



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

251633

(11)

(B1)

(51) Int. Cl.⁴

C 03 C 17/34

(22) Přihlášeno 01 11 84
(21) PV 8293-84

(40) Zveřejněno 18 12 86

(45) Vydáno 15 04 88

(75)

Autor vynálezu

HORKÝ MILOŠ, POKORNÝ PAVEL RNDr., BRNO

(54) Způsob vytváření dvojité antireflexní vrstvy na podložce z optických skel

Podstatou způsobu je, že na podložku z optického skla je nejprve napařována ve vakuu vrstva oxidu kovu vzácných zemin, například yttritého či gadolinitého, nebo oxidu hafničitého či oxidu hořečnatého, načež je napařována ve stejné optické tloušťce s tolerancí $\pm 30\%$ vrstva oxidu křemičitého nebo fluoridu hořečnatého. Způsob je určen zejména pro oblasti optické výroby, kde se vyžaduje potlačení odrazivosti monochromatického světla.

Vynález se týká způsobu vytváření dvojité antireflexní vrstvy na podložce z optických skel.

Pro potlačení odrazivosti optických povrchů v úzkém spektrálním pásmu se dosud používají dva způsoby povrstvení optických podložek s indexem lomu n_3 , zpravidla vakuovým napařováním nebo naprašováním. První způsob spočívá v nanesení jedné vrstvy čtvrtvlnné optické tloušťky s indexem lomu n , splňující podmínku $n = \sqrt{n_3}$.

Tento požadavek je pro většinu optických skel splnitelný jen kompromisně, a tudíž potlačení odrazivosti je nedostatečné. Druhý způsob spočívá v nanesení dvou vrstev pro výrobce tradičních materiálů s vysokým a nízkým indexem lomu s rozdílnými optickými tloušťkami, vypočtenými z indexů lomu vrstev a podložky, jak například uvedeno Knittl, *Optics of Thin Films*, Wiley 1976, str. 131.

Nevýhodou tohoto řešení je, že při nedodržení optických tloušťek nedochází jen k posunu minima odrazivosti ve spektru, ale také k růstu jeho hodnoty. Tuto skutečnost dokumentuje obr. 1, zachycující dvojitou antireflexní vrstvu z materiálu oxidu titaničitěho TiO_2 a oxidu křemičitěho SiO_2 s uvedením 20 % odchylek optických tloušťek.

Uvedená vlastnost podmiňuje, aby každému vrstvení optických prvků předcházela řada zkoušek a měření, při nichž měníme nezávisle obě optické tloušťky, až dosáhneme nejprve nulového minima spektrální křivky odrazivosti, a poté umístění tohoto minima do žádané vlnové délky.

Každý z obou požadavků je závislý na tloušťkách obou vrstev, takže korekce, zajišťující splnění požadavku jednoho, poruší splnění druhého. Kromě toho odrazivost v minimu není lineární funkcí tloušťek, respektive jejich poměru, a tudíž zjištění tendence při první korekci nemusí vést k dosažení snížení odrazivosti pod toleranční hladinu při korekci druhé.

Pokud jde o poslední korekci, t.j. umístění minima odrazivosti do žádané vlnové délky změnou tloušťek obou vrstev ve stejném poměru, nelze ji obecně vynechat. Tím je dána nutnost minimálně tří korekcí, prakticky však s ohledem na disperzi indexu lomu, nehomogenity a další faktory, obvykle víc.

Tento mnohostupňový korekční postup je nutno, vzhledem k systematickým (malým) změnám ve výrobě, vždy po čase opakovat, čímž při náročnosti výroby dochází ke značným ztrátám časovým i materiálovým, a zejména k opotřebení drahé výrobní aparatury. Další nevýhodou dosud užívané dvojité antireflexní vrstvy je, že optická tloušťka vrstvy přilehlé k podložce je podstatně nižší než čtvrtvlnná.

Při změně její tloušťky korekčními zásahy nebo náhodnými odchylkami během výroby se totiž uplatní nehomogenita indexu lomu, t.j. nelineární závislost optické a geometrické tloušťky, což znesnadňuje korekce a snižuje reprodukovatelnost ve výrobě.

Dosevační nedostatky při povrstvování optických podložek odstraňuje způsob vytváření dvojité antireflexní vrstvy na podložce z optických skel, jehož podstatou je, že na podložku z optického skla je nejprve napařována ve vakuu vrstva oxidu kovu vzácných zemin, například yttritěho či gadolinitěho, nebo oxidu hafničitěho, či oxidu hořečnatěho, a poté je napařována ve stejné optické tloušťce s tolerancí $\pm 30\%$ vrstva oxidu křemičitěho, nebo fluoridu hořečnatěho.

Hlavní předností tohoto způsobu je nahrazení mnohostupňového korekčního postupu předvýrobních a mezivýrobních zkoušek jednostupňovým, respektive s ohledem na disperzi indexu lomu, nehomogenity a další možné změny parametrů vrstev, maximálně dvoustupňovým, což vede ke značným úsporám časovým i materiálovým, a zejména k ušetření provozního času výrobní aparatury.

Další předností je nahrazení velmi tenké vrstvy přilehlé k podložce vrstvou čtvrtvlnné optické tloušťky, u které se v podstatně menší míře upletňují nehomogenity indexu lomu, z čehož plyne vyšší reprodukovatelnost žádaných parametrů dvojité antireflexní vrstvy.

Dosavadní stav, respektive stav podle vynálezu ilustruje obr. 1, respektive obr. 2, znázorňující spektrální křivky odrazivosti dvojité antireflexní vrstvy na podložce z optického skla s indexem lomu $n_3 = 1,52$, pro potlačení odrazu kolmo dopadajícího světla na vlnové délce $\lambda = 633$ nm, přičemž na vodorovnou osu se nanáší vlnová délka λ světla v nanometrech, na svislou osu odrazivost R v procentech. Jednotlivé křivky 1 až 4 odpovídají variacím nominálních optických tloušťek t_1 , t_2 obou dílčích vrstev takto:

- 1 t_1 , t_2 - nominální
- 2 $t_1 + 20\%$, $t_2 + 20\%$
- 3 $t_1 - 20\%$, $t_2 + 20\%$
- 4 $t_1 + 20\%$, $t_2 - 20\%$

Grafy v obr. 1 představují dosavadní stav, kde jsou použity vrstvotvorné materiály oxid křemičitý SiO_2 s indexem lomu $n_1 = 1,47$ a oxid titaničitý s indexem lomu $n_2 = 2,27$, zatímco grafy na obr. 2 představují stav podle vynálezu, kde místo oxidu titaničitého je použit oxid ytritý s indexem lomu $n_2 = 1,8$.

Jak patrně z obr. 1, odchylky optické tloušťky kterékoliv vrstvy má za následek nejen posun minima odrazivosti ve spektru, ale zejména růst jeho hodnoty, zatímco dvojité antireflexní vrstva podle vynálezu ani při 20 % odchylkách optických tloušťek vrstev změnu hodnoty minima odrazivosti nevykazuje, jak je znázorněno grafy na obr. 2.

Toto je podstatná výhoda oproti dosavadnímu stavu. Korekční zásah, anulující minimum spektrální křivky odrazivosti, který je nutný při předvýrobních zkouškách vrstvy řešené podle dosavadního stavu, se stává u dvojité antireflexní vrstvy podle vynálezu nepotřebným. Pro dosažení žádaného účinku, t.j. dosažení minimální odrazivosti ve sledované vlnové délce, provedeme pouze korekci, zajišťující posun minima spektrální křivky do žádané vlnové délky, t.j. změnu optických tloušťek obou vrstev ve stejném poměru, který plyne z vlnové délky původní a žádané.

V případě šikmého dopadu světla je možné dvojitou vrstvou, jak známo, obecně anulovat odrazivost pouze pro jednu z obou polarizačních složek světla, respektive kompromisně potlačit obě. Účinek podle vynálezu je pro každou ze složek polarizace světla analogický situaci při kolmém dopadu, která je ilustrována obr. 2.

Indexy lomu a optické tloušťky jednotlivých vrstev je však nutno přizpůsobit danému úhlu dopadu, jak je uvedeno v dále uvedeném příkladu výpočtu č. 2. Pro indexy lomu vrstev, vyplývající z podmínky pro kolmý dopad, je v případě šikmého dopadu splněn požadavek potlačení odrazivosti obou složek polarizace světla kompromisně. Tloušťky je však opět nutno přizpůsobit šikmému dopadu.

Příklad 1

Při potlačování odrazu laserového světla vlnové délky $\lambda = 633$ nm od povrchu optických skel s indexy lomu v rozsahu (1,46 - 1,62) pod 0,25 % v kolmém dopadu bylo dosaženo dobrých výsledků nanesením čtvrtvlnných vrstev, a to oxidu ytritického Y_2O_3 jako první a oxidu křemičitého SiO_2 jako druhé od podložky.

Spektrální průběh odrazivosti této dvojité antireflexní vrstvy uvádí křivka 1 na obr. 2. Pro konstrukci byl v první řadě zvolen oxid křemičitý jako mechanicky a chemicky odolný materiál, neboť tato vrstva je vystavena působení vnějšího prostředí.

Odtud pak vyplývá volba druhého materiálu podle následujícího vztahu

$$n_2 = n_1 \sqrt{\frac{n_3}{n_0}} \quad (1)$$

Pro nejčastěji používané optické sklo BK7 s indexem lomu $n_3 = 1,52$ při dopadu světla ze vzduchu s indexem lomu $n_0 = 1$, tak dostáváme hodnotu $n_2 = 1,81$, která zhruba odpovídá oxidu yttritému ($n = 1,8$). Optické tloušťky obou vrstev jsou čtvrtvlnné, t.j. $t_1 = t_2 = \lambda/4 = 158 \text{ nm}$.

P ř í k l a d 2

Pro úhel dopadu $\Theta = 45^\circ$ požadujeme potlačit odrazivost těžkého optického skla s indexem lomu $n_3 = 1,72$ pro světlo vlnové délky $\lambda = 633 \text{ nm}$, dopadající ze vzduchu o indexu lomu $n_0 = 1$, polarizované rovnoběžně s rovinou dopadu. Pro vrstvu přilehlou k vstupnímu prostředí použijeme tentokrát fluorid hořečnatý MgF_2 s indexem lomu $n_1 = 1,38$. Volba materiálu vrstvy přilehlé k podložce vyplyne z následujícího postupu: Pro šikmý dopad ve výpočtu uvažujeme místo indexů lomu tzv. admitance, definované

$$Y = n \left(\sqrt{1 - \frac{n_0^2 \sin^2 \Theta}{n^2}} \right)^{\pm 1} \quad (2)$$

kde $+1$ resp. -1 volíme pro antireflexi složky světla, polarizované kolmo k rovině, respektive rovnoběžně s rovinou dopadu. Inverzí tohoto vztahu dostáváme pro hledaný index lomu n_2

$$n_2 = Y_2 \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 - (2n_0 \sin \Theta / Y_2)^2} \right]} \quad (3)$$

kde Y_2 je dáno podmínkou (1), která zobecněně pro šikmý dopad dává

$$Y_2 = Y_1 \sqrt{\frac{Y_3}{Y_0}} \quad (1a)$$

což lze po dosažení za admitance do pravé strany rovnice (1a) ze vztahu (2) upravit na

$$Y_2 = n_1 \frac{n_3}{n_0} \sqrt{\frac{n_0 \cos \Theta}{(n_1^2 - n_0^2 \sin^2 \Theta) \sqrt{n_3^2 - n_0^2 \sin^2 \Theta}}} \quad (4)$$

Dosažením hodnot indexů lomu a úhlu dopadu ze zadání vypočteme admitanci první vrstvy od podložky Y_2 a jejím dosažením do (3) odpovídající index lomu n_2 . Dostaneme tak hodnotu $n_2 = 1,685$, která zhruba odpovídá oxidu hořečnatému MgO ($n = 1,7$). Pro optické tloušťky obou vrstev t_1 a t_2 platí

$$t_{1,2} = \frac{\lambda}{4 \sqrt{1 - \left(\frac{n_0 \sin \Theta}{n_{1,2}} \right)^2}}$$

Odtud pak dosažením hodnot ze zadání máme $t_1 = 174 \text{ nm}$, $t_2 = 184$. Nakonec ověříme hodnotu odrazivosti R v minimu pro technologickou hodnotu indexu lomu první vrstvy od podložky (MgO) $n_2 = 1,7$ dle vztahu

$$R = \left[\frac{Y_0/Y_3 - (Y_1/Y_2)^2}{Y_0/Y_3 + (Y_1/Y_2)^2} \right]^2$$

Jednotlivé admitance vypočteme dle vztahu (2); dostáváme $Y_0 = 1,414$, $Y_3 = 1,887$, $Y_2 = 1,869$, $Y_1 = 1,607$. Dosezením těchto hodnot do vztahu (5) zjistíme zbytkovou odrazivost $R = 0,005 \%$, což je hodnota pro většinu aplikací zanedbatelně malá.

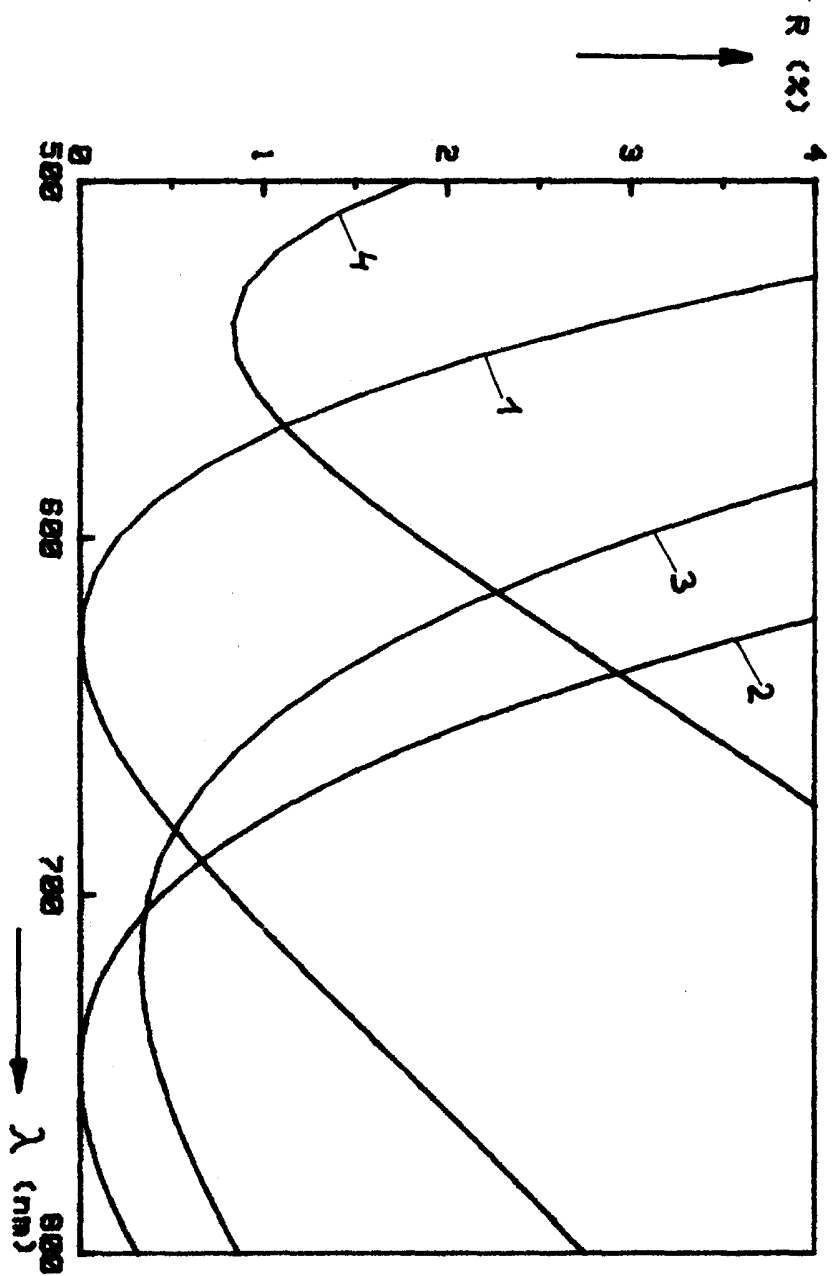
Vynález je určen zejména pro ty oblasti optické výroby, kde se vyžaduje potlačení odrazivosti monochromatického světla.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

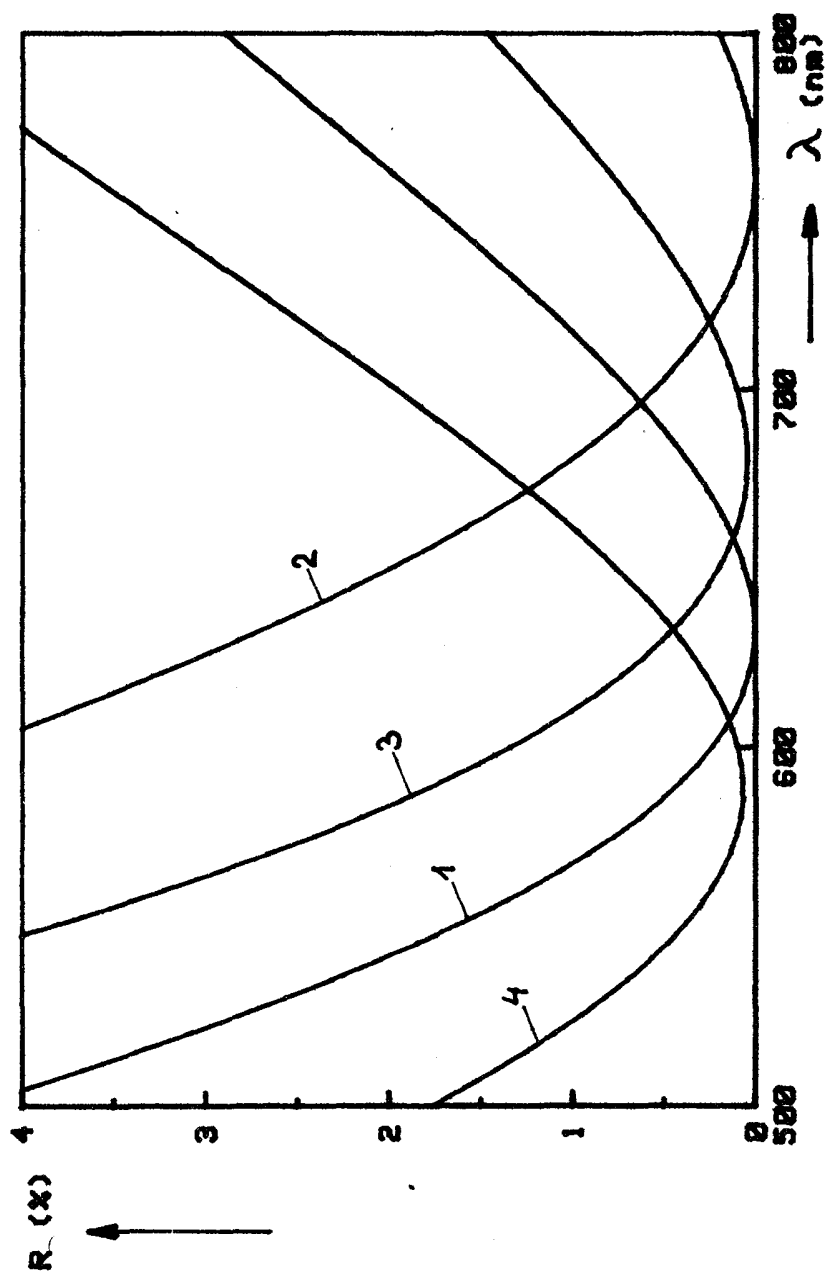
Způsob vytváření dvojité antireflexní vrstvy na podložce z optických skel, vyznačený tím, že na podložku z optického skla se nejprve nanesí ve vakuu vrstva oxidu kovu vzácných zemin, například yttritého či gadolinitého, nebo oxidu hafničitého či oxidu hořečnatého, a poté se nanesí ve stejné optické tloušťce s tolerancí $\pm 30 \%$ vrstva oxidu křemičitého nebo fluoridu hořečnatého.

2 výkresy

251633



0BR.1



OBR.2