréhokoli z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že obsahuje zdroj (21) laserového záření, který je opticky propojený s polarizačním děličem (4) pro přivádění laserového svazku do polarizačního děliče (4).

35 8. Optická soustava podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že výstup zdroje (21) laserového záření je propojený se vstupním koncem optického vlákna (20), jehož výstupní konec je opatřený kolimátorem (1), který je uspořádaný pro přivádění laserového svazku do polarizačního děliče (4) volitelně skrz polarizační hranol (2) nebo skrz půlvlnnou zpožďovací desku (3).

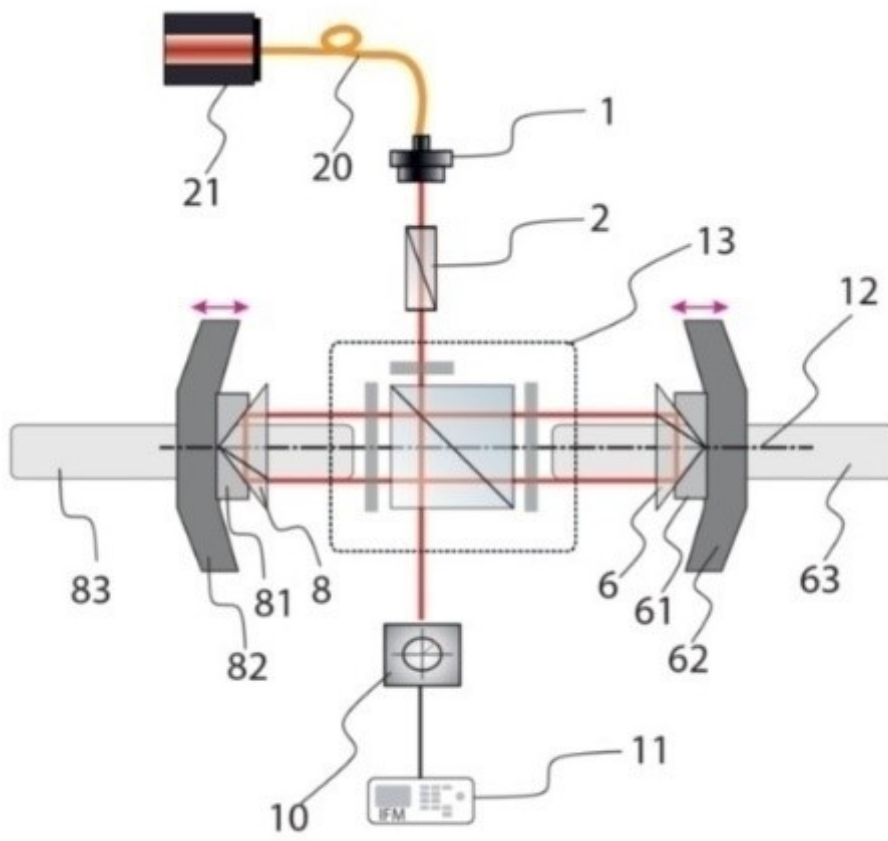
9. Optická soustava podle kteréhokoli z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že obsahuje detekční jednotku (10), která je přivrácená k výstupní rovině polarizačního děliče (4) a je kolmá na vstupně-výstupní osu (22).

5 10. Optická soustava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že obsahuje vyhodnocovací jednotku (11), která je signálově propojená s detekční jednotkou (10).

2 výkresy



Obr. 1



Obr. 2