

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

306 643

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G02B 11/20 (2006.01)

G02B 9/34 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2016-41**
(22) Přihlášeno: **28.01.2016**
(40) Zveřejněno: **12.04.2017**
(Věstník č. 15/2017)
(47) Uděleno: **01.03.2017**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **12.04.2017**
(Věstník č. 15/2017)

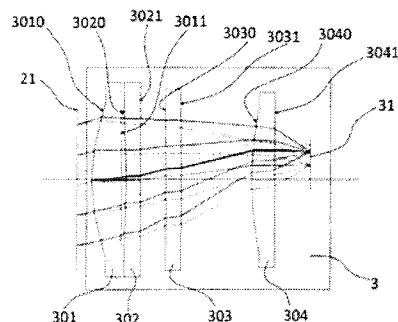
(56) Relevantní dokumenty:

US 2009237657 A1; CN 20131254049; CN 202204981U U; CN 102354044 A.

(73) Majitel patentu:
Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i., Praha -
Libeň, CZ

(72) Původce:
Ing. Jan Václavík, Liberec, CZ
RNDr. Pavel Pintr, Ph.D., Žatec, CZ
Jan Pleštil, Dis., Turnov, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář,
Zábrdovická 11, 615 00 Brno



(54) Název vynálezu:

**Fokusační objektiv systému pro
hyperspektrální zobrazení**

(57) Anotace:

Fokusační objektiv systému pro hyperspektrální zobrazení, který obsahuje soustavu optických elementů uspořádaných v optické ose a dále obsahuje snímací detektor (31) uspořádaný za posledním optickým elementem. Objektiv obsahuje 4 rotačně symetrické asférické optické čočky (301 až 304) oddělené od sebe vzduchovou mezerou, přičemž první optická čočka (301) je ze ZnSe a další optické čočky (302 až 304) jsou vyrobeny z germania. Na první optické čočce (301) jsou situovány první a druhá optická plocha (3010, 3011), na druhé optické čočce (302) jsou situovány třetí a čtvrtá optická plocha (3020, 3021), na třetí optické čočce (303) jsou situovány pátá a šestá optická plocha (3030, 3031) a na čtvrté optické čočce (304) jsou situovány sedmá a osmá optická plocha (3040, 3041). První, šestá a sedmá optická plocha (3010, 3031 a 3040) jsou plochy konvexní, druhá, čtvrtá, pátá a osmá optická plocha (3011, 3021, 3030 a 3041) jsou plochy planární a třetí optická plocha (3020) je plochou konkávní.

CZ 306643 B6

Fokusační objektiv systému pro hyperspektrální zobrazení

Oblast techniky

5

Vynález se týká fokusačního objektivu systému pro hyperspektrální zobrazení, který obsahuje soustavu optických elementů uspořádaných v optické ose a dále obsahuje snímací detektor uspořádaný za posledním optickým elementem.

10

Dosavadní stav techniky

15

Systémy pro hyperspektrální zobrazení se používají pro zobrazení záření v IR oblasti, přičemž aby bylo možné použít IR detektory s malými snímacími čipy, musí systém obsahovat vhodný fokusační objektiv.

20

25

Známé fokusační objektivy systémů pro hyperspektrální zobrazení jsou atermalizované, takže jejich zobrazovací vlastnosti odolávají teplotním změnám. Tyto známé fokusační objektivy využívají jako materiál optických prvků kombinaci chalkogenních skel a germania, popřípadě materiálu ZnSe, přičemž ve většině případů se jedná o 3 až 5 čočkové systémy s kompaktními asférickými elementy. Známé fokusační objektivy mají obecně velké apertury $NA > 0,5$ a jsou schopny pracovat v rozsahu vlnových délek 8 až 12 μm . Tyto objektivy mají pevnou ohniskovou vzdálenost, a proto jsou vhodné pro nechlazené bolometrické snímače. Systémy zobrazující nekonečnou předmětovou rovinu do obrazové konečné vzdálenosti, a ve většině případů vykreslují rovná pole v ohniskové rovině daného objektivu. Optické soustavy za difrakční mřížkou jsou řešeny zalomením celé zbylé optické sestavy nebo použitím hranolu s velkým vrcholovým úhlem, díky čemuž musí být kompenzovány velké optické aberace.

30

35

Nevýhodou stávajících fokusačních objektivů je, že v konstrukci s difrakční mřížkou je zalomený chod paprsků optickou soustavou s velkými zobrazovacími aberacemi, které musí dané fokusační objektivy kompenzovat při zobrazení na čip detektoru. Další nevýhodou většiny fokusačních objektivů je zobrazení nekonečné předmětové roviny do konečného obrazového prostoru. To způsobuje velké problémy při konstrukci fokusačních objektivů, které usměrňují světlo za difrakční mřížkou, která leží v konečné předmětové rovině fokusačního objektivu.

Cílem vynálezu je odstranit nebo alespoň zmírnit nevýhody dosavadního stavu techniky.

Podstata vynálezu

40

45

Cíle vynálezu je dosaženo fokusačním objektivem systému pro hyperspektrální zobrazení, jehož podstata spočívá v tom, že obsahuje 4 rotačně symetrické asférické optické čočky oddělené od sebe vzduchovou mezerou, přičemž první optická čočka je ze ZnSe a další optické čočky jsou vyrobeny z germania, na první optické čočce jsou situovány první a druhá optická plocha, na druhé optické čočce jsou situovány třetí a čtvrtá optická plocha, na třetí optické čočce jsou situovány pátá a šestá optická plocha a na čtvrté optické čočce jsou situovány sedmá a osmá optická plocha, přičemž první, šestá a sedmá optická plocha jsou plochy konvexní, druhá, čtvrtá, pátá a osmá optická plocha jsou plochy planární a třetí optická plocha je plochou konkávní.

50

55

Takto navržený fokusační objektiv umožňuje zlepšené využití pro hyperspektrální snímání širokého pole v infračervené oblasti. Využití takového uspořádání umožňuje snadnou konstrukci a justaci a nižší cenové nároky na celkovou výrobu tohoto objektivu. Přesný tvar a pozice optických prvků včetně kombinace vhodných materiálů umožňuje účinnou korekci optických vad zobrazení a vytváří telecentrický chod osového paprsku na čip detektoru. Toto řešení umožňuje zobrazovat co největší zorné pole na malé snímací čipy detektorů v infračervené oblasti a mimo-

osé zobrazování řeší pomocí rotačně symetrických optických prvků. Malý úhel dopadajícího paprsku na čip detektoru snižuje odraz světla od detektoru a zvyšuje efektivitu daného zobrazení.

5 Objasnění výkresu

Vynález je schematicky znázorněn na výkrese, kde ukazuje obr. 1 příklad uskutečnění přístroje pro hyperspektrální zobrazení a obr. 2 detail uspořádání fokusačního objektivu podle vynálezu.

10

Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález bude popsán na příkladu uskutečnění přístroje pro hyperspektrální zobrazení, který je tvořen ze tří nezávislých elementů, a to z hlavního tříčočkového objektivu 1, za kterým je uspořádán kolimační objektiv 2 se štěrbinou 20 a difrakční mřížkou 21, za kterou je uspořádán zobrazující člen 3 s fokusačním objektivem 30 podle tohoto vynálezu a snímacím detektorem 31. Příkladně má transmisní difrakční mřížka 32 vrypů/mm a vytváří v rozsahu vlnových délek 8 až 12 μm stopu o velikosti 7,00 mm.

20 V konkrétním příkladu provedení je průměr hlavního tříčočkového objektivu 1 roven 70 mm a jeho ohnisková vzdálenost je 150 mm. V ohniskové ploše hlavního tříčočkového objektivu 1 se nachází štěrbina 20 kolimačního objektivu 2, která je tímto kolimačním objektivem 2 zobrazována do nekonečna. Kolimační objektiv 2 vytváří paralelní svazek paprsků, který dále dopadá na difrakční mřížku 21. Vzhledem k malému rozdílu hodnot indexů lomu použitelných materiálů

25 v pracovním oboru IR záření 7 až 14 μm je preferována difrakční mřížka 21 namísto hranolu známého ze stavu techniky. Spektrum IR záření se z difrakční mřížky 21 přes fokusační objektiv 30 zobrazujícího členu 3 zobrazuje na snímací detektor 31, např. na CCD čip. Před celou touto soustavou je umístěno naklápěcí rovinné zrcadlo 4, které svým naklápěním umožňuje skenování obrazu vstupujícího do systému vstupem 5.

30

Samotný fokusační objektiv 30 obsahuje 4 rotačně symetrické asférické optické elementy (čočky) 301 až 304 oddělené od sebe vzduchovou mezerou. Celkem objektiv 30 obsahuje 8 optických ploch, kdy na každé čočce 301 až 304 jsou vytvořeny dvě optické plochy.

35 První optická čočka 301, která je plankonvexní čočkou, je z materiálu ZnSe, další optické čočky 302 až 304 jsou vyrobeny z germania (Ge). Všechny optické čočky 301 až 304 jsou umístěny souose, tj. že jejich středy poloměrů R1 až R8 křivosti ploch leží na společné optické ose. Na první optické čočce 301 jsou ve směru postupu IR záření od vstupu 5 na snímací detektor 31 situovány první a druhá optická plocha 3010, 3011. Na druhé optické čočce 302 jsou situovány

40 třetí a čtvrtá optická plocha 3020, 3021. Na třetí optické čočce 303 jsou situovány pátá a šestá optická plocha 3030, 3031 a na čtvrté optické čočce 304 jsou situovány sedmá a osmá optická plocha 3040, 3041.

45 První optická plocha 3010 je plochou konvexní s poloměrem křivosti R1 = 53,097 mm, za kterou je ve vzdálenosti 9 mm od středu první optické plochy 3010 (tj. v optické ose) situována druhá optická plocha 3011, která je plochou planární o poloměru křivosti R2 = ∞ . První a druhá optická plocha 3010 a 3011 tvoří rozhraní vzduch – ZnSe, resp. ZnSe – vzduch.

50 Třetí optická plocha 3020 je plochou konkávní s poloměrem křivosti R3 = -214,077 mm a je umístěna ve vzdálenosti 1,488 mm od středu druhé optické plochy 3011 (tj. v optické ose). Mezi druhou optickou plochou 3011 a třetí optickou plochou 3020 je vzduchová mezera. Ve vzdálenosti 4.5 mm od středu třetí optické plochy 3020 (tj. v optické ose) se nachází střed čtvrté optické plochy 3021, která je plochou planární o poloměru křivosti R4 = ∞ . Třetí a čtvrtá optická plocha 3020 a 3021 tvoří rozhraní vzduch – germanium, resp. germanium – vzduch.

5 Ve vzdálenosti 7,702 mm od středu čtvrté optické plochy 3021 je v optické ose střed páté optické plochy 3030, která plochou planární s poloměrem křivosti $R5 = \infty$. Mezi čtvrtou a pátou optickou plochou 3021 a 3030 je vzduchová mezera. Ve vzdálenosti 5 mm od středu páté optické plochy 3030 je v optické ose situován střed šesté optické plochy 3031, která je plochou konvexní s poloměrem křivosti $R6 = -367,156$ mm. Pátá a šestá optická plocha 3030 a 3031 tvoří rozhraní vzduch – germanium, resp. germanium – vzduch.

10 Ve vzdálenosti 21,728 mm od středu šesté optické plochy 3031 je v optické ose situován střed sedmé optické plochy 3040, která je plochou konvexní s poloměrem křivosti $R7 = 106,103$ mm. Mezi šestou a sedmou optickou plochou 3031 a 3040 je vzduchová mezera. Ve vzdálenosti 7 mm od středu sedmé optické plochy 3040 je v optické ose situován střed osmé optické plochy 3041, která je plochou planární o poloměru křivosti $R8 = \infty$. Sedmá a osmá optická plocha 3040 a 3041 opět tvoří rozhraní vzduch – germanium, resp. germanium – vzduch.

15 Za osmou optickou plochou ve vzdálenosti 10,83 mm od středu osmé optické plochy 3041 uspořádán snímací detektor 31, např. CCD snímač. Mezi osmou optickou plochou 3041 a snímacím detektorem 31 je vzduchová mezera.

V konkrétním provedení jsou parametry jednotlivých optických čoček 301 až 304 následující:

- 20
- $R1 = 53,097$ mm; tl. = 9 mm; mat. ZnSe
 - Asférické koeficienty:

Asférické koeficienty				
r^4	r^6	r^8	r^{10}	r^{12}
2,289e-6	7,026e-10	8,361e-12	-3,344e-15	0

- 25
- $R2 = \infty$
 - vzduch; tl. = 1,488 mm
 - $R3 = -214,077$ mm; tl. = 4,5 mm; mat. Ge

Asférické koeficienty				
r^4	r^6	r^8	r^{10}	r^{12}
-1,903e-6	-2,605e-10	-2,674e-12	1,852e-15	-1,056e-19

- 30
- $R4 = \infty$
 - vzduch; tl. = 7,702 mm
 - $R5 = \infty$
 - $R6 = -367,156$ mm; tl. = 5 mm; mat. Ge

Asférické koeficienty				
r^4	r^6	r^8	r^{10}	r^{12}
-2,005e-6	9,112e-10	-3,783e-12	8,907e-15	-6,019e-18

- 35
- vzduch; tl. = 21,728 mm
 - $R7 = 106,103$ mm; tl. = 7 mm; mat. Ge

Asférické koeficienty				
r^4	r^6	r^8	r^{10}	r^{12}
-1,699e-7	7,243e-10	3,277e-12	0	-3,889e-19

- $R8 = \infty$
- vzduch; tl. = 10,83 mm

Objektiv podle vynálezu tedy spočívá v kombinaci 4 optických rotačně symetrických prvků s přesně definovaným tvarem optických ploch a přesně definovanou vzdáleností optických ploch vůči sobě, což umožňuje dosáhnout nejlepšího zobrazení na malý čip detektoru, kdy se velmi široké zorné pole (cca 20 stupňů) účinně fokusuje na malý čip detektoru o velikosti strany minimálně 13,366 mm a větší. Objektiv je ve své podstatě mechanicky sousoou optickou soustavou s mimoosovým zobrazením s pomocí hranolu o malém vrcholovém úhlu, čímž tato soustava minimalizuje optické aberace, které vznikají klasickým řešením s použitím hranolu s velkým vrcholovým úhlem nebo zalomením soustavy. Ohnisková vzdálenost 35,609 mm společně s vysokou světelnou účinností $F/0,95$ zajišťují tomuto objektivu vysokou koncentraci energie na povrch detektoru. Použití kombinace optických elementů s jednou funkční plochou rovinnou (planární) umožňuje optimalizovanou výrobu pomocí SPDT. Využití kombinace materiálů Ge a ZnSe umožňuje malou velikost zobrazeného spotu a atermální vlastnosti objektivu v rozsahu teplot 15 až 32 °C bez nutnosti přestřeny obrazu. Konstrukce objektivu zajišťuje malý úhel dopadajícího paprsku na čip detektoru, což snižuje odraz světla od detektoru a zvyšuje účinnou efektivitu daného zobrazení. Vzdálenost mezi poslední funkční optickou plochou a detektorem, která je v každém místě rovná nebo je větší než 10,8 mm, umožňuje instalaci závěrek a kalibračních praporků s větší tloušťkou před detektor. Objektiv zobrazuje předmět z konečné vzdálenosti přes transmisní difrakční mřížku, která je v pozici mezi předmětovým prostorem a vstupní čočkou objektivu. Pro každou vlnovou délku a pozici v objektové rovině v rozsahu -10 až +10 mm od osy objektivu vytváří objektiv stopu o průměr menší než 30 μm , kdy je více než 70 % dopadající energie soustředěno uvnitř kruhu o poloměru 30 μm .

Průmyslová využitelnost

Vynález je využitelný pro detekci IR záření i na velké vzdálenosti, např. pro použití u hasičů při detekci ohnisek požáru nebo v jiných oblastech lidské činnosti k detekci IR záření.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Fokusační objektiv systému pro hyperspektrální zobrazení, který obsahuje soustavu optických elementů uspořádaných v optické ose a dále obsahuje snímací detektor uspořádaný za posledním optickým elementem, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že obsahuje 4 rotačně symetrické asférické optické čočky (301 až 304) oddělené od sebe vzduchovou mezerou, přičemž první optická čočka (301) je ze ZnSe a další optické čočky (302 až 304) jsou vyrobeny z germania, na první optické čočce (301) jsou situovány první a druhá optická plocha (3010, 3011), na druhé optické čočce (302) jsou situovány třetí a čtvrtá optická plocha (3020, 3021), na třetí optické čočce (303) jsou situovány pátá a šestá optická plocha (3030, 3031) a na čtvrté optické čočce (304) jsou situovány sedmá a osmá optická plocha (3040, 3041), přičemž první, šestá a sedmá optická plocha (3010, 3031 a 3040) jsou plochy konvexní, druhá, čtvrtá, pátá a osmá optická plocha (3011, 3021, 3030 a 3041) jsou plochy planární a třetí optická plocha (3020) je plochou konkávní.

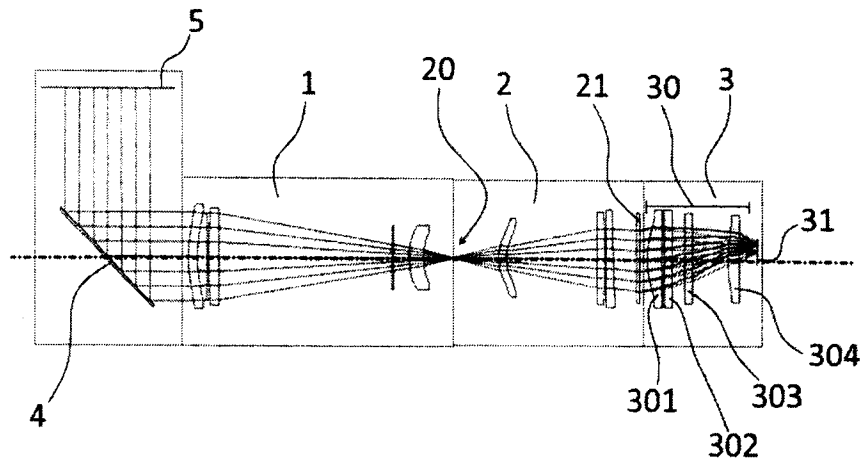
2. Fokusační objektiv podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že první optická plocha (3010) má poloměr křivosti $R1 = 53,097$ mm a je za ní ve vzdálenosti 9 mm od středu první optické plochy (3010) situována druhá optická plocha (3011), přičemž třetí optická plocha (3020) má poloměr křivosti $R3 = -214,077$ mm a je umístěna ve vzdálenosti 1,488 mm od středu druhé

optické plochy (3011), ve vzdálenosti 4,5 mm od středu třetí optické plochy (3020) je situován střed čtvrté optické plochy (3021), ve vzdálenosti 7,702 mm od středu čtvrté optické plochy (3021) je v optické ose situován střed páté optické plochy (3030), ve vzdálenosti 5 mm od středu páté optické plochy (3030) je v optické ose situován střed šesté optické plochy (3031) s poloměrem křivosti $R_6 = -367,156$ mm, ve vzdálenosti 21,728 mm od středu šesté optické plochy (3031) je v optické ose situován střed sedmé optické plochy (3040) s poloměrem křivosti $R_7 = 106,103$ mm a ve vzdálenosti 7 mm od středu sedmé optické plochy (3040) je v optické ose situován střed osmé optické plochy (3041), za kterou je ve vzdálenosti 10,83 mm od středu osmé optické plochy (3041) uspořádán snímací detektor (31).

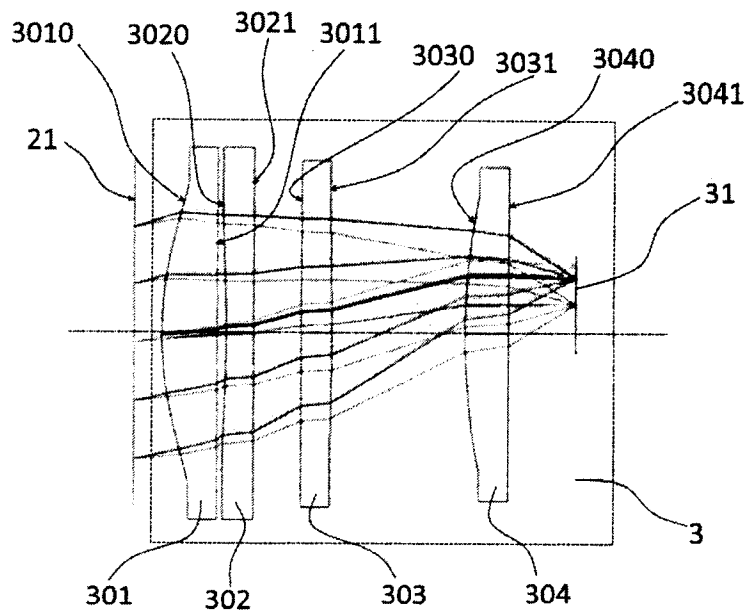
10

1 výkres

15



Obr. 1



Obr. 2

Konec dokumentu