

FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

272 928

(21) PV 406-89.Z
(22) Přihlášeno 23 01 89

(40) Zveřejněno 13 06 90
(45) Vydáno 16 12 91

(11)

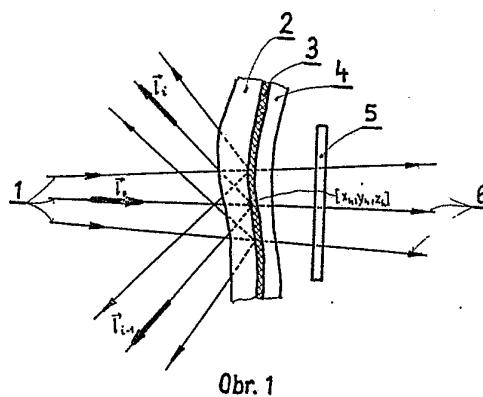
(13) B1

(51) Int. Cl.⁵
G 02 B 5/32
G 02 B 27/10

(75) Autor vynálezu FIALA PAVEL ing. CSc., PRAHA

(54) Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla
do jednobarevných komponent a způsob zhotovení
barevného děliče s aktivní dělicí vrstvou

(57) Barevný dělič je určen pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent a rozděluje světelný vícebarevný signál dopadající ve směru jednotkového vektoru $\vec{l}_0(x, y, z)$ do více požadovaných barevných komponent, šířících se ve směrech jednotkových vektorů $\vec{l}_i(x, y, z)$ a barvách o středních vlnových délkách λ_i , kde $i = 1, 2, \dots$ až m . Skládá se z nosného substrátu volitelného tvaru, na kterém je nanesena vlastní aktivní dělicí vrstva, jež je překryta krycí vrstvou. Aktivní dělicí vrstva je tvořena opticky exponovanou a technologicky zpracovanou holografickou záznamovou vrstvou objemového vícenásobného holografického optického prvku, obsahující maximálně m -díličích objemových mřížkových struktur s mřížkovými vektory $K_i(x, y, z)$, $i = 1, 2, \dots$ až m , jejichž lokální hodnota v místě (x_h, y_h, z_h) aktivní dělicí vrstvy je $K_i = (2 / \lambda_i) (l_0 - l_i)$. Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent a způsob zhotovení aktivní dělicí vrstvy tohoto barevného děliče jsou využitelné pro prvky pro barevné televizní snímání kamery, jako elementy slučovačů jednobarevných signálů ve vícebarevné, součásti barevných analyzátorů světla apod.



Obr. 1

Vynález se týká barevného děliče pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent a způsobu zhotovení aktivní dělicí vrstvy tohoto barevného děliče.

Dělení bílého světla do barevných komponent je potřebné v celé řadě aplikací, například u děličů do videokamer, v barevných analyzátoch a jinde. Náročnost dělicích systémů narůstá, jestliže dělení do barevných komponent probíhá současně, když vlnoplochy dělené systémem nesou obrazovou informaci a když požadujeme i dostatečnou světelnou účinnost dělení a definovaný průběh spektrálních charakteristik.

Tradiční řešení spočívá v amplitudovém dělení světla a potřebných charakteristik v jednotlivých kanálech dosahujeme pomocí přesně definovaných dichroických a absorpčních filtrů a speciálních výbrusů optických hranolů. Dodržení přesně definovaných dělicích charakteristik je spojeno s dodržením velmi náročných výrobních parametrů všech dílčích komponent, což má za následek značné nároky při výrobě a montáži. Další způsob řešení spočívá ve využití polarizačních vlastností dopadajícího světla, kdy je možno s pomocí dielektrických polarizačních vrstev nanesených na hranolech a vhodnou korekcí pomocí absorpčních filtrů dosáhnout potřebných dělicích charakteristik. Nedostatky tradičních postupů spočívají především ve vysoké výrobní náročnosti, všech jednotlivých komponent, náročnosti montáže a justáže a odtud plynoucí vysoký výměr při výrobě. Dalším nedostatkem je skutečnost, že tímto způsobem lze běžně realizovat maximálně tříkanálové systémy. Systém čtyřkanálový, z hlediska kolorimetrického i technického nejdokonalější, který obsahuje vedle tří barevných složek, ještě jasový kanál, například pro účely televizních kamer, je prakticky realizovatelný jen za cenu takových nákladů, že je pro standardní masovou výrobu nepoužitelný.

Uvedené nedostatky odstraňuje barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent a způsob zhotovení barevného děliče s aktivní dělicí vrstvou podle vynálezu. Barevný dělič je určen pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent, rozdělující světelný vícebarevný signál dopadající ve směru jednotkového vektoru $l_0(x, y, z)$ do vícepožadovaných barevných komponent, šířících se ve směrech jednotkových vektorů $l_i(x, y, z)$ a v barvách o středních vlnových délkách λ_i , $i = 1, 2, \dots, m$, jehož podstata spočívá v tom, že se skládá z nosného substrátu volitelného tvaru, na kterém je nanesena vlastní aktivní dělicí vrstva, jež je překryta krycí vrstvou, přičemž aktivní dělicí vrstva je tvořena opticky exponovanou a technologicky zpracovanou holografickou záznamovou vrstvou objemového vícenásobného holografického optického prvku, obsahující maximálně m -dílčích objemových mřížkových struktur s mřížkovými vektory $K_i(x, y, z)$, kdy $i = 1, 2, \dots, m$, jejichž lokální hodnota v místě (x_n, y_n, z_n) aktivní dělicí vrstvy je $K_i = (2\pi/\lambda_i)(l_0 - l_i)$.

Za aktivní dělicí vrstvou je ve směru průchodu dopadajícího světla umístěn optický filtr a jedna z požadovaných barevných komponent je tvořena za optickým filtrem nulovým difrakčním řádem.

Aktivní dělicí vrstva se skládá buď z jediné záznamové vrstvy vícenásobně exponované a nesoucí všechny mřížkové struktury, nebo z více záznamových vrstev separátně exponovaných a nesoucích dílčí mřížkové struktury, přičemž výsledná aktivní dělicí vrstva je z těchto elementárních vrstev sestavena do sendviče, s výhodou stmelěného.

Podstata způsobu zhotovení aktivní dělicí vrstvy barevného děliče pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle vynálezu spočívá v tom, že požadovaná konstantní dílčí mřížková struktura i -té barevné komponenty s mřížkovým vektorem K_i v záznamovém holografickém prostředí se vytvoří expozicí interferenčního pole dvojice koherentních rovinných vln s volitelnými vlnovými délkami λ_i , a jednotkovými vektory ve směru šíření l_{ia}, l_{ib} , dávajícími mřížkovou strukturu s mřížkovým vektorem $K_i = (2\pi/\lambda_i)(l_{ib} - l_{ia})$ tak, že při lokální orientaci záznamové vrstvy v rovině (x, y) ortogonální složky vektoru K_i jsou rovny: $K_{ix} = K_{ix}, K_{iy} = K_{iy}, K_{iz} = \sigma \cdot K_{iz}$, a σ je technologický rozměrový faktor měnící v důsledku zpracování σ -krát rozměr

vrstvy ve směru kolmém na jeho povrch.

Hlavní přednosti barevného děliče podle vynálezu spočívají v tom, že z hlediska výroby je navrhovaný systém v podstatě jedno- nebo máloprvkový. Potřebná vícefunkčnost se docílí vícenásobnou holografickou expozicí, nikoliv mechanickou výrobou. Tím se pronikavě snižují náklady výmětem při špatné montáži a justáži. Výrobní náklady, v souvislosti se zcela jinou technologií výroby, to je optickým záznamem a fotochemickým zpracováním jsou nesrovnatelně nižší, tudíž způsob je vhodný i pro masovější výrobu. Spektrální charakteristiky děliče je možno v širokých mezích ovládat volbou parciálních difrakčních účinností jednotlivých komponent, selektivitou jednotlivých difrakčních křivek a polohou spektrálních maxim difrakce pro jednotlivé barevné složky. Lze dosáhnout výstupní parametry přinejmenším srovnatelné s konvenčními způsoby, navíc principiální rozšíření na čtyřkanálový systém nepředstavuje nové principiální problémy. Je možno docilovat značné geometrické variability v uspořádání. Dělicí systém je mechanicky tenký, tudíž i další optické systémy, například objektivy, detekční prvky, mohou být proti konvenčním značně variabilnější. Plocha navrhovaného dělicího systému oproti konvenčním systémům může být mnohem větší. Holografický optický element, tvořící aktivní dělicí vrstvu, může mít i funkci zobrazovací, v závislosti na naexpozované vlnoploše, a může tak přejímat i část funkce následujícího zobrazovacího objektu. Dělič může sloužit i jako prvek slučovací, kdy je možno z barevných komponent sestavovat komplexnější signál.

Předpokladem úspěšné realizace je zvládnutí výroby holografických optických prvků na dostatečné teoretické, technické i technologické úrovni.

Vynález a jeho účinky jsou blíže vysvětleny v popisu dvou konkrétních příkladů jeho provedení podle výkresů, kde obr. 1 znázorňuje v řezu v nárysu schematicky barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle vynálezu, obr. 2 znázorňuje v řezu v nárysu schematicky tříkanálový barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle vynálezu, například dělič videokamery, obr. 3 znázorňuje schematicky konfiguraci záznamových vln pro obě mřížkové struktury tříkanálového barevného děliče pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle vynálezu v provedení podle obr. 2, obr. 4 znázorňuje schematicky v nárysu a obr. 5 v půdorysu tříkanálový barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle vynálezu, například dělič do barevného analyzátoru, obr. 6 až 8 znázorňují schematicky konfiguraci záznamové vlny pro jednotlivé mřížkové struktury barevného děliče pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle vynálezu v provedení podle obr. 4 a 5, přičemž na obr. 6 je složka B, na obr. 7 je složka G a na obr. 8 je složka R.

Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle vynálezu se skládá z nosného substrátu 2 volitelného tvaru, nejčastěji skleněné rovinné desky, na kterém je nanášena vlastní aktivní dělicí vrstva 3, překrytá krycí vrstvou 4, chránící aktivní dělicí vrstvu před mechanickým poškozením a klimatickými vlivy. Tuto krycí vrstvu může například tvořit, v případě rovinného nosného substrátu 2, opět skleněná rovinná deska, která je k aktivní dělicí vrstvě 3 přitmelena. Aktivní dělicí vrstva 3 je tvořena opticky exponovanou a technologicky zpracovanou holografickou záznamovou vrstvou objemového vícenásobného holografického prvku, obsahující maximálně m -dílků objemových mřížkových struktur, kde m je počet vydělených barevných komponent, přičemž mřížkový vektor $K_i(x, y, z)$, kdy $i = 1, 2, \dots, m$, dílků i -té struktury v místě aktivní dělicí vrstvy x_h, y_h, z_h má lokální hodnotu $K_i = (2\pi/\lambda_i)(l_0 - l_i)$, kde $l_0(x, y, z)$ je jednotkový vektor ve směru dopadajícího vícebarevného světla a $l_i(x, y, z)$ je jednotkový vektor ve směru vydělené i -té barevné komponenty o střední vlnové délce λ_i , kdy $i = 1, 2, \dots, m$.

Splněním uvedených podmínek je dopadající vícebarevný signál na dílků mřížkových strukturách difragován do požadovaných barevných komponent a směrů, přičemž děli-

ci vrstvou procházející nultý difrakční řád obsahuje doplňkovou barvu k barvám vyděleným. Tuto skutečnost je možno využít použitím barevného optického filtru 5, který je umístěn ve směru průchodu dopadajícího světla 1 za aktivní dělicí vrstvou 3, čímž může z tohoto nultého difrakčního řádu získat jednu z požadovaných barevných komponent se směrem chodu dopadajícího světla. S výhodou je možno funkci krycí vrstvy 4 spojit s funkcí optického filtru 5, takže krycí vrstvu 4 tvoří vlastní filtr, k aktivní dělicí vrstvě například přitmelený.

Aktivní dělicí vrstva 3 s funkcí vícenásobného holografického prvku může být tvořena jedinou záznamovou vrstvou vícenásobně exponovanou nebo několika záznamovými vrstvami separátně exponovanými a nesoucími dílčí mřížkové struktury. Výslednou aktivní dělicí vrstvu 3 sestavíme z těchto elementárních vrstev do sendviče, s výhodou stmeleného.

Výroba dílčích mřížkových struktur se provádí expozicí koherentního laserového světla do záznamové vrstvy. Přitom zpravidla požadované vydělované barvy mají střední vlnové délky odlišné od možných laserových čar. Vynález předkládá způsob výroby vlnovou délkou odlišnou od vydělované. Požadovaná konstantní dílčí mřížková struktura i-té barevné komponenty s mřížkovým vektorem K_i v záznamovém holografickém prostředí se vytvoří expozicí interferenčního pole dvojice koherentních rovinných vln s volitelnými vlnovými délkami λ_i a jednotkovými vektory ve směru šíření l_{ia} , l_{ib} dávajícími mřížkovou strukturu s mřížkovým vektorem $K_i = (2\pi/\lambda_i) (l_{ib} - l_{ia})$, takže při lokální orientaci záznamové vrstvy v rovině (x, y), jsou ortogonální složky vektoru K_i , rovny: $K_{ix} = K_{ix}$, $K_{iy} = K_{iy}$, $K_{iz} = 0$, $K_{iz} = 0$, a 0 je technologický rozměrový faktor měnící v důsledku zpracování 0-krát rozměr vrstvy ve směru kolmém na jeho povrch.

Účelem navrhovaného řešení je dělení nebo slučování barevných složek světla za použití Braggovské difrakce na vícenásobných objemových difrakčních strukturách. Jednotlivé komponenty objemové struktury difragují selektivně pouze definovanou oblast spektra a to v geometrii, která byla zvolena při optickém záznamu difrakční struktury. Volbou parametrů struktury a jejím technologickým zpracováním je možno docílit různých spektrálních charakteristik jednotlivých barevných složek a docílovat tak potřebnou funkci prvku.

Příklad 1

Příkladem je tříkanálový dělič podle obr. 2 pro vydělení barevných složek R, G, B, resp. červené, zelené a modré z bílého signálu, a může například sloužit jako dělič do videokamery. Bílý signál dopadá na dělič kolmo, složky G a B se odrážejí od děliče ve vzduchu pod úhlem $\alpha = 45^\circ$ od kolmice, složka R se získá z procházejícího světla pomocí optického filtru 5. Střední vlnové délky pro požadované barvy jsou: $\lambda(B) = 430$ nm, $\lambda(G) = 550$ nm, $\lambda(R) = 620$ nm, index lomu všech skel i emulze činí $n = 1,5$.

Dělič je tvořen sendvičem tří rovinných desek, dvou holografických optických reflexních prvků 7 a 8 pro vydělení složek B a G, stmelových optickým tmelem emulzem k sobě, takže jeden z nosných substrátů tvoří krycí vrstvu: k nim může být dále přitmelen optický filtr 5.

Jelikož aktivní dělicí vrstva 3 je prostředí s indexem lomu $n = 1,5$ a zadané směry jsou určeny ve vzduchu, provedeme nejprve přepočet jednotlivých směrů ze vzduchu do materiálu. Odtud dostaneme požadavky na jednotlivé jednotkové vektory:

$$l_0 = [0; 0; 1]$$

$$l_B = [0,4714; 0; -0,8819]$$

$$l_G = [-0,4714; 0; -0,8819]$$

Směry záznamových vln, generujících jednotlivé mřížkové vektory, v materiálu budou:

$$l_{Ba}' = [\sin \beta_a', 0, \cos \beta_a']; \quad l_{Ga}' = [\sin \gamma_a', 0, \cos \gamma_a']$$

$$l_{Bb}' = [\sin \beta_b', 0, \cos \beta_b']; \quad l_{Gb}' = [\sin \gamma_b', 0, \cos \gamma_b']$$

Pro záznam mřížkové struktury použijeme nejsilnější vlnové délky argonového laseru, to je pro $B \lambda_B = 488 \text{ nm}$, pro $G \lambda_G = 514,5 \text{ nm}$, jako záznamové prostředí dichromovanou želatinu. Jelikož záznam jednotlivých mřížkových struktur je proveden na separátních záznamových materiálech, je možné připustit odlišné technologické rozměrové faktory, a to například $\sigma_B = 0,9$ a $\sigma_G = 1$.

Na základě podmínek získáme hodnoty úhlů směrů generačních vln v materiálu.

$$\beta_a = 160,50^\circ \quad \gamma_a = 140,97^\circ$$

$$\beta_b = -11,61^\circ \quad \gamma_b = 10,91^\circ$$

což ve vzduchu činí:

$$\beta_a = 149,96^\circ \quad \gamma_a = 109,15^\circ$$

$$\beta_b = -17,57^\circ \quad \gamma_b = 16,49^\circ$$

Konfigurace záznamové vlny pro obě mřížkové struktury je zachycena na obr. 3. Jako filtr pro oddělení barevné složky R může sloužit vhodný filtr, nejlépe interferenční, s těžištěm 620 nm a pološířkou do 70 nm.

Příklad 2

Příkladem je tříkanálový dělič podle obr. 4 s půdorysem na obr. 5 pro vydělení a zobrazení barevných složek R , G , B , resp. červené, zelené a modré z bílého signálu, a může například sloužit jako dělič do barevného analyzátoru. Bílý signál dopadá na dělič kolmo z bodového zdroje vzdáleného 400 nm od děliče, střední paprsky složek G , B a R se odrážejí od děliče a fokuzují k obvodu v rovinách navzájem natočených o 120° , kde jsou umístěny například detektory. Střední vlnové délky pro požadované barvy jsou: $\lambda(B) = 450 \text{ nm}$, $\lambda(G) = 550 \text{ nm}$, $\lambda(R) = 680 \text{ nm}$, index lomu všech skel i emulze činí $n = 1,5$. Souřadnice bodů jsou $O(0; 0; 0)$, $G(-12,5; -21,6; 365)$, $R(-12,5; 21,6; 365)$, $B(25; 0; 365)$, $S(0; 0; 400)$.

Dělič je tvořen stmeleným sendvičem tří holografických optických reflexních fokuzujících prvků 9 , 10 a 11 s rovinnými substráty. Pro záznam použijeme vlnové laserové čáry $\lambda_B = 458 \text{ nm}$, $\lambda_G = 514,5 \text{ nm}$, $\lambda_R = 647,1 \text{ nm}$. Jelikož požadovaná geometrie dělení v rovinách OSB, OSG, OSR podle obr. 4 je pro všechny barvy stejná, použijeme pro návrh pouze rovinu (x, z) , přičemž při stmelení jednotlivých prvků provedeme u každého pootočení v rovině (x, y) vždy o 120° .

Dělič je zároveň fokuzující holografické zrcadlo, to znamená, že mřížková struktura děliče má mřížkový vektor nekonstantní. Aby nedošlo ke vzniku značných aberací při fokuzaci v důsledku odlišnosti vlnové délky záznamové a pracovní, je třeba volit záznamové schéma podle obr. 6 s hodnotami:

$$B_o' [3; 0; 32] \quad ; \quad G_o' [-15; 0; -211] \quad ; \quad R_o' [-10; 0; -147]$$

$$B' [24,8; 0; 365,4] \quad ; \quad G' [25,3; 0; 365,2] \quad ; \quad R' [25,2; 0; 363,8]$$

Tím jsou určeny směry záznamových vln a s ohledem na zvolené vlnové délky je třeba požadavky současného Braggovského vydělování jednotlivých barevných složek podle požadavků bodu 1 a 5 vynálezu splnit pomocí technologického rozměrového faktoru σ ; odtud spočteme:

$$\sigma_B = 0,99; \quad \sigma_G = 0,95; \quad \sigma_R = 1,01.$$

Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent a způsobil zhotovení aktivní dělicí vrstvy tohoto barevného děliče podle vynálezu jsou využitelné pro prvky pro barevné televizní snímávací kamery, jako elementy slučovačů jedno-

barevných signálů ve vícebarevné součásti barevných analyzátorů světla apod.

PŘEDMĚT VÝNÁLEZU

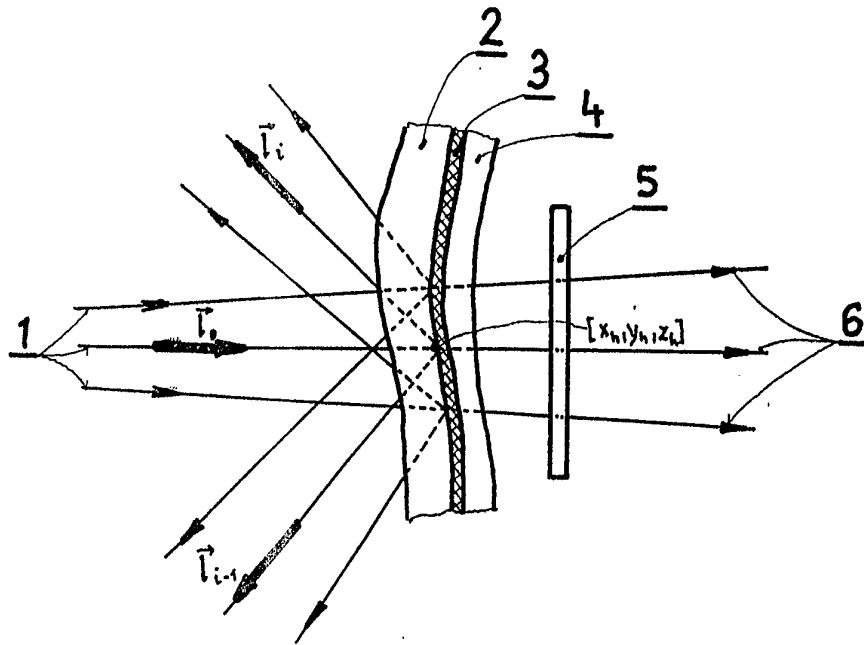
1. Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent, rozdělu-
jící světelný vícebarevný signál dopadající ve směru jednotkového vektoru $l_0(x, y, z)$
do více požadovaných barevných komponent, šířících se ve směrech jednotkových vektorů
 $l_i(x, y, z)$ a v barvách o středních vlnových délkách λ_i , kdy $i = 1, 2, \dots, \text{až } m$, vyznaču-
jící se tím, že se skládá z nosného substrátu (2) volitelného tvaru, na kterém je na-
nesena vlastní aktivní dělicí vrstva (3), jež je překryta krycí vrstvou (4), přičemž
aktivní dělicí vrstva (3) je tvořena opticky exponovanou a technologicky zpracovanou
holografickou záznamovou vrstvou objemového vícenásobného holografického optického
prvku, obsahující maximálně m -dílných objemových mřížkových struktur s mřížkovými
vektory $K_i(x, y, z)$, $i = 1, 2, \dots, \text{až } m$, jejichž lokální hodnota v místě (x_h, y_h, z_h)
aktivní dělicí vrstvy (3) je $K_i = (2\sqrt{\epsilon} / \lambda_i) (l_0 - l_i)$.

2. Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle bo-
du 1, vyznačující se tím, že za aktivní dělicí vrstvou (3) ve směru průchodu dopadají-
cího světla je umístěn optický filtr (5) a jedna z požadovaných barevných komponent je
tvořena za optickým filtrem (5) nulým difrakčním řádem (6).

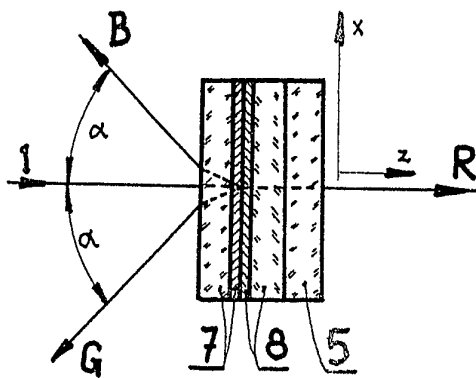
3. Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle
bodů 1 a 2, vyznačující se tím, že aktivní dělicí vrstva (3) se skládá z jediné záz-
namové vrstvy, vícenásobně exponované a nesoucí všechny dílní mřížkové struktury.

4. Barevný dělič pro dělení vícebarevného světla do jednobarevných komponent podle bo-
dů 1 a 2, vyznačující se tím, že aktivní dělicí vrstva (3) se skládá z více záznamových
vrstev separátně exponovaných a nesoucích dílní mřížkové struktury, přičemž výsledná
aktivní dělicí vrstva je z těchto elementárních vrstev sestavena do sendviče, s výhodou
stmeleného.

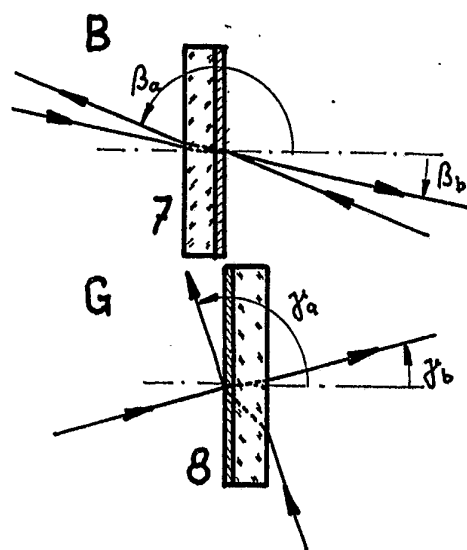
5. Způsob zhotovení barevného děliče s aktivní dělicí vrstvou pro dělení vícebarevného
světla do jednobarevných komponent, podle bodů 1 až 4, vyznačující se tím, že požadova-
ná konstantní dílní mřížková struktura i -té barevné komponenty s mřížkovým vektorem K_i
v záznamovém holografickém prostředí se vytvoří expozicí interferenčního pole dvojice
koherentních rovinných vln s volitelnými vlnovými délkami λ_i , a jednotkovými vektory
ve směru šíření l_{ia}' , l_{ib}' , dávajícími mřížkovou strukturu s mřížkovým vektorem $K_i' =$
 $= (2\sqrt{\epsilon} / \lambda_i') (l_{ib}' - l_{ia}')$ tak, že při lokální orientaci záznamové vrstvy v rovině
 (x, y) ortogonální složky vektoru K_i' jsou rovny: $K_{ix}' = K_{ix}$, $K_{iy}' = K_{iy}$, $K_{iz}' =$
 $= \sigma \cdot K_{iz}$, a σ je technologický rozměrový faktor, měnící v důsledku zpracování σ -krát
rozměr vrstvy ve směru kolmém na jeho povrch.



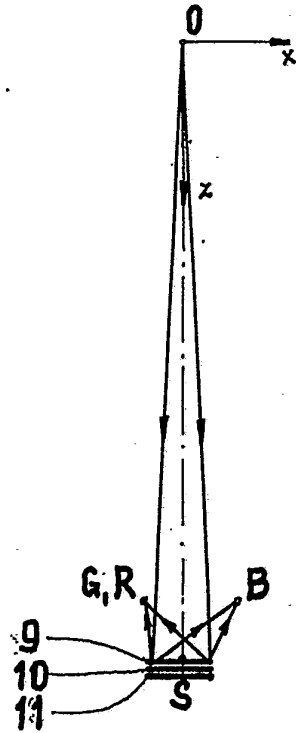
Obr. 1



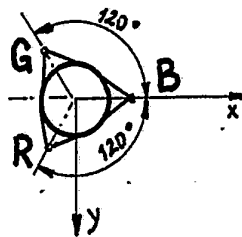
Obr. 2



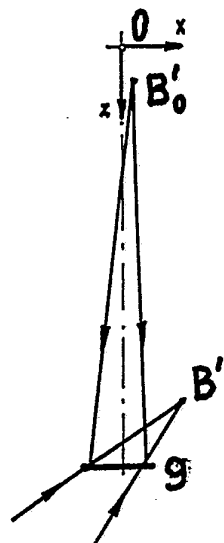
Obr. 3



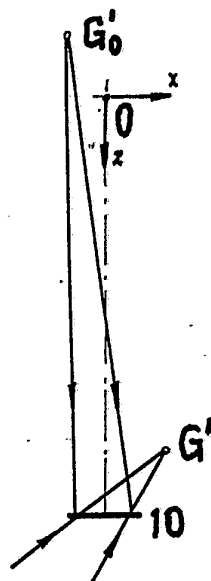
0br. 4



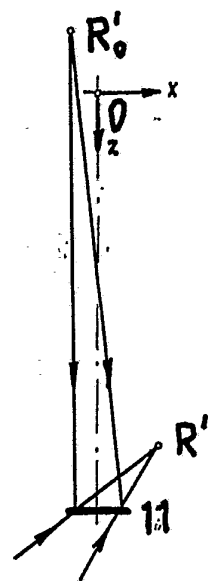
0br. 5



0br. 6



0br. 7



0br. 8