

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2017-570**
(22) Přihlášeno: **21.09.2017**
(40) Zveřejněno: **07.11.2018**
(Věstník č. 45/2018)
(47) Uděleno: **26.09.2018**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **07.11.2018**
(Věstník č. 45/2018)

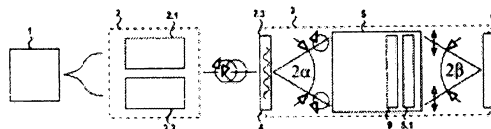
(56) Relevantní dokumenty:

EP 2930461 A; US 2013301093 A; WO 2011042442 A.

(73) Majitel patentu:
Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ
Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, CZ

(72) Původce:
Ing. Petr Bouchal, Brno, Žabovřesky, CZ
prof. RNDr. Radim Chmelík, Ph.D., Brno,
Kohoutovice, CZ
prof. RNDr. Dr. Zdeněk Bouchal, Přerov, Přerov
VI-Újezdec, CZ
Mgr. Radek Čelechovský, Ph.D., Lazníky, CZ

(74) Zástupce:
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno,
Černá Pole



(54) Název vynálezu:

**Zobrazovací modul pro mimoosový záznam
polarizačně oddělených vln**

(57) Anotace:

Vynález se týká zobrazovacího modulu (3) pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln, který lze připojit k polarizačně modifikovanému osovému interferometru. Zobrazovací modul (3) obsahuje postupně směrem od zdroje záření první polarizačně citlivý dělič (4), první optickou soustavu modulu (5), která zahrnuje postupně směrem od zdroje záření lineární polarizátor (9) a první zobrazovací soustavu (5.1), a dále detektor (6). Ve výhodném provedení první polarizačně citlivý dělič (4) je proveden jako geometricko-fázová mřížka. První optická soustava (5) modulu může zahrnovat druhou zobrazovací soustavu (5.2) umístěnou před lineárním polarizátorem (9). První optická soustava (5) modulu může dále zahrnovat čtvrtvlnnou destičku (10) umístěnou mezi první polarizačně citlivý dělič (4) a lineární polarizátor (9).

Zobrazovací modul pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln

Oblast techniky

Vynález se týká zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln, který může být připojen k polarizačně modifikovanému interferometrickému systému a umožňuje holografické zobrazení světlem nízké koherence.

Dosavadní stav techniky

Významným trendem současné optické mikroskopie je využití technik digitálního zobrazení pro kvantitativní fázovou rekonstrukci předmětů, které jsou zkoumány v biomedicinském a materiálovém výzkumu. Pro kvantifikaci fáze jsou nejčastěji využívány metody holografické mikroskopie, ve kterých je informace o zkoumaném trojrozměrném objektu zaznamenávána do fázového rozdílu signální (objektové) a referenční vlny.

Záznam interference vln je tvořen třemi holografickými členy – pravým holografickým obrazem, komplexně sdruženým holografickým obrazem a nedifraktovaným světlem. Pro korektní rekonstrukci obrazu je nutné provést separaci holografického členu, který odpovídá pravému holografickému obrazu. Tohoto cíle lze dosáhnout ve dvou experimentálních uspořádáních známých jako osová a mimoosová holografie. V sestavě osově holografie dopadají signální i referenční vlna na detektor pod stejným úhlem. Rekonstrukci pravého obrazu lze realizovat zpracováním alespoň tří hologramů pořízených s rozdílným přesně definovaným fázovým posunutím referenční vlny. Pro kvantitativní rekonstrukci fázových objektů je nutné zajistit nejméně čtyři fázově posunuté záznamy. V metodách mimoosové holografie jsou obě vlny skládány se vzájemným úhlovým odklonem a pro kvantitativní rekonstrukci obrazu je dostačující jediný holografický záznam.

V osovém holografickém uspořádání jsou osy obou interferometrických větví na výstupu z interferometru sjednoceny s nulovým úhlovým odklonem. Pro úspěšnou rekonstrukci holografického členu je nezbytná realizace fázových posunutí, která vyžaduje použití sofistikovaných technických postupů krokování fáze. Nejčastěji je využito mechanického krokování fáze pomocí přesných piezoelektrických posuvů, fázové modulace realizované pomocí optoelektronických prvků, nebo achromatického krokování fáze pomocí polarizačních optických prvků.

Náhodné vnější mechanické nebo optické vlivy mohou v osovém holografickém uspořádání měnit hodnoty provedených fázových posunutí a také hodnoty fáze signální a referenční vlny mezi jednotlivými záznamy. Tyto efekty působí negativně na kvalitu a přesnost kvantitativně rekonstruovaného obrazu.

V mimosovém holografickém uspořádání jsou osy obou interferometrických větví na výstupu z interferometru sjednoceny s úhlovým odklonem, který zajišťuje vytvoření nosné prostorové frekvence. Nosná frekvence umožňuje užitím fourierovských metod rekonstrukci požadovaného holografického členu z jednoho záznamu.

Pro dosažení úhlového odklonu interferujících vln je nutné použít dvou nezávislých optických cest pro referenční a signální vlnu. Zdvojení optických cest zvyšuje finanční náročnost, ztěžuje justáž systému a klade vysoké nároky na odstranění vibrací, stabilizaci teploty a homogenity indexu lomu okolního prostředí.

V běžných mimoosových systémech je úhlového odklonu referenční a signální vlny dosaženo natočením zrcadla, nebo podobného optického prvku na výstupu jedné z větví. Takový

interferometr však není achromatický a vyžaduje použití téměř monochromatického světla s koherenční délkou, která je dostatečná pro interferenci signální a referenční vlny v celém obrazovém poli. Pokud je použito monochromatické laserové záření je výsledné zobrazení negativně ovlivněno koherenční zrnitostí.

5

Tyto problémy řeší koherenci řízené achromatické holografické systémy podle vynálezu CZ 302491, EP 2378244 B1, US 8526003 B2, které jsou založeny na principu zobrazení difrakční mřížky, která je v systémech využívána jako difrakční dělič svazku. Difrakční disperze doprovázející zobrazení mřížky zajišťuje, že jednotlivé spektrální složky polychromatického záření jsou v rovině detektoru skládány pod rozdílnými úhly a vytváří strukturu achromatických proužků s periodou nezávislou na vlnové délce. Koherenci řízené mimoosové systémy tak umožňují rekonstrukci holografického členu z jednoho záznamu při zachování možnosti použití nekoherentních zdrojů záření podobně jako u osových systémů.

15 V osových i mimoosových systémech lze dosáhnout potlačení negativních vnějších vlivů, získání větší zobrazovací robustnosti a snížení finančních nároků použitím jednocestného uspořádání. Jednocestné uspořádání, kde signální i referenční vlna sdílí podstatnou část optické cesty, je mimořádně stabilní, protože veškeré náhodné vlivy jsou přenášeny na obě větve současně a dochází k jejich vzájemné kompenzaci.

20

Současně je ale nutné signální a referenční vlny procházející identickou optickou cestou odlišit tak, aby bylo možné jednotlivé vlny nezávisle modifikovat a provádět například krokování fáze, nebo optimalizaci interferenčního kontrastu v osových systémech. Signální a referenční vlny je typicky možné oddělit a definovat pomocí jejich polarizací. Polarizace obou vln je nejčastěji lineární a volena tak, aby směr lineární polarizace jedné z vln svíral úhel 90° se směrem lineární polarizace druhé vlny.

25

Příkladem je vynález US 8334981, který popisuje polarizačně modifikovaný interferometr Mirau. Světlo je v interferometru rozděleno tak, že signální vlna odražená od zobrazovaného vzorku a referenční vlna odražená od referenčního zrcátka jsou lineárně polarizované, přičemž polarizace signální a referenční vlny jsou vzájemně ortogonální. K tomuto účelu systém využívá modifikovaný interferenční objektiv Mirau, který obsahuje nepolarizační dělič svazku s vrstvou ortogonálně polarizující procházející a odražené světlo. Signální a referenční vlna jsou následně spojeny do stejné optické cesty a přes zobrazovací soustavu se šíří směrem k detektoru. Před dopadem na detektor je kmitosměr vektoru elektrické intenzity obou vln vyprojektován do stejného směru pomocí analyzátoru. Natočení analyzátoru řídí intenzitu procházejících vln a umožňuje jejich interferenci. Interferenční záznam je vytvořen na detektoru, kterým je nejčastěji CCD nebo CMOS čip.

30

Podobné uspořádání využívá i polarizačně modifikovaný interferometr Mirau podle vynálezu US8072610. V tomto uspořádání je využito lineárně polarizovaného osvětlovacího záření a polarizačně modifikovaného interferenčního objektivu Mirau. Nepolarizační dělič umístěný v objektivu je z obou stran obložen anizotropním materiálem s funkcí čtvrtvlnné destičky. Za předpokladu, že rychlá osa čtvrtvlnných destiček svírá se směrem polarizace osvětlovacího záření úhly 0° a 45° , je signální vlna odražená od vzorku a referenční vlna odražená od referenčního zrcátka na výstupu objektivu lineárně polarizovaná, přičemž polarizace signální a referenční vlny jsou vzájemně ortogonální. Signální a referenční vlna jsou následně spojeny do stejné optické cesty a přes zobrazovací soustavu se šíří směrem k detektoru. Před dopadem na detektor jsou vlny sjednoceny analyzátozem a je umožněna jejich interference.

45

50

Obě uvedená řešení umožňují šíření signální a referenční vlny jednocestným systémem, čímž redukuje negativní vnější vlivy. Pro úspěšnou rekonstrukci zobrazovaného objektu je ale nezbytné provést mechanické krokování fáze pomocí piezoelektrických posuvů, nebo optické krokování fáze, realizované pomocí elektrooptických, nebo polarizačních komponent a zaznamenat alespoň 4 modifikované interferogramy.

55

Zachování jednocestného systému při využití mimosového holografického záznamu představuje článek Rongli G. et al., "Off-axis digital holographic microscopy with LED illumination based on polarization filtering," Appl. Opt. 52, 8233-8238 (2013). Systém představený v tomto článku využívá interferometr Linnikova typu, ve kterém dochází k ortogonální polarizaci signální a referenční vlny pomocí standardních lineárně polarizujících komponent. Na výstup Linnikova interferometru je připojen $4f$ zobrazovací systém, který je tvořen standardní difrakční mřížkou, dvojicí čoček a polarizačním filtrem. Difrakční mřížka je umístěna v přední ohniskové rovině první čočky a polarizační filtr v zadní ohniskové rovině první čočky, která je zároveň přední ohniskovou rovinou druhé čočky. Difrakční mřížka způsobí úhlový odklon referenční i signální vlny do všech řádů mřížky, a to s vahou závislou na parametrech mřížky. Protože do jednotlivých řádů je odkloněna signální i referenční vlna, je nezbytné mechanicky odstranit světlo nepotřebných řádů mřížky a pomocí polarizačního filtru propustit pouze signální vlnu v $+1.$ a referenční vlnu v $-1.$ difrakčním řádu mřížky. Před zobrazením obou vln do roviny detektoru pomocí druhé čočky $4f$ systému je polarizace obou vln vyprojektovaná do stejného směru pomocí analyzátoru. V rovině detektoru následně dochází k záznamu hologramu s prostorovou nosnou frekvencí.

Toto řešení umožňuje záznam hologramu s prostorovou nosnou frekvencí a redukuje počet potřebných záznamů na jeden. Nevýhodou popsaného uspořádání je ale využití standardní difrakční mřížky, která má nízkou difrakční účinnost a odklání signální i referenční vlnu do všech difrakčních řádů. Separace signální a referenční vlny v $+1.$ a $-1.$ difrakčním řádu mřížky vyžaduje mechanické blokování nultého a vyšších řádů mřížky a dále polarizační filtraci v $+1.$ a $-1.$ řádu mřížky. Tento postup vede k výraznému snížení světelné výtěžnosti systému, která se projevuje zvýšením integračních časů potřebných pro záznam interferogramů a zhoršením přesnosti fázové rekonstrukce.

Další možnost využití mimoosového záznamu pro konstrukci hologramu pomocí zdroje záření s nízkým stupněm koherence představuje vynález WO 2011/042442 A1, který pro konstrukci hologramu využívá zdroje záření s nízkým stupněm koherence. Nevýhoda tohoto řešení spočívá v nutnosti použití standardní difrakční mřížky s nízkou difrakční účinností.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky jsou do značné míry odstraněny využitím zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln. Předkládaný zobrazovací modul obsahuje postupně směrem od zdroje záření první polarizačně citlivý dělič, první optickou soustavu modulu a detektor, přičemž první optická soustava modulu zahrnuje postupně směrem od zdroje záření lineární polarizátor a první zobrazovací soustavu.

Zobrazovací modul obsahuje první polarizačně citlivý dělič, který je proveden jako geometricko-fázová mřížka. Geometricko-fázová mřížka je optický prvek schopný směrového rozdělení světelných svazků na základě jejich odlišných polarizací.

Výhodné provedení první optické soustavy modulu zahrnuje lineární polarizátor, první zobrazovací soustavu a druhou zobrazovací soustavu umístěnou před lineárním polarizátorem, které jsou tvořeny alespoň jedním zobrazovacím prvkem s kladnou optickou mohutností.

V jiném provedení zobrazovacího modulu je zahrnuta druhá optická soustava modulu tvořená alespoň jedním optickým zobrazovacím prvkem s kladnou optickou mohutností, která je umístěna před prvním polarizačně citlivým děličem a dále zahrnuje druhý polarizačně citlivý dělič, přičemž druhý polarizačně citlivý dělič je vložen mezi první polarizačně citlivý dělič a první optickou soustavu modulu.

V jiném výhodném provedení zahrnuje první optická soustava modulu čtvrtvlnnou destičku umístěnou mezi první polarizačně citlivý dělič a lineární polarizátor. V jiném výhodném provedení obsahuje zobrazovací modul čtvrtvlnnou destičku, přičemž čtvrtvlnná destička je vložena mezi druhý polarizačně citlivý dělič a lineární polarizátor.

5

V dalším výhodném provedení obsahuje zobrazovací modul čtvrtvlnnou destičku vloženou mezi polarizačně modifikovaný osový interferometr a první polarizačně citlivý dělič zobrazovacího modulu.

10 Předkládaný vynález dále představuje metodu mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem. Přínos této metody je založen na použití polarizačně citlivého děliče v obrazové rovině polarizačně modifikovaného osového interferometru. Dělič zajišťuje, že ortogonálně polarizované vlny vystupující z osového interferometru se po průchodu děličem směrově oddělí, přičemž každá z polarizačně oddělených vln se šíří jiným směrem. Dvě
15 polarizačně oddělené vlny dále vstupují do první optické soustavy modulu, kde jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru lineárním polarizátorem. V dalším kroku jsou dvě lineárně polarizované vlny se stejným kmitosměrem zobrazeny první zobrazovací soustavou do roviny detektoru, kde interferují za vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí nezávislou na vlnové délce použitého záření.

20

Mimoosový záznam polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem může v jiném provedení vznikat tak, že směr šíření obou ortogonálně polarizovaných vln je po rozdělení prvním polarizačně citlivým děličem ovlivněn druhou zobrazovací soustavou, která je navržena a umístěna vůči prvnímu polarizačně citlivému děliči takovým způsobem, aby vytvářela jeho obraz
25 v nekonečnu a polarizačně oddělené vlny kolimovala. Následně procházejí dvě polarizačně oddělené vlny lineárním polarizátorem, kterým jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru a vlny jsou zaostřeny první zobrazovací soustavou do roviny detektoru, přičemž na detektoru dochází ke vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí nezávislou na vlnové délce použitého záření.

30

V dalším výhodném provedení je metoda mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem modifikována tak, že dvě polarizačně oddělené vlny procházejí čtvrtvlnnou destičkou, která převádí ortogonální kruhové polarizace na ortogonální lineární polarizace. Vlny s ortogonální lineární polarizací následně procházejí lineárním polarizátorem,
35 kterým jsou vektory elektrické intenzity obou vln projektovány do stejného kmitosměru, a to s amplitudou závislou na úhlovém natočení jeho propustného směru.

Jiná modifikace metody mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem je vytvořena tak, že dvě ortogonálně polarizované vlny jsou přeneseny z obrazové roviny interferometru do roviny prvního polarizačně citlivého členu druhou optickou soustavou
40 modulu, která vlny kolimuje. Následně jsou obě kolimované ortogonálně polarizované vlny rozděleny průchodem přes první polarizačně citlivý dělič do dvou směrů, přičemž každá z kolimovaných vln se šíří jiným směrem, který je následně ovlivněn druhým polarizačně citlivým děličem tak, že nový směr šíření obou vln je shodný s původním směrem šíření vln při dopadu na první polarizačně citlivý dělič, ale vlny jsou vzájemně příčně posunuty. V další fázi vstupují obě polarizačně oddělené vlny do první optické soustavy modulu, kde jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru lineárním polarizátorem. Ve finální fázi interferují dvě polarizované vlny se stejným kmitosměrem na detektoru. Při interferenci na detektoru dochází ke vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí
45 nezávislou na vlnové délce použitého záření.

50

V jiném výhodném provedení je metoda mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem modifikována tak, že dvě polarizačně oddělené vlny procházejí čtvrtvlnnou destičkou, kde dochází k převedení ortogonálních kruhových polarizací na vzájemně
55 ortogonální lineární polarizace. Při průchodu lineárním polarizátorem jsou vektory elektrické

intenzity obou vln projektovány do stejného kmitoměru, a to s amplitudou závislou na úhlovém natočení jeho propustného směru.

5 V jiné výhodné modifikaci metody mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem jsou vlny na výstupu z polarizačně modifikovaného osového interferometru polarizačně oddělené do ortogonálních lineárních polarizací a následně procházejí vstupní čtvrtvlnnou destičkou, která transformuje polarizaci vln do ortogonálních kruhových polarizací.

10

Objasnění výkresů

Obrázek 1 znázorňuje schematické uspořádání polarizačně modifikovaného osového interferometru a připojeného zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln s prvním polarizačně citlivým děličem, detektorem a první optickou soustavou modulu tvořenou lineárním polarizátorem a první zobrazovací soustavou.

Obrázek 2 znázorňuje schematické uspořádání zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln s prvním polarizačně citlivým děličem, detektorem a první optickou soustavou modulu tvořenou lineárním polarizátorem a první a druhou zobrazovací soustavou.

Obrázek 3 znázorňuje schematické uspořádání zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln s prvním polarizačně citlivým děličem, detektorem a první optickou soustavou modulu tvořenou čtvrtvlnnou destičkou, lineárním polarizátorem a první a druhou zobrazovací soustavou.

Obrázek 4 znázorňuje schematické uspořádání polarizačně modifikovaného osového interferometru a připojeného zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln s druhou optickou soustavou modulu, prvním a druhým polarizačně citlivým děličem, detektorem a první optickou soustavou modulu tvořenou lineárním polarizátorem a první zobrazovací soustavou.

Obrázek 5 znázorňuje schematické uspořádání zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln s druhou optickou soustavou modulu, dvěma polarizačně citlivými děliči, detektorem a první optickou soustavou modulu tvořenou lineárním polarizátorem a první zobrazovací soustavou.

Obrázek 6 znázorňuje schematické uspořádání zobrazovacího modulu pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln s druhou optickou soustavou modulu, dvěma polarizačně citlivými děliči, detektorem a první optickou soustavou modulu tvořenou čtvrtvlnnou destičkou, lineárním polarizátorem a první zobrazovací soustavou.

Obrázek 7 schematicky znázorňuje polarizačně modifikovaný osový interferometrický systém a zobrazovací modul pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln se vstupní čtvrtvlnnou destičkou, která převádí ortogonální lineární polarizace referenční a signální vlny vystupující z interferometru na ortogonální kruhové polarizace.

Příklad uskutečnění vynálezu

50

Na obrázku 1 je schematicky znázorněn zobrazovací modul 3 pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln. Zobrazovací modul 3 je připojen k polarizačně modifikovanému osovému interferometru 2, ke kterému je dále připojen polychromatický a prostorově nekoherentní plošný zdroj 1 záření. Záření emitované ze zdroje 1 záření je na vstupu do osového interferometru 2 rozděleno do zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2.

55

V předmětové rovině zobrazovací soustavy tvořící zobrazovací signální větev 2.1 je umístěn měřený vzorek, zatímco v předmětové rovině zobrazovací soustavy tvořící zobrazovací referenční větev 2.2 je umístěn referenční vzorek. Referenčním vzorkem může být například rovinné zrcátko při reflexním zobrazení, mikroskopové podložní sklo při transmisním zobrazení, nebo jiný prvek zajišťující známou modulaci odražené, nebo prošlé vlny. Konstrukce osového interferometru 2 zajišťuje, aby obě zobrazovací větve vytvářely obraz své předmětové roviny v obrazové rovině 2.3. Současně jsou zobrazovací optické komponenty obou větví voleny tak, aby optická dráha světla procházejícího každou ze zobrazovacích větví byla stejná, a tedy aby vlnění prošlo každou ze zobrazovacích soustav za stejnou dobu.

Polarizačně modifikovaný osový interferometr 2 dále zajišťuje, aby vlna procházející zobrazovací signální větví 2.1 a vlna procházející zobrazovací referenční větví 2.2 byly polarizačně odděleny. Každá z polarizačně oddělených vln je popsána vlastním Jonesovým vektorem J_i , přičemž obě vlny (a tedy Jonesovy vektory) musí splňovat podmínky ortogonality $J_1^+ \cdot J_2 = 0$, kde J_1^+ je Hermitovský sdružený Jonesův vektor.

K osovému interferometru 2 je na výstupu připojen zobrazovací modul 3. Zobrazovací modul 3 se skládá postupně směrem od zdroje 1 záření z prvního polarizačně citlivého děliče 4, první optické soustavy 5 modulu a detektoru 6. První optická soustava 5 modulu je tvořena postupně směrem od zdroje 1 záření lineárním polarizátorem 9 a první zobrazovací soustavou 5.1. Zobrazovací modul 3 je k osovému interferometru 2 připojen tak, že obrazová rovina 2.3 splývá s rovinou prvního polarizačně citlivého děliče 4. První polarizačně citlivý dělič 4 zajišťuje směrové oddělení jednotlivých světelných svazků pocházejících ze zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2 tak, aby osy obou svazků svíraly úhel 2α . Úhel 2α je dán mřížkovou rovnicí $\sin \alpha = \lambda/d$, kde λ je vlnová délka světla a d je perioda mřížky.

První optická soustava 5 modulu je tvořena první zobrazovací soustavou 5.1, jejíž volba musí být taková, aby byla obrazová rovina 2.3, respektive rovina prvního polarizačně citlivého děliče 4, zobrazena s příčným zvětšením m do obrazové roviny zobrazovacího modulu 3, která splývá s rovinou detektoru 6. Součástí první optické soustavy 5 modulu je dále lineární polarizátor 9. Lineární polarizátor 9 zajišťuje projekci vektorů elektrické intenzity polarizačně oddělených vln ze zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2 do stejného kmitosměru a to před dopadem světla na intenzitní detektor 6.

Polarizačně oddělené světelné svazky, jejichž osy svíraly po průchodu polarizačně citlivým děličem 4 úhel 2α , rekombinují v rovině detektoru 6 s úhlovým odklonem 2β . Úhlový odklon 2β je dán rovnicí $\sin \beta = \lambda/(m \cdot d)$. Při interferenci obou svazků dochází ke vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí $\nu_N = 2/(m \cdot d)$, která je nezávislá na vlnové délce. Mimoosový hologram je následně digitálně zaznamenán na detektor 6. Prostorová nosná frekvence je závislá na parametrech jednotlivých částí zobrazovacího modulu 3. Ty musí být zvoleny tak, aby prostorová nosná frekvence při numerickém zpracování záznamu pomocí fourierovských metod umožnila oddělit detekované světelné stopy vytvořené interferencí od přímého obrazu a nedifraktovaného světla.

Ve výhodném provedení mohou zobrazovací signální větev 2.1 a zobrazovací referenční větev 2.2 sdílet libovolné množství optických prvků a pracovat v jednocestném uspořádání. Současně může být první polarizačně citlivý dělič 4 zastoupen geometricko-fázovou mřížkou, která pracuje na principu Pancharatnamovy-Berryho fáze a s účinností vyšší než 90 % vytváří mezi osami svazků s levotočivou a pravotočivou kruhovou polarizací odklon o úhel 2α . Lineárním polarizátorem 9 je pak každý polarizační prvek, který převádí libovolnou polarizaci na polarizaci lineární, například polarizaci kruhovou na polarizaci lineární. První zobrazovací soustava 5.1 může být složena z libovolného počtu optických komponent, jako jsou například čočky, soustavy čoček nebo objektiv, avšak komponenty musí být voleny tak, aby byly splněny výše uvedené podmínky pro záznam mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí.

Na obrázku 2 je schematicky znázorněn zobrazovací modul 3. Zobrazovací modul 3 se v tomto provedení skládá postupně z prvního polarizačně citlivého děliče 4, druhé zobrazovací soustavy 5.2, lineárního polarizátoru 9, první zobrazovací soustavy 5.1 a detektoru 6. Optické komponenty první zobrazovací soustavy 5.1 a druhé zobrazovací soustavy 5.2 jsou voleny tak, aby zajistily rovnoběžný chod paprsků mezi oběma soustavami optických prvků a přenášely obraz z obrazové roviny 2.3 do roviny splývající s rovinou detektoru 6. Mezi první zobrazovací soustavou 5.1 a druhou zobrazovací soustavou 5.2 je vložen lineární polarizátor 9, který zajišťuje projekci vektorů elektrické intenzity polarizačně oddělených vln do stejného kmitosměru. Vzájemná pozice lineárního polarizátoru 9 a první zobrazovací soustavy 5.1 může být v různých provedeních různá.

Na obrázku 3 je schematicky znázorněn zobrazovací modul 3. Zobrazovací modul 3 se v tomto provedení skládá postupně z prvního polarizačně citlivého děliče 4, druhé zobrazovací soustavy 5.2, čtvrtvlnné destičky 10, lineárního polarizátoru 9, první zobrazovací soustavy 5.1 a detektoru 6. Optické komponenty první zobrazovací soustavy 5.1 a druhé zobrazovací soustavy 5.2 jsou voleny tak, aby zajistily rovnoběžný chod paprsků mezi oběma zobrazovacími soustavami. Zároveň jsou voleny tak, aby přenášely obraz z obrazové roviny 2.3 do roviny splývající s rovinou detektoru 6. Mezi druhou zobrazovací soustavou 5.2 a lineární polarizátor 9 je vložena čtvrtvlnná destička 10, která zajišťuje převedení polarizačně oddělených vln s ortogonálními kruhovými polarizacemi na polarizačně oddělené vlny s ortogonálními lineárními polarizacemi. Lineární polarizátor 9 poté zajišťuje projekci vektorů elektrické intenzity polarizačně oddělených vln do stejného kmitosměru. Vzájemná pozice lineárního polarizátoru 9, první zobrazovací soustavy 5.1 a druhé zobrazovací soustavy 5.2 může být v různých provedeních různá. Soustava čtvrtvlnné destičky 10 a lineárního polarizátoru 9 umožňuje modifikaci amplitudy procházejících vln a optimalizaci interferenčního kontrastu.

Na obrázku 4 je schematicky znázorněn zobrazovací modul 3 pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln. Zobrazovací modul 3 je připojen k osovému interferometru 2, ke kterému je dále připojen polychromatický a prostorově nekoherentní plošný zdroj 1 záření. Záření emitované ze zdroje 1 záření je na vstupu do osového interferometru 2 rozděleno do zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2. Konstrukce osového interferometru 2 zajišťuje, aby obě zobrazovací soustavy vytvářely obraz v obrazové rovině 2.3. Současně jsou optické komponenty obou zobrazovacích soustav voleny tak, aby optická dráha světla procházejícího každou ze zobrazovacích větví byla stejná, a tedy aby vlnění prošlo každou ze zobrazovacích větví za stejnou dobu.

Osový interferometr 2 dále zajišťuje, aby vlna procházející první zobrazovací větví 2.1 a vlna procházející druhou zobrazovací větví 2.2 byly polarizačně odděleny. Každá z polarizačně oddělených vln je popsána vlastním Jonesovým vektorem J_i , přičemž obě vlny (a tedy Jonesovy vektory) musí splňovat podmínky ortogonality $J_1^+ \cdot J_2 = 0$, kde J_1^+ je Hermitovsky sdružený Jonesův vektor.

K osovému interferometru 2 je na výstupu připojen zobrazovací modul 3. Zobrazovací modul 3 se skládá postupně z druhé optické soustavy 7 modulu, prvního polarizačně citlivého děliče 4, druhého polarizačně citlivého děliče 8, první optické soustavy 5 modulu a detektoru 6. Druhá optická soustava 7 modulu je umístěna mezi obrazovou rovinou 2.3 a prvním polarizačně citlivým děličem 4 a je tvořena libovolnými optickými prvky. Libovolné optické prvky druhé optické soustavy 7 modulu jsou voleny tak, aby přenášely obraz z obrazové roviny 2.3 do nekonečna a na první polarizačně citlivý dělič 4 dopadaly svazky rovnoběžných paprsků.

První polarizačně citlivý dělič 4 je výhodně realizován jako geometricko-fázová mřížka a zajišťuje směrové oddělení ortogonálně polarizovaných paprskových svazků pocházejících ze zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2 tak, aby směry šíření obou svazků svíraly úhel 2α . Úhel 2α je dán mřížkovou rovnicí $\sin \alpha = \lambda/d$, kde λ je vlnová délka světla a d je perioda mřížky. Druhý polarizačně citlivý dělič 8 je výhodně realizován jako

geometricko-fázová mřížka a vytváří opačný úhlový odklon ortogonálně polarizovaných svazků než první polarizačně citlivý dělič 4 a kompenzuje jeho difraktní disperzi takovým způsobem, že ortogonálně polarizované paprskové svazky jsou za druhým polarizačně citlivým děličem 8 příčně posunuty v závislosti na vlnové délce a postupují stejným směrem jako před dopadem na první polarizačně citlivý dělič 4.

První optická soustava 5 modulu je tvořena libovolnými optickými komponenty, které zajišťují, aby obrazová rovina 2.3 byla zobrazena do obrazové roviny zobrazovacího modulu 3, která splývá s rovinou detektoru 6. Součástí první optické soustavy modulu 5 je první zobrazovací soustava 5.1 a lineární polarizátor 9. Lineární polarizátor 9 zajišťuje projekci vektorů elektrické intenzity polarizačně oddělených vln pocházejících ze zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2 do stejného kmitosměru a to před dopadem na intenzitní detektor světla 6.

Polarizačně oddělené kolimované vlny, jejichž směry šíření svíraly po průchodu polarizačně citlivým děličem 4 úhel 2α , rekombinují v rovině detektoru 6 s úhlovým odklonem 2β . Hodnota úhlu β je v paraxiální aproximaci daná výrazem $\beta = (L \cdot \lambda)/(f \cdot d)$, kde L je vzdálenost prvního polarizačně citlivého dělice 4 a druhého polarizačně citlivého dělice 8 a f je ohnisková vzdálenost první zobrazovací soustavy 5.1. Při interferenci obou vln dochází ke vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí $\nu_N = 2L/(f \cdot d)$, která je nezávislá na vlnové délce. Mimoosový hologram je následně digitálně zaznamenán na detektor 6. Prostorová nosná frekvence je závislá na parametrech jednotlivých částí zobrazovacího modulu 3. Ty musí být zvoleny tak, aby prostorová nosná frekvence při numerickém zpracování záznamu pomocí fourierovských metod umožnila oddělit detekované světelné stopy vytvořené interferencí od přímého obrazu a nedifraktovaného světla.

Ve výhodném provedení mohou zobrazovací signální větev 2.1 a zobrazovací referenční větev 2.2 sdílet libovolné množství optických prvků a pracovat v jednocestném uspořádání. První polarizačně citlivý dělič 4 a druhý polarizačně citlivý dělič 8 mohou být zastoupeny geometricko-fázovými mřížkami, které pracují na principu Pancharatnamovy-Berryho fáze. První polarizačně citlivý dělič 4 odklání kolimovanou vlnu s levotočivou kruhovou polarizací od původního směru šíření o úhel α , přičemž současně mění polarizační stav této vlny na pravotočivou kruhovou polarizaci, zatímco dopadající vlna s pravotočivou kruhovou polarizací je proti původnímu směru šíření odkloněna o úhel $-\alpha$ při současné transformaci polarizačního stavu na levotočivou kruhovou polarizaci. Mezi směry šíření rovinných vln s ortogonálními kruhovými polarizacemi je tedy zaveden úhlový odklon 2α . Druhý polarizačně citlivý dělič 8, realizovaný jako geometricko-fázová mřížka, pracuje podobně jako první polarizační dělič 4 a opět provádí rozdílné směrové odklonění kolimovaných vln s ortogonálními kruhovými polarizacemi. Vlna dopadající na první polarizačně citlivý dělič 4 s levotočivou kruhovou polarizací má tedy za druhým polarizačně citlivým děličem 8 opět levotočivou kruhovou polarizaci a stejný směr šíření jaký měla před prvním polarizačně citlivým děličem 4. Stejná situace nastává pro vlnu, která na první polarizačně citlivý dělič 4 dopadá s pravotočivou kruhovou polarizací. Druhý polarizačně citlivý dělič 8 kompenzuje difraktní disperzi prvního polarizačně citlivého dělice 4, takže vlny s ortogonální kruhovou polarizací mají za druhým polarizačně citlivým děličem 8 stejné směry šíření a příčné posunutí závislé na vlnové délce použitého záření. Jednotlivé zobrazovací soustavy modulu mohou být složeny z libovolného množství optických komponent, jako jsou například čočky, soustavy čoček nebo objektivy, avšak komponenty musí být voleny tak, aby byly splněny výše uvedené podmínky pro záznam mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí.

Na obrázku 5 je schematicky znázorněn zobrazovací modul 3. Zobrazovací modul 3 se v tomto provedení skládá postupně z druhé optické soustavy 7 modulu, prvního polarizačně citlivého dělice 4, druhého polarizačně citlivého dělice 8, lineárního polarizátoru 9, první zobrazovací soustavy 5.1 a detektoru 6. První polarizačně citlivý dělič 4 zajišťuje úhlové oddělení kolimovaných vln s ortogonálními kruhovými polarizacemi, které pocházejí ze zobrazovací

- signální větve 2.1 interferometru a zobrazovací referenční větve 2.2 interferometru tak, aby směry šíření obou vln svíraly úhel 2α . Úhel 2α je dán mřížkovou rovnicí $\sin \alpha = \lambda/d$. Druhý polarizačně citlivý dělič 8 vytváří opačný úhlový odklon polarizačně oddělených vln a kompenzuje disperzi prvního polarizačně citlivého děliče 4. Vlny s ortogonálními kruhovými polarizacemi jsou za druhým polarizačně citlivým děličem 8 příčně posunuté v závislosti na vlnové délce a postupují stejným směrem jako před dopadem na první polarizačně citlivý dělič 4. Lineární polarizátor 9 poté zajišťuje projekci vektorů elektrické intenzity polarizačně oddělených vln do stejného kmitosměru.
- Na obrázku 6 je schematicky znázorněn zobrazovací modul 3. Zobrazovací modul 3 se v tomto provedení skládá postupně z druhé optické soustavy 7 modulu, prvního polarizačně citlivého děliče 4, druhého polarizačně citlivého děliče 8, čtvrtvlnné destičky 10, lineárního polarizátoru 9, první zobrazovací soustavy 5.1 a detektoru 6. Optické komponenty druhé optické soustavy 7 modulu jsou voleny tak, aby přenášely obraz z obrazové roviny 2.3 do nekonečna a na první polarizačně citlivý dělič 4 dopadaly svazky rovnoběžných paprsků.

První polarizačně citlivý dělič 4 zajišťuje směrové oddělení vlnění pocházejícího ze zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2 tak, aby směry šíření obou vln svíraly úhel 2α . Úhel 2α je dán mřížkovou rovnicí $\sin \alpha = \lambda/d$. Druhý polarizačně citlivý dělič 8 vytváří opačný úhlový odklon polarizačně oddělených vln a kompenzuje disperzi prvního polarizačně citlivého děliče 4. Ortogonálně polarizované vlny jsou za druhým polarizačně citlivým děličem 8 příčně posunuté v závislosti na vlnové délce a postupují stejným směrem jako před dopadem na první polarizačně citlivý dělič 4.

- Mezi druhý polarizačně citlivý dělič 8 a lineární polarizátor 9 je vložena čtvrtvlnná destička 10, která zajišťuje převedení vlnění polarizačně odděleného do ortogonálních kruhových polarizací na vlnění polarizačně oddělené do ortogonálních lineárních polarizací. Lineární polarizátor 9 poté zajišťuje projekci vektorů elektrické intenzity polarizačně oddělených vln do stejného kmitosměru. Soustava čtvrtvlnné destičky 10 a lineárního polarizátoru 9 umožňuje modifikaci amplitudy procházejících vln a optimalizaci interferenčního kontrastu.

Na obrázku 7 je schematicky znázorněn zobrazovací modul 3 pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln. Zobrazovací modul 3 je připojen k polarizačně modifikovanému osovému interferometru 2, ke kterému je dále připojen polychromatický a prostorově nekoherentní plošný zdroj záření 1. Záření emitované ze zdroje záření 1 je na vstupu do interferometru 2 rozděleno do zobrazovací signální větve 2.1 a zobrazovací referenční větve 2.2. Konstrukce interferometru 2 zajišťuje, aby obě zobrazovací soustavy vytvářely obraz v obrazové rovině 2.3. Současně jsou optické komponenty obou zobrazovacích větví voleny tak, aby optická dráha světla procházejícího každou ze zobrazovacích větví byla stejná, a tedy aby vlnění prošlo každou ze zobrazovacích větví za stejnou dobu.

Interferometr 2 dále zajišťuje, aby vlna procházející zobrazovací signální větví 2.1 a vlna procházející zobrazovací referenční větví 2.2 byly polarizačně odděleny. Každá z polarizačně oddělených vln je popsána vlastním Jonesovým vektorem J_i , přičemž obě vlny (a tedy Jonesovy vektory) musí splňovat podmínky ortogonality $J_1^+ \cdot J_2 = 0$, kde J_1^+ je Hermitovsky sdružený Jonesův vektor.

Za předpokladu, že na výstupu z interferometru 2 jsou vlny polarizačně odděleny do ortogonálních lineárních polarizací, je vlnění transformováno vstupní čtvrtvlnnou destičkou 11, která převede ortogonální lineární polarizace na ortogonální kruhové polarizace. Za předpokladu, že jsou vlny odděleny do ortogonálních kruhových polarizací přímo na výstupu z interferometru 2, není použití vstupní čtvrtvlnné destičky 11 vyžadováno. Vlny následně vstupují do zobrazovacího modulu 3.

Tímto způsobem je možné napojení zobrazovacího modulu 3 na libovolný interferometrický systém, který pracuje s polarizačním oddělením signální a referenční vlny do vzájemně ortogonálních lineárních polarizací, nebo ortogonálních kruhových polarizací.

5

PATENTOVÉ NÁROKY

10

1. Zobrazovací modul (3) pro mimoosový záznam polarizačně oddělených vln, **vyznačující se tím**, že obsahuje postupně směrem od zdroje (1) záření první polarizačně citlivý dělič (4), první optickou soustavu (5) modulu, přičemž první optická soustava (5) modulu zahrnuje postupně směrem od zdroje záření (1) lineární polarizátor (9) a první zobrazovací soustavu (5.1) a detektor (6).

15

2. Zobrazovací modul (3) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že první polarizačně citlivý dělič (4) je proveden jako geometricko-fázová mřížka.

20

3. Zobrazovací modul (3) podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že první optická soustava (5) modulu dále zahrnuje druhou zobrazovací soustavu (5.2) umístěnou před lineárním polarizátorem (9).

25

4. Zobrazovací modul (3) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že první zobrazovací soustava (5.1) zahrnuje alespoň jeden zobrazovací prvek s pozitivní optickou mohutností.

5. Zobrazovací modul (3) podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že druhá zobrazovací soustava (5.2) zahrnuje alespoň jeden zobrazovací prvek s pozitivní optickou mohutností.

30

6. Zobrazovací modul (3) podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že první optická soustava (5) modulu dále zahrnuje čtvrtvlnnou destičku (10) umístěnou mezi první polarizačně citlivý dělič (4) a lineární polarizátor (9).

35

7. Zobrazovací modul (3) podle kteréhokoliv z nároků 1 nebo 2 nebo 4, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje druhou optickou soustavu (7) modulu, přičemž druhá optická soustava (7) modulu je umístěna před prvním polarizačně citlivým děličem (4), a dále zahrnuje druhý polarizačně citlivý dělič (8), přičemž druhý polarizačně citlivý dělič (8) je vložen mezi první polarizačně citlivý dělič (4) a první zobrazovací soustavu (5.1).

40

8. Zobrazovací modul (3) podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje čtvrtvlnnou destičku (10), přičemž čtvrtvlnná destička (10) je vložena mezi druhý polarizačně citlivý dělič (8) a lineární polarizátor (9).

45

9. Zobrazovací modul (3) podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že dále obsahuje čtvrtvlnnou destičku (11) vloženou mezi interferometr (2) a první polarizačně citlivý dělič (4).

10. Způsob mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem (3), **vyznačující se tím**, že

50

- dvě polarizačně oddělené vlny jsou v obrazové rovině (2.3) rozděleny průchodem přes první polarizačně citlivý dělič (4) do dvou směrů, přičemž každá z polarizačně oddělených vln se šíří jiným směrem,
- dvě polarizačně oddělené vlny následně vstupují do první optické soustavy (5) modulu, kde jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru lineárním polarizátorem (9),

55

- dvě lineárně polarizované vlny se stejným kmitosměrem jsou první zobrazovací soustavou (5.1) zobrazeny do roviny detektoru (6),
 - dvě polarizované vlny se stejným kmitosměrem následně interferují na detektoru (6), přičemž na detektoru (6) dochází ke vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí nezávislou na vlnové délce vlnění.
- 5
- 11. Způsob mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem (3) podle nároku 10, vyznačující se tím, že**
- směr šíření obou polarizačně oddělených vln je po rozdělení prvním polarizačně citlivým děličem (4) ovlivněn druhou zobrazovací soustavou (5.2),
 - druhá zobrazovací soustava (5.2) je navržena a umístěna vůči prvnímu polarizačně citlivému děliči (4) takovým způsobem, aby vytvářela jeho obraz v nekonečnu,
 - dvě polarizačně oddělené vlny následně procházejí lineárním polarizátorem (9), kterým jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru,
 - dvě lineárně polarizované vlny se stejným kmitosměrem jsou první zobrazovací soustavou (5.1) zobrazeny do roviny detektoru (6),
 - dvě lineárně polarizované vlny se stejným kmitosměrem následně interferují na detektoru (6), přičemž na detektoru (6) dochází ke vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí nezávislou na vlnové délce vlnění.
- 10
- 15
- 20
- 12. Způsob mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem (3) podle nároku 10 nebo 11, vyznačující se tím, že**
- dvě polarizačně oddělené vlny procházejí, před průchodem lineárním polarizátorem (9), čtvrtvlnnou destičkou (10), kde dochází k převedení ortogonálních kruhových polarizací na vzájemně ortogonální lineární polarizace,
 - dvě polarizačně oddělené vlny následně procházejí lineárním polarizátorem (9), kterým jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru a to s amplitudou závislou na úhlovém natočení jeho propustného směru.
- 25
- 30
- 13. Způsob mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem (3), vyznačující se tím, že**
- dvě polarizačně oddělené vlny jsou přeneseny z obrazové roviny (2.3) do roviny prvního polarizačně citlivého děliče (4) druhou optickou soustavou (7) modulu,
 - dvě polarizačně oddělené vlny jsou následně rozděleny průchodem přes první polarizačně citlivý dělič (4) do dvou směrů, přičemž každá z polarizačně oddělených vln se šíří jiným směrem,
 - směr šíření obou polarizačně oddělených vln je následně ovlivněn druhým polarizačně citlivým děličem (8), přičemž nový směr šíření je shodný se směrem šíření obou vln před průchodem prvním polarizačně citlivým děličem (4),
 - dvě polarizačně oddělené vlny následně vstupují do první optické soustavy (5) modulu, kde jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru lineárním polarizátorem (9),
 - dvě polarizované vlny se stejným kmitosměrem následně interferují na detektoru (6), přičemž na detektoru (6) dochází ke vzniku mimoosového hologramu s prostorovou nosnou frekvencí nezávislou na vlnové délce vlnění.
- 35
- 40
- 45
- 14. Způsob mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem (3) podle nároku 13, vyznačující se tím, že**
- dvě polarizačně oddělené vlny procházejí, před průchodem lineárním polarizátorem (9), čtvrtvlnnou destičkou (10), kde dochází k převedení ortogonálních kruhových polarizací na vzájemně ortogonální lineární polarizace,
 - dvě polarizačně oddělené vlny následně procházejí lineárním polarizátorem (9), kterým jsou jejich vektory elektrické intenzity projektovány do stejného kmitosměru a to s amplitudou závislou na úhlovém natočení jeho propustného směru.
- 50
- 55

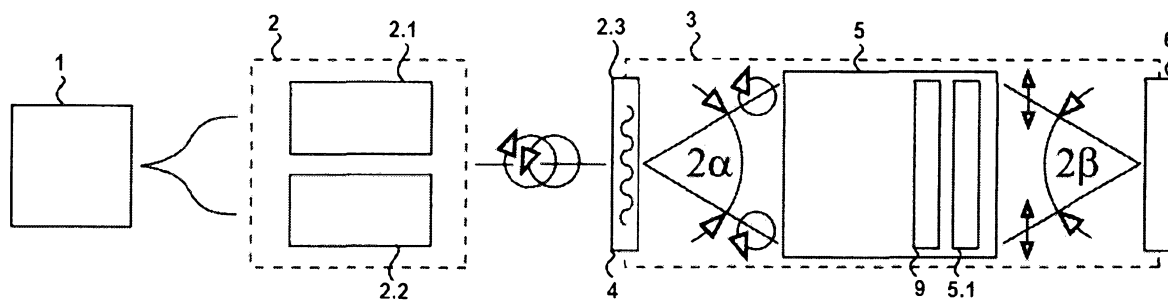
15. Způsob mimoosového záznamu polarizačně oddělených vln zobrazovacím modulem (3) podle kteréhokoliv z nároků 10 až 14, **vyznačující se tím**, že vlny jsou na výstupu z interferometru (2) polarizačně oddělené do ortogonálních lineárních polarizací a následně procházejí vstupní čtvrtvlnnou destičkou (11), která transformuje polarizaci vln do ortogonálních kruhových polarizací.

10

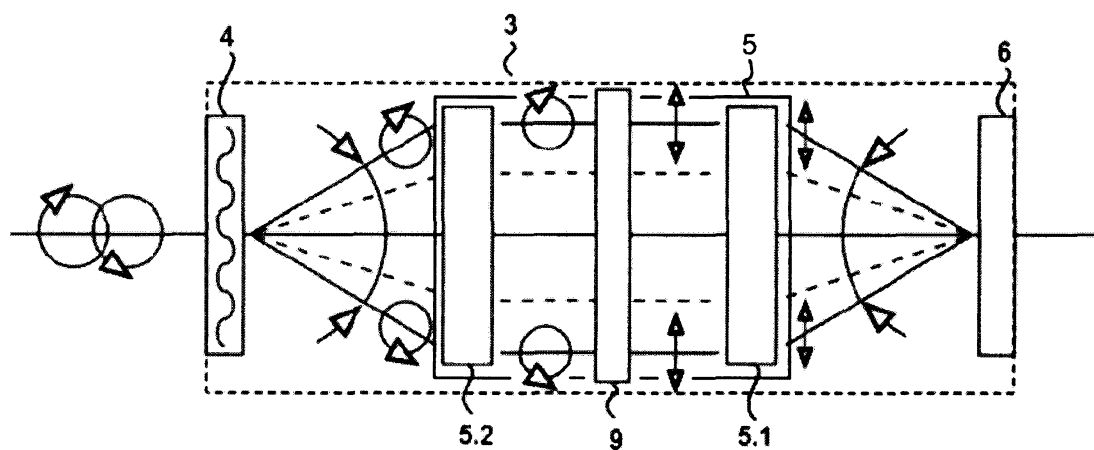
3 výkresy

15 Seznam vztahových značek:

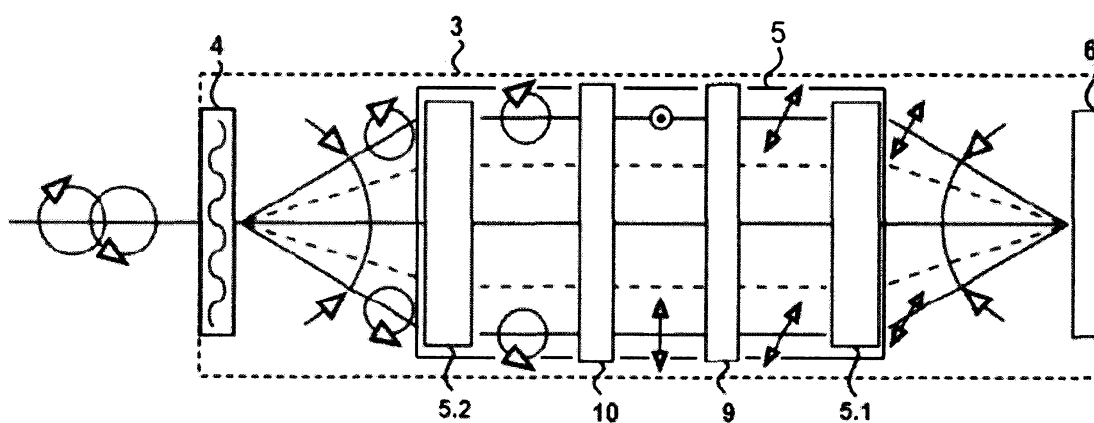
- 1 ... zdroj záření
- 2 ... interferometr
- 20 2.1 ... zobrazovací signální větev
- 2.2 ... zobrazovací referenční větev
- 2.3 ... obrazová rovina
- 3 ... zobrazovací modul
- 4 ... první polarizačně citlivý dělič
- 5 ... první optická soustava modulu
- 25 5.1 ... první zobrazovací soustava
- 5.2 ... druhá zobrazovací soustava
- 6 ... detektor
- 7 ... druhá optická soustava modulu
- 8 ... druhý polarizačně citlivý dělič
- 30 9 ... lineární polarizátor
- 10 ... čtvrtvlnná destička
- 11 ... vstupní čtvrtvlnná destička



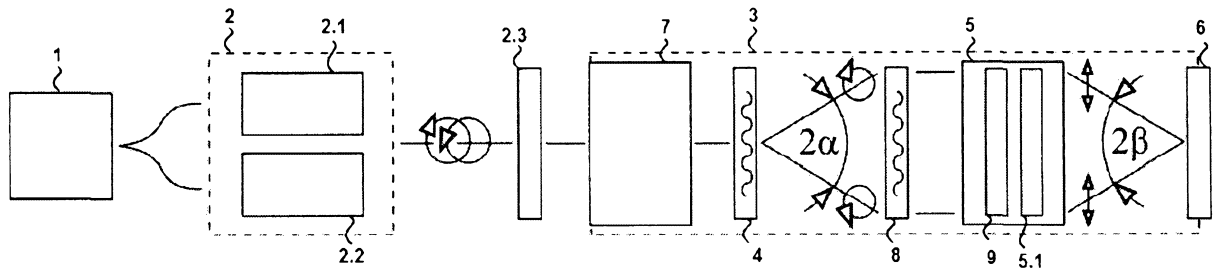
Obrázek 1



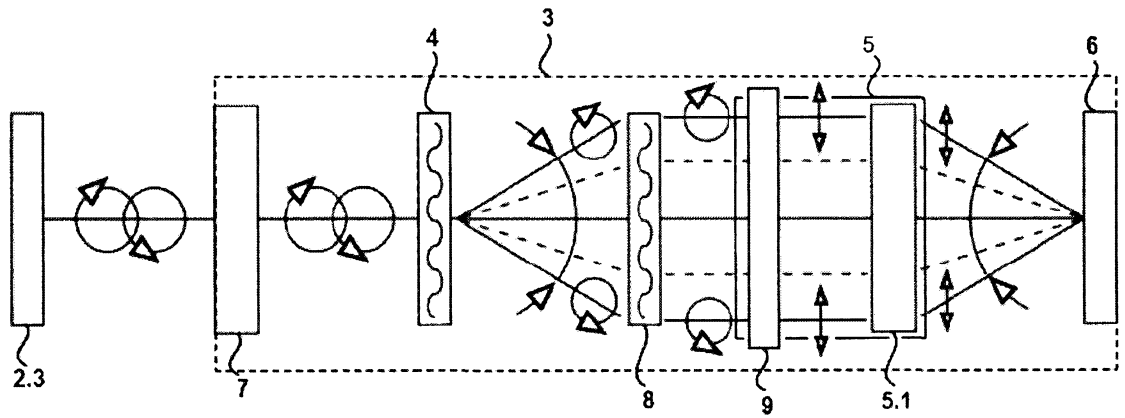
Obrázek 2



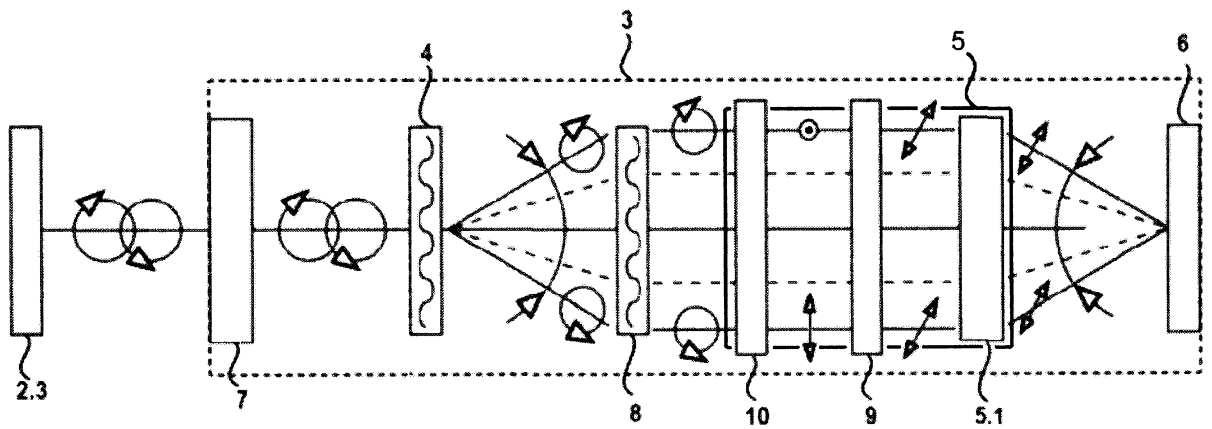
Obrázek 3



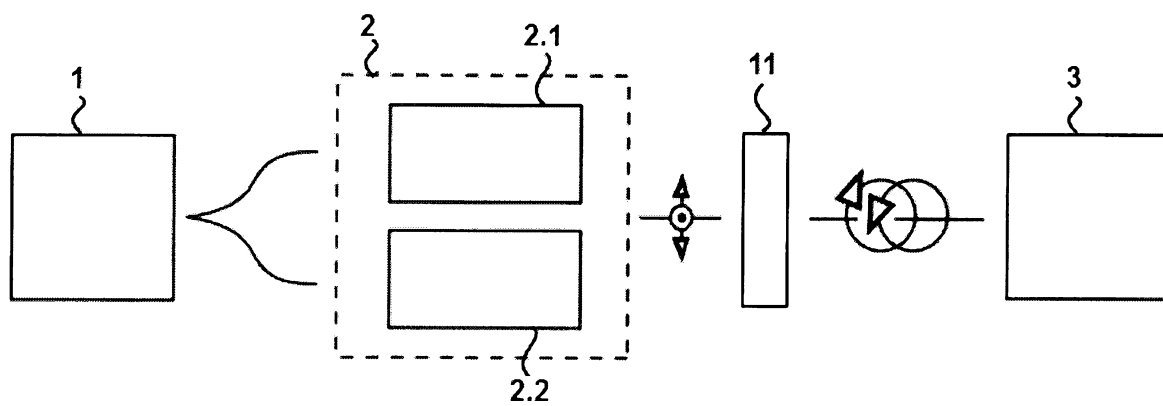
Obrázek 4



Obrázek 5



Obrázek 6



Obrázek 7

Konec dokumentu