

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
31. Oktober 2002 (31.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/086579 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷:
I/11

G02B 21/16,

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **LEICA MICROSYSTEMS WETZLAR
GMBH** [DE/DE]; Postfach 20 40, 35578 Wetzlar (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/03217

(22) Internationales Anmeldedatum:

22. März 2002 (22.03.2002)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **EISENKRÄMER,
Frank** [DE/DE]; Am Buchacker 3, 35444 Biebertal (DE).

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE, TR).

(30) Angaben zur Priorität:

101 19 909.0

23. April 2001 (23.04.2001)

DE

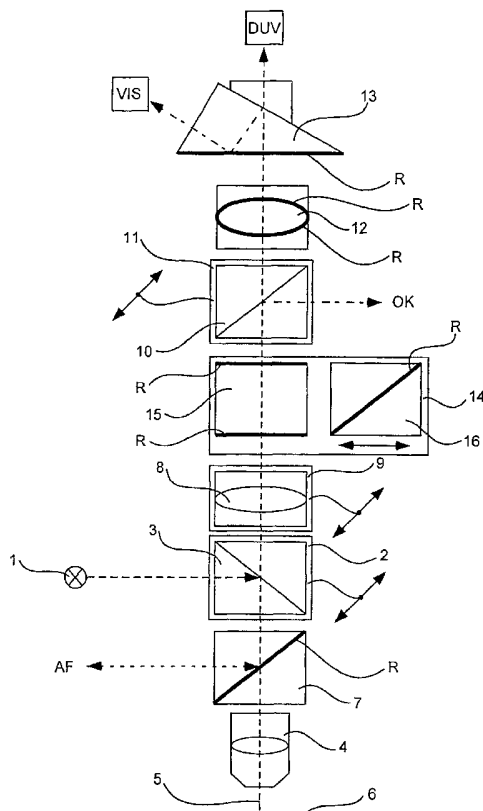
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INSPECTION MICROSCOPE FOR SEVERAL WAVELENGTH RANGES AND REFLECTION REDUCING LAYER
FOR AN INSPECTION MICROSCOPE FOR SEVERAL WAVELENGTH RANGES

(54) Bezeichnung: INSPEKTIONSMIKROSKOP FÜR MEHRERE WELLENLÄNGENBEREICHE UND REFLEXIONSMIN-
DERUNGSSCHICHT FÜR EIN INSPEKTIONSMIKROSKOP FÜR MEHRERE WELLENLÄNGENBEREICHE



(57) Abstract: An inspection microscope for several wavelength ranges with at least one illuminating beam path and at least one imaging beam path is disclosed. Those optical elements in the illuminating beam path and in the imaging beam path, through which beams of all wavelengths pass, are provided with a reflection reducing layer, by means of which the wavelength ranges with reduced reflection are the visible VIS-wavelength range up to 650 nm, the i-lines at $\lambda=365$ nm and the ultraviolet DUV-wavelength range from 240 nm to 270 nm. The reflection reducing layer is a sandwich structure, comprising various material combinations, such as for example, $M2/MgF_2$ or $M2/MgF_2/SiO_2$ or $M2/MgF_2/Al_2O_3$, where M2 is a mixed substance from the company Merck, comprising $La_2O_3 \cdot 3,3 Al_2O_3$. The optical components with reduced reflectance preferably comprise quartz glass or CaF_2 .

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Inspektionsmikroskop für mehrere Wellenlängenbereiche mit mindestens einem Beleuchtungsstrahlengang und mindestens einem Abbildungsstrahlengang angegeben. Diejenigen optischen Bauelemente im Beleuchtungsstrahlengang und im Abbildungsstrahlengang, die von Strahlen aller Wellenlängenbereiche durchstrahlt werden, sind mit einer Reflexionsminderungsschicht belegt, bei welcher die reflexionsgeminderten Wellenlängenbereiche der sichtbare VIS-Wellenlängenbereiche bis 650 nm, die i-Linie bei $\lambda=365$ nm und der ultraviolette DUV-Wellenlängenbereich von 240 nm bis 270 nm sind. Die Reflexionsminderungsschicht weist eine Sandwichstruktur auf, die aus verschiedenen Materialienkombinationen, wie beispielsweise $M2/MgF_2$ oder $M2/MgF_2/SiO_2$ oder $M2/MgF_2/Al_2O_3$ besteht. Dabei ist M2 eine Mischsubstanz der Fa. Merck, welche aus $La_2O_3 \cdot 3,3 Al_2O_3$ besteht. Die reflexgeminderten optischen Bauelemente bestehen vorzugsweise aus Quarzglas oder aus CaF_2 .

WO 02/086579 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Inspektionsmikroskop für mehrere Wellenlängenbereiche und
Reflexionsminderungsschicht für ein Inspektionsmikroskop für mehrere
Wellenlängenbereiche**

Die Anmeldung betrifft ein Inspektionsmikroskop für mehrere Wellenlängenbereiche mit mindestens einem Beleuchtungsstrahlengang und mindestens einem Abbildungsstrahlengang.

Die Erfindung betrifft ferner eine Reflexionsminderungsschicht für ein Inspektionsmikroskop für mehrere Wellenlängenbereiche.

In der Halbleiterindustrie werden Inspektionsmikroskope zur Beobachtung, Untersuchung und Prüfung von Wafern, Masken und Halbleiterbausteinen zur Kontrolle der verschiedenen Herstellungsschritte eingesetzt. Inspektionsmikroskope sind meist weitgehend automatisiert. Hierzu gehören unter anderem automatische Transport- und Handhabungssysteme für die zu untersuchenden Bausteine oder Wafer, sowie die Möglichkeit der automatischen Fokussierung.

Bekanntlich hängt das optische Auflösungsvermögen eines Mikroskops von der Wellenlänge des Beleuchtungslichtes und der numerischen Apertur des Objektivs ab. Da sich die numerische Apertur der Objektive nicht beliebig steigern lässt, werden zur Auflösung immer kleinerer Strukturen die Wellenlängen des Beleuchtungslichtes immer kürzer gewählt. Zur Auflösung der sehr kleinen Strukturen auf Wafern für hochintegrierte Schaltkreise wird daher ultraviolettes Licht verwendet. Zur Zeit sind bei Inspektionsmikroskopen Beleuchtungswellenlängen zwischen 248 nm und 365 nm üblich.

In der 199 31 954 A1 wird ein Inspektionsmikroskop beschrieben, das mit mehreren Wellenlängenbereichen arbeitet. Als Lichtquelle wird beispielsweise eine Quecksilberdampflampe mit Spektralanteilen in den verschiedenen

Wellenlängenbereichen verwendet. Die betreffenden Wellenlängenbereiche sind: erstens der sichtbare Wellenlängenbereich bis ca. 650 nm, abgekürzt als VIS-Bereich (für englisch "visible") bezeichnet, zweitens die als „i-Linie“ bezeichnete Lampenlinie der Quecksilberdampflampe mit einer Wellenlänge

5 $\lambda_{i\text{-Linie}} = 365 \text{ nm}$ und drittens ein schmales Wellenlängenband zwischen ca. 200 bis 300 nm aus dem tiefen ultra-violetten Wellenlängenbereich, das nachfolgend kurz als DUV-Bereich (für englisch "DUV" = "deep ultraviolet") bezeichnet wird. Das DUV-Wellenlängenband, das durch seine spektrale Spitzenwertlage und seine Halbwertsbreite charakterisiert wird, wird mit einem

10 Reflexionsfilter-System aus dem Lichtspektrum der Lichtquelle ausgefiltert.

Die Beleuchtungsoptik und die Abbildungsoptik des Mikroskops sind für alle drei Wellenlängenbereiche korrigiert und angepasst. Das Mikroskopbild für den VIS-Bereich wird mittels Okularen oder zusätzlich einer Kamera für den VIS-Bereich dargestellt. Das Mikroskopbild für die i-Linie und den DUV-

15 Bereich wird mit einer UV-empfindlichen TV-Kamera sichtbar gemacht.

Bei dem beschriebenen Mikroskop zeigte sich, dass speziell für den DUV-Bereich das Kamerabild nicht bei allen Anwendungen den hohen Anforderungen der Anwender entsprach. Zur Verbesserung der Beleuchtungs- und Abbildungsverhältnisse im DUV-Bereich wäre der Einsatz eines

20 gegenüber der Quecksilberdampflampe leistungstärkeren Lasers mit entsprechend wesentlich höheren Anschaffungs- und Unterhaltskosten und gegebenenfalls der Einsatz einer empfindlicheren und damit teureren Kamera notwendig gewesen.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein

25 Inspektionsmikroskop anzugeben, welches den Einsatz eines leistungstärkeren und teureren Lasers vermeidet und zugleich eine deutlich verbesserte Bildqualität in allen drei Wellenlängenbereichen, speziell jedoch im DUV-Bereich, liefert.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Inspektionsmikroskop für mehrere

30 Wellenlängenbereiche mit mindestens einem Beleuchtungsstrahlengang und mindestens einem Abbildungsstrahlengang, welches sich dadurch

auszeichnet, dass im Beleuchtungsstrahlengang und im Abbildungsstrahlengang diejenigen, vorzugsweise feststehenden, optischen Bauelemente, die von Strahlen aller Wellenlängenbereiche durchstrahlt werden, mit einer Reflexionsminderungsschicht belegt sind, bei welcher die reflexionsgeminderten Wellenlängenbereiche der sichtbare VIS-Wellenlängenbereich bis 650 nm, die i-Linie bei $\lambda = 365$ nm und der ultraviolette DUV-Wellenlängenbereich von 240 nm bis 270 nm sind.

Die Idee bestand darin, überall dort im Mikroskop-Strahlengang, wo jeweils nur Strahlen eines einzigen Wellenlängenbereichs langgeführt werden, Wellenlängenbereich-spezifische optische Bauelemente anzuordnen. An den Stellen im Mikroskop-Strahlengang, wo jeweils abwechselnd nur Strahlen eines einzigen der drei Wellenlängenbereiche langgeführt werden, ist jeweils ein Bauelement-Wechsler mit der erforderlichen Zahl an Wellenlängenbereich-spezifischen optischen Bauelementen angeordnet. Mit diesem Bauelement-Wechsler ist es möglich, jeweils eines dieser Bauelemente, das auf den jeweils aktuell benutzten Wellenlängenbereich korrigiert und optimiert ist, in den Strahlengang einzufügen. Der Bauelement-Wechsler kann dabei beispielsweise als Linearschieber oder Drehscheibe ausgebildet sein, auf denen die Wellenlängenbereich-spezifischen optischen Bauelemente angeordnet sind.

Es gibt jedoch im Beleuchtungsstrahlengang und im Abbildungsstrahlengang optische Bauelemente, die von Strahlen aller Wellenlängenbereiche durchstrahlt werden. Vorzugsweise sind dies die feststehenden optischen Bauelemente. Diese müssen für alle drei Wellenlängenbereiche optimiert werden. Dazu sind sie erfindungsgemäß mit einer Reflexionsminderungsschicht belegt, bei welcher die reflexionsgeminderten Wellenlängenbereiche der sichtbare VIS-Wellenlängenbereich bis 650 nm, die i-Linie bei $\lambda = 365$ nm und der ultraviolette DUV-Wellenlängenbereich von 240 nm bis 270 nm sind.

Die reflexgeminderten, feststehenden optischen Bauelemente des Inspektionsmikroskops bestehen vorzugsweise aus Quarzglas oder aus CaF_2 , da diese beiden Materialien von den im ultravioletten Wellenlängenbereich

durchlässigen Materialien diejenigen sind, die sich für eine industrielle Nutzung (im Hinblick auf Preis, Umweltstabilität, Verarbeitbarkeit etc.) eignen. Der Brechungsindex für Quarzglas beträgt $n_e = 1.46$ und der Brechungsindex für CaF_2 beträgt $n_e = 1.43$.

- 5 In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Inspektionsmikroskops weist die Reflexionsminderungsschicht eine Sandwichstruktur auf, die aus den Materialien M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$) und MgF_2 besteht. Aus diesen Materialien sind abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2 aufgebracht, wobei die erste, also unterste, 10 Schicht aus M2 und die letzte Schicht aus MgF_2 besteht. Hierbei sind ungefähr acht bis zehn Schichten für die Sandwichstruktur erforderlich, um zu wenigstens guten Ergebnissen in der Reflexionsminderung zu gelangen. Mit weniger als acht Schichten in der Sandwichstruktur erzielt man eine Reflexminderungsschicht für nur geringe Anforderungen. Für eine sehr gute 15 Reflexionsminderung werden in der Regel mehr als zehn Schichten in der Sandwichstruktur benötigt.

- In einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Inspektionsmikroskops weist die Reflexionsminderungsschicht eine Sandwichstruktur aus drei Materialien auf, wobei es sich bei den Materialien um M2 (eine 20 Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$), MgF_2 und Al_2O_3 handelt. In dieser Ausführungsform werden im unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus Al_2O_3 und M2 und im oberen Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2 aufgebracht sind. Auch hier besteht die letzte Schicht aus MgF_2 . In 25 einer sehr einfachen Variante dieser Ausführungsform wird nur eine einzige Schicht aus Al_2O_3 , nämlich als unterste Schicht, aufgebracht.

- In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Inspektionsmikroskops weist die Reflexionsminderungsschicht ebenfalls eine Sandwichstruktur aus drei Materialien auf, wobei es sich bei den Materialien 30 um M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$), MgF_2 und SiO_2 handelt. In dieser Ausführungsform werden, beginnend mit M2, im

unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus MgF_2 und SiO_2 und im oberen Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus MgF_2 und MgF_2 aufgebracht sind. Auch hier besteht die letzte Schicht aus MgF_2 .

- 5 Die günstigste Ausführungsform der vorgenannten Ausführungsform Reflexionsminderungsschicht erhält man, wenn sie in der vorher genannten Sandwichstruktur, also abwechselnd mit MgF_2 , genau drei Schichten aus SiO_2 und drei Schichten aus MgF_2 aufweist. In diesem Aufbau war es möglich, eine Reflexionsminderungsschicht mit optimal niedrigen Restreflexionswerten zu
- 10 erzielen. Dabei betrug der mittlere Wert der Reflexion für den VIS-Wellenlängenbereich und die i-Linie $\leq 1,0\%$ und der mittlere Wert der Reflexion für den DUV-Wellenlängenbereich $\leq 0,5\%$. Das mit dieser Reflexionsminderungsschicht erfindungsgemäß ausgestattete Inspektionsmikroskop weist eine deutliche Verbesserung der Bildqualität in
- 15 allen drei verwendeten Wellenlängenbereichen (VIS, i-Linie, DUV) auf. Die deutlichste Steigerung der Bildqualität wurde dabei in dem DUV-Bereich erzielt. Damit wurde der Einsatz eines im Vergleich zu der Quecksilberdampf Lampe leistungstärkeren und damit in der Anschaffung und im Betrieb wesentlich teureren Lasers für den DUV-Bereich vermieden.
- 20 Bei dem aus dem Stand der Technik vorbekannten Inspektionsmikroskop zeigte sich, dass zu wenig der Ausgangslichtenergie des Lasers an dem zu betrachtenden oder zu untersuchenden Objekt, z.B. einem Wafer, ankam. Dieser Effekt trat auf, obwohl bereits eine gezielte Reflexminderung für alle zwei Wellenlängenbereiche (VIS, DUV) an den eingesetzten optischen
- 25 Bauelementen, wie Linsen, Linsengruppen, Strahlteilern etc, zur Vermeidung von Falschlicht und diffuser Hintergrundbeleuchtung des zu untersuchenden Objekts vorgenommen worden war. Die Nachteile der an den optischen Bauelementen eingesetzten Reflexminderungsschicht waren der hohe maximale Restreflex, der im DUV-Bereich (d. h. im Wellenlängenbereich von
- 30 $\lambda = 248 \text{ nm} \pm 15 \text{ nm}$) ca. 1,6 % betrug. Außerdem wiesen sie im VIS-Bereich eine vergleichsweise hohe Restreflexion von ca. 1,3 % auf. Außerdem war diese Reflexminderungsschicht nicht für Licht mit einer Wellenlänge

$\lambda = 365 \text{ nm}$ (d.h. der i-line) geeignet. Andere bekannte Reflexminderungsschichten, die für i-Linie und den VIS-Bereich ausgelegt sind, sind für ein Inspektionsmikroskop völlig ungeeignet, weil die Restreflexion solcher Reflexminderungsschichten im DUV-Bereich bei ca. 15
5 bis 20% und höher liegt. Dies führte dazu, dass trotz der Optimierung der Optik vorbekannte Inspektionsmikroskope bei sehr speziellen Anwendungen eine zu geringe Bildhelligkeit und Bildqualität zeigten, was insbesondere den DUV-Bereich betraf.

Es ist daher eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die
10 Transmission eines Inspektionsmikroskops für die drei genannten Spektralbereiche, speziell jedoch im DUV-Bereich, zu verbessern.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Reflexionsminderungsschicht für mehrere Wellenlängenbereiche, bei welcher die reflexionsgeminderten Wellenlängenbereiche der sichtbare VIS-Wellenlängenbereich bis 650 nm, die
15 i-Linie bei $\lambda = 365 \text{ nm}$ und der ultraviolette DUV-Wellenlängenbereich bei 240 bis 270 nm sind.

Die Reflexionsminderungsschicht ist in einer speziellen Ausführungsform für optische Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF_2 ausgelegt ist, wie sie typischerweise in einem Inspektionsmikroskop mit den drei vorher genannten
20 Spektralbereichen VIS, i-Linie und DUV verwendet werden. Eine Verwendung auf optischen Bauelementen aus anderen, auch DUV-durchlässigen Materialien ist möglich. Dies wird aber in der Praxis kaum vorkommen, da andere DUV-durchlässige Materialien sich üblicherweise nicht für den industriellen Einsatz eignen, da sie zu teuer, zu schlecht zu bearbeiten oder
25 unter den üblichen Umgebungsbedingungen (z. B. im Hinblick auf Luftfeuchte, Temperatur, Strahlungsbeständigkeit) nicht haltbar genug sind.

Bei der Optimierung der Schichtdicken des Sandwichaufbaus der Reflexminderungsschicht wurde zunächst versucht, in dem gesamten Spektralbereich von 240 nm bis ca. 700 nm die Restreflexe zu mindern. Als
30 Lösung wurden Schichtdesigns mit zehn bis sechzehn Schichten entwickelt,

welche jedoch eine Anhebung des Restreflexionsniveaus im ganzen Spektralbereich zeigten und daher für die Bildqualität in dem Inspektionsmikroskop keine Verbesserung darstellten. Daher wurde die Entwicklung gezielt auf eine Reflexminderungsschicht gerichtet, welche die für
5 die drei benötigten Wellenlängenbereiche (VIS, i-Linie und DUV) selektiv eine Reflexminderung leistet.

Bei der erfindungsgemäßen Reflexminderungsschicht handelt es sich um ein Mehrschichtdesign, das erstmals auf alle drei Spektralbereiche VIS, i-Linie und DUV abgestimmt ist und daher im Vergleich zu den vorbekannten,
10 anspruchloseren Reflexminderungsschichten zwangsläufig mehr Schichten benötigt.

Das Schichtdesign wurde entwickelt mit Hilfe der Optimierungsmethode nach Levenberg-Marquardt, welche in der kommerziell verfügbaren Software zur Dünnschichtberechnung FILM*STAR von FTG-Software zur Verfügung steht.
15 Die Beschichtungsversuche zur Verifizierung des theoretischen Designs wurden auf einer Aufdampfanlage APS 904 der Firma Leybold Systems AG, Hanau, durchgeführt.

Für die erfindungsgemäße Reflexminderungsschicht wurden drei verschiedene Ausführungsformen entwickelt.

20 Die erste Ausführungsform besteht aus einer Reflexionsminderungsschicht, die eine Sandwichstruktur aufweist, die aus nur zwei Materialien, nämlich aus M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$), und MgF_2 besteht. Beginnend mit M2, sind abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2 aufgebracht sind, wobei die letzte Schicht aus MgF_2 besteht.

25 Eine gute Haftfestigkeit und Abriebfestigkeit dieser Reflexminderungsschicht wird bei diesem Schichtdesign dadurch erreicht, dass die zu beschichtenden optischen Bauelemente für die Beschichtung auf ca. 250°C bis 300°C erhitzt werden. Durch die verhältnismäßig langen Aufheiz- und Abkühlzeiten entstehen allerdings längere Herstellungszeiten für die einzelnen Chargen.

30 Außerdem besteht das Risiko, dass ungewollt thermische Verspannungen in

den optischen Bauelementen bzw. den Reflexminderungsschichten entstehen. Dies Risiko ist umso höher, je komplizierter die Formen und je größer die Abmessungen der optischen Bauelemente sind.

In einer anderen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reflexions-
5 minderungsschicht weist diese eine Sandwichstruktur aus drei Materialien auf, wobei es sich bei den Materialien um M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$), MgF_2 und Al_2O_3 handelt. In dieser Ausführungsform werden, beginnend mit Al_2O_3 , im unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus Al_2O_3 und M2 und im oberen Aufbau der
10 Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2 aufgebracht sind. Die letzte Schicht besteht aus MgF_2 . In einer sehr einfachen Variante dieser Ausführungsform wird nur eine einzige Schicht aus Al_2O_3 , nämlich als unterste Schicht, aufgebracht.

Als technisch günstigste Variante hat sich eine weitere Ausführungsform der
15 Reflexminderungsschicht erwiesen, die als Sandwichstruktur ebenfalls aus drei Materialien ausweist. Zu den Materialien M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$) und MgF_2 wurde anstelle von Al_2O_3 als drittes Material SiO_2 ausgewählt. Beginnend mit M2, werden im unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und SiO_2
20 aufgebracht. Im oberen Aufbau der Sandwichstruktur werden abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2 aufgebracht, wobei die letzte Schicht aus MgF_2 besteht.

SiO_2 besitzt den Vorteil, dass die Optikteile unter Verwendung der dem Fachmann geläufigen APS-Technologie (APS = englisch: Advanced Plasma
25 Source) für die gleiche Haft- und Abriebfestigkeit der Reflexminderungsschicht nicht so hoch aufgeheizt werden müssen (ca. 180°C sind ausreichend) wie im Fall der ersten Ausführungsform mit der Kombination aus M2/ MgF_2 .

Da MgF_2 ein Fluorid ist, kann es nicht mit Ionen-Unterstützung aufgedampft werden. Ein vollständiger Verzicht auf MgF_2 und damit die Möglichkeit einer
30 „Kaltbeschichtung“ ist nicht möglich, da auf die niedrige Brechzahl von 1,38 bei MgF_2 und die damit verbundenen niedrigen Restreflexionseigenschaften

nicht verzichtet werden kann, ohne die Eigenschaften der erfindungsgemäßen Reflexminderungsschicht zu verschlechtern.

Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn in einer Reflexminderungsschicht aus den genannten drei Materialien die Sandwichstruktur genau vier
5 Schichten aus SiO_2 und drei Schichten aus MgF_2 aufweist, d.h. die Sandwichstruktur aus insgesamt vierzehn Schichten aufgebaut ist. Dabei bewirken die drei letzten drei niederbrechenden Schichten aus MgF_2 eine niedrige Restreflexion, während zugleich alle anderen niederbrechenden Schichten aus SiO_2 eine stabile Grundlage für das Schichtdesign
10 gewährleisten. Zugleich ist eine geringere Aufheizung der Optikteile ausreichend.

Mit diesem Schichtdesign ist es möglich, eine Reflexminderungsschicht mit optimal niedrigen Restreflexionswerten zu erzielen. Dabei betrug in einer vorteilhaften Variante des Schichtdesigns der mittlere Wert der Reflexion für
15 den VIS-Wellenlängenbereich und die i-Linie $\leq 1,0\%$ und der mittlere Wert der Reflexion für den DUV-Wellenlängenbereich $\leq 0,5\%$.

Durch Verwendung von weniger als vierzehn Schichten ist ebenfalls eine Reflexminderung für die genannten Wellenlängenbereiche darstellbar. Diese Lösungen haben jedoch den Nachteil, dass die Restreflexion der
20 Reflexminderungsschicht auf einem höheren Niveau liegt.

Die für eine Reflexminderungsschicht relativ hohe Schichtanzahl könnte durch die Verwendung anderer Materialien mit noch höherer Brechzahl (im Vergleich zu 1,38 bei MgF_2) noch reduziert werden. Für den DUV-Bereich ist zur Zeit nur noch HfO_2 als einigermaßen absorptionsfreies Material bekannt.
25 Praktische Erfahrungen mit diesem Material haben aber gezeigt, dass bereits bei 240 nm Absorption auftritt, die zu kürzeren Wellenlängen noch erhöht.

Deshalb wurde auf die Verwendung dieses Materials verzichtet und nur Materialien, die als absorptionsfrei bzw. absorptionsarm in den genannten Wellenlängenbereichen bekannt sind, eingesetzt.

Eine weitere Verringerung der Restreflexion der Reflexminderungsschicht könnte durch den Einsatz von noch mehr Schichten in der Sandwichstruktur erzielt werden. Hier wären jedoch, bezogen auf den erreichbaren Effekt, wesentlich mehr Schichten erforderlich, so dass der fertigungstechnische Aufwand für die meisten Anwendungen zu hoch wird. Zugleich würden die Anteile störender Streueffekte und die Restabsorptionen im Schichtsystem zunehmen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Beispielen und der Zeichnung genauer erläutert. Es zeigen:

- 10 **Fig. 1 :** einen schematischen optischen Aufbau eines Inspektionsmikroskops;
- Fig. 2 :** einen schematischen Aufbau einer Reflexminderungsschicht mit sechzehn Schichten aus $M2 / MgF_2 / SiO_2$; (vergleiche Tabelle A)
- 15 **Fig. 3 :** einen spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht mit sechzehn Schichten aus $M2 / MgF_2 / SiO_2$, reflexmindernd wirksam für VIS und i-Linie und DUV; (vergleiche Tabelle A)
- Fig. 4 :** einen schematischen Aufbau einer Reflexminderungsschicht mit vierzehn Schichten aus $M2 / MgF_2 / SiO_2$; (vergleiche Tabelle B)
- 20 **Fig. 5 :** einen spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht mit vierzehn Schichten aus $M2 / MgF_2 / SiO_2$, reflexmindernd wirksam für VIS und i-Linie und DUV; (vergleiche Tabelle B)
- Fig. 6 :** einen spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht mit zwölf Schichten aus $M2 / MgF_2 / SiO_2$, reflexmindernd wirksam für VIS und i-Linie und DUV; (vergleiche Tabelle C)
- 25 **Fig. 7 :** einen spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht mit vierzehn Schichten aus $M2 / MgF_2 / SiO_2$, reflexmindernd wirksam für den gesamten Bereich von VIS über i-Linie bis DUV; (vergleiche Tabelle D)
- 30

Fig. 8 : einen spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht mit sechs Schichten aus $M2 / MgF_2 / Al_2O_3$, reflexmindernd wirksam für VIS und i-Linie und DUV; (vergleiche Tabelle E)

- 5 **Fig. 9 :** einen spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht mit vierzehn Schichten aus $M2 / MgF_2$, reflexmindernd wirksam für VIS und i-Linie und DUV; (vergleiche Tabelle F)

- Fig. 1** zeigt einen schematischen optischen Aufbau eines
- 10 Inspektionsmikroskops. Von einer Lichtquelle 1 geht ein Beleuchtungsstrahl aus, der über eine hier nicht näher dargestellte Beleuchtungsoptik zu einem Beleuchtungsstrahlteiler-Schieber 2 gelangt. Auf dem Beleuchtungsstrahlteiler-Schieber 2 sind verschiedene Beleuchtungsstrahlteiler 3 angeordnet, die jeweils einem bestimmten
- 15 Wellenlängenbereich (VIS, DUV, i-Linie) des Beleuchtungslichts zugeordnet sind. Der in der Darstellung im Strahlengang befindliche Strahlteiler 3 lenkt den ihm zugeordneten Teil des Beleuchtungslichts in Richtung des Objektivs 4 um. Dieser umgelenkte Strahlengang ist schematisch durch eine optische Achse 5 dargestellt. Der so erzeugte Beleuchtungsstrahl wird durch das
- 20 Objektiv 4 auf eine Probe 6 (beispielsweise einen Wafer) fokussiert. Zwischen dem Strahlteiler 3 und dem Objektiv 4 ist im Strahlengang ein sogenannter Autofokus-Strahlteiler 7 angeordnet, über den das Licht einer Autofokus-Vorrichtung AF mittels einer Strahlteilerschicht in den Strahlengang eingekoppelt wird. Das Autofokuslicht durchläuft das Objektiv 4 und wird von
- 25 diesem ebenfalls auf die Probe 6 abgebildet. Von dort wird das Autofokuslicht über den Strahlteiler 7 zurück zur Autofokus-Vorrichtung AF geleitet. Aus dem von der Probe 6 zurückkommenden Licht wird durch die Autofokus-
- 30 Vorrichtung AF ein Beurteilungskriterium für die Fokusslage des von der Lichtquelle 1 ausgehenden Beleuchtungslichts auf der Probenoberfläche 6 abgeleitet. Bei Abweichungen von der idealen Fokusslage kann der Abstand zwischen dem Objektiv 4 und der Probe 6 so geändert werden, dass ein optimaler Fokus eintritt.

Das auf die Probe 6 fokussierte Beleuchtungslicht kehrt von der Probe 6 als Abbildungsstrahlengang zurück und durchläuft nacheinander das Objektiv 4, den Autofokus-Strahlteiler 7, den Beleuchtungsstrahlteiler 3 und eine Tubuslinse 8, die auf einem Tubuslinsen-Schieber 9 angeordnet ist. Der
5 Tubuslinsen-Schieber 9 trägt mehrere Tubuslinsen, von denen jeweils diejenige Tubuslinse 8 in den Strahlengang eingebracht wird, welche auf den aktuell gewünschten Wellenlängenbereich optimiert ist. Die Bewegung des Tubuslinsen-Schiebers 9 ist schematisch durch einen Doppelpfeil gekennzeichnet. Danach gelangt das Abbildungslicht zu einem Okular-
10 Strahlteiler 10 auf einem Okular-Strahlteiler-Schieber 11, an dem das Abbildungslicht geteilt wird, so dass ein erster Anteil des Lichts zu einem Okular OK und ein zweiter Anteil des Lichts durch eine Abbildungsoptik 12 zu einem Bauernfeindprisma 13 gelenkt wird. Der Okular-Strahlteiler-Schieber 11 trägt mehrere Okular-Strahlteiler 10, die den verschiedenen
15 Wellenlängenbereichen zugeordnet sind und wahlweise in den Strahlengang eingebracht werden können. Die Verschiebbarkeit des Okular-Strahlteiler-Schiebers 11 ist schematisch durch einen Doppelpfeil angedeutet.

Mittels der Okulare OK kann eine visuelle Kontrolle des von der Probe 6 erzeugten Mikroskopbildes vorgenommen werden. Zusätzlich besteht die
20 Möglichkeit, das Mikroskopbild auf Kameras darzustellen. Dazu wird an dem Bauernfeindprisma 13 eine Aufteilung des Abbildungsstrahls in einen kombinierten i-Linie-/DUV-Anteil und einen VIS-Anteil vorgenommen. Die beiden Strahlanteile werden jeweils mit Wellenlängen spezifischer Kameras dargestellt. So wird der i-Linie-/DUV-Anteil mit einer UV-empfindlichen
25 Kamera DUV und der VIS-Anteil mit einer auf den sichtbaren Spektralbereich abgestimmten Kamera VIS dargestellt. Damit hat der Mikroskop-Benutzer die Möglichkeit, das Mikroskopbild in bequemer Weise zu betrachten, und zwar je nach eingestelltem Wellenlängenbereich auf der einen oder der anderen Kamera. Die Einstellung des Wellenlängenbereichs erfolgt durch die
30 Verschiebung des Beleuchtungsstrahlteilers 3, des Tubuslinsenschiebers 9 und des Okular-Strahlteiler-Schiebers 11, welche im folgenden zusammenfassend als Bauelement-Wechsler bezeichnet werden. Mit Hilfe dieser Bauelement-Wechsler 3, 9, 11 ist es möglich, an den erforderlichen

- Stellen im Mikroskop jeweils Wellenlängenbereich-spezifische optische Bauelemente anzuordnen. Dies können Bereiche im Strahlengang sein, an denen jeweils nur Strahlen einer einzigen der drei Wellenlängenbereiche entlanggeführt werden. Es kann sich jedoch bei den optischen Bauelementen
- 5 auf dem jeweiligen Bauelement-Wechsler auch um solche Bauelemente handeln, die sehr speziell auf den jeweils zugeordneten Wellenlängenbereich ausgelegt und korrigiert sind. Der Bauelement-Wechsler kann beispielsweise als Linearschieber oder als Drehscheibe ausgebildet sein, auf denen die Wellenlängenbereich-spezifischen optischen Bauelemente angeordnet sind.
- 10 Als zusätzlicher Bauelement-Schieber ist zwischen dem Tubuslinsen-Schieber 9 und dem Okular-Strahlteiler-Schieber 11 ein zusätzlicher Schieber 14 angeordnet. Dieser zusätzliche Schieber 14 trägt ein optisches Ausgleichselement 15 und einen zusätzlichen Strahlteiler 16, von denen wahlweise jeweils einer in den Strahlengang eingebracht werden kann. Dabei
- 15 dient der zusätzliche Strahlteiler 14, wenn er in den Strahlengang eingebracht ist, dazu, einen Lichtanteil des Abbildungslichts für ein Zusatzmodul des Mikroskops aus dem Strahlengang auszukoppeln. Dieses Zusatzmodul kann beispielsweise ein Konfokalm modul oder eine zusätzliche Kamera sein. Wenn dieser zusätzliche Strahlteiler 16 nicht benötigt wird, wird an seiner Stelle
- 20 durch Verschieben des zusätzlichen Schiebers 14 das optische Ausgleichselement 15 in den Strahlengang eingebracht. Die Verschiebemöglichkeit ist schematisch durch einen Doppelpfeil dargestellt. Dieses optische Ausgleichselement 15 bewirkt, dass der Abbildungsstrahl dieselbe optische Glasweglänge durchläuft, wie dies bei eingeschobenem zusätzlichem
- 25 Strahlteiler 16 der Fall wäre. Auf diese Weise wird verhindert, dass sich die Abbildungsverhältnisse im nachfolgenden Strahlengang verändern, wenn der zusätzliche Strahlteiler 16 aus dem Strahlengang geschoben wird.
- Diejenigen optischen Bauelemente, die von Strahlen aller Wellenlängenbereiche durchstrahlt werden, sind feststehend angeordnet. Es
- 30 handelt sich hierbei um den Autofokus-Strahlteiler 7, die Abbildungsoptik 12 und die Eingangsfläche des Bauernfeindprismas 13. Ebenfalls für alle drei Wellenlängenbereiche gleich sind das optische Ausgleichselement 15 bzw.

der zusätzliche Strahlteiler 16, wenn er im Strahlengang befindlich ist. Diese im Strahlengang feststehenden Bauelemente müssen für alle drei Wellenlängenbereiche optimiert werden. Dazu sind sie erfindungsgemäß mit einer Reflexionsminderungsschicht belegt, bei welcher die Reflexminderung
5 für die Wellenlängenbereiche des sichtbaren VIS-Wellenlängenbereichs bis 650 nm, die i-Linie bei $\lambda = 365$ nm und der ultraviolette DUV-Wellenlängenbereich bei 240 nm bis 270 nm realisiert ist.

Die optischen Bauelemente des Inspektionsmikroskops, und damit auch die feststehenden optischen Bauelemente, bestehen vorzugsweise aus Quarzglas
10 oder aus CaF_2 , da diese beiden Materialien von den im ultravioletten Wellenlängenbereich durchlässigen Materialien diejenigen sind, die sich für eine industrielle Bearbeitung und Verwertung am besten eignen. Die Reflexionsminderungsschicht besteht aus mehreren Schichten verschiedener Materialien, welche eine Sandwich-Struktur bilden. Die zum Einsatz
15 kommenden Schichtsysteme, die nachfolgend näher beschrieben werden, werden durch Variation der Schichtdicken an die Substrate der optischen Bauelemente angepasst.

Erfindungsgemäß ist diese Reflexionsminderungsschicht an allen kritischen Grenzflächen der feststehenden optischen Bauelemente aufgebracht. Dabei
20 handelt es sich um die Strahlteilerschicht im Autofokus-Strahlteiler 7, die Strahlteilerschicht im zusätzlichen Schieber 14, die Eintritts- und die Austrittsfläche des optischen Ausgleichselements 15, die vorderen und die hinteren Linsenflächen der Abbildungsoptik 12, die auch aus mehreren Elementen aufgebaut sein kann, und der Eingangsfläche des
25 Bauernfeindprismas 13. Diese Schichten sind in der Fig. 1 durch dicke Linien und die Bezeichnung R (für Reflexminderungsschicht) gekennzeichnet. Die reflexmindernde Wirkung der Schicht bleibt bei einer Variation des Einfallswinkels an der jeweiligen Schicht um $0^\circ \pm 15^\circ$ sowie einer prozessbedingten möglichen Änderung der Brechzahlen von Quarz und CaF_2
30 um $\pm 0,02$ bzw. einer Variation der Dicken der einzelnen Schichten um $\pm 5\%$ erhalten.

Einzelheiten der Schicht-Designs werden nachfolgend in den Fig. 2-9 beschrieben. Die Schichtaufbauten sind sowohl auf Quarzglas als auch auf CaF_2 mit den gleichen Schichtdicken geeignet. Auf diese Weise ist es möglich, alle in dem Inspektionsmikroskop feststehenden Bauelemente an ihren

5 kritischen Flächen mit ein und derselben Reflexminderungsschicht zu beschichten und zugleich eine optimale Reflexminderung zu erzielen. Durch Verwendung nur einer einzigen Schicht, stellt dies eine erhebliche Fertigungsvereinfachung und damit einen Kostenvorteil dar. Viel wesentlicher jedoch ist, dass das mit dieser Reflexminderungsschicht erfindungsgemäß

10 ausgestattete Inspektionsmikroskop eine deutliche Verbesserung der Bildqualität in allen drei verwendeten Wellenlängenbereichen (VIS, i-Linie, DUV) aufweist. Hierbei wurde die deutlichste Steigerung der Bildqualität im DUV-Bereich erzielt. Der Einsatz eines im Vergleich zu der Quecksilberdampfampe leistungsstärkeren und zugleich wesentlich teureren

15 Lasers für den DUV-Bereich konnte vermieden werden.

Fig. 2 zeigt einen schematischen Aufbau einer Reflexminderungsschicht, die aus den drei Materialien M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus La_2O_3 . 3,3 Al_2O_3) und MgF_2 und SiO_2 besteht. Die Schicht besteht aus 16 Schichten, die entweder auf Quarz oder auf CaF_2 aufgebracht werden. Die unterste

20 Schicht besteht aus M2, dann folgen abwechselnd Schichten aus SiO_2 und M2. Schicht Nr. 12 ist erstmals aus MgF_2 und dann geht es weiter abwechselnd mit M2 und MgF_2 , wobei MgF_2 die letzte Schicht bildet. Die hier dargestellte Schicht besitzt den in nachstehender Tabelle A dargestellten Schichtaufbau.

Tabelle A:

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	14,9	M2
	2	25,57	SiO ₂
5	3	20,72	M2
	4	10,12	SiO ₂
	5	66,94	M2
	6	9,17	SiO ₂
	7	6,07	M2
10	8	14,44	SiO ₂
	9	21,87	M2
	10	110,66	SiO ₂
	11	21,78	M2
	12	20,16	MgF ₂
15	13	70,39	M2
	14	14,05	MgF ₂
	15	15,58	M2
	16	66,86	MgF ₂

Die Eigenschaften des Schichtsystems bleiben erhalten, wenn die Dicken der
 20 Einzelschichten nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren. Das Schicht-Design ist
 gleichermaßen auf Quarz und auf CaF₂ anwendbar.

Fig. 3 zeigt den spektralen Verlauf der Restreflexion der Schicht aus Fig. 2.
 Man erkennt eine sehr gute Reflexionsminderungswirkung für den DUV-
 Bereich um 250 nm herum sowie eine gute Reflexminderung für den
 25 sichtbaren Bereich, ab ca. 350 nm bis 650 nm, teilweise sogar bis 675 nm.
 Dargestellt sind die Restreflexionswerte für die Reflexminderungsschicht auf
 zwei Substraten, einmal aufgebracht auf dem Substrat Quarzglas (fette Linie)
 und einmal aufgebracht auf dem Substrat CaF₂ (dünne durchgezogene Linie).

Fig. 4 zeigt einen schematischen Aufbau einer Reflexminderungsschicht, die
 30 ebenfalls aus den drei Materialien M2, MgF₂ und SiO₂ besteht. Dieser
 Schichtaufbau benötigt zwei Schichten weniger als der in Fig. 2 dargestellte.
 Die Details der Sandwich-Struktur sind in nachstehender Tabelle B
 wiedergegeben.

Tabelle B:

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	13,95	M2
	2	27,60	SiO ₂
5	3	20,66	M2
	4	8,84	SiO ₂
	5	69,42	M2
	6	20,90	SiO ₂
	7	24,61	M2
10	8	112,60	SiO ₂
	9	21,02	M2
	10	20,60	MgF ₂
	11	69,85	M2
	12	13,97	MgF ₂
15	13	16,01	M2
	14	66,65	MgF ₂

Die Eigenschaften des Schichtsystems bleiben erhalten, wenn die Dicken der Einzelschichten nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren. Das Schicht-Design ist gleichermaßen auf Quarz und auf CaF₂ anwendbar.

- 20 **Fig. 5** zeigt den spektralen Verlauf der Restreflexion der Reflexminderungsschicht aus Fig. 4. Man erkennt, dass auch diese Reflexminderungsschicht reflexmindernd wirksam ist für die Wellenlängenbereiche VIS, i-Linie und DUV. Im Vergleich zur Schicht aus Fig. 2 (vergleichsweise Tabelle A) zeigt sich, dass diese Schicht mit 14
- 25 Schichten und damit geringerem Produktionsaufwand noch bessere Reflexionswerte erzielt im Vergleich zu der Reflexminderungsschicht mit 16 Schichten auf Fig. 2.
- Fig. 6** zeigt den spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht mit 12 Schichten aus den drei Materialien M2, MgF₂
- 30 und SiO₂. Der Schichtaufbau wird beschrieben durch nachstehende Tabelle C.

Tabelle C

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	15.71	M2
	2	21.57	SiO ₂
5	3	96.82	M2
	4	20.75	SiO ₂
	5	25.35	M2
	6	114.91	SiO ₂
	7	19.29	M2
10	8	20.47	MgF ₂
	9	67.52	M2
	10	14.19	MgF ₂
	11	17.22	M2
	12	65.82	MgF ₂

- 15 Die Eigenschaften des Schichtsystems bleiben erhalten, wenn die Dicken der Einzelschichten nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren. Das Schicht-Design ist gleichermaßen auf Quarz und auf CaF₂ anwendbar.

Anhand des Restreflexionsverlaufs in Fig. 6 wird deutlich, dass durch die Verringerung der Schichtanzahl auf 12 Schichten in der Sandwich-Struktur
 20 eine deutliche Verschlechterung der Restreflexion im Bereich der i-Linie und des VIS-Bereichs hingenommen werden muss, während die Restreflexion im DUV-Bereich noch recht gut ist. Man erkennt daher, dass eine beliebige Verringerung des Schichtaufbaus, wie er für die Dünnschicht-Fertigung wünschenswert wäre, nicht möglich ist.

- 25 Im Vergleich der Fig. 3, 5 und 7 kann man daher sagen, dass der Schichtaufbau mit 14 Schichten aus M2, MgF₂ und SiO₂, wie er in Tabelle B wiedergegeben ist, den günstigsten Aufbau bezüglich der reflexmindernden Wirkung bei möglichst großer spektraler Bandbreite wiedergibt.

In **Fig. 7** ist der spektrale Verlauf der Restreflexion einer
 30 Reflexminderungsschicht angegeben, welche ebenfalls aus den drei Materialien M2, MgF₂ und SiO₂ besteht. Auch diese Schicht besteht aus 14 Einzelschichten in der Sandwich-Struktur. Diese Schicht wurde versuchsweise speziell darauf ausgelegt, den gesamten Bereich vom sichtbaren über die i-Linie bis zum DUV-Bereich durchgehend reflexzumindern. Der entsprechende
 35 Schichtaufbau ist in nachstehender Tabelle D wiedergegeben.

Tabelle D

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	7.08	M2
	2	28.54	SiO ₂
5	3	18.90	M2
	4	11.79	SiO ₂
	5	99.82	M2
	6	15.97	SiO ₂
	7	15.98	M2
10	8	126.92	SiO ₂
	9	19.24	M2
	10	12.55	MgF ₂
	11	63.48	M2
	12	8.65	MgF ₂
15	13	25.04	M2
	14	65.56	MgF ₂

Die Eigenschaften des Schichtsystems bleiben erhalten, wenn die Dicken der Einzelschichten nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren. Das Schicht-Design ist gleichermaßen auf Quarz und auf CaF₂ anwendbar.

- 20 Wie man anhand des Restreflexionsverlaufs, der wieder sowohl auf Quarzglas als auch CF₂ anwendbar ist, erkennt, bietet eine solche breitbandige Restreflexion keine Vorteile gegenüber der selektiven Restreflexion. Man muss im Vergleich zu der Fig. 5 sogar deutliche Einbußen in der Qualität der Reflexminderung hinnehmen. Daher wurde die Idee der breitbandigen
- 25 Reflexminderung über einen so großen Spektralbereich wieder aufgegeben, da die selektive Reflexminderung wirksamere Ergebnisse brachte.

- Fig. 8** zeigt einen spektralen Verlauf der Restreflexion einer Reflexminderungsschicht, die aus den drei Materialien M2, MgF₂ und Al₂O₃ aufgebaut ist. Die hier realisierte Variante des Schicht-Designs kommt mit nur
- 30 sechs Schichten aus. Das Schicht-Design ist in nachstehender Tabelle E wiedergegeben.

Tabelle E

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	136.17	Al ₂ O ₃
	2	175	MgF ₂
5	3	24.26	M2
	4	26.85	MgF ₂
	5	14.66	M2
	6	77.29	MgF ₂

Die Eigenschaften des Schichtsystems bleiben erhalten, wenn die Dicken der
 10 Einzelschichten nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren. Das Schicht-Design ist
 gleichermaßen auf Quarz und auf CaF₂ anwendbar.

Die Schicht ist reflexmindernd wirksam für die Wellenlängenbereiche VIS,
 i-Linie und DUV, jedoch ist der reflexgeminderte Wellenlängenbereich um die
 DUV-Wellenlänge 250 nm deutlich schmaler als bei den bereits vorstehend
 15 beschriebenen Schichten. Auch die Reflexminderung im Bereich i-Linie und
 sichtbaren Wellenlängenbereich ist deutlich schlechter als beispielsweise bei
 der Schicht, die in Fig. 5 spektral beschrieben wird. Man kann daher sagen,
 dass es möglich ist, mit sehr wenigen Schichten sehr wohl eine
 Reflexminderung in den genannten Wellenlängenbereichen zu erzielen, wobei
 20 man deutliche Abstriche für die Anwendungsbreite machen muss.

Fig. 9 zeigt den spektralen Verlauf der Restreflexion einer
 Reflexminderungsschicht aus nur zwei Materialien, nämlich aus M2 und MgF₂.
 Die Reflexminderungsschicht besteht aus 14 Einzelschichten in der Sandwich-
 Struktur, wie man der nachstehenden Tabelle F entnehmen kann.

Tabelle F

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	14.56	M2
5	2	15.38	MgF ₂
	3	19.55	M2
	4	10.64	MgF ₂
	5	87.07	M2
	6	22.38	MgF ₂
10	7	21.89	M2
	8	123.66	MgF ₂
	9	17.88	M2
	10	26.19	MgF ₂
	11	68.93	M2
15	12	12.7	MgF ₂
	13	16.16	M2
	14	66.19	MgF ₂

Die Eigenschaften des Schichtsystems bleiben erhalten, wenn die Dicken der Einzelschichten nicht mehr als $\pm 5\%$ variieren. Das Schicht-Design ist
 20 gleichermaßen auf Quarz und auf CaF₂ anwendbar.

Die Reflexminderung ist wirksam für die Wellenlängenbereiche VIS, i-Linie und DUV. Die Qualität der Reflexminderung ist durchaus vergleichbar zu der Schicht, die in Fig. 5 beschrieben wurde. Allerdings besitzt die Schicht aus M2 und MgF₂, also das Design aus Tabelle F, gegenüber der Schicht aus M2,
 25 MgF₂, also dem Schicht-Design aus Tabelle B, den deutlichen Nachteil, dass beim Beschichtungsvorgang die Substrate wesentlich höher erhitzt werden müssen, wie weiter vorne bereits beschrieben.

Die vorstehend beschriebenen Reflexminderungsschichten können je nach Anspruch an die erforderliche Reflexminderung auch allgemein auf beliebigen
 30 optischen Elementen verwendet werden. Dies können auch optische Elemente in anderen Mikroskopen oder anderen optischen Geräten sein. Dabei ist eine Verwendung generell auf optischen Bauelementen aus Quarzglas oder CaF₂ möglich. Bereits mit sehr wenigen Schichten, wie beispielsweise in Fig. 8 respektive Tabelle E wiedergegeben, ist je nach
 35 Anwendungsfall eine bereits ausreichende Reflexminderung zu erzielen. Mit den vorstehend angegebenen Schichtsystemen mit 12 bis 14 Schichten ist sogar eine gute bis sehr gute Reflexminderung zu erzielen.

Bezugszeichenliste

	1	Lichtquelle
	2	Beleuchtungsstrahlteiler-Schieber
	3	Beleuchtungsstrahlteiler
5	4	Objektiv
	5	optische Achse
	6	Probe
	7	Autofokus-Strahlteiler
	8	Tubuslinse
10	9	Tubuslinsen-Schieber
	10	Okular-Strahlteiler
	11	Okular-Strahlteiler-Schieber
	12	Abbildungsoptik
	13	Bauernfeindprisma
15	14	zusätzlicher Schieber
	15	optisches Ausgleichselement
	16	zusätzlicher Strahlteiler

AF = Autofokus-Vorrichtung

20 OK = Okular

DUV = Kamera für DUV-Bereich und i-Linie

VIS = Kamera für VIS-Bereich

Patentansprüche

1. Inspektionsmikroskop für mehrere Wellenlängenbereiche mit mindestens einem Beleuchtungsstrahlengang und mindestens einem
Abbildungsstrahlengang,
5 **dadurch gekennzeichnet, dass**
diejenigen optischen Bauelemente im Beleuchtungsstrahlengang und im
Abbildungsstrahlengang, die von Strahlen aller Wellenlängenbereiche
durchstrahlt werden, mit einer Reflexionsminderungsschicht belegt sind,
bei welcher die reflexionsgeminderten Wellenlängenbereiche der sichtbare
10 VIS-Wellenlängenbereich bis ca. 650 nm, die i-Linie bei $\lambda = 365$ nm und
der ultraviolette DUV-Wellenlängenbereich von 240 nm bis 270 nm sind.
2. Inspektionsmikroskop nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet dass**
die Reflexionsminderungsschicht eine Sandwichstruktur aufweist, die aus
den Materialien
15 M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus
 $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$),
und MgF_2 ,
besteht, wobei abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2
aufgebracht sind und wobei die letzte Schicht aus MgF_2 besteht.

3. Inspektionsmikroskop nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet dass** die Reflexionsminderungsschicht eine Sandwichstruktur aufweist, die aus den Materialien
- 5 M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$), MgF_2 , und Al_2O_3 besteht, wobei im unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus Al_2O_3 und MgF_2 aufgebracht sind und im oberen Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2 aufgebracht sind und wobei die letzte Schicht aus MgF_2 besteht.
- 10
4. Inspektionsmikroskop nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet dass** die Reflexionsminderungsschicht eine Sandwichstruktur aufweist, die aus den Materialien
- 15 M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$), MgF_2 , und SiO_2 besteht, wobei im unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und SiO_2 aufgebracht sind und im oberen Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2 aufgebracht sind und wobei die letzte Schicht aus MgF_2 besteht.
- 20
5. Inspektionsmikroskop nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet dass** bei der Reflexionsminderungsschicht der mittlere Wert der Reflexion für den VIS-Wellenlängenbereich und die i-Linie $\leq 1,0\%$ beträgt und der mittlere Wert der Reflexion für den DUV-Wellenlängenbereich $\leq 0,5\%$ beträgt.
- 25
6. Inspektionsmikroskop nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet dass** die reflexgeminderten optischen Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF_2 bestehen und eine einheitliche Reflexminderungsschicht aufweisen.
- 30

7. Inspektionsmikroskop nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet dass**
im Beleuchtungsstrahlengang und im Abbildungsstrahlengang ein oder
mehrere Bauelement-Wechsler mit mindestens zwei Wellenlängenbereich-
spezifischen optischen Bauelementen zum wahlweisen Einbringen jeweils
5 mindestens eines dieser Bauelemente in den zugeordneten Strahlengang
angeordnet sind.
8. Reflexionsminderungsschicht für mehrere Wellenlängenbereiche
dadurch gekennzeichnet, dass
die reflexionsgeminderten Wellenlängenbereiche der sichtbare VIS-
10 Wellenlängenbereich bis ca. 650 nm, die i-Linie bei $\lambda = 365$ nm und der
ultraviolette DUV-Wellenlängenbereich bei 240 bis 270 nm sind.
9. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Reflexionsminderungsschicht für optische Bauelemente aus Quarzglas
15 oder aus CaF_2 ausgelegt ist.
10. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
sie eine Sandwichstruktur aufweist, die aus den Materialien
20 M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus
 $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 3,3 \text{ Al}_2\text{O}_3$),
und MgF_2 ,
besteht, wobei abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und MgF_2
aufgebracht sind und wobei die letzte Schicht aus MgF_2 besteht.
11. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 10,
25 **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reflexionsminderungsschicht für
optische Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF_2 ausgelegt ist und
einen Aufbau gemäß folgender Tabelle F aufweist, wobei Schicht 1 die
unterste Schicht ist:

Tabelle F:

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
5	1	14.56	M2
	2	15.38	MgF ₂
	3	19.55	M2
	4	10.64	MgF ₂
	5	87.07	M2
10	6	22.38	MgF ₂
	7	21.89	M2
	8	123.66	MgF ₂
	9	17.88	M2
	10	26.19	MgF ₂
15	11	68.93	M2
	12	12.7	MgF ₂
	13	16.16	M2
	14	66.19	MgF ₂

12. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 8 oder 9,
 20 **dadurch gekennzeichnet, dass**
 sie eine Sandwichstruktur aufweist, die aus den Materialien
 M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus
 La₂O₃ . 3,3 Al₂O₃),
 MgF₂,
 25 und Al₂O₃
 besteht, wobei im unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd
 mehrere Schichten aus Al₂O₃ und MgF₂ aufgebracht sind und im oberen
 Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und
 MgF₂ aufgebracht sind und wobei die letzte Schicht aus MgF₂ besteht.
- 30 13. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
 sie nur eine einzige Schicht aus Al₂O₃ aufweist.
14. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
 35 die Reflexionsminderungsschicht für optische Bauelemente aus Quarzglas
 oder aus CaF₂ ausgelegt ist und einen Aufbau gemäß folgender Tabelle E
 aufweist, wobei Schicht 1 die unterste Schicht ist:

Tabelle E:

	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
5	1	136.17	Al_2O_3
	2	175	MgF_2
	3	24.26	M2
	4	26.85	MgF_2
	5	14.66	M2
	6	77.29	MgF_2
10			

15. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 8 oder 9,

dadurch gekennzeichnet, dass

sie eine Sandwichstruktur aufweist, die aus den Materialien

M2 (eine Mischsubstanz der Fa. Merck aus
 La_2O_3 . 3,3 Al_2O_3),

MgF_2 ,

und SiO_2

besteht, wobei im unteren Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd
mehrere Schichten aus M2 und SiO_2 aufgebracht sind und im oberen

Aufbau der Sandwichstruktur abwechselnd mehrere Schichten aus M2 und
 MgF_2 aufgebracht sind und wobei die letzte Schicht aus MgF_2 besteht.

16. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet, dass

sie mindestens drei Schichten aus SiO_2 und mindestens drei Schichten
aus MgF_2 aufweist.

17. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet, dass

der mittlere Wert der Reflexion für den VIS-Wellenlängenbereich und die
i-Linie $\leq 1,0\%$ beträgt und der mittlere Wert der Reflexion für den DUV-
Wellenlängenbereich $\leq 0,5\%$ beträgt.

18. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 17,

dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsminderungsschicht für
optische Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF_2 ausgelegt ist und sie

einen Aufbau gemäß folgender Tabelle A aufweist, wobei Schicht 1 die unterste Schicht ist:

Tabelle A:

5	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	14,9	M2
	2	25,57	SiO ₂
	3	20,72	M2
	4	10,12	SiO ₂
10	5	66,94	M2
	6	9,17	SiO ₂
	7	6,07	M2
	8	14,44	SiO ₂
	9	21,87	M2
15	10	110,66	SiO ₂
	11	21,78	M2
	12	20,16	MgF ₂
	13	70,39	M2
	14	14,05	MgF ₂
20	15	15,58	M2
	16	66,86	MgF ₂

19. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 17,

dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsminderungsschicht für

25 optische Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF₂ ausgelegt ist und sie einen Aufbau gemäß folgender Tabelle B aufweist, wobei Schicht 1 die unterste Schicht ist:

Tabelle B:

30	Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
	1	13,95	M2
	2	27,60	SiO ₂
	3	20,66	M2
	4	8,84	SiO ₂
35	5	69,42	M2
	6	20,90	SiO ₂
	7	24,61	M2
	8	112,60	SiO ₂
	9	21,02	M2
40	10	20,60	MgF ₂
	11	69,85	M2
	12	13,97	MgF ₂
	13	16,01	M2
	14	66,65	MgF ₂

20. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsminderungsschicht für optische Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF_2 ausgelegt ist und sie einen Aufbau gemäß folgender Tabelle C aufweist, wobei Schicht 1 die unterste Schicht ist:

5

Tabelle C:

Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
1	15.71	M2
2	21.57	SiO_2
10 3	96.82	M2
4	20.75	SiO_2
5	25.35	M2
6	114.91	SiO_2
7	19.29	M2
15 8	20.47	MgF_2
9	67.52	M2
10	14.19	MgF_2
11	17.22	M2
20 12	65.82	MgF_2

21. Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 15,

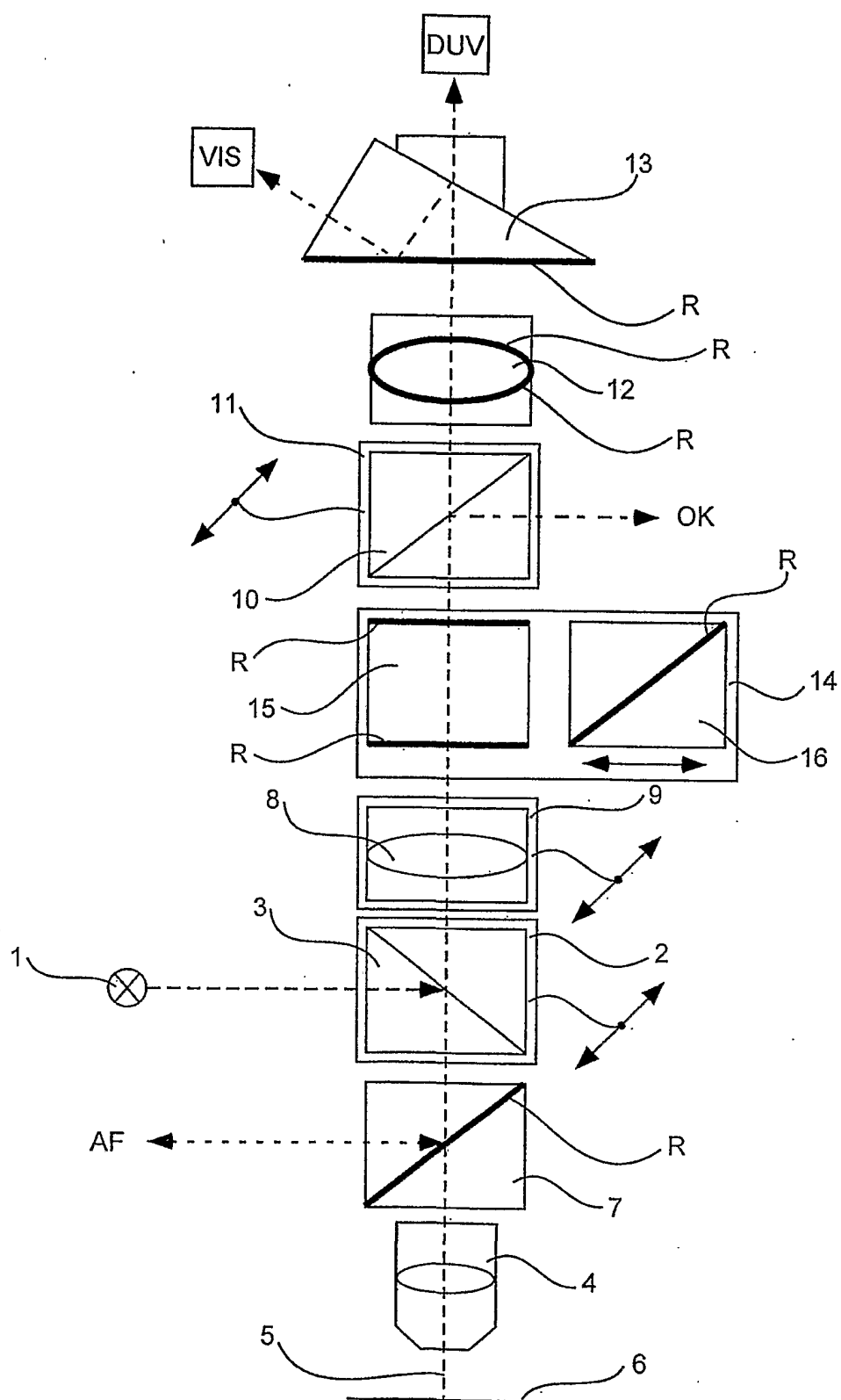
dadurch gekennzeichnet, dass die Reflexionsminderungsschicht für optische Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF_2 ausgelegt ist und sie einen Aufbau gemäß folgender Tabelle D aufweist, wobei Schicht 1 die unterste Schicht ist:

25

Tabelle D:

Schicht Nr.	Dicke in nm	Material
1	7.08	M2
2	28.54	SiO_2
30 3	18.90	M2
4	11.79	SiO_2
5	99.82	M2
6	15.97	SiO_2
7	15.98	M2
35 8	126.92	SiO_2
9	19.24	M2
10	12.55	MgF_2
11	63.48	M2
12	8.65	MgF_2
40 13	25.04	M2
14	65.56	MgF_2

- 22.** Verwendung der Reflexionsminderungsschicht nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
wahlweise optische Bauelemente aus Quarzglas oder aus CaF_2 durch
Aufbringen der Reflexionsminderungsschicht reflexgemindert werden.

**Fig. 1**

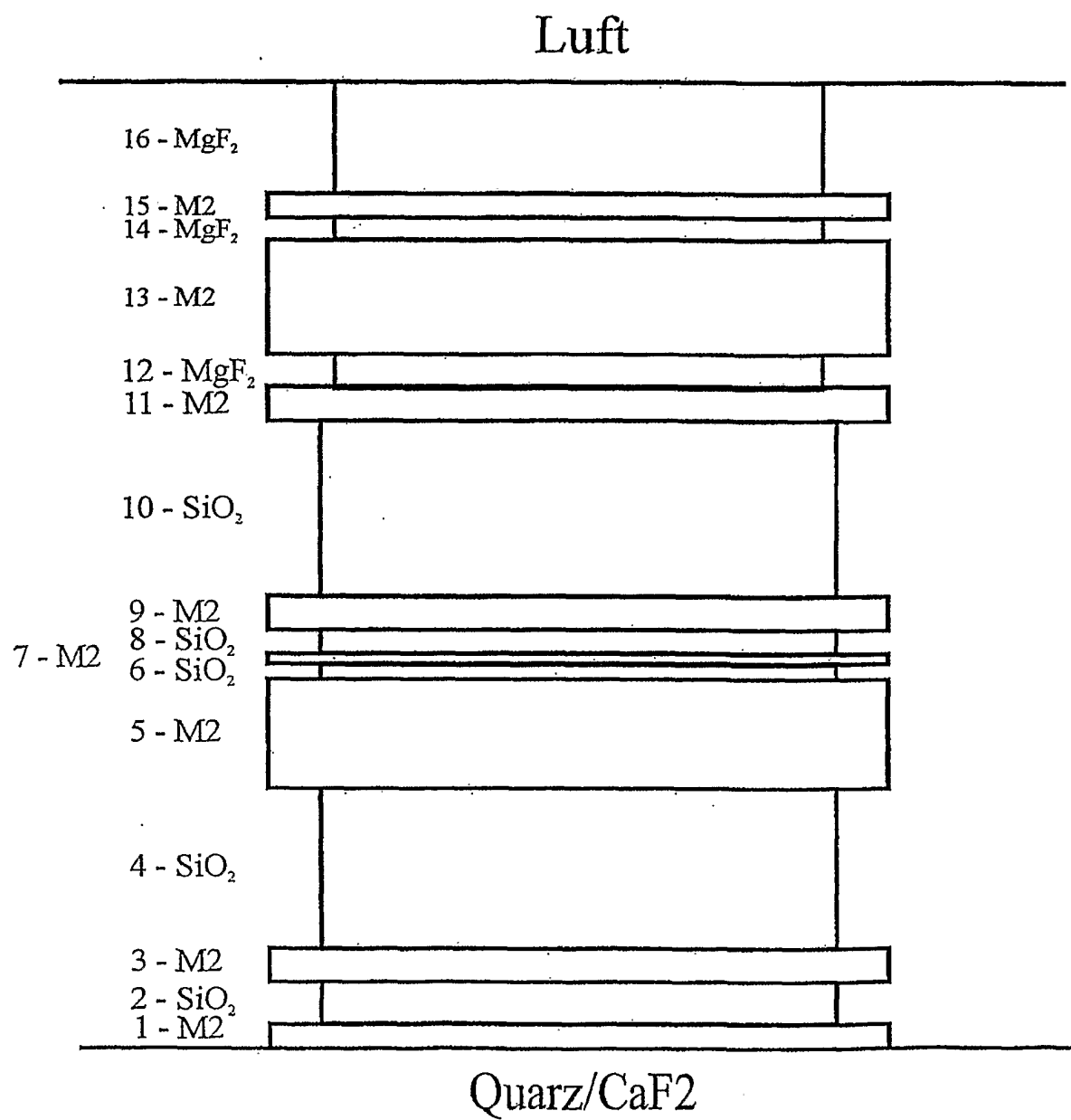
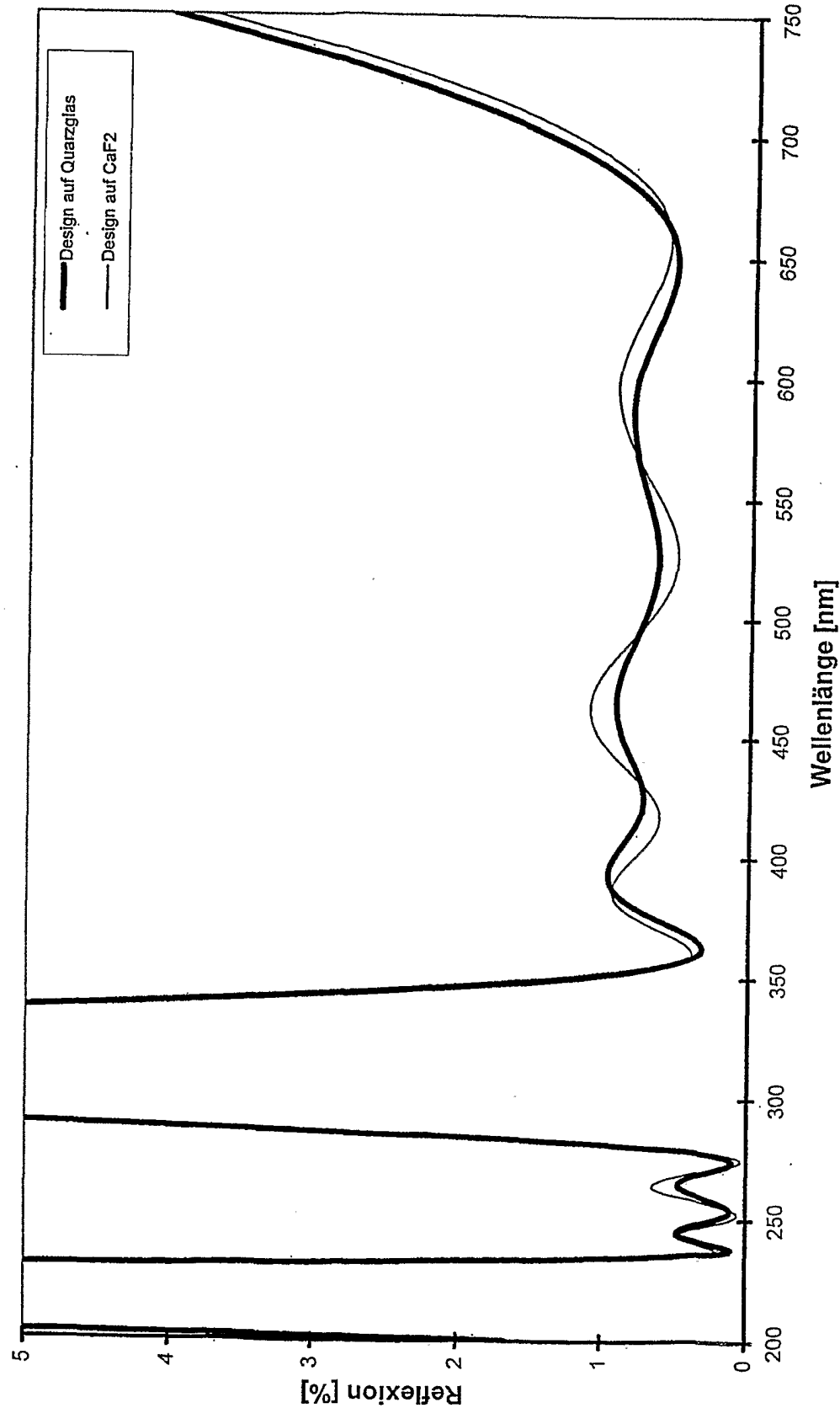
**Fig. 2**

Fig. 3



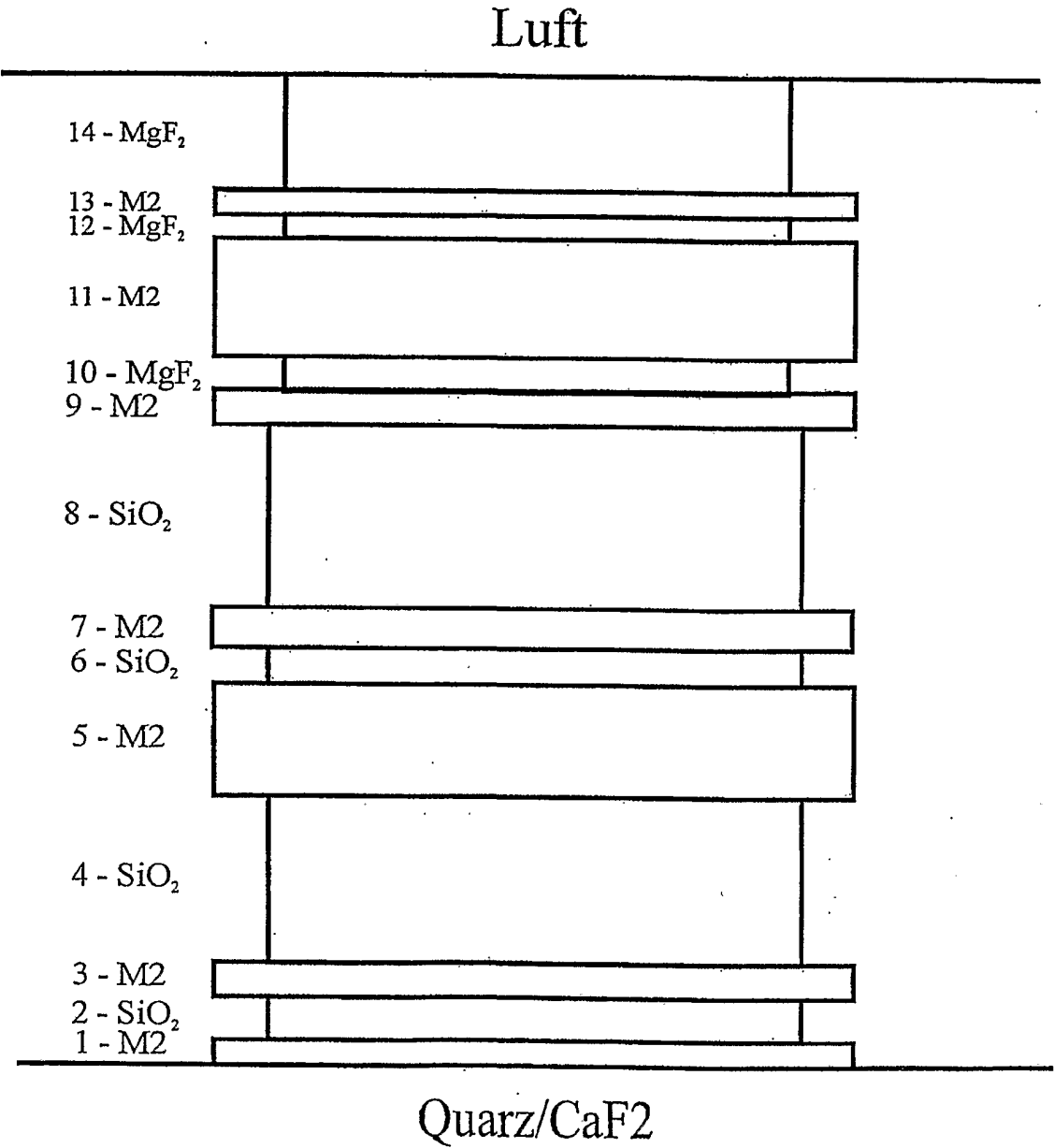


Fig. 4

Fig. 5

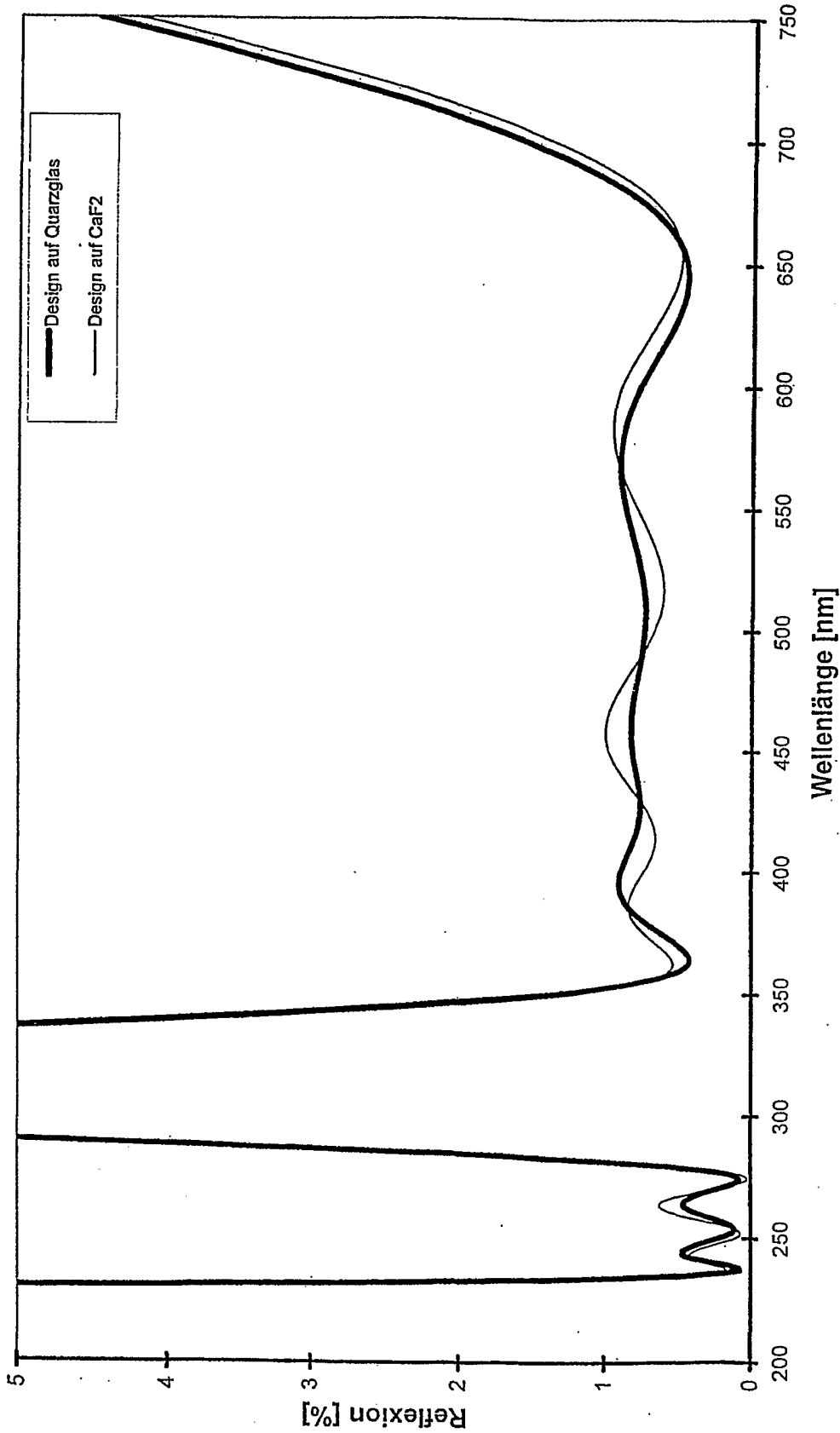


Fig. 6

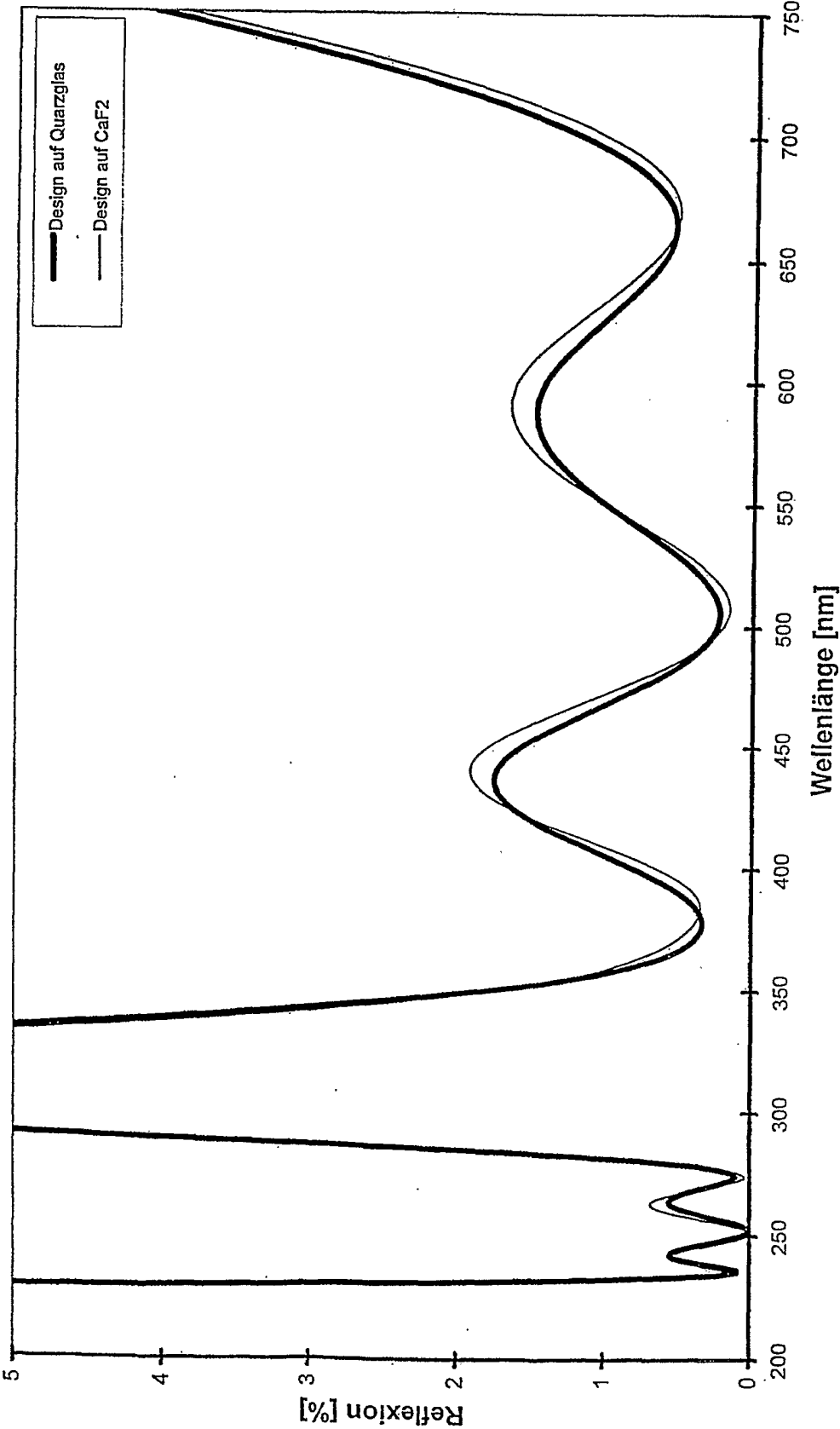


Fig. 7

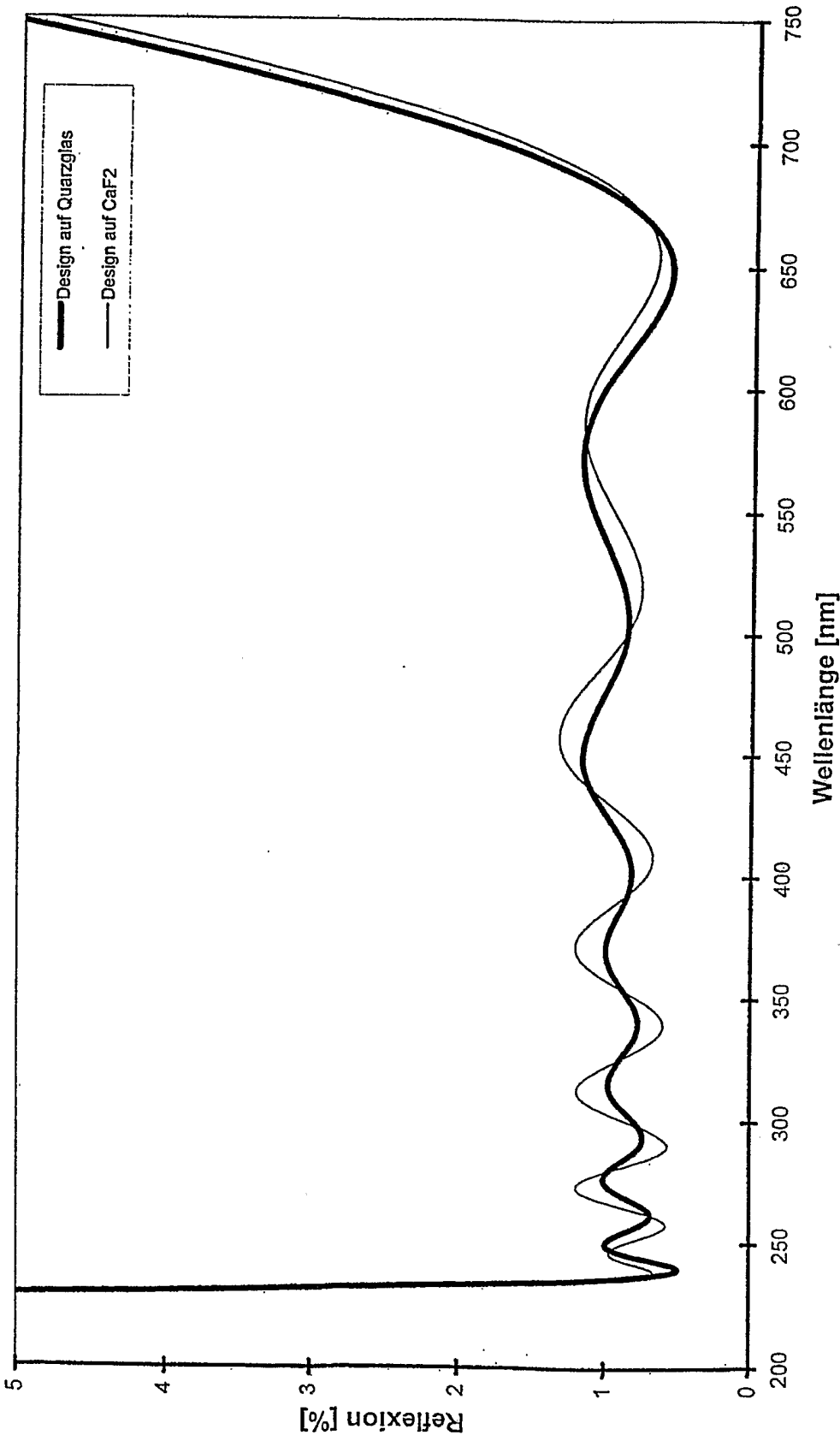


Fig. 8

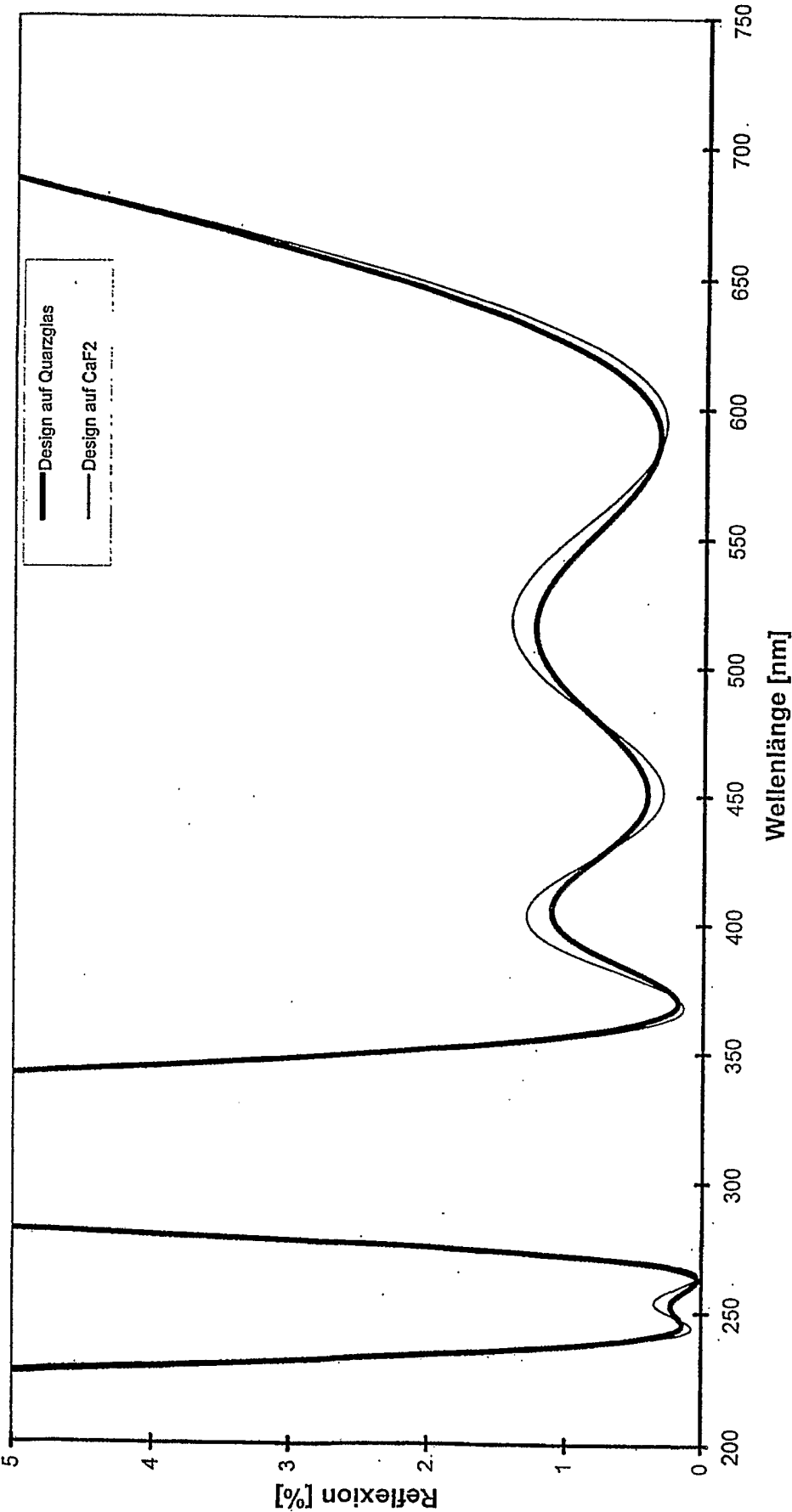
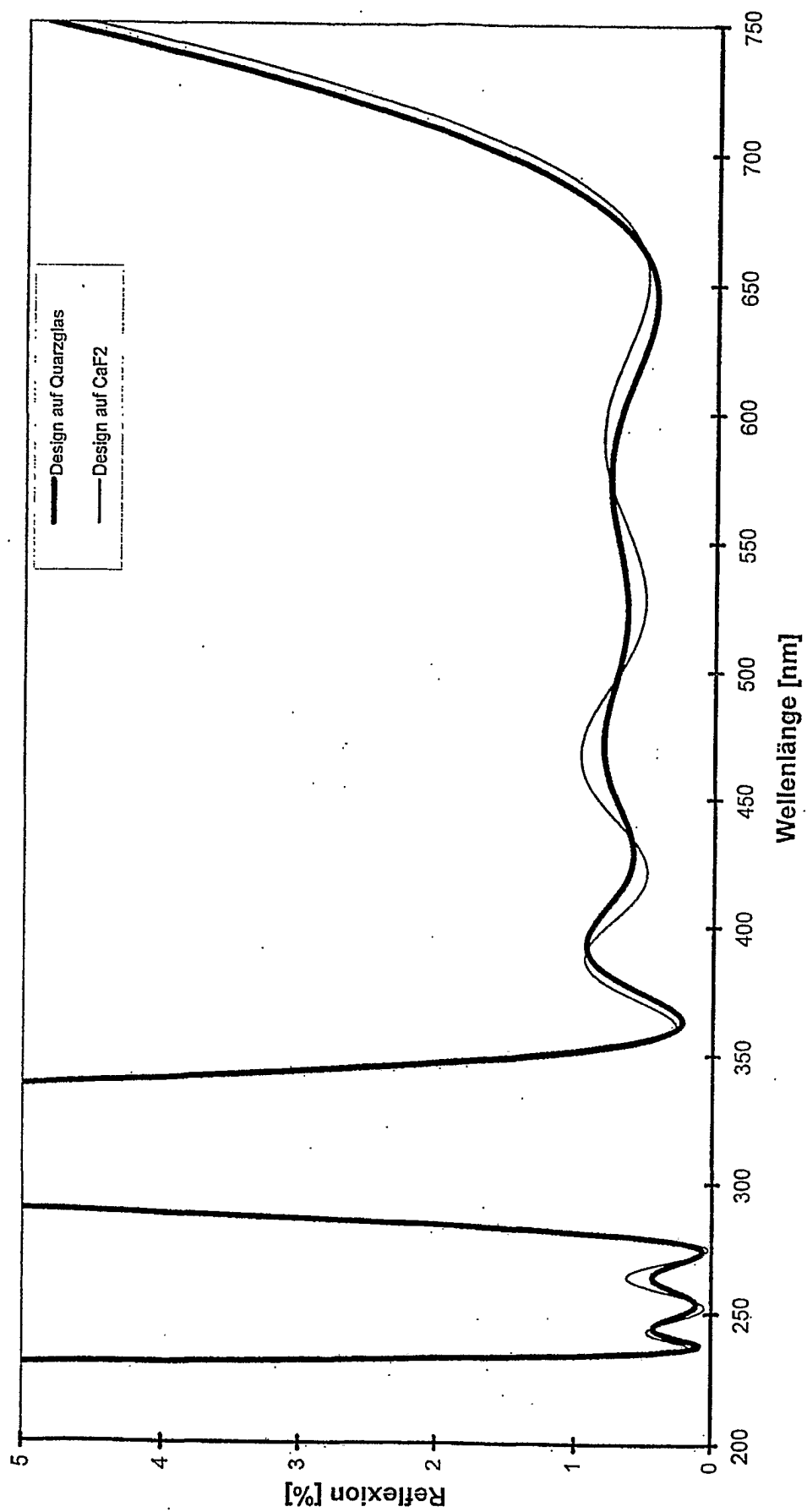


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern ☐ I Application No
PCT/EP 02/03217

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G02B21/16 G02B1/11

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 069 449 A (LEICA MICROSYST GMBH) 17 January 2001 (2001-01-17) the whole document	1-22
A	<div style="text-align: center;">---</div> PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 11, 3 January 2001 (2001-01-03) -& JP 2000 227504 A (MINOLTA CO LTD), 15 August 2000 (2000-08-15) abstract <div style="text-align: center;">-----</div>	1-22

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 July 2002

Date of mailing of the international search report

15/07/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Daffner, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Interf I Application No

PCT/EP 02/03217

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1069449	A	17-01-2001	DE 19931954 A1	11-01-2001
			EP 1069449 A2	17-01-2001
			JP 2001042226 A	16-02-2001
			TW 448308 B	01-08-2001
<hr/>				
JP 2000227504	A	15-08-2000	NONE	
<hr/>				

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/03217

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G02B21/16 G02B1/11

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

PAJ, EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 1 069 449 A (LEICA MICROSYST GMBH) 17. Januar 2001 (2001-01-17) das ganze Dokument	1-22
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 11, 3. Januar 2001 (2001-01-03) -& JP 2000 227504 A (MINOLTA CO LTD), 15. August 2000 (2000-08-15) Zusammenfassung	1-22



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Juli 2002

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

15/07/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Daffner, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 02/03217

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1069449 A	17-01-2001	DE 19931954 A1	11-01-2001
		EP 1069449 A2	17-01-2001
		JP 2001042226 A	16-02-2001
		TW 448308 B	01-08-2001
JP 2000227504 A	15-08-2000	KEINE	