

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2018-346

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

G01J 3/36 (2006.01)
G01J 3/04 (2006.01)
G01J 3/18 (2006.01)
G01J 3/44 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

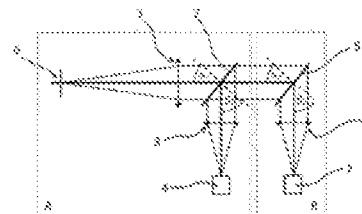
(22) Přihlášeno: **11.07.2018**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **16.10.2019**
(Věstník č. 42/2019)

(71) Přihlašovatel:
Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, CZ
Meopta - optika, s.r.o., Přerov, Přerov I-Město, CZ
Zebr s.r.o., Milovice, CZ

(72) Původce:
RNDr. Josef Kapitán, Ph.D., Šternberk, CZ
Ing. Daniel Vacula, Břest, CZ
RNDr. Antonín Pochylý, Přerov, Přerov I-Město, CZ
Mgr. Jiří Kyvalský, Přerov, Přerov I-Město, CZ
František Zelinka, Milovice, CZ
Jan Vlček, Břeží, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing.
Dobroslav Musil, Zábrdovická 801/11, 615 00
Brno, Zábrdovice



(54) Název přihlášky vynálezu:
**Zobrazovací spektrograf využívající nultý
spektrální řád difrakční mřížky**

(57) Anotace:
Zobrazovací spektrograf využívající nultý spektrální řád difrakční mřížky (2) a obsahující vstupní aperturu (0), za kterou je ve směru chodu záření uspořádána kolimační optická soustava (1), za kterou je ve směru chodu záření uspořádána primární difrakční mřížka (2), které je přiřazena primární fokusační optická soustava (3), za kterou je uspořádán primární detektor (4) záření. Ve směru chodu záření prošlého primární difrakční mřížkou (2) v nultém řádu a/nebo odraženého od primární difrakční mřížky (2) v nultém řádu a směřovaného mimo primární fokusační optickou soustavu (3) je uspořádána sekundární difrakční mřížka (5), které je přiřazena sekundární fokusační optická soustava (6), za kterou je uspořádán sekundární detektor (7) záření.

Zobrazovací spektrograf využívající nultý spektrální řád difrakční mřížky

Oblast vynálezu

Vynález se týká zobrazovacího spektrografu využívajícího nultý spektrální řád difrakční mřížky a obsahujícího vstupní aperturu, za kterou je ve směru chodu záření uspořádána kolimační optická soustava, za kterou je ve směru chodu záření uspořádána primární difrakční mřížka, které je přiřazena primární fokusační optická soustava, za kterou je uspořádán primární detektor záření.

Dosavadní stav techniky

V současné době se pro detekci dopadajícího elektromagnetického záření rozlišeného podle vlnových délek využívají zejména spektrografy obsahující základní optické prvky, jimiž jsou: apertura pro vstupující polychromatický, obvykle divergentní, svazek záření - např. štěrbina. Dále kolimační prvek, který převádí divergentní optický svazek vycházející ze vstupní apertury na svazek kolimovaný – rovnoběžný. Dále disperzní prvek, obecně element způsobující refrakční disperzi (rozklad lomem) nebo difrakční disperzi (rozklad ohybem) polychromatického svazku na svazky monochromatické dle vlnové délky. Dále známé spektrografy obsahují fokusační prvek, který vytváří obraz vstupní apertury - obvykle štěrby v určité fokální rovině v místě výstupní apertury, obvykle na plošném mnohakanálovém detektoru záření, tak, že záření velkého množství vlnových délek je zaznamenáváno současně. Disperzním prvkem bývá nejčastěji difrakční mřížka nebo disperzní hranol.

Při návrhu optické sestavy spektrografu je základním cílem dosáhnout co nejvyšší hodnoty toku záření dopadajícího na detektor, s ohledem na splnění dalších parametrů kladených na systém, jako je spektrální rozlišení a zaznamenávaný spektrální rozsah. Je možné prokázat, že tok záření je úměrný étendue optické soustavy spektrografu, který je určen např. jako součin normálové plochy svazku dopadajícího na kolimační prvek S a prostorového úhlu Ω , pod kterým je viděna vstupní apertura, např. štěrbina z této normálové plochy, (étendue se pro jednotlivé prvky dobře navrženého optického systému zachovává), propustnosti (transmitance) optického systému spektrografu τ a spektrální záře zkoumaného zdroje záření B_λ . Při zvyšování účinnosti (toku záření dopadajícího na detektor) je tedy možné postupovat dvěma způsoby. Je možné buď zvyšovat étendue spektrografu, např. použitím optických sestav o vyšší světelnosti (numerické apertuře) nebo je možné zvyšovat propustnost (transmitanci) optického systému, např. použitím optických materiálů s vyšší propustností, účinnějšími reflexními nebo antireflexními plochami, difrakční mřížkou s vyšší účinností apod. Spektrografy dosahující nejvyššího étendue, které jsou v současné době dostupné, jsou založeny na použití čočkových objektivů sloužících pro kolimaci i fokusaci optického svazku, a to především z důvodu lepší korekce optických vad, a tedy i vyšší světelnosti, než je tomu u zrcadlových systémů. Ve viditelné a blízké infračervené spektrální oblasti dosahují tyto systémy světelnosti $f/1.8$ až $f/1.4$. Pro vytvoření vysoce světelného spektrografu je také možné použít vysoce účinné transmisní difrakční mřížky a čočkové objektivy. Při praktické realizaci však nemusí zvyšování étendue přinést samo o sobě zvýšení toku záření dopadajícího na detektor, není-li toto étendue efektivně využito (vyplněno) zdrojem záření. Z hlediska propustnosti (transmitance) optického systému je pak často limitujícím prvkem difrakční mřížka, kdy pouze část záření je difragována do požadovaného difrakčního řádu.

Z US 20130169959 A1 je znám systém pro zvýšení sběru světla ve spektrometru zahrnující detektor a procesor. Detektor detekuje světlo z nultého řádu z difrakčního prvku spektrometru a měří intenzitu světla z tohoto nultého řádu. Procesor nepřetržitě přijímá výsledky měření intenzity záření z detektoru a automaticky nastavuje parametry spektrometru, dokud se detektor nepřijme měření maximální intenzity. Automaticky nastavovaný parametr spektrometru může zahrnovat optickou dráhu mezi vstupem spektrometru a vzorkem, čas expozice spektrometru

nebo intenzitu světelného zdroje pro spektrometr. Optická dráha mezi otvorem spektrometru a vzorkem může být nastavena pohybem objektivu spektrometru vzhledem k vzorku nebo pohybem vzorku vzhledem k spektrometru.

- 5 Z CN 102812340 A je znám mikrospektrometr schopný přijímat spektrální složku nultého řádu a spektrální složku prvního řádu, který obsahuje vstupní část pro příjem optických signálů, difrakční mřížku a snímač světla. Difrakční mřížka má zaostřovací zakřivenou plochu a difrakční vzor na této ploše vytvořený. Difrakční mřížka přijímá optické signály a rozděluje je na řadu spektrálních složek, včetně spektrální složky nultého řádu a spektrální složky prvního řádu.
- 10 Snímač světla má první snímací část a druhou snímací část a přijímá oddělené a difrakční mřížkou zaostřené spektrální složky. První snímací část přijímá spektrální složku nultého řádu a druhá snímací část přijímá spektrální složku prvního řádu.

- 15 Z US 4351611 je znám optický systém pro detekci částic, v němž je využita difrakční mřížka, přičemž záření z nultého řádu je využito pro zobrazení detekční zóny.

- US 2017/0242259 popisuje systém generující pole svazků využívané v metrologii. Zde jsou sice použity dvě nebo více difrakční mřížky v optické dráze za sebou, ale u všech difrakčních mřížek se využívá nenulových difrakčních řádů a nedochází tak ke zvýšení účinnosti a/nebo rozšíření spektrálního rozsahu spektrálního analyzátoru. US 2017/0242259 navíc není určen pro spektrální analýzu záření, ale pro generaci vícesvazkových polí.
- 20

- V žádném z uvedených vynálezů není využito záření z nultého řádu difrakční mřížky pro další spektrální analýzu, ale pouze pro detekci celkové intenzity nebo optické zobrazení vstupní apertury (zóny).
- 25

- Cílem vynálezu je zlepšení účinnosti detekce spektra záření nebo rozšíření spektrálního rozsahu při zachování vstupního étendue optického systému a zachování spektrálního rozlišení. Vynález umožňuje použití spektrografu i pro mnohokanálové detektory a umožňuje přeladitelnost spektrografu, tedy změnu rozsahu vlnových délek, pouhým pootočením difrakční mřížky a malou změnou polohy a orientace detektoru (zaostřením do fokusační roviny).
- 30

Podstata vynálezu

- 35 Cíle vynálezu je dosaženo zobrazovacím spektrografem využívajícím nultý spektrální řád difrakční mřížky, jehož podstata spočívá v tom, že ve směru chodu záření prošlého primární difrakční mřížkou v nultém řádu a/nebo odraženého od primární difrakční mřížky v nultém řádu a směřovaného mimo primární fokusační optickou soustavu je uspořádána sekundární difrakční mřížka, které je přiřazena sekundární fokusační optická soustava, za kterou je uspořádán sekundární detektor záření.
- 40

- Spektrograf podle vynálezu dosahuje vyšší účinnosti detekce spektra záření při zachování vstupní étendue optického systému, a to buď zvýšením citlivosti detekce nebo rozšířením zaznamenávaného spektrálního rozsahu. Spektrograf je použitelný pro mnohokanálové detektory, umožňuje přeladění, tedy změnu rozsahu vlnových délek, pouhým otočením difrakční mřížky a malou změnou polohy a orientace detektoru, tj. zaostřením do fokusační roviny.
- 45

Objasnění výkresů

- 50 Vynález je znázorněn na výkrese, kde ukazuje obr. 1 současně používanou konstrukci spektrografu, která je výchozím stavem pro spektrograf podle tohoto vynálezu, obr. 2 první příklad provedení spektrografu podle tohoto vynálezu, obr. 2a řešení podle obr. 2 doplněné o

polarizační optiku mezi primárním a sekundárním blokem, a obr. 3 druhý příklad provedení spektrografu podle tohoto vynálezu.

5 Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález bude popsán na příkladech uskutečnění zobrazovacího spektrografu s vysokým rozlišením využívajícího difrakce záření do nultého a prvního řádu, s difrakční mřížkou 2 a detektorem 4 záření.

10

Spektrograf obsahuje vstupní primární blok A, na který navazuje sekundární blok B. Primární blok A obsahuje na vstupu záření z analyzovaného neznázorněného zdroje záření aperturu 0 (šterbinu), za kterou jsou ve směru chodu záření situovány kolimační optická soustava 1 a primární difrakční mřížka 2, na kterou dopadá analyzované záření pod úhlem α_1 , a za kterou je ve směru β_1 primární difrakce záření primární difrakční mřížkou 2 situována primární fokusační optická soustava 3, která fokusuje primární difragované záření na primární detektor 4 záření. Uspořádání primárního bloku A znázorněné na obr. 1 představuje spektrograf známý ze stavu techniky.

20 Jak je znázorněno na obr. 2, 2a a 3, je spektrograf podle tohoto vynálezu dále opatřen sekundárním blokem B, který na primární blok A navazuje ve směru záření prošlého primární difrakční mřížkou 2 a/nebo odraženého od primární difrakční mřížky 2 bez toho, že by bylo využito k detekci v primárním bloku A. Toto prošlé a/nebo odražené záření je v podstatě nevyužitou částí vstupního záření z analyzovaného zdroje záření.

25

Sekundární blok B obsahuje sekundární difrakční mřížku 5, na kterou dopadá analyzované záření pod úhlem α_2 , a za kterou je ve směru β_2 sekundární difrakce záření sekundární difrakční mřížkou 5 situována sekundární fokusační optická soustava 6, která fokusuje sekundární difragované záření na sekundární detektor 7 záření.

30

Sekundární blok B zaznamenává spektrum záření, které je buď stejné, nebo je odlišné od spektra záření, které zaznamenává primární blok A. Pokud sekundární blok B zaznamenává stejnou spektrální oblast, jakou zaznamenává primární blok A, dochází ke zvýšení účinnosti detekce celého spektrografu. Pokud sekundární blok B zaznamenává odlišnou spektrální oblast, než jakou zaznamenává primární blok A, dochází ke zvýšení spektrálního rozsahu spektrografu bez ztráty spektrálního rozlišení. Spektrograf podle vynálezu tedy efektivněji využívá analyzované záření, které je difragováno do nultého (nebo jiného) difrakčního řádu a nebylo by po průchodu primární difrakční mřížkou 2 a/nebo po odrazu od primární difrakční mřížky 2 nijak využito, k tomu že toto sekundární záření je dále v alespoň jednom dalším bloku difragováno další difrakční mřížkou (sekundární d.m. 5, terciální, atd.) a je takto dále difragované záření je fokusováno další optickou soustavou (sekundární 6, terciální, atd.) na další detektor (sekundární 7, terciální, atd.).

40

V provedení na obr. 2a je v cestě záření z primárního bloku A do sekundárního bloku B umístěna polarizační optická soustava 8 uzpůsobená pro úpravu polarizačního stavu záření k maximalizaci účinnosti difrakce na sekundární difrakční mřížce 5. Polarizační optická soustava 8 je v zásadě volitelnou součástí provedení podle obr. 2a, jak plyne z porovnání s provedením na obr. 2.

45

V provedení na obr. 3 je v cestě záření z primárního bloku A do sekundárního bloku B umístěn optický systém 9 uzpůsobený pro zobrazení roviny v prostoru primární difrakční mřížky 2 na rovinu v prostoru sekundární difrakční mřížky 5 nebo pro zobrazení výstupní pupily kolimačního objektivu 1 na vstupní pupilu fokusačního objektivu 6, čímž je minimalizována vinětace mimoosových svazků záření. Příkladem provedení takového optického systému 9 je 4-f optický systém obsahující dvojici fotografických objektivů zaostřených na nekonečno se společnou ohniskovou rovinou. V příkladu na obr. 3 je před optickým systémem 9 umístěna polarizační optická soustava 8 uzpůsobená pro úpravu polarizačního stavu záření k maximalizaci účinnosti difrakce na

55

sekundární difrakční mřížce 5. Polarizační optická soustava 8 je v zásadě volitelnou součástí provedení podle obr. 3.

V neznázorněném příkladu provedení je za sekundárním blokem B uspořádán alespoň jeden další blok obsahující další difrakční mřížku, na kterou dopadá analyzované záření pod stanoveným úhlem, a za kterou je ve stanoveném směru sekundární difrakce záření této další difrakční mřížky situován další fokusační objektiv, který fokusuje další difragované záření na další detektor záření, jak naznačují tečky 10 na obr. 3. Spektrograf je tak možné doplnit o alespoň jeden další blok nebo i další bloky obsahující další difrakční mřížky, další fokusační optické soustavy a další detektory, které využívají analyzované záření nevyužité předchozími bloky s předchozími difrakčními mřížkami, fokusačními optickými soustavami a detektory.

Je zřejmé, že kromě transmisních difrakčních mřížek a optických soustav v podobě čočkových objektivů je možné ve stavbě spektrografu podle tohoto vynálezu využít i zrcadlové objektivy a/nebo reflexní difrakční mřížky.

Konkrétním zařízením, ve kterém by mohl být tento vynález použit je např. optický systém využívající jako první difrakční prvek (reflexní) Echellovu mřížku (využívanou primárně ve vysokém difrakčním řádu), kdy podstatná část záření je difragována (odražena) do nultého difrakčního řádu a následně je využita následnými bloky podle vynálezu.

Průmyslová využitelnost

Vynález lze aplikovat v zobrazovacích spektrografech s vysokým rozlišením pro Ramanovu spektroskopii, v astronomii, v kosmickém výzkumu, v oblasti atomové fyziky a dalších. Spektrografy s aplikovaným vynálezem lze průmyslově vyrábět.

30

PATENTOVÉ NÁROKY

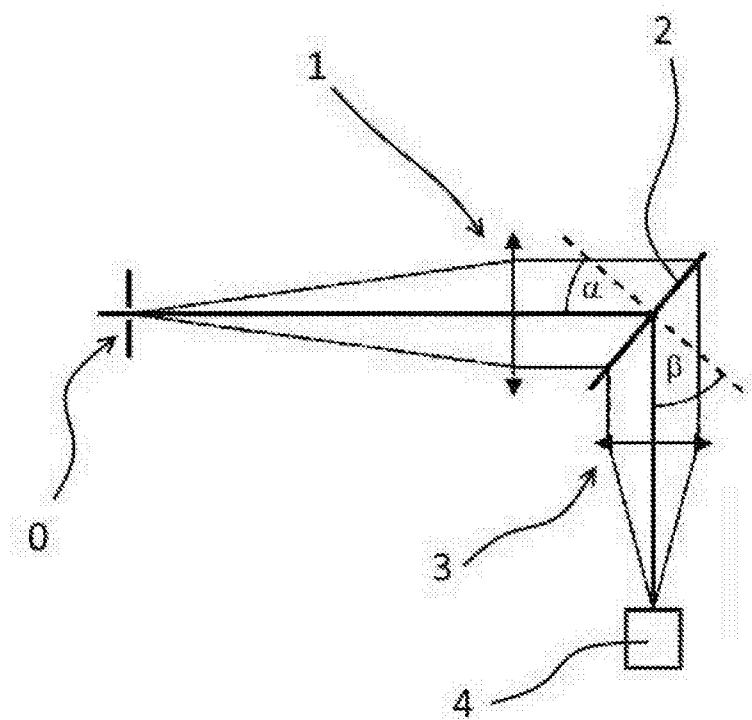
1. Zobrazovací spektrograf využívající nultý spektrální řád difrakční mřížky a obsahující vstupní aperturu (0), za kterou je ve směru chodu záření uspořádána kolimační optická soustava (1), za kterou je ve směru chodu záření uspořádána primární difrakční mřížka (2), které je přiřazena primární fokusační optická soustava (3), za kterou je uspořádán primární detektor (4) záření, **vyznačující se tím**, že ve směru chodu záření prošlého primární difrakční mřížkou (2) v nultém řádu a/nebo odraženého od primární difrakční mřížky (2) v nultém řádu a směřovaného mimo primární fokusační optickou soustavu (3) je uspořádána sekundární difrakční mřížka (5), které je přiřazena sekundární fokusační optická soustava (6), za kterou je uspořádán sekundární detektor (7) záření.

2. Zobrazovací spektrograf podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že ve směru chodu záření prošlého sekundární difrakční mřížkou (5) v nultém řádu a/nebo odraženého od sekundární difrakční mřížky (5) v nultém řádu a směřovaného mimo sekundární fokusační optickou soustavu (6) je uspořádána alespoň jedna další difrakční mřížka, které je přiřazena další fokusační optická soustava, za kterou je uspořádán další detektor záření.

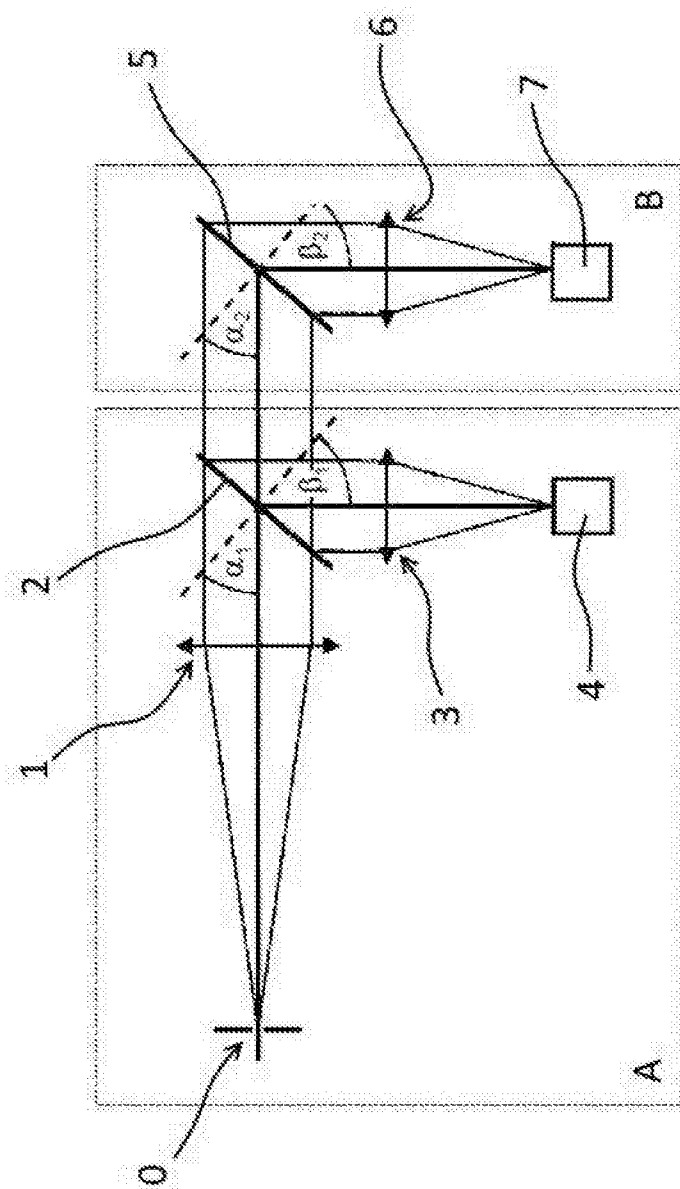
3. Zobrazovací spektrograf podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že před sekundární difrakční mřížkou (5) a každou další difrakční mřížkou je situována polarizační optická soustava (8) uzpůsobená pro úpravu polarizačního stavu záření k maximalizaci účinnosti následující difrakční mřížky (5).

4. Zobrazovací spektrograf podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že před sekundární difrakční mřížkou (5) a každou další difrakční mřížkou je situován optický systém (9) uzpůsobený pro zobrazení roviny v prostoru předcházející difrakční mřížky na rovinu v prostoru následující difrakční mřížky nebo pro zobrazení výstupní pupily kolimačního objektivu (1) na vstupní pupilu fokusačního objektivu (6).
- 5

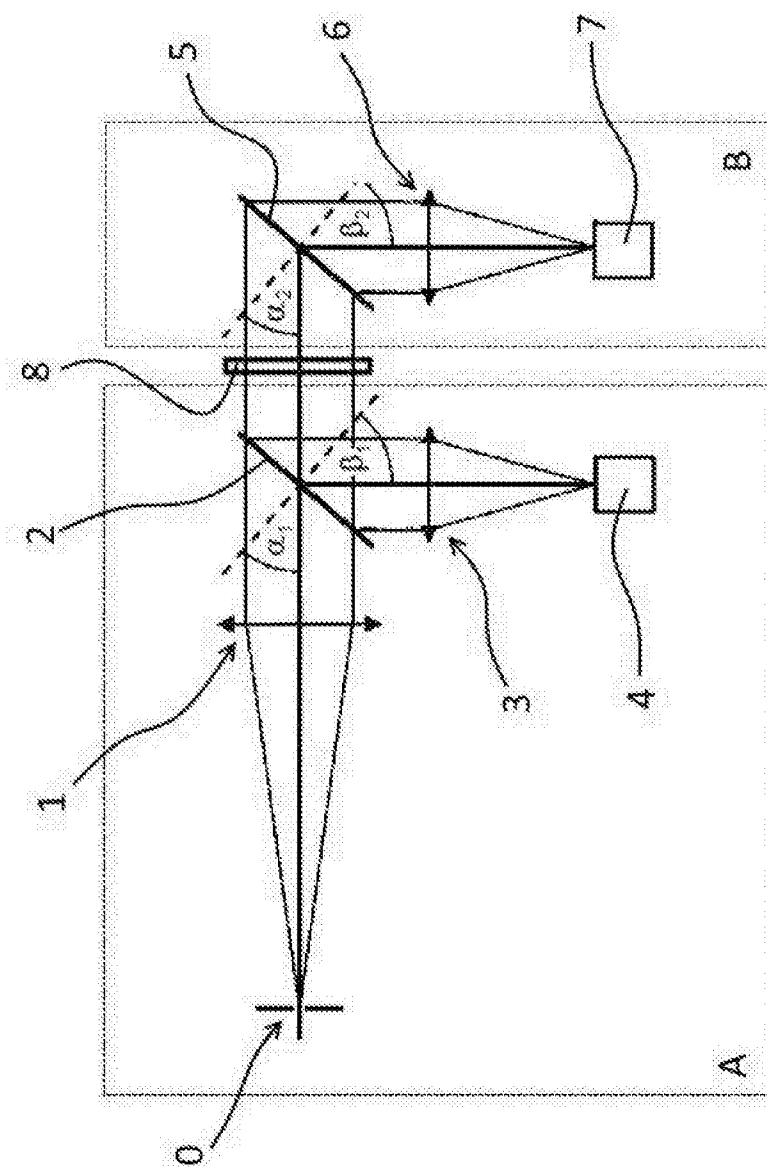
4 výkresy



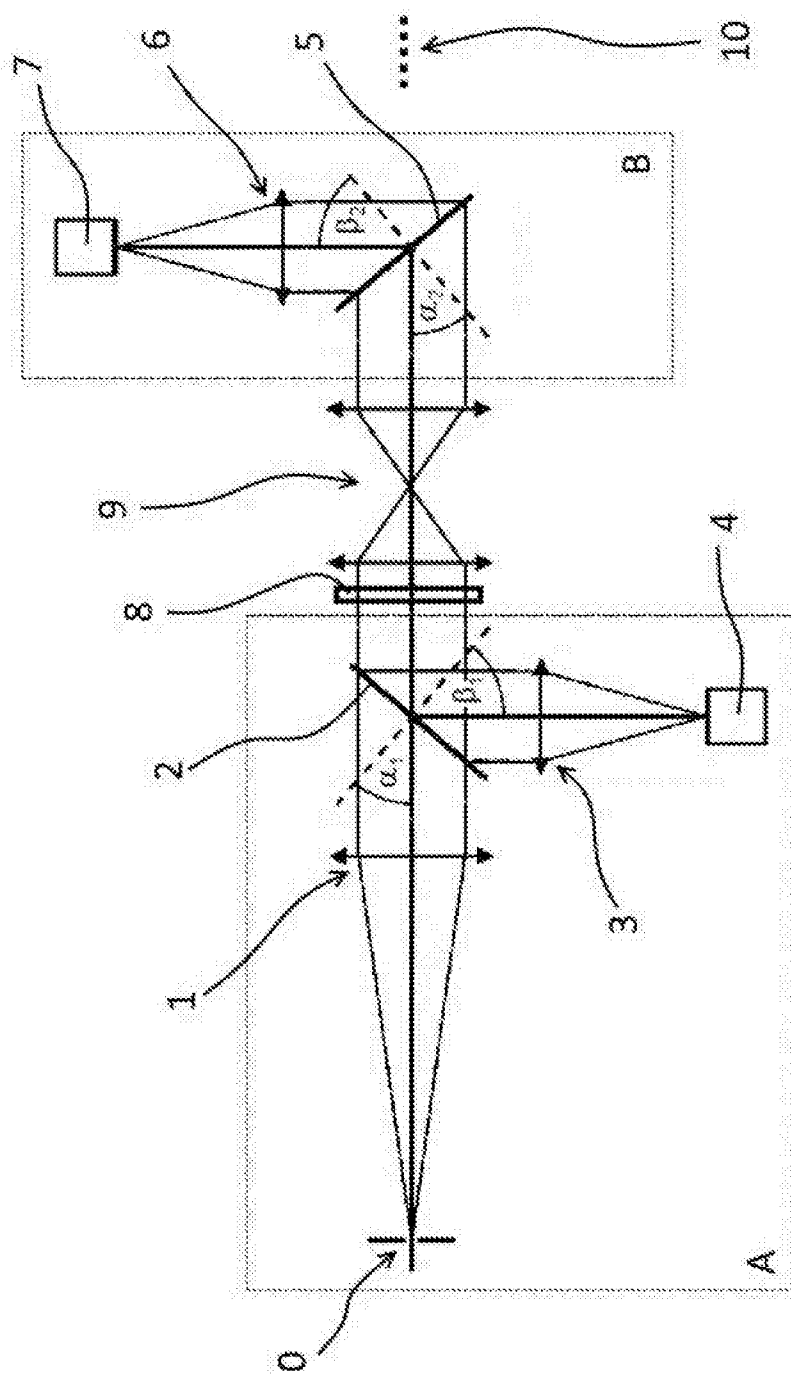
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 2a



Obr. 3