

Optická soustava zobrazovacího spektrografu s vysokým rozlišením pro Ramanovu spektroskopii v hluboké UV oblasti záření

Oblast vynálezu

Vynález se týká uspořádání optické soustavy vysoce světelného zobrazovacího spektrografu pro detekci spektra elektromagnetického záření, s vysokým rozlišením, určeného primárně pro Ramanovu spektroskopii v ultrafialové oblasti spektra, zejména pro identifikaci látek při určování jejich složení a struktury a při analýze povrchů či biologických systémů.

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 obsahují fokusační prvek, který vytváří obraz vstupní apertury - obvykle štěrbinu

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 u mnohakanálových detektorů bývá nejčastěji difrakční mřížka nebo disperzní hranol.

7

Poznámka k Ramanově spektroskopii: Ramanova spektroskopie využívá pro studium struktury molekul Ramanova rozptylu. Ramanův rozptyl je nepružný rozptyl optického záření na molekulách zkoumané látky, při kterém je frekvence rozptýleného záření posunuta vůči frekvenci dopadajícího záření o hodnotu, která odpovídá rotačnímu nebo vibračnímu přechodu v molekule. Molekula se může vyskytovat ve stavech, které mají energii nabývající pouze určitých přípustných hodnot - energetických hladin. Vibrační nebo rotační přechod je potom změna stavu molekuly vyznačující se skokovou změnou vibrační nebo rotační energetické hladiny molekuly. Vibrační energetická hladina je možná hodnota energie, kterou nabývá molekula při vibračním pohybu jejích atomů kolem rovnovážné polohy. Rotační energetická hladina je hodnota energie, kterou může nabývat molekula při rotačním pohybu kolem osy procházející jejím těžištěm. Tyto energetické hladiny jsou závislé na konkrétní atomární struktuře i jejich prostorovém uspořádání, tedy na druhu zkoumané látky.

10

13

20

Ramanova spektroskopie se zabývá měřením neelasticky rozptýleného záření (Ramanova rozptylu) na molekulách zkoumané látky. Rozptýlené záření má tedy jinou vlnovou délku než záření dopadající, vlivem interakcí záření s vibračními a v některých případech i rotačními stavy molekul. Takto rozptýlené

záření v sobě nese velké množství informace o charakteru a struktuře zkoumané látky. V ultrafialové oblasti spektra cca 205^{22'}270 nm je možné dosáhnout rezonančního zesílení Ramanova rozptylu biologicky zajímavých látek (proteinů, nukleových kyselin apod.) a získat tak další unikátní informace o těchto látkách.

Ramanův rozptyl je relativně velmi slabý jev. Na spektrograf pro Ramanovu spektroskopii jsou tedy kladeny vysoké nároky z hlediska jeho světelnosti, tj. množství záření přeneseného na detektor. Dále je potřeba dosáhnout vysokého rozlišení (0,03^{22'}0,06 nm) a spektrálního rozsahu desítky nanometrů.

V současné době používané a komerčně dostupné spektrografy (firmy Horiba Jobin Yvon, Princeton Instruments, Andor), použitelné i pro Ramanův rozptyl v UV oblasti, se skládají obvykle ze dvou zrcadel a reflexní difrakční mřížky. Případně je optická sestava doplněna ještě o jedno korekční zrcadlo, jak popisuje například Patent US 2013/0182250 A1. Patent spočívá v návrhu zrcadlových zobrazovacích spektrografů, u nichž je soustava kolimační zrcadlo - difrakční mřížka - fokusační zrcadlo doplněna ještě o alespoň jedno korekční asférické zrcadlo, jehož účelem je korekce mimoosých vad zobrazení (aberací), především astigmatizmu a komy. Výhodou zrcadlových systémů je jejich achromaticnost (absence barevné vady) a relativně vysoká odrazivost. Nevýhodou je naopak omezená možnost korekce ostatních optických vad, především astigmatizmu a komy. Navíc tyto spektrografy dosahují světelnosti maximálně pouze kolem $f/4$.

Lepší korekce optických vad, a tedy i vyšší světelnosti, je možné dosáhnout za použití čočkových objektivů. Ve viditelné spektrální oblasti jsou tyto systémy o světelnosti až $f/1.8$ a za použití transmisních mřížek (firma Kaiser, model Holospec $f/1.8$) velice dobře dostupné. Zcela jiná je ovšem situace v ultrafialové spektrální oblasti, především díky limitovanému množství transparentních optických materiálů. Jsou vysoké nároky na konstrukci objektivů, roste složitost systému a jeho cena. V odborné literatuře je popsán pouze jeden spektrograf pracující v UV spektrální oblasti obsahující čočkové objektivy jako kolimačního i fokusačního prvku, který dosahuje nominální světelnosti $f/2$. Tento systém ale dosahuje spektrálního rozlišení pouze 12×14 ^{32°} cm^{-1} a jeho propustnost je omezena jak ztrátami na površích, tak i vinětací (stínění okrajových částí svazku) z důvodu velké vzdálenosti mezi kolimačním a fokusačním objektivem.

Úkolem vynálezu je vytvořit spektrograf, který dosahuje vyšší světelnosti ($f/2$), než je tomu u zrcadlových systémů, při zachování vysokého spektrálního rozlišení potřebného pro Ramanovu spektroskopii a při dosažení vyšší propustnosti, než je tomu u plně čočkového systému. Spektrograf by měl být použitelný pro mnohokanálové detektory vybavené chlazeným čipem detektoru a krycím sklem. Je požadováno využití kruhové pupily fokusačního objektivu pro difragovaný svazek záření. Systém musí umožňovat přeladitelnost, tedy změnu rozsahu vlnových délek, pouhým otočením difrakční mřížky a malou změnou polohy a orientace detektoru – zaostřením do fokusační roviny.

Podstata vynálezu

Uvedený úkol do velké míry splňuje zobrazovací spektrograf s vysokým rozlišením, určený pro Ramanovu spektroskopii v hluboké ultrafialové oblasti, s vysokým rozlišením, jehož optická soustava obsahuje základní optické prvky, jimiž jsou: vstupní apertura pro vstupující polychromatický divergentní svazek paprsků elektromagnetického záření, kolimační prvek pro kolimaci vstupujícího divergentního svazku paprsků, disperzní prvek pro refrakční nebo difrakční disperzi polychromatického svazku na svazky monochromatické dle vlnové délky a fokusační prvek pro vytvoření obrazu vstupní apertury ve fokální rovině v místě výstupní apertury. Podstata vynálezu spočívá v tom, že kolimačním prvkem je kolimační objektiv tvořený dvojicí asférických zrcadel, kde v asférickém korekčním zrcadle následujícím za vstupní aperturou tvořenou štěrbinou je vytvořen vstupní otvor a vzdálenější asférické hlavní zrcadlo je umístěno vydutou plochou proti asférickému korekčnímu zrcadlu. Optické osy zrcadel jsou vůči sobě různoběžné. Disperzním prvkem je difrakční mřížka, a/nebo disperzní hranol, umístěná v dráze svazku kolimovaných paprsků. Fokusačním prvkem je fokusační objektiv tvořený soustavou čoček, z nichž alespoň jedna má alespoň jednu asférickou optickou plochu.

Optické osy zrcadel jsou vůči sobě natočeny ve výhodném provedení o 18° až 22° , úhel mezi optickými soustavami objektivů může být s výhodou 60° až

80°. Je obvyklé, že asférické plochy v optické soustavě mohou být definovány

vztahem $z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c^2r^2}} + \sum_i A_i r_i$, kde c je křivost povrchu (převrácená

hodnota poloměru), K je kónická konstanta, r je radiální souřadnice a A_i jsou asférické koeficienty.

✕ Materiál fokusačního objektivu může být je jednak CaF_2 , jednak tavený křemen.

✕ Vyším účinkem spektrografu s optickou soustavou podle vynálezu je, že dosahuje vyšší světelnosti ($f/2$), než je tomu u zrcadlových systémů, při zachování vysokého spektrálního rozlišení potřebného pro Ramanovu spektroskopii. Také je dosaženo vyšší propustnosti, než je tomu u plně čočkového systému. Spektrograf lze využít s mnohokanálovými detektory vybavenými chlazeným čipem detektoru a krycím sklem. Výhodné je i využití kruhové pupily fokusačního objektivu pro difragovaný svazek záření. Vynález umožňuje přeladitelnost, tedy změnu rozsahu vlnových délek, pouhým otočením difrakční mřížky a malou změnou polohy a orientace detektoru – zaostřením do fokusační roviny.

Objasnění výkresů
~~Přehled obrázků na výkresech~~

✕

Vynález bude blíže vysvětlen za pomoci příkladů provedení doplněných výkresy:

obr. 1 je provedení s kolimačním objektivem tvořeným dvojicí zrcadel a s difrakční mřížkou a se sedmičočkovým fokusačním objektivem

obr. 2 je jednodušší provedení s difrakční mřížkou jako disperzním prvkem, kdy fokusační objektiv je tvořen jedním zrcadlem,

obr. 3 představuje příklad provedení s dvojicí zrcadel v kolimačním objektivu a soustavou pěti čoček ve fokusačním objektivu,

obr. 4 znázorňuje příklad provedení, kdy rozklad polychromatického svazku je realizován disperzní soustavou sestávající z kombinace mřížky a hranolu.

16. Příklady ^{uskutečnění} provedení vynálezu

Příklad 1

Kolimační objektiv 7 spektrografu, jehož optická soustava je vyobrazena na obr. 1, se skládá ze dvou asférických zrcadel 2,3, hlavního 2 a korekčního 3.

Asférické korekční zrcadlo 3 má ve svém středu otvor 10 takové velikosti, aby mohl polychromatický divergentní světelný svazek 11 vycházející ze štěrbin 1 projít a nebyl na okrajích vinětován. Fokusační objektiv 8 je tvořen soustavou 9

sedmi čoček 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7, přičemž jedna z nich má asférický povrch. Jako materiál jednotlivých optických elementů fokusačního

objektivu 8 je zvolena kombinace taveného křemene a CaF_2 . Mezi kolimačním objektivem 7 a fokusačním objektivem 8 je umístěna difrakční mřížka 4 s frekvencí 3600 čar/mm. U difrakční mřížky 4 se využívá 1. difrakčního řádu,

kde je účinnost $> 40\%$. Před dopadem světelného svazku 11 na detektor 6, prochází tento svazek krycím sklem 5, jenž je součástí detektoru 6. Parametry jednotlivých optických ploch jsou uvedeny dále v tabulce 1.

Asférická plocha je definovaná vztahem
$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c^2r^2}} + \sum_i A_i r_i$$

kde c je křivost povrchu (převrácená hodnota poloměru), K je kónická konstanta, r je radiální souřadnice a A_i jsou asférické koeficienty.

Parametry jednotlivých optických prostředí a až q optické soustavy dle obr. 1 jsou uvedeny v následující tabulce 1, kde rozměry jsou uvedeny v mm.

10

Tabulka 1: Parametry spektrografu dle obr. 1

Příklad 1 provedení vynálezu (rozměry v mm)				
plocha	poloměr	tloušťka	materiál	poznámky
<u>1</u>	rovina	200	vzduch	Štěrbina <u>1</u>
a	- 401.789	-180	zrcadlo	Hlavní asférické zrcadlo <u>2</u> $K = 0.107497$, $A_4 = -1.572858E-9$, $A_6 = -1.006896E-13$, $A_8 = 1.991723E-17$, $A_{10} = -1.855797E-21$
b	93476.4	200	zrcadlo	Korekční asférické zrcadlo <u>3</u> $K = -4995714$, $A_4 = -2.348767E-9$, $A_6 = -2.497952E-13$, $A_8 = 4.020043E-17$,

				$A_{10} = -3.148018E-21$ natočeno o 20° ;
c	rovina	80	zrcadlo	difrakční mřížka <u>4</u> o frekvenci 3600 čar/mm; natočena o -0.7° (pro rozsah vlnový délek $250 \text{ } \overset{32'}{\times} \text{ } 272 \text{ nm}$)
				úhel mezi optickými osami objektivů <u>7</u> , <u>8</u> = 68°
d	- 224.497	-6.293	tavený křemen	čočka <u>9.1</u>
e	182.502	-8.242	vzduch	
f	57.558	-20.004	tavený křemen	čočka <u>9.2</u>
g	-93.609	-0.296	vzduch	
h	-63.458	-16.898	CaF2	čočka <u>9.3</u>
i	68.974	-0.175	vzduch	
j	- 107.435	-10.172	CaF2	čočka <u>9.4</u>
k	97.214	-6.266	vzduch	
l	51.565	-4.987	tavený křemen	čočka <u>9.5</u>
m	-41.336	-0.619	vzduch	
n	-42.117	-20.034	CaF2	čočka <u>9.6</u>
o	72.268	-42.402	vzduch	
p	-52.762	-18.005	tavený křemen	Čočka <u>9.7.</u> $K = -15.14056$, $A_4 = -9.654539E-6$, $A_6 = 2.199664E-8$, $A_8 = -1.537923E-11$
q	-28.218	-8.772	vzduch	
r	rovina	-1	tavený křemen	krycí sklo <u>5</u>

s	rovina	-9	vzduch	
obraz	rovina			detektor <u>6</u>
*Kde K značí kónicitu a A_i ostatní asférické koeficienty				

Příklad 2

Kolimační objektiv 7 spektrografu, jehož optická soustava je vyobrazena na obr. 2, se na rozdíl od předchozího příkladu provedení skládá z mimoosového bikónického – asférického zrcadla 2. Fokusační objektiv 8 se skládá ze sedmi čoček 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7. Jako materiál jednotlivých optických elementů fokusačního objektivu 8 je zvolena kombinace taveného křemene a CaF_2 . Mezi kolimačním objektivem 7 a fokusačním objektivem 8 je umístěna difrakční mřížka 4 s frekvencí 3600 čar/mm. U difrakční mřížky 4 se využívá 1. difrakčního řádu, kde je účinnost $> 40\%$. Na kolimační objektiv 7 tvořený jedním hlavním zrcadlem 2 dopadá polychromatický divergentní světelný svazek vycházející ze štěrbin 1 a odráží se na difrakční mřížku 4. Na difrakční mřížce 4 dochází k difrakci světelného svazku – rozkladu na polychromatický svazek vlivem ohybu světla na mřížce 4. Před dopadem světelného svazku na detektor 5, může a nemusí procházet tento svazek krycím sklem 4, jenž je součástí detektoru 6. Parametry jednotlivých optických ploch v tomto konkrétním příkladu provedení jsou uvedeny dále v tabulce 2.

Tabulka 2 : Parametry spektrografu podle obr.2:

Příklad 2 provedení vynálezu (rozměry v mm)				
plocha	poloměr	tloušťka	materiál	poznámky
předmět	rovina	200	vzduch	Štěrbina <u>1</u>
a	*	-190	Zrcadlo	Zrcadlo <u>2</u> bikónický povrch poloměr $r_1 = -400.023$; $K_1 = -0.999427$ poloměr r_2 (kolmý na r_1) = -400.370 ; $K_2 = -0.998466$
b	rovina	80	zrcadlo	difrakční mřížka <u>4</u> o frekvenci 3600 čar/mm; natočena o -6.88° (pro rozsah vlnových délek 205×220 nm)
				úhel mezi dopadajícím svazkem na difrakční mřížku <u>4</u> a optickou osou fokusačního objektivu <u>8</u> je 68°
c	77.288	5.977	tavený křemen	čočka <u>9.1</u>
d	233.929	7.676	vzduch	
e	-84.931	20.012	tavený křemen	čočka <u>9.2</u>
f	64.985	1.869	vzduch	
g	54.381	25.005	CaF ₂	čočka <u>9.3</u>
h	-85.406	0.181	vzduch	
i	115.500	10.081	CaF ₂	čočka <u>9.4</u>
j	-93.643	5.606	vzduch	
k	-54.296	15.016	tavený křemen	čočka <u>9.5</u>
l	42.624	3.859	vzduch	

m	49.866	20.015	CaF ₂	čočka <u>9.6</u>
n	-76.024	45.024	vzduch	
o	34.906	18.024	tavený křemen	čočka <u>9.7</u>
p	26.760	10.022	vzduch	
q	rovina	1	tavený křemen	krycí sklo <u>5</u>
r	rovina	9	vzduch	
obraz	rovina			detektor <u>6</u>
*Kde K _i značí kónicitu				

Průřez svazku dopadající na fokusační objektiv 8 je přibližně kruhový, zatímco průřez svazku vycházející z kolimačního objektivu 7 a dopadající na difrakční mřížku 4 má průřez eliptický.

8

Příklad 3

Příklad provedení 3 se liší od příkladu 1 tím, že fokusační objektiv 8 se skládá z pěti čoček 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5.

Kolimační objektiv 7 spektrografu, jehož optická soustava je vyobrazena na obr. 3, se skládá ze dvou asférických zrcadel 2,3, hlavního zrcadla 2 a korekčního zrcadla 3. Asférické korekční zrcadlo 3 má ve svém středu otvor 10 dostatečné velikosti, aby mohl polychromatický divergentní světelný svazek vycházející ze štěrbin 1 projít a nebyl na okrajích vinětován. Fokusační objektiv 8 se skládá z pěti čoček 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, přičemž tři z nich mají asférický povrch. Jako materiál jednotlivých optických elementů fokusačního

10

15

objektivu 8 je zvolena kombinace taveného křemene a CaF₂. Mezi kolimačním objektivem 7 a fokusačním objektivem 8 je umístěna difrakční mřížka 4 s frekvencí 3600 čar/mm. U mřížky 4 se využívá 1. difrakčního řádu, kde je účinnost > 40 %. Před dopadem světelného svazku na detektor 6, může procházet tento svazek krycím sklem 5, jenž je součástí detektoru 6. Parametry jednotlivých optických ploch jsou uvedeny dále v tabulce 3. Asférická plocha je definovaná vztahem
$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c^2r^2}} + \sum_i A_i r_i$$
. Parametry jednotlivých optických prostředí a až o optické soustavy dle obr. 2 jsou uvedeny v následující tabulce 2, kde rozměry jsou uvedeny v mm.

Tabulka 3: Parametry příkladu 3 provedení spektrografu:

Příklad 3 provedení vynálezu (rozměry v mm)				
plocha	poloměr	tloušťka	materiál	poznámky
předmět	rovina	200	vzduch	Štěrbina <u>4</u>
a	-401.79	-180	zrcadlo	Hlavní zrcadlo <u>2</u> , * K = 0.107491, A ₄ = -1.572926E-9, A ₆ = -1.006967E-13, A ₈ = 1.991713E-17, A ₁₀ = -1.844422E-21
b	93664.6	200	zrcadlo	Korekční zrcadlo <u>3</u> , natočeno o 20°; K = -4995723, A ₄ = -2.342046E-9, A ₆ = -2.501973E-13, A ₈ = 4.018759E-17, A ₁₀ = -3.162602E-21
c	rovina	-80	zrcadlo	difrakční mřížka <u>4</u> o frekvenci 3600 čar/mm;

				natočena o -2.71° (pro rozsah vlnový délek $218^{a2v} 234$ nm)
				úhel mezi dopadajícím svazkem na difrakční mřížku <u>4</u> a optickou osou fokusačního objektivu <u>8</u> je 68°
d	-72.079	-3.000	tavený křemen	čočka <u>9.1</u>
e	-41.655	-1.000	vzduch	
f	-36.205	-18.125	tavený křemen	čočka <u>9.2</u> K = -0.011368, A ₄ = 3.305605E-7, A ₆ = 2.311898E-9, A ₈ = -7.310637E-13
g	70.164	-4.099	vzduch	
h	54.186	-3.275	CaF ₂	čočka <u>9.3</u>
i	-37.146	-0.498	vzduch	
j	-37.695	-20.002	CaF ₂	čočka <u>9.4</u>
k	75.983	-39.398	vzduch	K = -0.619901, A ₄ = 7.664860E-7, A ₆ = 2.173671E-9, A ₈ = -3.028988E-12
l	-59.329	-20.000	tavený křemen	čočka <u>9.5</u> K = -2.313735, A ₄ = 4.698205E-7, A ₆ = 1.901152E-8, A ₈ = -2.225080E-11
m	-36.803	-10.314	vzduch	
n	rovina	-1	tavený křemen	krycí sklo <u>5</u>
o	rovina	-9	vzduch	
obraz	rovina			detektor <u>6</u>
*Kde K značí kónicitu a A ₄ až A ₁₀ ostatní asférické koeficienty				

Příklad provedení č. 4, podle obr. 4, se liší oproti příkladu 1, provedení tím, že obsahuje navíc jeden disperzní hranol 41 v optické sestavě. Optický hranol 41 má dvě funkce: jednak vlivem zvýšení celkové disperze systému zvýší i spektrální rozlišení, jednak dojde ke kompenzaci rozšíření svazku (amanorfickému zmenšení) na difrakční mřížce 4, takže kolimovaný svazek dopadající a vycházející ze soustavy disperzních prvků 41,4 má přibližně kruhový průřez.

Kolimační objektiv 7 spektrografu, jehož optická soustava je vyobrazena na obr. 4, se skládá ze dvou asférických zrcadel 2,3, hlavního zrcadla 2 a korekčního zrcadla 3. Asférické korekční zrcadlo 3 má ve svém středu otvor 10 dostatečné velikosti, aby mohl polychromatický divergentní světelný svazek vycházející ze štěrbin 1 projít a nebyl na okrajích vinětován. Fokusační objektiv 8 se skládá ze sedmi čoček 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7. přičemž jedna z nich má asférický povrch. Jako materiál jednotlivých optických elementů fokusačního objektivu 8 je zvolena kombinace taveného křemene a CaF_2 . Jako disperzní element je mezi kolimačním objektivem a fokusačním objektivem umístěna kombinace hranolu 41 a difrakční mřížky 4 s frekvencí 3600 čar/mm. U mřížky 4 se využívá 1. difrakčního řádu, kde je účinnost > 40 %. Před dopadem světelného svazku na detektor 7, může procházet tento svazek krycím sklem 5, jenž je součástí detektoru 6.

Asférická plocha je definovaná vztahem
$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c^2r^2}} + \sum_i A_i r_i^i$$

Parametry jednotlivých optických prostředí a až u optické soustavy dle obr. 4 jsou uvedeny v následující tabulce 4, kde rozměry jsou uvedeny v mm.

Tabulka 4: Parametry příkladu provedení č. 4 spektrografu

Příklad 4 provedení vynálezu (rozměry v mm)				
plocha	poloměr	tloušťka	materiál	poznámky
předmět	rovina	200	vzduch	Štěrbina <u>4</u>
a	-401.79	-180	zrcadlo	Hlavní zrcadlo <u>2</u> , $K = 0.107491$, $A_4 = -1.572926E-9$, $A_6 = -1.006967E-13$, $A_8 = 1.991713E-17$, $A_{10} = -1.844422E-21$
b	93664.6	300	zrcadlo	Korekční zrcadlo <u>3</u> , natočeno o 20° ; $K = -4995723$, $A_4 = -2.342046E-9$, $A_6 = -2.501973E-13$, $A_8 = 4.018759E-17$, $A_{10} = -3.162602E-21$
c	rovina	35 *	tavený křemen	Hranol <u>41</u> , - úhel natočení 56.38° . Vrcholový úhel 18° .
d	rovina	169.26	vzduch	
e	rovina	-90	zrcadlo	difrakční mřížka <u>4</u> o frekvenci 3600 čar/mm;

				natočena o 3.5° (pro rozsah vlnový délek 218 λ^{λ} 234 nm)
				úhel mezi dopadajícím svazkem na difrakční mřížku <u>4</u> a optickou osou fokusačního objektivu <u>8</u> je 68°
f	- 224.724	-9.511	tavený křemen	Čočka <u>9.1</u>
g	182.405	-9.187	vzduch	
h	57.466	-18.616	tavený křemen	čočka <u>9.2</u>
i	-94.675	-0.515	vzduch	
j	-63.907	-16.996	CaF ₂	čočka <u>9.3</u>
k	68.392	-0.158	vzduch	
l	- 108.433	-10.276	CaF ₂	čočka <u>9.4</u>
m	95.827	-6.298	vzduch	
n	51.242	-6.647	tavený křemen	čočka <u>9.5</u>
o	-41.349	-0.977	vzduch	
p	-42.500	-20.147	CaF ₂	čočka <u>9.6</u>
q	71.780	-42.226	vzduch	
r	-56.418	-17.998	tavený	čočka <u>9.7</u>

			křemen	$K = -15.31897, A_4 = -7.803339E-6,$ $A_6 = 1.732514E-8, A_8 = -1.043447E-11$
s	-31.282	-8.077	vzduch	
t	rovina	-1	tavený křemen	krycí sklo <u>5</u>
u	rovina	-9	vzduch	
obraz	rovina			detektor <u>6</u>
*Kde K značí kónicitu a A_4 až A_{10} ostatní asférické koeficienty				

Další parametry společné pro všechny příklady provedení:

Světelnost spektrografu: min. $f/2$

✕ Ohnisková vzdálenost fokusačního objektivu 8 : 100 mm

Rozlišení objektivů 7,8 : 40 čar/mm

Absolutní hodnota zvětšení optické sestavy: 0,5x

Spektrograf je určen pro mnohokanálové chlazené detektory 6 s těmito

10 parametry:

- velikost zobrazovaného pole min. 15×6 mm

- velikost pixelu: $13 \times 13 \mu\text{m}$ až $26 \times 26 \mu\text{m}$

- krycí sklo 5 z taveného křemene o tloušťce ^{0,2} 0,15 mm

Spektrální rozlišení spektrografu je závislé na zvoleném spektrálním rozsahu (excitační vlnové délce) a například pro zmiňovaný příklad 1 provedení vynálezu je uvedeno v tabulce 5:

§

Tabulka 5: Spektrální rozlišení pro různé konfigurace spektrografu.

Konfig.	Exc. vlnová délka (nm)	Úhel natočení mřížky 4 (deg)	Spektrální rozlišení (cm ⁻¹)		
			500 cm ⁻¹	1800 cm ⁻¹	3200 cm ⁻¹
1	250	-0.7	8.9	7.1	4.4
2	240	1.0	9.9	8.2	5.7
3	230	2.7	11.3	9.4	7.0
4	218	4.4	13.0	11.0	9.0
5	205	6.5	14.9	13.3	11.3

Provedení vynálezu se nemusí omezovat jen na uvedené příklady provedení. Prakticky mohou být hodnoty jednotlivých parametrů fokusačního objektivu 8 v dále uvedených rozmezech:

§

Tabulka 6: Možný rozsah parametrů fokusačního objektivu 8

Rozsah parametrů fokusačního objektivu 8 (rozměry v mm)
--

poloměr	tloušťka	materiál	poznámky
-210 ÷ -230 (konvexní)	-5 ÷ -10	tavený křemen	čočka <u>9.1</u>
180 ÷ 190 (konvexní)	-7 ÷ -10	vzduch	
55 ÷ 58 (konkávní)	-7 ÷ -20	tavený křemen	čočka <u>9.2</u>
-90 ÷ -100 (konkávní)	-0.25 ÷ -0.5	vzduch	
-60 ÷ -65 (konvexní)	-15 ÷ -20	CaF ₂	čočka <u>9.3</u>
65 ÷ 75 (konvexní)	-0.15 ÷ 0.2	vzduch	
-100 ÷ -110 (konvexní)	-10 ÷ -12	CaF ₂	čočka <u>9.4</u>
80 ÷ 100 (konvexní)	-4 ÷ -7	vzduch	
50 ÷ 55 (konkávní)	-5 ÷ -15	tavený křemen	čočka <u>9.5</u>
-35 ÷ -45 (konkávní)	-0.5 ÷ -2	vzduch	
-40 ÷ -45 (konvexní)	-20 ÷ -25	CaF ₂	čočka <u>9.6</u>
70 ÷ 75 (konvexní)	-35 ÷ -45	vzduch	
-50 ÷ -65 (konvexní)	-17 ÷ -19	tavený křemen	čočka <u>9.7</u> K = -15 ÷ -20 A ₄ = -6 ÷ -10E-6 A ₆ = 1.5 ÷ 2.5E-8 A ₈ = -1 ÷ -1.6E-11
-25 ÷ -35 (konkávní)	-7 ÷ -10	vzduch	
Kde K značí kónicitu a A _i ostatní asférické koeficienty			

Funkce optické soustavy podle vynálezu, resp. funkce spektrografu podle příkladu 1 a 3 je následující:

Polychromatický divergentní světelný svazek vstupuje do soustavy spektrografu štěrbinou 1, prochází otvorem 10 v asférickém korekčním zrcadle 3

a dopadá na hlavní korekční zrcadlo 2, od kterého se odráží. Vzhledem k tvaru hlavního korekčního zrcadla 2 a faktu, že štěrbinu 1 leží v blízkosti jeho ohniska, stává se z divergentního svazku po odrazu svazek téměř kolimovaný. Svazek dále pokračuje k asférickému korekčnímu zrcadlu 3, od kterého se taktéž odráží, a vlivem jeho asférickému povrchu se svazek stává ještě více kolimovaným. Tento kolimovaný svazek pak dopadá na reflexní difrakční mřížku 4. Při dopadu svazku na mřížku 4 dojde k difrakci a od mřížky 4 a rozložení polychromatického svazku na jednotlivé monochromatické svazky, které se pak dále šíří pod různými úhly, odpovídajícími jejich vlnovým délkám. Tyto svazky pak procházejí sedmi-čočkovým fokusačním objektivem 8, jehož úkolem je svazky zaostřit na detektor 6. Před dopadem na detektor 6 procházejí svazky krycím sklem 5, které slouží jako ochrana detektoru 6.

Průmyslová využitelnost

Vynález lze aplikovat v zobrazovacích spektrografech s vysokým rozlišením pro Ramanovu spektroskopii v hluboké UV oblasti záření. Spektrografy s aplikovaným vynálezem lze průmyslově vyrábět.

Patentové nároky

1. Optická soustava zobrazovacího spektrografu pro detekci spektra elektromagnetického záření v UV oblasti, s vysokým rozlišením, určeného pro Ramanovu spektroskopii v hluboké ultrafialové oblasti, obsahující základní optické prvky, jimiž jsou: vstupní apertura pro vstupující polychromatický divergentní svazek paprsků elektromagnetického záření, kolimační prvek pro kolimaci vstupujícího divergentního svazku paprsků, disperzní prvek pro refrakční nebo difrakční disperzi polychromatického svazku na svazky monochromatické dle vlnové délky, fokusační prvek pro vytvoření obrazu vstupní apertury ve fokální rovině v místě výstupní apertury, *vyznačující se tím, že* kolimačním prvkem je kolimační objektiv (7) tvořený dvojicí ~~asférických~~ zrcadel (2,3), kde v asférickém korekčním zrcadle (3) následujícím za vstupní aperturou tvořenou šěrbinou (1) je vytvořen vstupní otvor (10) a vzdálenější ~~asférické~~ hlavní zrcadlo (2) je umístěno vydutou plochou proti asférickému korekčnímu zrcadlu (3), přičemž optické osy zrcadel (2,3) jsou vůči sobě různoběžné, přičemž disperzním prvkem je difrakční mřížka (4), a/nebo disperzní hranol (41), umístěná v dráze svazku kolimovaných paprsků, přičemž fokusačním prvkem je fokusační objektiv (8) tvořený soustavou (9) čoček, z nichž alespoň jedna čočka (9.7) má alespoň jednu asférickou optickou plochu.

2. Optická soustava podle nároku 1, *vyznačující se tím, že* optické osy zrcadel (2,3) jsou vůči sobě natočeny o 18° až 22° .

3

3. Optická soustava podle nároku 1, *vyznačující se tím, že* úhel mezi optickými soustavami objektivů (7,8) je 60° až 80° .

10

4. Optická soustava podle nároku 1, *vyznačující se tím, že* materiál čoček (9.1 , 9.2 , 9.3 , 9.4 , 9.5 , 9.6 , 9.7) fokusačního objektivu (8) je jednak CaF_2 , jednak tavený křemen.

5. Optická soustava zobrazovacího spektrografu podle nároku 1, *vyznačující se tím, že* fokusační objektiv (8) má parametry:

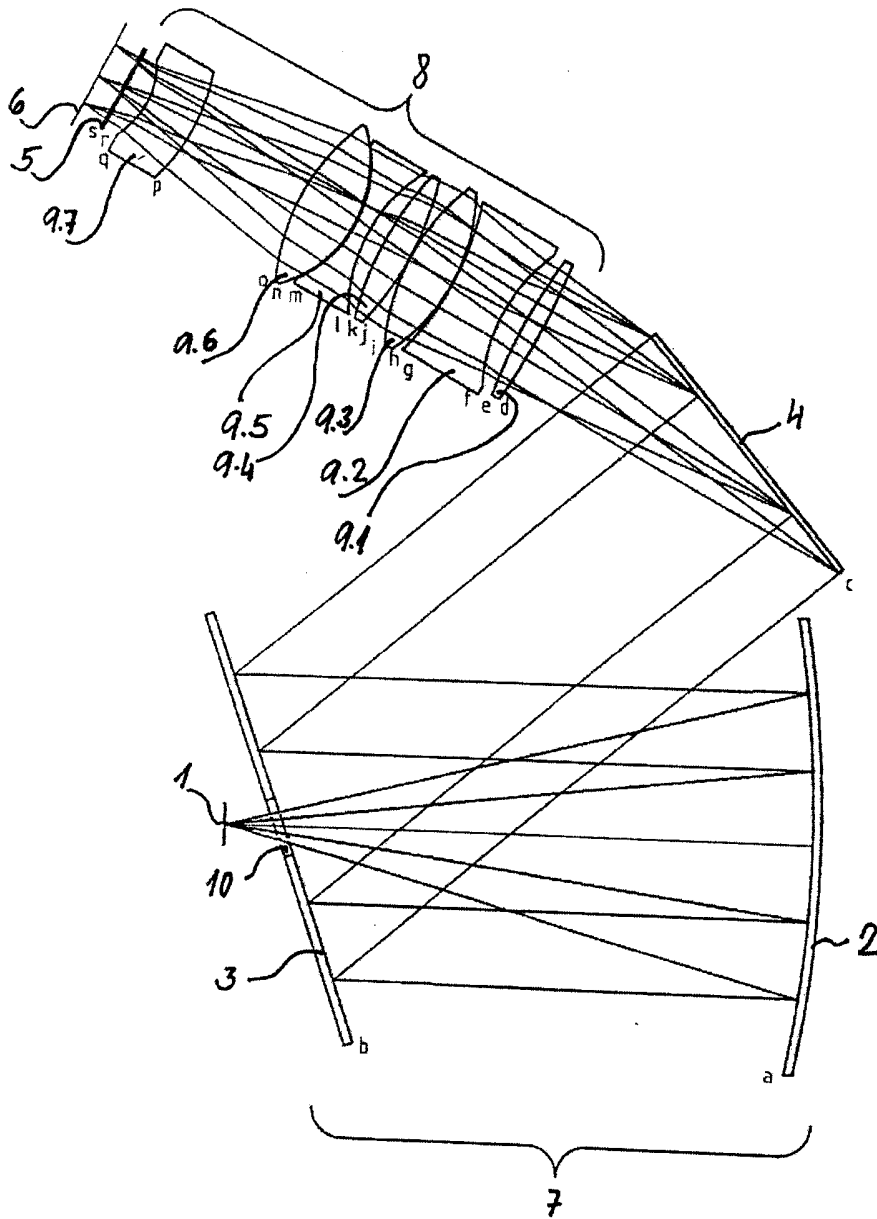
Poloměr (mm)	Tloušťka (mm)	materiál	element
-210 ÷ -230 (konvexní)	-5 ÷ -10	tavený křemen	čočka <u>9.1</u>
180 ÷ 190 (konvexní)	-7 ÷ -10	vzduch	
55 ÷ 58 (konkávni)	-7 ÷ -20	tavený křemen	čočka <u>9.2</u>
-90 ÷ -100 (konkávni)	-0.25 ÷ -0.5	vzduch	
-60 ÷ -65 (konvexní)	-15 ÷ -20	CaF_2	čočka <u>9.3</u>
65 ÷ 75 (konvexní)	-0.15 ÷ 0.2	vzduch	
-100 ÷ -110 (konvexní)	-10 ÷ -12	CaF_2	čočka <u>9.4</u>
80 ÷ 100 (konvexní)	-4 ÷ -7	vzduch	
50 ÷ 55 (konkávni)	-5 ÷ -15	tavený křemen	čočka <u>9.5</u>
-35 ÷ -45 (konkávni)	-0.5 ÷ -2	vzduch	

-40 ÷ -45 (konvexní)	-20 ÷ -25	CaF2	čočka <u>9.6</u>
70 ÷ 75 (konvexní)	-35 ÷ -45	vzduch	
-50 ÷ -65 (konvexní)	-17 ÷ -19	tavený křemen	čočka <u>9.7</u> K = -15 ÷ -20 A ₄ = -6 ÷ -10E-6 A ₆ = 1.5 ÷ 2.5E-8 A ₈ = -1 ÷ -1.6E-11
-25 ÷ -35 (konkávní)	-7 ÷ -10	vzduch	
Kde K značí kónicitu a A _i ostatní asférické koeficienty			

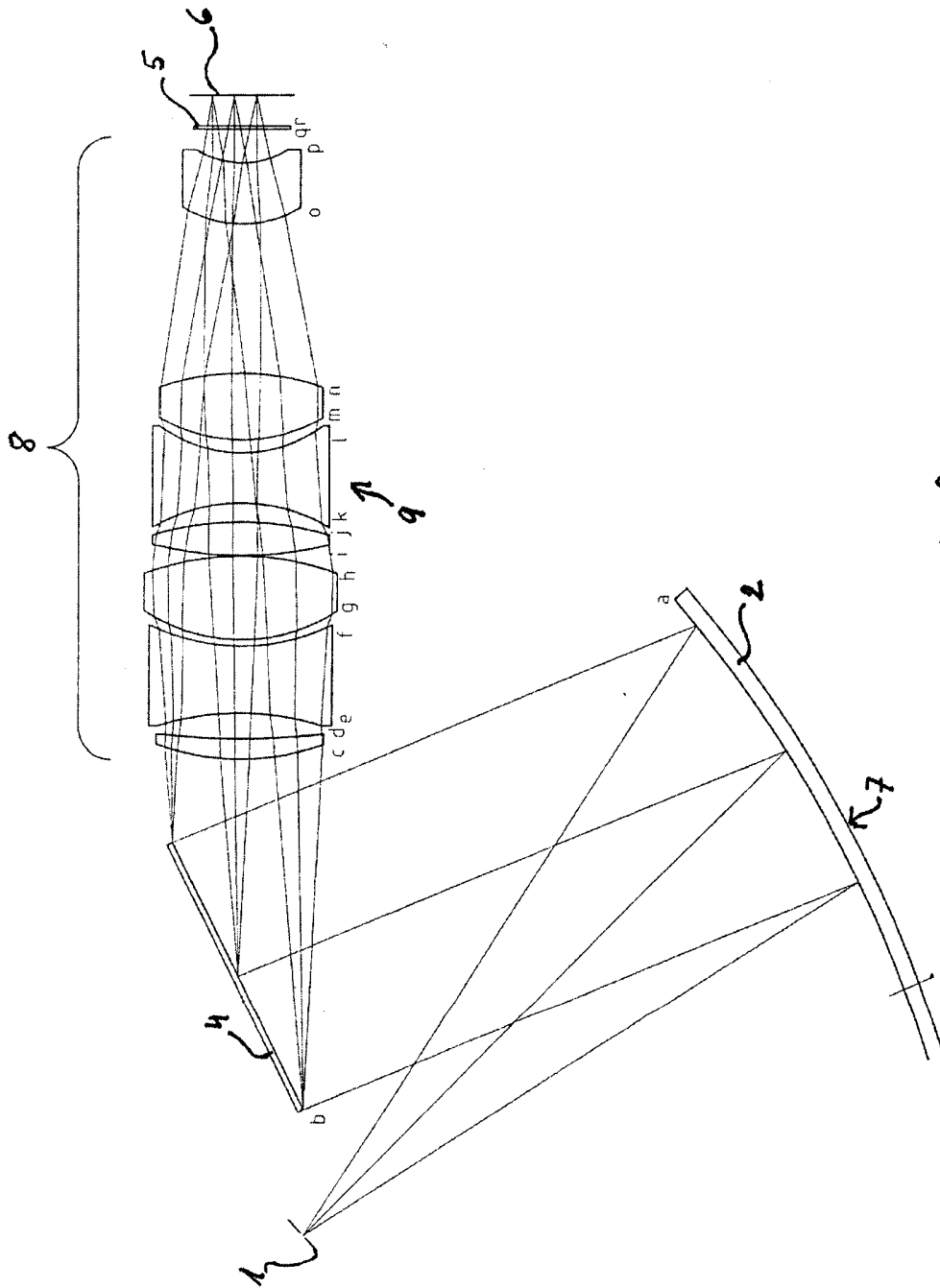
3

10

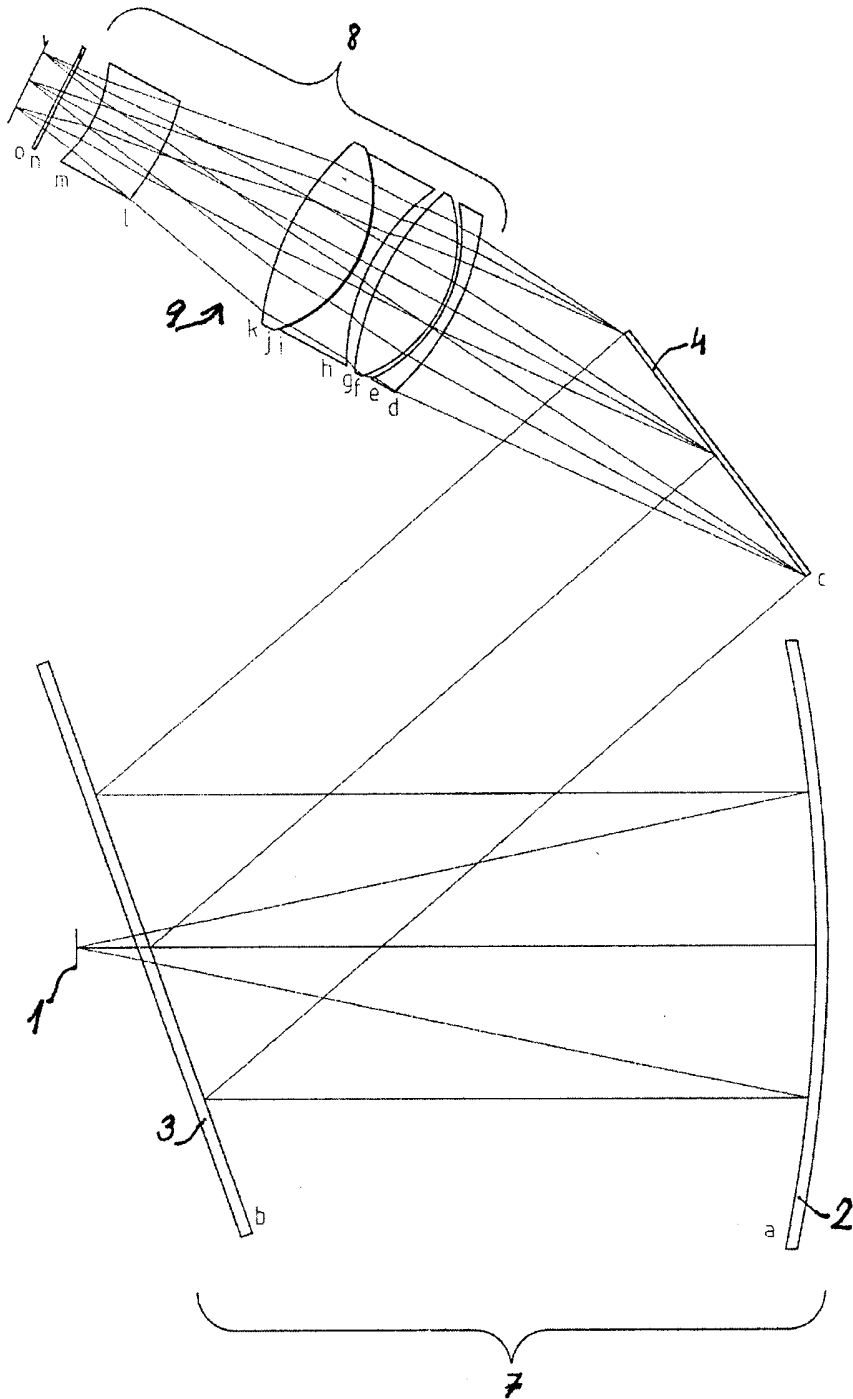
15



Obr. 1

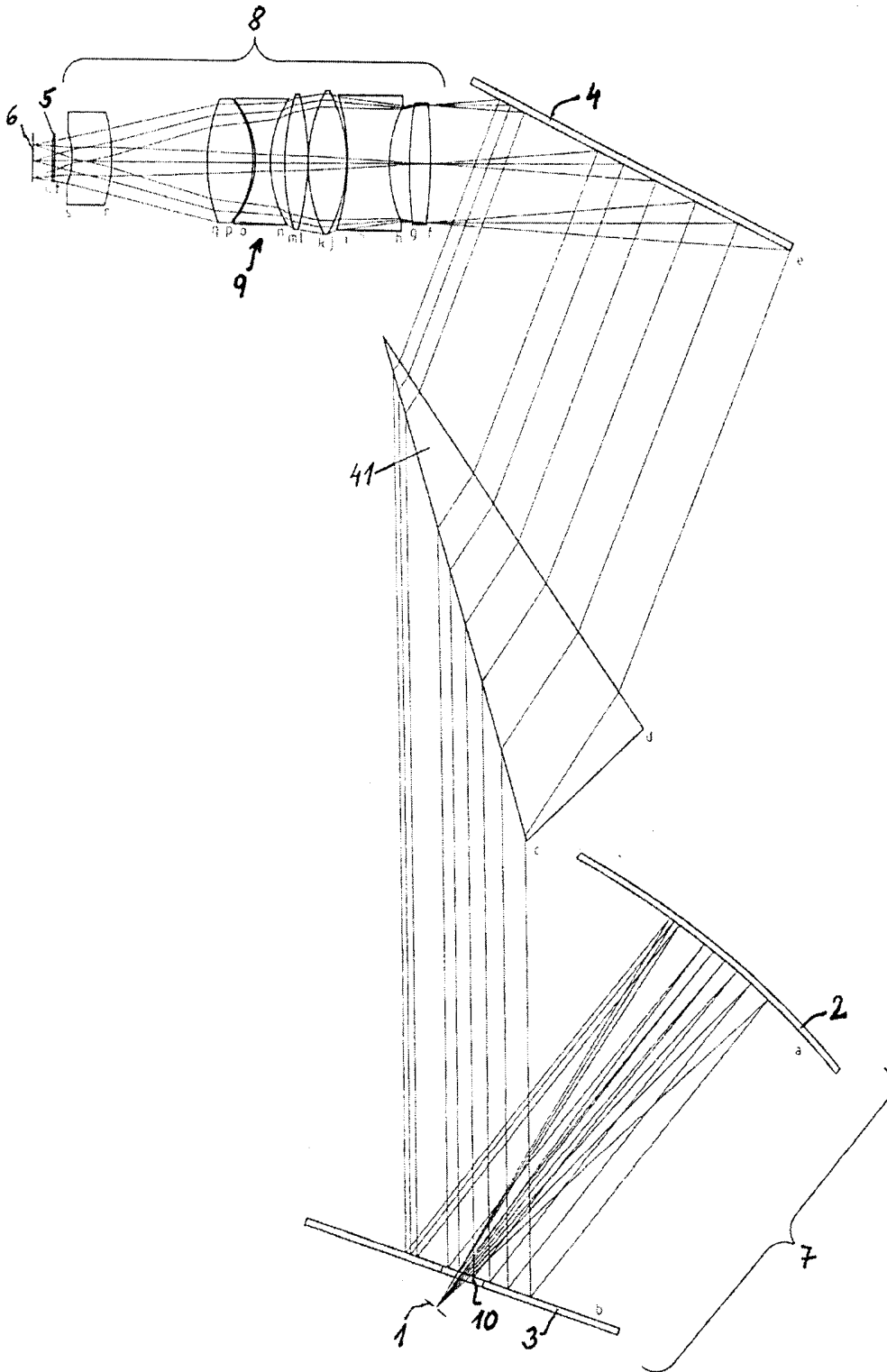


obr. 2



obr. 3

4/4



obr. 4