



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 295 935 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 02 B 27/14

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD G 02 B / 317 762 7	(22)	11.07.88	(44)	14.11.91
(71)	siehe (73)				
(72)	Müller, Albrecht, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Vogel, Martin, Dipl.-Phys.; Holzinger, Edeltraut, Dipl.-Chem., DE				
(73)	Carl Zeiss JENA GmbH, Carl-Zeiss-Straße 1, O - 6900 Jena, DE				
(54)	Breitbandiger Strahlteiler				

(55) Strahlteiler, verlustarm, breitbandig; Schichten, dielektrische; Reflexion; Transmission; Entspiegelung
(57) Breitbandiger Strahlteiler für den sichtbaren Spektralbereich, insbesondere für die Anwendung im Strahlengang optischer Geräte, z. B. von Mikroskopen. Bei dem erfindungsgemäßen Strahlteiler sind die dielektrischen Schichten zum Außenmedium Luft hin mit einer Transformationsschicht der optischen Dicke $\lambda_0/4$ versehen und bilden ein breitbandiges Entspiegelungssystem. Die Transformationsschicht transformiert die für die gewünschte Grenzflächenreflexion notwendige Brechzahl in eine im Bereich von nahezu 1 bis zur Brechzahl des verwendeten Substrates liegende Brechzahl. Das Entspiegelungssystem entspiegelt das Substrat gegen die transformierte Brechzahl im vorgesehenen Arbeitsbereich. Dadurch wird eine hohe Konstanz des Reflexions-Transmissionsverhältnisses bei gleichzeitig geringsten Absorptionsverlusten erreicht.

Patentansprüche:

1. Breitbandiger Strahlteiler, insbesondere für den sichtbaren Spektralbereich, bestehend aus einem transparenten optischen Substrat und darauf angeordneten dielektrischen Schichten, **dadurch gekennzeichnet**, daß die dielektrischen Schichten zum Außenmedium Luft hin mit einer Transformationsschicht der optischen Dicke $\lambda_0/4$ einer Schwerpunktwellenlänge λ_0 versehen sind, welche die für die gewünschte Grenzflächenreflexion R erforderliche Brechzahl $n = (1 + \sqrt{R})/(1 - \sqrt{R})$ in eine Brechzahl aus dem Bereich von nahezu 1 bis zur Brechzahl des verwendeten Substrates transformiert, und daß die dielektrischen Schichten ein breitbandiges Entspiegelungssystem mit Schichten der optischen Dicke $\lambda_0/4$ bilden, welches das verwendete Substrat gegen die transformierte Brechzahl im vorgegebenen Arbeitsbereich entspiegelt.
2. Breitbandiger Strahlteiler nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Entspiegelungssystem einzelne $\lambda_0/4$ -Schichten mittlerer Brechzahl in an sich bekannter Weise durch mindestens je eine hoch- und niedrigbrechende Schicht mit einer optischen Dicke $\neq \lambda_0/4$ ersetzt sind.
3. Breitbandiger Strahlteiler nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß gemäß einem für die Anwendung des Strahlteilers vorgesehenen Einfallswinkel des Lichtes bis im wesentlichen 45 Grad die optischen Dicken der Transformationsschicht und der einzelnen Schichten des Entspiegelungssystems bis zu 10% größer sind als bei dem Einfallswinkel von 0 Grad.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen breitbandigen Strahlteiler, insbesondere für den sichtbaren Spektralbereich. Derartige Strahlteiler, auch als Teilungsspiegel oder teildurchlässige Spiegel bezeichnet, finden im Strahlengang vieler optischer Geräte, z. B. bei Mikroskopen, Anwendung.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Wegen ihres Einsatzes im Strahlengang optischer Geräte wird von Strahlteilern verlangt, daß sie geringe Lichtverluste durch Absorption und eine hohe Konstanz im Verhältnis Reflexion zu Transmission im Arbeitsbereich aufweisen, was für den sichtbaren Spektralbereich gleichbedeutend ist mit großer Helligkeit und Farbneutralität. Es sind Metallschichten enthaltende Strahlteiler bekannt, die jedoch für viele Anwendungen aufgrund der unvermeidlichen Absorption nicht geeignet sind.

Bekannt sind auch verlustarme Strahlteiler, die aus einem lichtdurchlässigen Substrat bestehen, auf dem sich dielektrische Schichten der optischen Dicke $\lambda_0/4$ mit abwechselnd hoher und niedriger Brechzahl befinden, um den geforderten Reflexionswert zu erreichen. λ_0 ist dabei die Schwerpunktwellenlänge des Arbeitsbereiches des Strahlteilers. Um die Reflexion im Arbeitsbereich konstant zu halten, wird das Schichtsystem durch hoch- oder niedrigbrechende Schichten der Dicke $\lambda_0/2$ oder eine $\lambda_0/4$ -Schicht einer mittleren Brechzahl ergänzt, oder die Schichten erhalten unterschiedliche, etwas von $\lambda_0/4$ abweichende Dicken (z. B. Knittel, Z., Optics of thin films, Prag, 1976). Trotzdem kann die Forderung nach Konstanz der optischen Parameter Reflexion und Transmission nur unzureichend erfüllt werden.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung verfolgt das Ziel, die spektrale Konstanz des Reflexions-Transmissions-Verhältnisses von Strahlteilern unter Gewährleistung geringster Absorptionsverluste im sichtbaren Spektralbereich zu erhöhen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schichtanordnung für verlustarme breitbandige Strahlteiler mit höchster Konstanz des Reflexions-Transmissions-Verhältnisses anzugeben. Diese Aufgabe wird durch einen breitbandigen Strahlteiler, insbesondere für den sichtbaren Spektralbereich, bestehend aus einem transparenten optischen Substrat und darauf angeordneten dielektrischen Schichten erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die dielektrischen Schichten zum Außenmedium Luft hin mit einer Transformationsschicht der optischen Dicke $\lambda_0/4$ einer Schwerpunktwellenlänge λ_0 versehen sind, welche die für die gewünschte Grenzflächenreflexion R erforderliche Brechzahl $n = (1 + \sqrt{R})/(1 - \sqrt{R})$ in eine Brechzahl aus dem Bereich von nahezu 1 bis zur Brechzahl des verwendeten Substrates transformiert, und daß die dielektrischen Schichten ein breitbandiges Entspiegelungssystem mit Schichten der optischen Dicke $\lambda_0/4$ bilden, welches das verwendete Substrat gegen die transformierte Brechzahl im vorgesehenen Arbeitsbereich entspiegelt.

Bekanntermaßen besteht zwischen der Brechzahl n eines an Luft grenzenden optischen Mediums und der Reflexion R an der Grenzfläche der Zusammenhang

$$n = (1 + \sqrt{R}) / (1 - \sqrt{R}).$$

Der erfindungsgemäße Strahlteiler besteht aus einer Transformationsschicht der optischen Dicke $\lambda_0/4$, die die Brechzahl n in eine Brechzahl aus dem Bereich von nahezu 1 bis zur Brechzahl des verwendeten Trägers transformiert, und einem Schichtsystem aus $\lambda_0/4$ -Schichten, das das verwendete Substrat gegen diese transformierte Brechzahl breitbandig entspiegelt. Das Entspiegelungssystem unterscheidet sich dabei von einer normalen Entspiegelung, wie sie in der Optik häufig anzutreffen ist, dadurch, daß die Brechzahl, gegen die entspiegelt wird, sowohl kleiner als auch größer 1 sein kann, und daß eine Wellenlängenabhängigkeit bei Entfernung von der Stelle $\lambda = \lambda_0$ entsprechend der Transformationseigenschaften der $\lambda_0/4$ -Schicht auftritt.

Einzelne $\lambda_0/4$ -Schichten mittlerer Brechzahl aus dem Entspiegelungssystem können in an sich bekannter Weise vorteilhaft durch mindestens je eine hoch- und niedrigbrechende Schicht mit einer optischen Dicke $\neq \lambda_0/4$ ersetzt werden. Der beschriebene Aufbau des erfindungsgemäßen Strahlteilers gilt strenggenommen nur für senkrechten Lichteinfall.

Üblich ist jedoch die Anwendung der Strahlteiler unter einem Winkel von 45 Grad, um reflektiertes und durchgehendes Licht zu trennen. Diesem Fall kann man durch Vergrößerung der Schichtdicken Rechnung tragen.

Von Vorteil ist, wenn gemäß einem für die Anwendung des Strahlteilers vorgesehenen Einfallswinkel des Lichtes bis im wesentlichen 45 Grad die optischen Dicken der Transformationsschicht und der einzelnen Schichten des Entspiegelungssystems bis zu 10% größer sind als bei dem Einfallswinkel von 0 Grad.

Der erfindungsgemäße Strahlteiler besitzt aufgrund der speziellen Schichtanordnung eine hohe spektrale Konstanz im Reflexions-Transmissions-Verhältnis bei gleichzeitig äußerst geringen Absorptionsverlusten im gesamten sichtbaren Spektralbereich.

Ausführungsbeispiele

Nachfolgend soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

Beispiel 1

Ein erfindungsgemäßer Strahlteiler mit einem Teilungsverhältnis von Reflexion R zu Transmission T $R:T = 1:1$ für die Anwendung unter einem Einfallswinkel von 0 Grad besitzt folgenden Aufbau

Luft / H / L / 4H / M / Substrat $n = 1,52$.

Allgemein bedeuten in der symbolischen Darstellungsweise:

H – hochbrechende Schicht

L – niedrigbrechende Schicht

M – mittelbrechende Schicht

Eine davorgesetzte Zahl gibt die optische Dicke in Einheiten von $\lambda_0/4$ an.

In diesem Beispiel ist H eine an das Außenmedium Luft angrenzende Transformationsschicht, die hochbrechend ($n = 2,4$) ist und eine optische Dicke $\lambda_0/4$ aufweist. H transformiert gemäß der Beziehung $n = (1 + \sqrt{R}) / (1 - \sqrt{R})$ die für die gewünschte Grenzflächenreflexion $R = 1$ erforderliche Brechzahl n in eine Brechzahl von ungefähr 1. Eine niedrigbrechende Schicht L der Brechzahl $n = 1,46$ und der optischen Dicke $\lambda_0/4$, eine hochbrechende Schicht 4H der Brechzahl $n = 2,4$ und der optischen Dicke λ_0 und eine mittelbrechende Schicht M mit der Brechzahl $n = 1,83$ und der optischen Dicke $\lambda_0/4$, die unmittelbar auf dem Substrat haftet, bilden zusammen ein Entspiegelungssystem. Dieses entspiegelt das verwendete Substrat der Brechzahl $n = 1,52$ für den vorgesehenen Arbeitsbereich von 400 bis 700 nm gegen die transformierte Brechzahl.

Beispiel 2

Ein Strahlteiler, der für die Anwendung unter einem Lichteinfallswinkel von 45° vorgesehen ist, ist wie folgt aufgebaut

Luft / 1,1 H / 1,1 L / 4,4 H / 0,41 L / 0,29 H / Substrat $n = 1,52$.

Die Transformationsschicht 1,1 H und das Entspiegelungssystem 1,1 L / 4,4 H / 0,41 L / 0,29 H weisen an den Einfallswinkel von 45 Grad angepaßte optische Dicken auf, die um 10% höher liegen als die für einen Einfallswinkel von 0 Grad (vgl. Beispiel 1). Gleichzeitig ist hier im Vergleich zum Beispiel 1 die mittelbrechende Schicht durch eine niedrigbrechende Schicht (0,41 L) und eine hochbrechende Schicht (0,29 H) ersetzt.

Die erfindungsgemäßen Strahlteiler gemäß Beispiel 1 und 2 zeichnen sich durch hohe spektrale Konstanz des Reflexions-Transmissions-Verhältnisses und geringe Absorptionsverluste im visuellen Spektralbereich aus.

Fig. 1 zeigt den Transmissionsverlauf für $\lambda_0 = 510$ nm für diese beiden Beispiele.

2 9 5 9 3 5

-3-

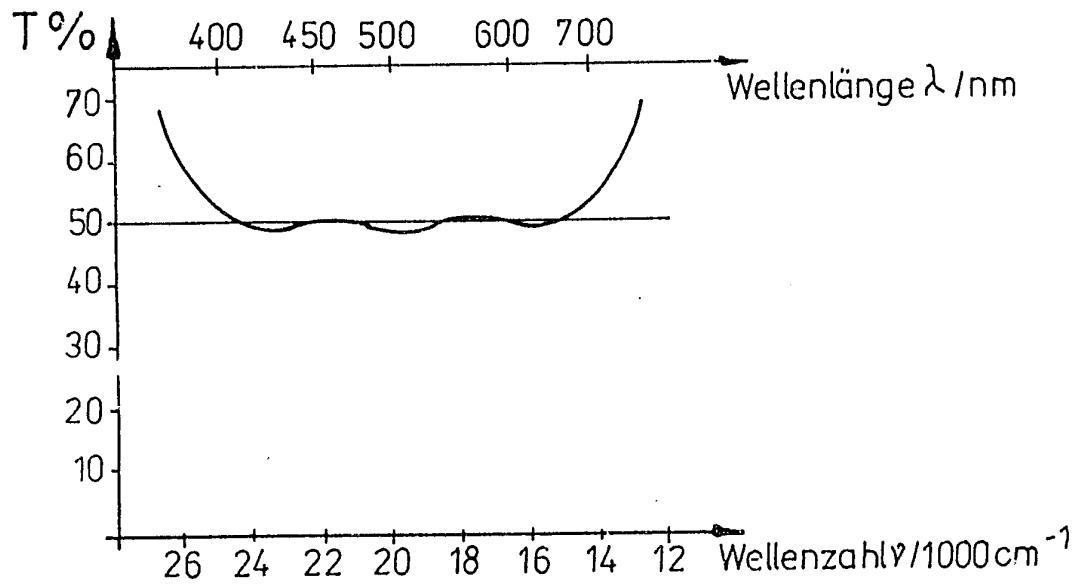


Fig.