



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 17 885 T2** 2007.11.15

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 435 012 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 17 885.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/27819**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 768 769.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/025646**

(86) PCT-Anmeldetag: **29.08.2002**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **27.03.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **07.07.2004**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **24.01.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.11.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 6/122** (2006.01)  
**G02B 6/124** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**952201 14.09.2001 US**

(73) Patentinhaber:  
**E.I. du Pont de Nemours and Co., Wilmington, Del.,  
US**

(74) Vertreter:  
**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, FR, GB**

(72) Erfinder:  
**ELDADA, Louay, Lexington, MA 02421, US**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR APODISIERUNG EINES PLANAREN WELLENLEITERGITTERS**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Lichtwellenleiter und betrifft speziell ein Verfahren zum Herstellen von Lichtwellenleitern mit Beugungsgitter. Spezieller richtet sich die Erfindung auf ein Verfahren zum Herstellen eines apodisierten Bragg-Gitters, das auf einem planaren Lichtwellenleiter aufgeprägt ist.

**2. TECHNISCHER HINTERGRUND**

**[0002]** Kommunikationssysteme setzen heutzutage in zunehmendem Maße Lichtwellenleiter ein, die wegen ihrer Merkmale der hohen Geschwindigkeit, geringen Dämpfung und großen Bandbreite zum gleichzeitigen Transport von Daten, Video- und Tonsignalen verwendet werden können. Mehrlagige Strukturen von Lichtwellenleitern werden zum Bau integrierter optischer Schaltkreise verwendet, die optische Signale in einem faser-optischen Kommunikationssystem leiten und steuern können. Es ist möglich, polymere Lichtwellenleiter und andere optische Bauelemente zu erzeugen, die optische Signale über optische Schaltkreis- oder faseroptische Netzwerke transportieren. In optischen Kommunikationssystemen werden Informationen bei infrarotoptischen Frequenzen von Trägerwellen übertragen, die unter Verwendung von Quellen erzeugt werden, wie beispielsweise Laser und lichtemittierenden Dioden.

**[0003]** Die Funktion eines Lichtwellenleiters beruht auf der Tatsache, dass, wenn ein Kernmedium, das für Licht transparent ist, von einem plattierten Mantelmedium umgeben oder mit diesem auf andere Weise verbunden ist, das eine geringere Brechzahl hat, Licht, das entlang der Achse des Kernmediums eingeführt wird, an der Grenzfläche des umgebenden Plättierungsmediums stark reflektiert wird und so einen Effekt der Lichtleitung erzeugt. Optische Wellenleiter können aus jedem beliebigen Material hergestellt werden, das Licht durchläßt. Beispiele für geeignete Wellenleitermaterialien sind polymere Materialien und mit Germanium dotiertes Siliciumdioxid. Eines der zur Herstellung eines Bauelementes eines Lichtwellenleiters verwendeten Verfahrens umfasst die Anwendung von photolithographischen Standardprozessen. Von besonderem Interesse für optische Anwendungen sind Photopolymere, da sie sich mit Hilfe photolithographischer Methoden rastern lassen, die auf dem Fachgebiet gut bekannt sind. Photopolymere bieten auch Möglichkeiten für einfachere und kostengünstigere Herstellungsprozesse. Lithographische Prozesse gelangen zur Festlegung eines Rasters in einer lichtempfindlichen, ein Photopolymer enthaltenden Lage zur Anwendung, die auf einem Substrat abgeschieden ist. Diese Lage kann selbst aus mehreren Lagen gleicher oder unterschiedlicher polymerer Materialien zusammengesetzt sein, die über unterschiedliche Brechzahlen verfügen, um Strukturen oder Lagen eines Kerns, einer Überplattierung, Unterplattierung und Pufferschichten zu erzeugen. In der Praxis haben die meisten planaren Wellenleiterstrukturen eine Konfiguration, bei der auf ein Substrat aus Siliciumdioxid eine Pufferschicht aufgebracht wird, anschließend auf der Pufferschicht eine Unterplattierung aufgebracht wird, gefolgt von dem Auftrag und der Rasterung einer Kernschicht und schließlich gefolgt von dem Auftrag einer Überplattierung. In einigen Fällen kann die Pufferschicht als Unterplattierung dienen. Wenn diese mehrfachen Lagen nicht optimiert sind, treten zahlreiche Probleme auf. Diese schließen eine hohe optische Dämpfung infolge der Absorption von Licht durch das Substrat ein, eine hohe polarisationsabhängige Dämpfung; wenn eine Erwärmung zur Abstimmung oder zum Umschalten vorgenommen wird, kann die Temperaturzunahme die Brechzahl in einer solchen Weise ändern, dass Licht mindestens teilweise aus dem Kern ausgestoßen wird, wo es mit der Plattierung und/oder dem Substrat unter Erzeugung einer Vielzahl unerwünschter Wechselwirkungen in Verbindung treten kann und beispielsweise zum Verlust führen kann, während, wenn in den Wellenleiter ein Gitter einbezogen ist, Sekundärreflexionen oder eine unerwünschte Verbreiterung der Wellenlänge des reflektierten Signals festgestellt werden können.

**[0004]** Es besteht ein Interesse an diesen optischen Kommunikationssystemen, da sie gegenüber elektronischen Kommunikationssystemen, bei denen Kupferleiter oder Koaxialkabel verwendet werden, verschiedene Vorteile bieten. Optische Kommunikationssysteme haben im allgemeinen eine stark erhöhte Zahl von Übertragungskanälen sowie die Fähigkeit zur Übertragung von Informationen mit sehr viel höheren Geschwindigkeiten als elektronische Systeme. Eine bedeutende Erweiterung dieser Kommunikationssysteme ist die Anwendung der Wellenlängenmultiplexierung, wodurch eine vorgegebenes Wellenlängenband zu separaten Wellenlängen derart segmentiert wird, dass mehrfache Nutzkanäle auf einer einzigen installierten Leitung geführt werden können. Dieses erfordert die Verwendung von Multiplexern und Demultiplexern, die zur Unterteilung des Bandes in die vorgegebenen Wellenlängen in der Lage sind, die von den dicht angrenzenden getrennt sind. Das Hinzufügen einzelner Wellenlängen zu einem Breitbandsignal und das Extrahieren einer vorgegebenen Wel-

Wellenlänge aus einem Signal mit mehrfachen Wellenlängen erfordert wellenlängenselektive Vorrichtungen, was zur Entwicklung einer Reihe von Ad/Drop-Filter geführt hat. Da für ein Bragg-Gitter die Wellenlängenselektivität typisch ist, hat man in der Fachwelt eine Reihe von Gitter-unterstützten Bauelementen zum Hinzuführen oder Extrahieren einer vorgegebenen Wellenlänge in Bezug auf ein Mehrfachwellenlängensignal entwickelt. Typische Lichtwellenleiter erlauben die Ausbreitung von Wellen unter Nutzung der lichtbegrenzenden und -führenden Eigenschaften eines zentralen Kerns und einer umgebenden Plattierung mit geringerer Brechzahl. Da sich Wellenenergie grundsätzlich im Kern ausbreitet, sind Ad/Drop-Filter oder -Koppler unter Verwendung von Bragg-Gittern entwickelt worden, die auf dem Kernbereich eines Wellenleiters erzeugt werden. Um jedoch Kopplungsverluste in die Plattier-Moden zu verringern, werden Bragg-Gitter vorzugsweise sowohl in den Bereichen des Kerns als auch in der umgebenden Plattierung erzeugt. Die Wellenlängenselektivität wird mit Hilfe des eingebetteten Gitters hergestellt, das in Abhängigkeit von der gewählten Gittercharakteristik für eine Vorwärts- oder Rückwärtstransmission der gewählten Wellenlänge sorgt.

**[0005]** Bei modernen Kommunikationssystemen hat diese Vorgehensweise jedoch eine Reihe funktioneller und betriebsbedingter Einschränkungen, die auf solche Faktoren zurückzuführen sind, wie spektrale Selektivität, Signal/Rauschverhältnis, Gitterstärke, Temperaturinstabilität und Polarisationsempfindlichkeit. Beispielsweise erfordern moderne Anwendungen, dass jedes Ad/Drop-Filter, das auf diesem Konzept beruht, auf den Kanälen der Wegleitung sehr wirksam ist, ein starkes Gitter hat, das sich selektiv und präzise bei einer vorgegebenen Wellenlänge anordnen oder auf diese einstellen lässt und das dennoch eine begrenzte Bandbreite hat, temperaturunempfindlich ist, kompakt ist, kostengünstig und nicht auf unerwünschte Reflexionen oder Störsignale in dem gewählten Wellenlängenband anfällig ist.

**[0006]** Photoempfindliche Wellenleitermaterialien führen dazu, dass die Brechzahl dieses Materials auf eine erhöhte Exponierung an aktinischer Strahlung ansprechbar ist. Daher umfasst eine bevorzugte Methode des Schreibens eines Brechzahl-Gitterprofils das Exponieren eines Wellenleiters an einem Laserstrahl durch eine Phasenmaske hindurch. Brechzahl-Bragg-Gitter von Lichtwellenleitern sind periodische oder aperiodische Änderungen der Brechzahl eines Wellenleiters. Gitter lassen sich physikalisch durch Aufprägen einer Modulation auf den Wellenleiter erzeugen oder indem man eine Modulation der Brechzahl entlang des Wellenleiters unter Anwendung auf dem Fachgebiet bekannter photolithographischer oder anderer Methoden hervorruft. Gitter, die in den Kern eines Wellenleiters oder in den Kern und die umgebende Plattierung eines Wellenleiters geschrieben sind, sind bedeutende Bauelemente bei zahlreichen Anwendungen in faseroptischen Kommunikationssystemen und Sensorsystemen. Um den Fertigungsprozess zu automatisieren ist es wünschenswert, dieses Brechzahlprofil in den Wellenleiter in einem einzigen Verfahrensschritt einzuschreiben, d.h. mit einem einzigen Durchgang des Laserstrahls über den Wellenleiter.

**[0007]** Ein Lichtwellenleiter, der mit einem Bragg-Reflexionsgitter einer gleichförmigen Brechzahlmodulation versehen ist, einem gleichförmigen Pitch und hohem maximalen Reflexionsfaktor ( $> 90\%$ ), hat eine spektrale Breite, die der Amplitude der Brechzahlmodulation direkt proportional ist. Der Hauptpeak im Reflexionsspektrum eines Gitters mit gleichförmiger Modulation der Brechzahl ist von einer Reihe von Nebenmaxima bei angrenzenden Wellenlängen begleitet. Die Nebenmaxima werden durch partielle Reflexion von angrenzenden Wellenlängen hervorgerufen und sind unerwünscht. Der Seitenbandpegel lässt sich durch Apodisieren der Amplitude der Gittermodulation in einer solchen Weise reduzieren, dass die stärkste Brechzahlmodulation im Zentrum des Gitters auftritt und die Modulationsamplitude bis zu einem geringen Wert an jedem Ende des Gitters stufenlos abfällt. Die Apodisierung reduziert den Pegel des Ausgangs des Band-Reflexionsfaktors, um eine Unterdrückung der Geisterbilder oder Nebenmaxima zu erreichen.

**[0008]** Eine Apodisierung des Gitters und damit eine Verringerung der Intensität der Seitenmaxima ist in Bauelementen wünschenswert, wo eine hohe Unterdrückung vor Unterdrückung von nicht resonantem Licht erforderlich ist. In den meisten dieser Anwendungen wird angestrebt, dass der Prozess der Apodisierung auch den Mittelwert der Brechzahl über der Gitterlänge konstant hält, was gelegentlich in einem einstufigen Prozess schwer zu erreichen ist, in welchem lediglich der Laserstrahl gesteuert wird. Die Änderung der Brechzahlmodulation durch Ändern der UV-Exponierung entlang der Länge des Gitters bewirkt, dass die Größe der Brechzahlmodulation variiert wird und kann zu einem Variieren des Mittelwerts der photoinduzierten Brechzahl führen. Die Änderung des Mittelwerts der Brechzahl führt zu unerwünschten Einflüssen auf die Resonanzwellenlängen des Gitters und macht die Spektralempfindlichkeit des Gitters breiter. Den Mittelwert der Brechzahl während des Prozesses der Apodisierung konstant zu halten, ist besonders dann schwierig, wenn das Wellenleitermaterial ein mit Germanium dotiertes Siliciumdioxid ist. Um diese Symptome zu beheben, kann es nach dem Apodisieren des Gitters zur Erzeugung der nichtgleichförmigen Brechzahlmodulation erforderlich sein, eine zweite kompensierende Exponierung anzuwenden, um sicherzustellen, dass der Mittelwert der photoinduzierten Brechzahl entlang der Länge des Wellenleiters konstant ist. Eine der Vorgehensweisen bekannter

Ausführungsformen zur Erzeugung des gewünschten Apodisierungsprofils und der gleichförmigen mittleren Brechzahl bestand in einer Dithering-Methode des Wellenleiters zur Verringerung der Sichtbarkeit der Brechzahlstreifen an bestimmten Stellen entlang der Länge des Wellenleiters, wobei jedoch diese Methoden komplizierte mechanische Vorrichtungen für die Phasenmaske und den Wellenleiter erfordern, die trotz genauer Positionierung noch schwingen können.

**[0009]** Die vorliegende Erfindung gewährt eine einfache Lösung für das Problem der Apodisierung, indem der photoempfindliche Wellenleiter durch eine Phasenmaske hindurch an einem Laserstrahl exponiert wird, der in einem Winkel von mehr als  $0^\circ$  und weniger als  $90^\circ$  zu der Längsachse des Wellenleiters abgelenkt wird. Der Laserstrahl wird entweder mit konstanter Geschwindigkeit in Bezug auf das Substrat und der Phasenmaske bewegt oder das Substrat und die Phasenmaske werden mit einer konstanten Geschwindigkeit in Bezug auf den Laserstrahl bewegt. Der Strahl hat ein stufenlos variierendes Intensitätsprofil (beispielsweise ein Gauss'sches Profil), und die Exponierung erfolgt unter Bedingungen, unter denen eine Änderung der Brechzahl in Bezug auf den Wellenleiter induziert und in dem Wellenleiter entsprechend dem Raster der Phasenmaske ein apodisiertes Bragg-Gitter vermittelt wird.

**[0010]** In der US-A-5652818 wird ein Laser-Scannprozess dieses allgemeinen Typs jedoch mit einem Strahl lateral zu dem Wellenleiter offenbart.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0011]** Die Erfindung gewährt ein Verfahren zum Erzeugen eines apodisierten Bragg-Gitters in einem photoempfindlichen, planaren linearen Wellenleiter, welches Verfahren umfasst:  
Bereitstellen eines photoempfindlichen, planaren linearen Wellenleiters auf einer Oberfläche eines Substrats, wobei der Wellenleiter eine Längsachse festlegt;  
in Position bringen einer gerasterten Phasenmaske zwischen dem Wellenleiter und einem Laserstrahl;  
Exponieren des Wellenleiters durch die Phasenmaske an dem Laserstrahl, wobei sich entweder der Laserstrahl mit weitgehend konstanter Geschwindigkeit in Bezug auf das Substrat und die Phasenmaske bewegt oder das Substrat und die Phasenmaske mit weitgehend konstanter Geschwindigkeit in Bezug auf den Laserstrahl bewegt werden, und wobei der Strahl ein stufenlos variierendes Intensitätsprofil hat;  
dadurch gekennzeichnet, dass der Strahl mit einem Winkel von mehr als  $0^\circ$  und weniger als  $90^\circ$  zur Längsachse unter Bedingungen gescannt wird, die ausreichend sind, um in dem Wellenleiter eine Änderung der Brechzahl zu induzieren und dem Wellenleiter ein apodisiertes Bragg-Gitter zu vermitteln, das dem Raster der Phasenmaske entspricht.

**[0012]** Die Erfindung gewährt ferner ein Verfahren zum Erzeugen eines planaren linearen Wellenleiters mit einem apodisierten Bragg-Gitter, welches Verfahren umfasst:  
Aufbringen einer Unterplattierungszusammensetzung auf die Oberfläche eines Substrats;  
Erzeugen eines apodisierten Bragg-Gitters in einem photoempfindlichen, planaren linearen Wellenleiter auf der Unterplattierung mit Hilfe eines Laserstrahl-Exponierungsprozesses, wie er vorstehend definiert wurde; sowie  
Aufbringen einer Überplattierungszusammensetzung auf den Wellenleiter entweder vor oder nach der Laserstrahl-Exponierung, wobei die Überplattierungsbeschichtung und die Unterplattierungsbeschichtung eine Brechzahl kleiner als die des Wellenleiters haben.

**[0013]** Bevorzugt wird die Lage der Überplattierung vor der Laserexponierung so aufgebracht, dass ein apodisiertes Bragg-Gitter in den Wellenleiter und in den Unterplattierungs- und Überplattierungsbereichen erzeugt wird, die den Wellenleiter umgeben.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0014]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer Laserstrahl-Lichtverteilung über einen planaren Wellenleiter und einer Phasenmaske in einem Winkel.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0015]** Mit dem ersten Schritt der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens soll auf der Oberfläche eines Substrats ein photoempfindlicher, planarer linearer Wellenleiter geschaffen werden. Der erfindungsgemäße Wellenleiter umfasst ein Substrat; eine wahlweise optische Puffer- und/oder Unterplattierungsschicht auf einer Oberfläche des Substrats; einen lichtdurchlässigen Einmoden-Wellenleiterkern, der direkt auf der Ober-

fläche eines Substrats erzeugt ist; eine Unterplattierungs- oder Pufferschicht; und eine Überplattierungsschicht auf der Oberseite des Kerns und an den Seitenwänden des Kerns. Ein bedeutendes Merkmal der Erfindung besteht darin, dass der Kern bzw. die Kernseele eine Brechzahl hat, die größer ist als die Brechzahl der unmittelbar angrenzenden Materialschichten (ob Überplattierung, Unterplattierung, Puffer oder Substrat). Eine geeignete Technik zum Erzeugen eines Wellenleiters wurde in der US-Patentanmeldung mit Aktenzeichen 09/846 697, eingereicht am 1. Mai 2001, beschrieben sowie in der WO-02/088794 (A1) veröffentlicht.

**[0016]** Das Substrat kann jedes beliebige Material sein, auf dem man einen Wellenleiter herstellen möchte, einschließlich Materialien, wie beispielsweise Silicium, Siliciumoxid, Galliumarsenid, Siliciumnitrid, Glas, Quarz, Kunststoffe, Keramikwerkstoffe, kristalline Materialien u.dgl. Das Material kann andere Einrichtungen enthalten, wie beispielsweise topographische Merkmale, z.B. Rillen, oder elektrische Schaltkreise oder elektroofische Vorrichtungen, wie beispielsweise Laserdioden, ohne diese enthalten zu müssen. Da die Substrate der vorliegenden Erfindung bei den für Telekommunikationen wichtigen optischen Wellenlängen absorbieren können, kann jeder Teil des sich ausbreitenden Lichts, der das Substrat erreicht, absorbiert werden. Die Absorption von Licht durch das Substrat wird zu einer unerwünschten, polarisationsabhängigen Dämpfung der optischen Leistung des sich ausbreitenden Signals. Die Aufgabe einer zwischengeschalteten Unterplattierungs- und/oder Pufferschicht besteht darin, die Eindringung des Lichts in das Substrat zu beschränken und jegliche signifikante Menge des Lichts an dem Erreichen des Substrats zu hindern. Zusätzlich kann man eine die Haftung fördernde Zusammensetzung einer Verankerungsschicht auf die Oberfläche des Substrats auftragen, bevor die nachfolgenden Unterplattierungs- oder Pufferschichten aufgebracht werden. Eines der geeigneten Haftvermittler ist 3-Methacryloxypropyltrichlorsilan.

**[0017]** Der Wellenleiterkern, die wahlweise Puffer- und/oder Unterplattierungsschicht und die Überplattierungsschicht können aus jedem beliebigen Material sein, welches das Licht durchläßt. Beispiele für geeignete Materialien für planare Wellenleiter sind polymere Materialien und mit Germanium dotiertes Siliciumdioxid. Die bevorzugten Materialien für die vorliegende Erfindung sind polymere Materialien, was auf die leichte Fertigung des Wellenleiters unter Verwendung derartiger Materialien zurückzuführen ist. Die polymere Unterplattierungs- und/oder Pufferschicht kann mit Hilfe einer Reihe unterschiedlicher Vorgehensweisen aufgebracht werden, die auf dem Fachgebiet bekannt sind, wie beispielsweise Rotationsbeschichten, Tauchbeschichten, Schlitzbeschichten, Walzenbeschichten, Rakelbeschichten, Gießbeschichten o.dgl. Diese Materialien können photopolymerisierbare Verbindungen umfassen, wie beispielsweise Acrylat-Verbindungen. Verwendbare Acrylat-Verbindungen werden nachfolgend beschrieben. Sobald die Schicht aus photopolymerisierbarem Material auf die Oberfläche des Substrats abgeschieden wird, wird sie mindestens teilweise mit Hilfe einer Gesamtexponierung an aktinischer Strahlung polymerisiert. Normalerweise haben die Unterplattierungs- und Pufferschichten eine Gesamtdicke von etwa 3 Mikrometer bis etwa 500 Mikrometer. Geeignet sind Gesamtdicken von etwa 5 Mikrometer bis etwa 100 Mikrometer, was speziell für solche von etwa 8 bis etwa 30 Mikrometer gilt. Um die Haftung zwischen den nachfolgend aufgetragenen Polymerschichten zu fördern und in einigen Fällen die Abstufung der Brechzahl an der Grenzfläche zu steuern, können die zuerst aufgetragenen Schichten und einschließlich die Pufferschicht zweckmäßigerweise weitgehend ungehärtet bleiben, um die Eindringung von Monomeren und die Ausbildung kovalenter Bindungen zwischen den Schichten zu fördern.

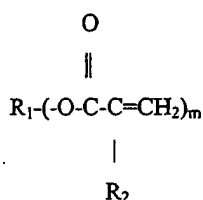
**[0018]** Nachdem die Unterplattierungs- und/oder Pufferschichten abgeschieden sind und teilweise polymerisiert sind, wird ein Kern auf der Oberfläche der Pufferschicht erzeugt. In einer der Ausführungsformen wird der Kern erzeugt, indem eine lichtdurchlässige, photoempfindliche Einmoden-Kernschicht auf der Oberfläche der Unterplattierungs- oder Pufferschicht erzeugt wird. Es wird eine Lage einer photopolymerisierbaren Kernzusammensetzung unter Anwendung wohlbekannter Methoden abgeschieden, wie beispielsweise Rotationsbeschichten, Tauchbeschichten, Schlitzbeschichten, Walzenbeschichten, Rakelbeschichten, Gießen o.dgl. Die photoempfindliche Kernschicht wird sodann bildpunktweise an aktinischer Strahlung exponiert und entwickelt, wodurch unbelichtete Bereiche der Kernschicht entfernt und belichtete Bereiche der Kernschicht nicht entfernt werden. Nach der Entwicklung der Schicht wird auf der unteren Schicht ein gerasteter, lichtdurchlässiger Kern erzeugt und die untere Schicht teilweise freigelegt. Die Struktur des Kerns in diesem Stadium der Herstellung wird üblicherweise als eine stehende Rippe beschrieben. In einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird die Kernschicht erzeugt, indem ein Material für eine lichtdurchlässige, polymere Kernschicht auf der Oberfläche der unteren Schicht abgeschieden wird. Der Kernraster kann unter Anwendung wohlbekannter additiver Methoden der Rasterabscheidung oder anderer subtraktiver Methoden erzeugt werden, wie beispielsweise dem reaktiven Ionenätzen. In beiden Ausführungsformen hat der Kern eine Querschnittsbreite, die etwa gleich seiner Querschnittshöhe ist. In der Regel hat die Kernschicht eine Querschnittsbreite und eine Querschnittshöhe, die jeweils im Bereich von etwa 1 bis etwa 12 Mikrometer liegen bei einer noch besser geeigneten Querschnittsbreite und -höhe des Kerns im Bereich von jeweils etwa 4 Mikrometer bis etwa 8 Mikrometer. Ebenfalls ist es üblich, dass die Breite des Kerns nicht mehr als etwa doppelt so groß ist wie die Höhe des Kerns und die Höhe

nicht mehr als etwa doppelt so hoch ist wie die Breite. Darüber hinaus ist der Kern üblicherweise in Bezug auf seine Breite und Höhe ein Single-mode-Kern und hat etwa eine gleiche Höhe und Breite. Übliche Wellenleitergrößen schließen Kerne mit einer Höhe und einer Breite ein, die untereinander gleich sein können und beide etwa 2 Mikrometer, etwa 3 Mikrometer, etwa 4 Mikrometer, etwa 5 Mikrometer, etwa 6 Mikrometer, etwa 7 Mikrometer, etwa 8 Mikrometer, etwa 9 Mikrometer oder etwa 10 Mikrometer betragen. Um Kopplungsverluste zu Einmoden-Standardglasfasern auf ein Minimum herabzusetzen, wie beispielsweise bei der von Corning Incorporated vertriebenen SMF-28, kann eine Abmessung für den Kernquerschnitt zwischen 6 Mikrometer  $\times$  6 Mikrometer und 8 Mikrometer  $\times$  8 Mikrometer verwendet werden. Vorzugsweise hat der Kern eine Querschnittsbreite und eine Querschnittshöhe, die zusammen mit dem Wert für  $\Delta n$  derart ausgewählt sind, dass der Wellenleiter bei allen Wellenlängen der optischen Kommunikation im Single-mode größer als etwa 1300 nm und nach Möglichkeit größer als etwa 1520 nm arbeitet. Materialien für die Kernschicht schließen polymerisierbare Acrylat-Materialien ein, die nachfolgend detailliert beschrieben werden.

**[0019]** Nachdem der Kern erzeugt worden ist, wird eine Überplattierungsschicht auf der Oberseite des Kerns, auf den Seitenwänden des Kerns und auf den freigelegten Abschnitten der darunter liegenden Pufferschichten abgeschieden. Die photopolymerisierbare Überplattierungsschicht kann auch mit Hilfe der vorgenannten Methoden aufgetragen werden und anschließend insgesamt an aktinischer Strahlung exponiert werden. Die Überplattierungsschicht kann jedes beliebige Material sein, das in der Lage ist, das aufgebrachte Licht in dem Kern und in den Bereichen begrenzt zu halten, die den Kern unmittelbar umgeben, und polymerisierbare Acrylat-Verbindungen aufweisen kann, wie sie nachfolgend detailliert beschrieben werden. In einer der Ausführungsformen hat die Überplattierungsschicht in der Regel eine Dicke, gemessen von der Oberseite des Kerns, von etwa 3 bis etwa 30 Mikrometer und üblicherweise von etwa 5 bis etwa 20 Mikrometer und besser geeignet von etwa 8 bis etwa 15 Mikrometer. Die Wellenleiter werden unter Verwendung von photopolymerisierbaren optischen Materialien erzeugt, in die Mischungen von monomeren und oligomeren Komponenten einbezogen sind, die so abgemischt werden, dass für die jeweilige Lage die gewünschte Brechzahl erhalten wird. Die jeweilige Brechzahl für die jeweilige Lage hat einen entscheidenden Einfluss auf das Verhalten des Wellenleiters.

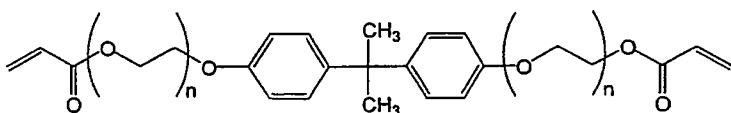
**[0020]** In den üblichen Anwendungen der Erfindung sind die erzeugten Wellenleiterstrukturen Einmoden-Strukturen. Um zu gewährleisten, dass ein Wellenleiter ein Einmoden-Wellenleiter ist, muss man eine bestimmte Beziehung zwischen der Größe des physikalischen Querschnittes und der Form des Wellenleiters und dem Wert von  $\Delta n$  aufrechterhalten. Wenn die Abmessung des Wellenleiters konstant gehalten wird, gibt es in der Regel einen Höchstwert (Grenzwert) für  $\Delta n$ , der nicht überschritten werden darf wenn der Wellenleiter ein Einmoden-Wellenleiter sein soll. Wenn in ähnlicher Weise der Wert für  $\Delta n$  konstant gehalten wird, dann gibt es eine maximale Querschnittsabmessung für den Wellenleiter, die nicht überschritten werden darf, wenn der Wellenleiter ein Einmoden-Wellenleiter sein soll. In der Regel ist die Brechzahl des Kerns im Bereich von etwa 0,1% bis etwa 10% größer als die Brechzahl der umgebenden Plattierung oder anderer unmittelbar angrenzender Materialien, oder die Brechzahl des Kerns ist in der Regel um etwa 0,4% bis etwa 3,5% größer als die der umgebenden Plattierung oder anderer unmittelbar angrenzender Materialien.

**[0021]** Die zur Erzeugung der jeweiligen Puffer-, Unterplattierungs-, Überplattierungsschicht und Kern verwendeten Zusammensetzungen können jeweils eine photopolymerisierbare Verbindung und einen Photoinitiator aufweisen. Die photopolymerisierbare Verbindung kann ein Monomer sein, ein Oligomer oder ein Polymer, bei der es sich um eine über Additionspolymerisation polymerisierbare, nicht-gasförmige (Siedetemperatur oberhalb von 30°C bei normalem Atmosphärendruck), ethylenisch ungesättigte Verbindung handelt, die mindestens eine ethylenisch ungesättigte Endgruppe enthält und in der Lage ist, ein Polymer mit hohem Molekulargewicht mit Hilfe einer radikalisch gestarteten, kettenerweiternden Additionspolymerisation zu erzeugen. Derartige Verbindungen sind auf dem Fachgebiet gut bekannt. Um planare, polymere Lichtwellenleiter zu erzeugen, ist es notwendig, die Brechzahl der verschiedenen Kern- und Plattierungsschichten eng zu begrenzen. Dieses kann dadurch erfolgen, dass die Struktur des in der jeweiligen Beschichtungslage verwendeten Monomers so zugeschnitten wird, dass die gewünschte Brechzahl erreicht wird. In der Praxis ist es leichter, verschiedene mischbare Monomere unterschiedlicher Brechzahlen miteinander abzumischen, um die gewünschte Brechzahl zu erhalten, die erforderlich ist. Die Monomere werden so ausgesucht, dass das erzeugte polymerisierte Element die gewünschte Brechzahl entsprechend der vorstehenden Beschreibung hat. Die Bestimmung der Brechzahl für die speziell ausgewählten polymerisierten Zusammensetzungen lässt sich vom Durchschnittsfachmann auf dem Gebiet mühelos vornehmen. Geeignet sind multifunktionelle Acrylat-Monomere. Die verallgemeinerte Struktur der multifunktionellen Acrylate ist, wie nachfolgend angegeben:



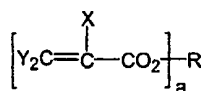
**[0022]** Für den Kern kann „m“ im Bereich von 1 bis etwa 6 liegen; R<sub>2</sub> ist H oder CH<sub>3</sub> und R<sub>1</sub> ist eine Verknüpfung von aliphatischen, aromatischen oder aliphatischen und aromatischen gemischten, organischen Molekülsegmenten. Geeigneterweise ist R<sub>1</sub> ein Alkyl, Alkylenoxid, Arylenoxid, ein aliphatischer Polyether- oder Polyester-Rest und R<sub>2</sub> ist vorzugsweise H. Um für den Film eine Lösemittelbeständigkeit und eine Photolithographie mit hohem Kontrast zu gewährleisten, sind vernetzte Polymere und somit multifunktionelle Acrylat-Monomere (m ≥ 2) geeignet. Ebenfalls ist es wünschenswert, die spannungsinduzierten optischen Streuverluste des fertigen Wellenleiter-Bauelementes zu verringern, indem flexible Polymere mit geringer Glasübergangstemperatur (T<sub>g</sub>) verwendet werden. Auf dem Fachgebiet ist bekannt, dass die Glasübergangstemperatur (T<sub>g</sub>) eines vernetzten Polymers von der Vernetzungsdichte abhängt und von der Struktur der Verknüpfung zwischen der Vernetzungsstellen. Ebenfalls ist bekannt, dass sowohl die Vernetzungsdichte als auch eine flexible Verknüpfung einen geringen T<sub>g</sub>-Wert erfordern. Um eine geringe Vernetzungsdichte zu gewährleisten, sind Monomere mit 1 ≤ m ≤ 3 und im Idealfall m = 2 sowie lange Verknüpfungssegmente zwischen zwei ethylenisch ungesättigten Funktionalitäten nützlich. Im Sinne der vorliegenden Erfindung sind lange Verknüpfungssegmente solche, die eine mittlere molekulare Kettenlänge von mindestens etwa 4 Kohlenstoffatomen oder größer und im geeigneten Fall 6 oder größer haben. Geeignete flexible Verknüpfungsstrukturen schließen Alkylene mit einer Kettenlänge größer als etwa 3 Kohlenstoffatome ein, Poly(ethylenoxid), Poly(propylenoxid), ethoxyliertes Bisphenol A, Polyether, Thioether, aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, Ether, Ester und Polysiloxane usw. Diese können wahlweise mit irgendeiner beliebigen Seitengruppe substituiert sein, die für die Fähigkeit der polymerisierbaren Verbindung zur Photopolymerisation nicht abträglich ist oder eine unnötige Dämpfung dem Lichtwellenleiter von Interesse hinzufügt, z.B. Wellenlängen von 1,31 und 1,52 bis 1,63 Mikrometer bei Telekommunikationen. Geeignete Substituenten schließen uneingeschränkt Alkyl-, Aryl-, Alkoxy- und Sulfoxid-Gruppen usw. ein. Um eine hohe Beständigkeit gegen thermischen Abbau und Verfärbung zu gewährleisten, sind thermisch stabile Molekularstrukturen von R<sub>1</sub> geeignet. Derartige R<sub>1</sub>-Segmente sollten frei von thermisch anfälligen Molekülteilen sein, wie beispielsweise aromatische Uretan- und Amid-Gruppen. Um eine geringe Doppelbrechung zu gewährleisten, sind R<sub>1</sub>-Verknüpfungen mit geringen spannungsoptischen Koeffizienten und optischer Polarisierbarkeit üblich. Für die Überplattierungsschicht ist das Acrylat ebenfalls wie vorstehend beschrieben, allerdings kann die mittlere molekulare Kettenlänge zwischen ethylenisch ungesättigten Funktionalitäten etwa 6 Kohlenstoffatome oder länger betragen und beträgt in der Regel 8 oder länger und besser geeignet 12 oder länger. Geeignete flexible Verknüpfungsstrukturen schließen Alkylene mit einer Kettenlänge größer als 6 Kohlenstoffatome ein, Poly(ethylenoxid), Poly(propylenoxid) und ethoxyliertes Bisphenol A. In einer Ausführungsform der Erfindung schließen die Materialien für die jeweilige Lage auch polymerisierbare Ester ein und Teilester von Acrylsäure und aromatischen und aliphatischen Polyolen, die 2 bis 30 Kohlenstoffatome enthalten. Die Teilester und die Ester von Polyoxyalkylenglykolen sind ebenfalls geeignet. Beispiele sind: Ethylenglykoldiacrylat, Di(ethylenglykol)diacrylat, Tri(ethylenglykol)diacrylat, Tetra(ethylenglykol)diacrylat, Poly(ethylenglykol)diacrylate und Poly(propylenglykol)diacrylate mit einer massegemittelten relativen Molekülmasse im Bereich von 200 bis 2000, Propylenglykoldiacrylat, Di(propylenglykol)diacrylat, (C<sub>2</sub>- bis C<sub>40</sub>-)Alkandioldiacrylate, wie beispielsweise Hexandioldiacrylat und Butandioldiacrylat, Tri(propylenglykol)diacrylat, Tri(methylolpropan)triacylate, ethoxylierte Tri(methylolpropan)triacylate mit einer massegemittelten relativen Molekülmasse im Bereich von 500 bis 1500, Pentaerythritdiacrylat, Pentaerythrittriacylat, Pentaerythritoltetraacrylat, Di(pentaerythrit)diacrylat, Di(pentaerythrit)triacylat, Di(pentaerythrit)tetraacrylat, Di(pentaerythrit)pentaacrylat, Di(pentaerythrit)hexaacrylat, Tri(pentaerythrit)octaacrylat, Sorbittriacylat, Sorbittetraacrylat, Sorbitpentaacrylat, Sorbithexaacrylat, Oligoesteracrylate, Glyzerin-di- und -triacylat, 1,4-Cyclohexandiacylat, Bisacrylate von Polyethylenglykolen mit einer massegemittelten relativen Molekülmasse von 100 bis 1500 sowie Mischungen der vorgenannten Verbindungen. Multifunktionelle Acrylat-Oligomere schließen die folgenden ein, ohne auf diese beschränkt zu sein: acrylierte Epoxide, acrylierte Polyurethane und acrylierte Polyester. Photopolymerisierbare Verbindungen schließen Arylacrylate ein. Veranschaulichend für derartige Arylacrylat-Monomere sind Aryldiacrylate, -triacylate und -tetraacylate, wie beispielsweise Di-, Tri- und Tetraacylate auf Basis von Benzol, Naphthalen, Bisphenol A, Biphenylen, Methanbiphenylen, Trifluormethanbiphenylen, Phenoxyphenylen u.dgl. Die Arylacrylat-Monomere können multifunktionelle Arylacrylate sein, wobei die Arylacrylat-Monomere häufiger Di-, Tri- und Tetraacylate auf Basis der Bisphenol A-Struktur sind. Übliche Arylacrylat-Monomere sind alkoxylierte Bisphenol A-Diacrylate, wie beispielsweise ethoxyliertes Bisphenol-A-diacrylat, propoxyliertes Bisphenol-A-diacrylate und ethoxylierte Hexafluorbisphenol A-diacrylate. Die Arylacrylat-Monomere der Wahl sind ethoxylierte Bisphenol A-diacrylate. Angestrebte polymerisierbare Kompo-

nenten sind die Monomere mit der Struktur (I):



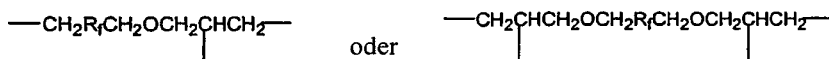
**[0023]** In einer der Ausführungsformen beträgt für den Kern n etwa 10 oder weniger und in der Regel etwa 4 oder weniger und besser geeignet etwa 2 oder weniger. In einer der Ausführungsformen für die Plattierungsschicht beträgt n etwa 2 oder mehr und in der Regel etwa 4 oder mehr und besser geeignet etwa 10 oder mehr. Ebenfalls verwendbar sind Copolymere, die Acrylat enthalten, die auf dem Fachgebiet wohl bekannt sind. In einer Ausführungsform weist die Plattierungsschicht eine polymerisierbare Komponente auf, die über die vorstehend dargestellte Struktur (I) des epoxylierten Bisphenol A-diacrylats verfügt und worin  $1 \leq n \leq 20$  gilt und in der Regel  $4 \leq n \leq 15$  und besser geeignet  $8 \leq n \leq 12$ .

**[0024]** Die polymerisierbaren Zusammensetzungen können multifunktionelle, fluorierte (Meth)acrylate sein und speziell solche auf Basis der folgenden Strukturen:



worin Y H ist oder D; X ist H, D, F, Cl oder CH<sub>3</sub> und „a“ ist eine ganze Zahl von 2 bis 4

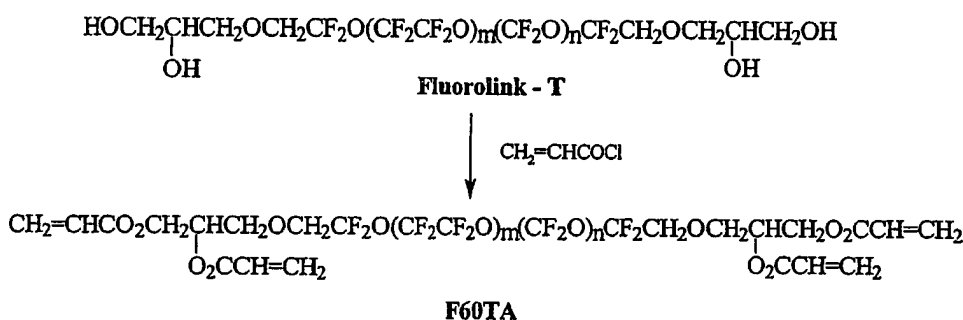
R = -CH<sub>2</sub>-R<sub>1</sub>-CH<sub>2</sub>-, oder



R<sub>1</sub> = -(CF<sub>2</sub>)<sub>k</sub>- oder -CF<sub>2</sub>O[(CF<sub>2</sub>CF<sub>2</sub>O)<sub>m</sub>(CF<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>]CF<sub>2</sub>- oder CF(CF<sub>3</sub>)O(CF<sub>2</sub>)<sub>4</sub>O[CF(CF<sub>3</sub>)CF<sub>2</sub>O]<sub>p</sub>CF(CF<sub>3</sub>)-  
worin k, in, n und p ganze Zahlen sind.

**[0025]** Geeignete fluorierte Meth(acrylate) wurden in der US-Patentanmeldung mit Aktenzeichen 09/337337, eingereicht am 20. Dezember 2000, beschrieben und in der WO 0078819(A1) veröffentlicht.

**[0026]** Diese Materialien ergeben Wellenleiter mit Ausbreitungsdämpfungen bis herab zu 0,17 dB/cm bei 1550 Nanometer. Die Glasübergangstemperaturen (T<sub>g</sub>) dieser Materialien lassen sich ohne Weiteres so auswählen, dass sie unterhalb der Betriebstemperatur der thermooptischen Bauelemente liegen. Von Versionen dieser Materialien mit geringer T<sub>g</sub> hat sich mit Hilfe gittergestützter Messungen gezeigt, dass sie eine vernachlässigbare Doppelbrechung haben und einen hohen Wert für die nach der Temperatur abgeleiteten Brechzahl haben, was die Fertigung leistungsstarker thermooptischer Bauelemente ermöglicht, wie beispielsweise Optoschalter und durchstimmbare Gitter. Verwendbare fluorierte (Meth)acrylate schließen beispielsweise ein Tetraacrylat F60TA ein, hergestellt aus dem Polyol, Fluorolink® T, das kommerziell bei der Ausimont S.p.A, Mailand, Italien, verfügbar ist, und zwar nach der nachfolgend gezeigten Reaktion:



**[0027]** Andere multifunktionelle Acrylate schließen C6DIACRY von Exfluor Research Corporation, Round Rock, Texas, ein: CH<sub>2</sub>=CHCO<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>(CF)<sub>4</sub>CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>CCH=CH<sub>2</sub> L-12043 von der 3M Company of Saint Paul, Minnesota: CH<sub>2</sub>=CHCO<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CF(CF<sub>3</sub>)O(CF<sub>2</sub>)<sub>4</sub>O[CF(CF<sub>3</sub>)CF<sub>2</sub>O]<sub>p</sub>CF(CF<sub>3</sub>)CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>CCH=CH<sub>2</sub> L-9367 ähnlich bei der 3M Company: CH<sub>2</sub>=CHCO<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>(CF<sub>2</sub>CF<sub>2</sub>O)<sub>m</sub>(CF<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>CF<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>CCH=CH<sub>2</sub>

**[0028]** Obgleich von dem Puffer, der Überplattierung und des Kerns jeder aus strukturell ähnlichen Zusammensetzungen bestehen kann, damit der jeweilige Puffer und die Überplattierung eine Brechzahl haben, die kleiner ist als die Brechzahl des Kerns, müssen sie hinsichtlich der chemischen Zusammensetzungen für die jeweilige individuelle Anwendung unterschiedlich sein. Beispielsweise kann die Zusammensetzung der Puffer-



schicht eine ähnliche Tg-Eigenschaft wie die Überplattierungsschicht haben, ohne dass sie jedoch eine identische Zusammensetzung sein muss. Die photopolymerisierbaren Materialien und Verarbeitungsbedingungen werden so ausgewählt, dass die Tg des polymerisierten Puffers im Bereich von etwa 60°C oder darunter liegt und in der Regel etwa 40°C oder weniger und besser geeignet etwa 25°C oder weniger beträgt.

**[0029]** Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die in dem Kern des Wellenleiters zur Anwendung gelangenden, photopolymerisierbaren Verbindungen einen Kern erzeugen, der nach der Polymerisation eine Glasübergangstemperatur von etwa 80°C oder weniger und geeigneter Weise etwa 50°C oder weniger hat. Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die in der Plattierungsschicht des Wellenleiters zu verwendenden photopolymerisierbaren Verbindungen eine Plattierungsschicht ergeben, die nach der Polymerisation eine Übergangstemperatur von etwa 60°C oder weniger und in der Regel etwa 40°C oder weniger und besser geeignet etwa 25°C oder weniger hat. Die spezielle Tg lässt sich vom Fachmann mühelos durch Charakterisierung und Auswahl der polymerisierbaren Komponente erhalten. Dieses hängt von Faktoren ab, wie beispielsweise Molekulargewicht, Zahl der ungesättigten Stellen und Vernetzungsdichte der polymerisierbaren Komponente. Eine einzelne polymerisierte Komponente kann von sich aus über die erforderliche Tg verfügen, oder die polymerisierbare Komponente kann so durch Compoundieren von Mischungen polymerisierbarer Monomere, Oligomere und/oder Polymere mit der gewünschten Tg abgestimmt sein. Die Tg lässt sich auch durch Variieren der Exponierungszeit und -temperaturen kontrollieren, bei denen die Polymerisation ausgeführt wird.

**[0030]** Die photopolymerisierbare Verbindung liegt in jeder photopolymerisierbaren Zusammensetzung insgesamt in einer Menge vor, die für eine Photopolymerisierung bei Exponierung an ausreichender aktinischer Strahlung ausreichend ist. Die Menge der photopolymerisierbaren Verbindung in der Zusammensetzung kann stark schwanken, und es können Mengen verwendet werden, wie sie normalerweise in photopolymerisierbaren Zusammensetzungen zur Verwendung bei der Herstellung von Photopolymeren für den Einsatz als lichtdurchlässiges Element von lichtdurchlässigen Vorrichtungen angewendet werden. Die photopolymerisierbare Verbindung wird in der Regel in einer Menge von etwa 35% bis etwa 99,9 Gew.% der Zusammensetzung verwendet. In der Regel liegt die photopolymerisierbare Verbindung in der Gesamtzusammensetzung in einer Menge von etwa 80% bis etwa 99,5 Gew.% und mehr geeignet von etwa 95% bis etwa 99 Gew.% bezogen auf das Gewicht der Gesamtzusammensetzung vor.

**[0031]** Jede auf Licht ansprechende Zusammensetzung weist ferner mindestens einen Photoinitiator zum Erzeugen freier Radikale auf, der photolytisch freie Radikale erzeugt. Normalerweise ist der Photoinitiator ein Initiator für eine Additionspolymerisation, der freie Radikale erzeugt und durch aktinisches Licht aktiviert wird und in der Nähe der Raumtemperatur (z.B. von etwa 20° bis etwa 80°C) thermisch inaktiv ist. Verwendet werden kann jeder beliebige Photoinitiator, von dem bekannt ist, dass er Acrylate photopolymerisiert. Photoinitiatoren schließen uneingeschränkt Chinoxalin-Verbindungen ein; nachbarständige Polyketaldonyl-Verbindungen, alpha-Carbonyl, Acyloinether, Triarylimidazolyl-Dimere, alpha-Kohlenwasserstoff-substituierte, aromatische Acyloine, polycyclische Chinone und s-Triazine, die auf dem Fachgebiet bekannt sind.

**[0032]** Geeignete Photoinitiatoren schließen ein: aromatische Ketone, wie beispielsweise Benzophenon, acyliertes Benzophenon, 2-Ethylanthrachinon, Phenanthrachinon, 2-tert-Butylanthrachinon, 1,2-Benzanthrachinon, 2,3-Benzanthrachinon, 2,3-Dichlor-naphthochinon, Benzoldimethylketal und andere aromatische Ketone, z.B. Benzoin, Benzoinether, wie beispielsweise Benzoinmethylether, Benzoinethylether, Benzoinisobutylether und Benzoinphenylether, Methylbenzoin und Ethylbenzoin sowie andere Benzoin. Photoinitiatoren schließen die folgenden ein: 1-Hydroxycyclohexylphenylketon (Irgacure® 184), Benzoin, Benzoinethylether, Benzoinisopropylether, Benzophenon, Benzodimethylketal (Irgacure 651), 2,2-Diethoxyacetophenon, 2-Hydroxy-2-methyl-1-phenylpropan-1-on (Darocur® 1173), verfügbar bei E. Merck, Darmstadt, Deutschland, 1-[4-(2-Hydroxyethoxy)phenyl]-2-hydroxy-2-methylpropan-1-on (Darocur® 2959), 2-Methyl-1-[(4-methylthio)phenyl]-2-morpholinopropan-1-on (Irgacure® 907), 2-Benzyl-2-dimethylamino-1-(4-morpholinophenyl)-butan-1-on (Irgacure® 369), Poly{1-[4-(1-methylvinyl)phenyl]-2-hydroxy-2-methylpropan-1-on} (Esacure KIP), [4-(4-Methylphenylthio)phenyl]phenylmethanon (Quantacure® BMS) von Great Lake Fine Chemicals Limited of London, England, und Dikampferchinon. Die am Besten geeigneten Photoinitiatoren sind solche, die bei Bestrahlung nicht zum Vergilben neigen. Derartige Photoinitiatoren schließen ein: Benzodimethylketal (Irgacure® 651), 2-Hydroxy-2-methyl-1-phenylpropan-1-on (Darocur® 1173), 1-Hydroxycyclohexylphenylketon (Irgacure® 184) und 1-[4-(2-Hydroxyethoxy)phenyl]-2-hydroxy-2-methylpropan-1-on (Darocur 2959). Fluorolink®-T und C6DIACRYL sind ausreichend mischbar, so dass konventionelle Photoinitiatoren für das UV-Härten verwendet werden können. Bei den stärker fluorinierten, multifunktionellen Acrylaten, wie beispielsweise L-12043 und L-9367 von 3M, kann ein fluorierter Photoinitiator verwendet werden,

**[0033]** Der Freie Radikale erzeugende Photoinitiator liegt in jeder photopolymerisierbaren Zusammensetzung in einer Menge vor, die ausreichend ist, um eine Photopolymerisation der photopolymerisierbaren Verbindung bei Exponierung an einer ausreichenden aktinischen Strahlung herbeizuführen. Der Photoinitiator liegt in der Regel in einer Menge von etwa 0,01% bis etwa 10 Gew.% der Gesamtzusammensetzung vor oder üblicherweise von etwa 0,1% bis 6 Gew.% und besser geeignet von etwa 0,5% bis etwa 4 Gew.% bezogen auf das Gesamtgewicht der Zusammensetzung.

**[0034]** Es können auch andere Additive den photoempfindlichen Zusammensetzungen zugegeben werden, was von der Aufgabe und der Endanwendung der auf Licht ansprechenden Zusammensetzungen abhängt. Beispiele dafür schließen Lösemittel ein, Antioxidantien, Photostabilisatoren, Volumenexpandiermittel, Füllstoffe, wie beispielsweise Siliciumdioxid, Titandioxid, Glaskügelchen u.dgl. (speziell im Nanobereich, d.h. mit einer Partikelgröße kleiner als etwa 100 nm), Farbstoffe, Radikalfänger, Kontrastverstärker, Nitrone und UV-Absorber. Antioxidantien schließen solche Verbindungen ein, wie beispielsweise Phenole und speziell gehinderte Phenole, einschließlich Irganox® 1010 von Ciba-Geigy Corporation, Corporation of Tarrytown, New York; Sulfide; bororganische Verbindungen; phosphororganische Verbindungen; N,N'-Hexamethylen-bis(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyhydrocinnamid), verfügbar bei der Ciba-Geigy unter dem Warenzeichen Irganox® 1098. Photostabilisatoren und spezieller gehinderte Amin-Lichtstabilisatoren schließen die folgenden ein, ohne auf diese beschränkt zu sein: Poly-(6-morpholino-s-triazin-2,4-diyl)[(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)imino]-hexamethylen[(2,2,6,6-tetramethyl-4-piperidyl)imino] verfügbar bei Cytec Industries of Wilmington, Delaware, unter dem Warenzeichen „Cya-sorb® UV-3346“. Volumenexpandierende Verbindungen schließen solche Materialien ein, wie Spiro-Monomere, bekannt als Baileys-Monomer. Beispiele für Farbstoffe schließen Methylen-Grün ein, Methylen-Blau u.dgl. Geeignete Radikalfänger schließen Sauerstoff ein, gehinderte Amin-Lichtstabilisatoren, gehinderte Phenole, 2,2,6,6-Tetramethyl-1-piperidinyloxy-Radikal (TEMPO) u.dgl. Geeignete Kontrastverstärker schließen andere Radikalfänger ein, wie beispielsweise Nitrone. UV-Absorptionsmittel schließen Benzotriazol ein, Hydroxybenzophenon u.dgl. Diese Additive können in Mengen bezogen auf das Gesamtgewicht der Zusammensetzung von etwa 0% bis etwa 6% und gewöhnlich von etwa 0,1% bis etwa 1% einbezogen werden. Alle Komponenten der Gesamtzusammensetzung sind eine Zumischung untereinander und am Besten geeignet in einer weitgehend gleichförmigen Zumischung.

**[0035]** Sobald der Kern aus der photoempfindlichen Zusammensetzung auf der Pufferschicht in einem dicken oder dünnen Film gebildet ist, wird auf den Film aktinische Strahlung gerichtet, um die Kernschicht aufzuzeichnen. Das bedeutet, die Position und die Abmessungen des Kern werden mit Hilfe des Musters der aktinischen Strahlung auf der Oberfläche der Kernschicht festgelegt. Das Strahlungsmuster muss so ausgewählt werden, dass die photopolymerisierbare Zusammensetzung in dem gewünschten Muster polymerisiert wird, und so, dass andere Bereiche des Films unreaktiv bleiben. Das Photopolymer der Erfindung wird konventionell hergestellt, indem die polymerisierbare Zusammensetzung an aktinischer Strahlung der benötigten Wellenlänge und Intensität für die erforderliche Dauer exponiert wird. Wie hierin verwendet, ist der Begriff „aktinische Strahlung“ als Licht im sichtbaren, ultravioletten oder infraroten Bereich des Spektrums festgelegt sowie als Elektronenstrahl, Ionen- oder Neutronenstrahl oder als Röntgenstrahl. Aktinische Strahlung kann in Form von inkohärentem Licht oder kohärentem Licht wie beispielsweise Licht von einem Laser vorliegen. Quellen für aktinisches Licht und Exponierungsprozeduren, Zeiten und Wellenlängen sowie Intensitäten können stark von dem gewünschten Polymerisationsgrad, der Brechzahl des Photopolymers und anderen Faktoren abhängen, die der Fachwelt bekannt sind. Derartige konventionelle Prozesse der Photopolymerisation und ihre Betriebsparameter sind auf dem Fachgebiet gut bekannt.

**[0036]** Quellen für aktinische Strahlung und die Wellenlänge der Strahlung können stark variieren und es können alle konventionellen Wellenlängen und Quellen verwendet werden. In einer der Ausführungsformen wird die photochemische Anregung mit Strahlung relativ kurzer Wellenlänge (oder höherer Energie) ausgeführt, so dass die Exponierung an der Strahlung normalerweise vor der Verarbeitung erfolgt (z.B. unter Raumbelichtung) und das polymerisierbare Material nicht vorzeitig polymerisiert. Daher ist eine Exponierung an UV-Licht (Wellenlänge von 300 bis 400 nm) vorteilhaft. Auch ist eine Exponierung an tiefem UV-Licht (Wellenlänge von 190 bis 300 nm) anwendbar. Einfache Quellen sind Quecksilber-Xenon-Hochdruckbogenlampen, die mit entsprechenden optischen Filtern ausgestattet sind, um die gewünschten Wellenlängen für die Bearbeitung auszuwählen. Außerdem ist für die Praxis der vorliegenden Erfindung kohärente Strahlung kurzer Wellenlänge anwendbar. Ein im UV-Mode bei verschiedenen Wellenlängen in der Nähe von 350 nm arbeitender Argonionenlaser wäre wünschenswert. Außerdem ist auch ein Argonionenlaser mit der Frequenzverdoppelung mit einem Ausgang in der Nähe von 257 nm Wellenlänge in hohem Maße wünschenswert. Alternativ kann bei der Bearbeitung einen Multiphoton-Prozess nutzen, der durch eine Quelle für aktinische Strahlung mit hoher Intensität initiiert wird, wie beispielsweise einem Laser. Ebenfalls ist es möglich, die vorgenannten fluoridierten

Monomere ohne Photoinitiatoren durch die Anwendung des Härtens mit Elektronenstrahl zu härten. Es kann eine Anregung durch Elektronenstrahl oder Ionenstrahl genutzt werden. Die Exponierungsdauer variiert normalerweise von wenigen Sekunden bis zu etwa 10 Minuten. Die Temperaturen liegen normalerweise im Bereich von etwa 10° bis etwa 60°C, wobei jedoch Raumtemperatur besser geeignet ist. Darüber hinaus könnten diese Materialien thermisch durch Verwendung von Peroxiden oder anderen thermischen Initiatoren gehärtet werden.

**[0037]** Die Kontrolle des räumlichen Profils der aktinischen Strahlung, d.h. wo sie auf die Schicht des photopolymerisierbaren Materials auftritt, kann mit Hilfe konventioneller Methoden erfolgen. Beispielsweise wird in einer der konventionellen Methoden eine das gewünschte Kernmuster tragende Maske zwischen der Quelle der aktinischen Strahlung und dem photopolymerisierbaren Film der Zusammensetzung angeordnet. Die Maske hat transparente und lichtundurchlässige Bereiche, die es der Strahlung ermöglichen, lediglich auf den gewünschten Bereichen der Filmoberfläche aufzutreffen. Die Exponierung dünner Filme über eine Maske ist auf dem Fachgebiet gut bekannt und kann Kontaktmethoden, Schatten- und Projektionsmethoden einschließen, um das Kernmuster auf den Film zu drucken. Eine andere konventionelle Methode der räumlichen Kontrolle ist die Verwendung einer Quelle für aktinische Strahlung, die einen gerichteten oder fokussierten Strahl aufweist, wie beispielsweise einen Laser- oder Elektronenstrahl. Ein solcher Strahl durchdringt lediglich einen kleinen Bereich der Filmoberfläche des photopolymerisierbaren Materials. Das Muster des gewünschten Kerns wird erhalten, indem diese kleine Stelle des Auftreffens um die Oberfläche entweder dadurch bewegt wird, dass der Strahl räumlich abgelenkt wird, oder indem das Substrat so bewegt wird, dass die Auftreffstelle relativ zu einem stationären Strahl verändert wird. Diese Arten der Exponierung unter Verwendung einer Strahlquelle sind auf dem Fachgebiet als mehr als Direktschreibmethoden bekannt. Die genaue Querschnittsform des Wellenleiterkerns und die Breite und der Grad des abgestuften Indexbereichs, der an den Seiten des Kerns erzeugt wird, wird von dem Grad der Kollimation der Lichtquelle wohl bei den Fertigungsmethoden des Direktschreibens als auch der Maskenexponierung beeinflusst. In Abhängigkeit von dem gewünschten Ergebnis kann der Grad der Kollimation stark schwanken. Im Allgemeinen ist die Verwendung einer relativ stark kollimierten Quelle für die Auflösung der Wellenleiter-Kernstruktur geeignet. Anwendbar ist die Kollimation innerhalb eines Winkels von weniger als 10 Grad.

**[0038]** Nachdem die photopolymerisierbare Zusammensetzung der Kernschicht unter Erzeugung des vorbestimmten Musters der Kernschicht polymerisiert worden ist, wird anschließend das Muster entfernt, um die bildfreien Bereiche zu entfernen und das vorbestimmte Muster zurückzulassen. Es kann jede beliebige konventionelle Entwicklungsmethode zur Anwendung gelangen, wie beispielsweise das Spülen mit einem Lösemittel der nichtbestrahlten Zusammensetzung. Derartige Lösemittel schließen polare Lösemittel ein, wie beispielsweise Alkohole und Ketone. Verwendbare Lösemittel sind Aceton, Methanol, Propanol, Tetrahydrofuran und Ethylacetat, wobei bei stark fluorierten Monomeren Fluorether-Lösemittel geeignet sind, wie sie beispielsweise vertrieben werden von Ausimont unter dem Warenzeichen „Galden®“.

**[0039]** Die unteren Schichten müssen nicht vollständig ausgehärtet sein, sondern müssen lediglich teilweise polymerisiert sein. „Teilweise polymerisiert“ bedeutet, dass einige Acrylat-Gruppen nach der Polymerisation vorhanden sind, d.h. nicht alle Acrylate zu gesättigten Kohlenwasserstoffen umgewandelt worden sind. Dieses bedeutet, dass mehr als 0% der Zahl der Acrylat-Gruppen und in der Regel mehr als etwa 10% und am Besten geeignet mehr als etwa 25% der Acrylat-Gruppen unreaktiert bleiben. Die obere Grenze der Zahl der nichtumgesetzten Gruppen hängt von dem Erstarrungspunkt des/der Monomers/Monomere ab, was wiederum von der Funktionalität (der Zahl der Acrylat-Gruppen pro Monomer) abhängt. Wenn die Funktionalität gleich einer ganzen Zahl,  $f$ , ist, dann ist die obere Grenze für die nichtumgesetzten Gruppen ausreichend, um eine Erstarrung zu bewirken und ist näherungsweise gegeben durch die Beziehung  $(1-1/f) \cdot 100\%$ . Zur Veranschaulichung wird die Zahl der zurückgebliebenen nichtumgesetzten Gruppen für ein Tetraacrylat-Monomer kleiner sein als 75% und die Zahl der zurückbleibenden nichtumgesetzten Gruppen bei einem Diacrylat-Monomer kleiner sein als 50%. Die teilweise Polymerisation der Schichten vor der Aufbringung der nächsten aufeinander folgenden Schichten ermöglicht, dass sie sich an ihrer Grenzfläche vermischen. Dieses Vermischen verbessert die Haftung der Schichten und kann in einigen Fällen angewendet werden, um die Abstufung der Brechzahl an der Grenzfläche zu steuern. In einer anderen Ausführungsform der Erfindung kann der Wellenleiter eine dotierte Glaszusammensetzung aufweisen, wie beispielsweise eine mit Germanium dotierte Glaszusammensetzung.

**[0040]** Als Nächstes wird dem Wellenleiterkern ein Beugungsgitter aufgeprägt. Der Wellenleiterkern wird an einem Strahl einer Laserbestrahlung durch eine Phasenmaske hindurch exponiert. Die Phasenmasken sind auf dem Fachgebiet gut bekannt. Die Laser-Typen sind auf dem Fachgebiet gut bekannt und deren Intensitäten lassen sich vom Durchschnittsfachmann mühelos ermitteln. Beispiele für geeignete Laser schließen Argonionenlaser ein, die im UV-Mode betrieben werden, Argonionenlaser mit verdoppelter Frequenz und YAG-Laser

mit dreifacher Frequenz. [Fig. 1](#) zeigt ein Substrat **2** auf dem sich ein mehrlagiger Wellenleiter **4** befindet. Eine geeignete Phasenmaske **6** wird über und entlang der Längsachse des Wellenleiters **4** angeordnet. Der Wellenleiter **4** wird sodann durch die Phasenmaske **6** hindurch an einem Strahl einer Laserbestrahlung **8** exponiert, die in einem Winkel  $\alpha$  zur Längsachse des Wellenleiters gescannt wird. Der Winkel  $\alpha$  kann im Bereich von mehr als  $0^\circ$  und weniger als  $90^\circ$  zur Längsachse unter Bedingungen betragen, die zur Auslösung einer Brechzahländerung des Wellenleiters ausreichend sind und auf dem Wellenleiter entsprechend dem Muster der Phasenmaske ein apodisiertes Bragg-Gitter erzeugt. In der Regel liegt der Winkel  $\alpha$  im Bereich von  $1^\circ$  bis etwa  $45^\circ$  und häufiger von etwa  $3^\circ$  bis etwa  $15^\circ$ . Wie in [Fig. 1](#) gezeigt wird, hat der Laserstrahl ein stufenlos sich änderndes, abgestuftes Intensitätsprofil (beispielsweise ein Gauss'sches Intensitätsprofil) mit einem intensiveren Mittelbereich **10** und einem allmählich in der Intensität abnehmenden Bereich **12**. Der Schritt der Aufbringung einer Überplattierungszusammensetzung auf den Wellenleiter kann entweder vor oder nach dem Aufprägen des Gitters auf den Kern erfolgen. In der Regel wird die Überplattierung aufgebracht, bevor das Gitter aufgeprägt ist, so dass das Gitter auf allen Schichten aufgeprägt ist, d.h. auf dem Kern, der Überplattierung, der Unterplattierung und dem Puffer.

**[0041]** Die Dosis (Summe der Strahlungsenergie pro Flächeneinheit der Oberfläche) zum Aufprägen des Gitters sowie die abschließende Härtungsdosis zum vollständigen Härten aller Lagen beträgt im typischen Fall von etwa dem 10-fachen bis etwa dem 500-fachen der Dosis, die zum teilweisen Härten jeder Lage während der vorangegangenen Fertigungsschritte eingesetzt wird. Am Besten geeignet ist eine abschließende Härtungsdosis von etwa dem 100-fachen dieser Zwischendosis. Auf diese Weise vermischen sich die Schichten an ihren Grenzflächen während der ersten Fertigungsschritte und gewährleisten eine gute Haftung zwischen den Schichten durch kovalentes Binden. Abschließend wird die gewünschte Struktur mit dem abschließenden Härtungsschritt fixiert, so dass keine weitere Entwicklung der Struktur erfolgen kann.

**[0042]** Zusätzlich zu der Herstellung von planaren Wellenleitern unter Anwendung der gebotenen lithographischen Methoden ist auch die Herstellung von Wellenleiterkernen durch reaktives Ionenätzen möglich, mit Hilfe der Mikroreplikation, durch direktes Laserschreiben oder durch Laserablation.

**[0043]** Die Flexibilität der Materialien ermöglicht die Fertigung von Bauelementen mit der gewünschten mechanischen Robustheit. Ein Reißen wird auch dann vermieden, wenn das Bauelement sehr hohen oder sehr niedrigen Temperaturen ausgesetzt ist. Eine gute Haftung der Materialien ermöglicht die Fertigung von robusten Bauelementen auf einer Vielzahl von Substraten ohne Delamination selbst unter gewissen belastenden Umgebungen, wie beispielsweise hohe Temperatur und hohe Feuchtigkeit. Die Kompatibilität der Methoden der Bauelementfertigung mit den Praktiken in der Halbleitertechnik ermöglicht die Entwicklung von hybriden optoelektronischen Schaltkreisen.

**[0044]** Die Wellenleiter der vorliegenden Erfindung können jede beliebige Zahl von einfachen Querschnittformen haben, wie beispielsweise kreisrund, polygonal, quadratisch, rechteckig, trapezförmig oder abgerundet, die beispielsweise an der Oberseite an den Seiten einer Parabel oder Gauss'schen Kurve folgen oder einen abgeflachten Boden haben, mit dem sie den Puffer kontaktieren. Die folgenden nichteinschränkenden Beispiele dienen zur Veranschaulichung der Erfindung.

#### BEISPIEL 1

**[0045]** Es wurde ein Silicium-Wafer gereinigt und anschließend mit Silan behandelt, um für eine Haftung an Acrylat-Mischungen zu sorgen. Der behandelte Wafer wird mit einer Schicht eines Puffermaterials einer Rotationsbeschichtung unterzogen, wobei das Material aus einem Gemisch von 75:25 Gew.% Perfluorpolyetherdiacrylat (L-9367)/fluoriertem Tetraacrylat (F60TA) mit einem Photoinitiator besteht. Die Pufferschicht wird sodann teilweise durch Gesamtexponierung an aktinischer Strahlung gehärtet. Die Pufferschicht wird sodann mit einer Schicht eines Kernmaterials rotationsbeschichtet, welches ein Gemisch von 92:8 Gew.% fluoriertes Tetraacrylat (F60TA)/Fluoralcylacrylat (2,2,3,3,4,4,5,5-Octafluorhexan-1,6-diylacrylat) mit 8 Fluoratomen gemischt und einen Photoinitiator aufweist. Die Wahl dieses Materials ist so vorgenommen worden, dass es eine höhere Brechzahl hat als die Pufferschicht. Die Dicke der Kernschicht hängt von der gewünschten Höhe des Wellenleiters ab und liegt im typischen Fall im Bereich von 5 bis 9 Mikrometer bei Einmoden-Wellenleitern. Das Kernmaterial wird sodann an UV-Licht durch eine Maske hindurch exponiert. Die Dosis der Kernexponierung wird so eingestellt, dass die gewünschte Breite des Kerns und der gewünschte Haftungsgrad der umgebenden Plattierung erhalten werden. Das nichtexponierte Material wird anschließend mit Lösemittel wegentwickelt. Der Kern wird sodann mit einer Schicht eines Überplattierungsmaterials rotationsbeschichtet, das fluoriertes Tetraacrylat gemischt mit einem Photoinitiator aufweist. Die Überplattierung wird sodann an UV-Licht exponiert und teilweise gehärtet. Danach wird eine Phasenmaske über den Wellenleiter angebracht. Der Wellenleiter wird

sodann durch diese Phasenmaske an einem Laserstrahl exponiert, der eine näherungsweise Gauss'sche Intensitätsverteilung hat. Der Wellenleiter und die Phasenmaske werden stationär gehalten und der Strahl über den Wellenleiter mit einer konstanten Geschwindigkeit durch die Phasenmaske hindurch mit einem Winkel von  $10^\circ$  zur Längsachse des Wellenleiters bewegt. Alle diese Schichten werden sodann mit Hilfe einer abschließenden Dosis gehärtet, die alle Lagen durchdringt und die Härtung der Oberschicht sowie der darunterliegenden Schichten fertig stellt. Damit wird auf den Wellenleiter ein apodisiertes Gitter aufgeprägt.

## BEISPIEL 2

**[0046]** Es wurde eine Mischung, die 25 Gew.% eines fluorierten Tetraacrylats F60TA, 75 Gew.% fluorierten Diacrylats L-9367 aufwies, mit 2 Gew.% eines fluorierten Photoinitiators unter Erzeugung einer homogenen Lösung gemischt. Die Lösung wurde sodann auf einem Silicium-Substrat rotationsbeschichtet und unter einer Hochdruck-Quecksilber-Xenonlampe mit einer Bestrahlungsstärke von etwa  $15 \text{ mW/cm}^2$  unter Erzeugung eines 10 Mikrometer dicken Puffers gehärtet. Der Puffer hatte eine Brechzahl von 1,313. Es wurde eine Kernmischung, die 92 Gew.% eines fluorierten Tetraacrylats F60TA, 7 Gew.% eines fluorierten Diacrylats „C6DIACRY“ aufwies, mit 1 Gew.% Photoinitiator, Darocure® 1173 unter Erzeugung einer homogenen Lösung gemischt. Die Kernlösung wurde sodann auf der Pufferschicht aufgetragen. Die Kernschicht wurde durch eine Photomaske an einer Quecksilber-Xenonlampe exponiert und entwickelt, um einen 6 Mikrometer dicken Kern mit einer Brechzahl von 1,336 zu erzeugen.

**[0047]** Es wurde eine Überplattierungszusammensetzung, die 99 Gew.% eines fluorierten Tetraacrylats F60TA und 1 Gew.% eines Photoinitiators, Darocure® 1173, aufwies unter Erzeugung einer homogenen Lösung gemischt. Die Lösung wurde sodann über den Kern durch Rotationsbeschichtung aufgetragen und unter einer Quecksilberlampe gehärtet, um eine 12 Mikrometer dicke Überplattierung mit einer Brechzahl von 1,329 zu erzeugen. Alle Brechzahlen sind mit 1550 angegeben. Sodann wurde eine Phasenmaske über den Wellenleiter in Position gebracht. Der Wellenleiter wurde sodann durch die Phasenmaske hindurch an einem Laserstrahl mit einer näherungsweise Gauss'schen Intensitätsverteilung exponiert. Der Wellenleiter und die Phasenmaske wurden translativ entlang der Längsachse des Wellenleiters bewegt, während der Laserstrahl stationär gehalten wurde. Der Strahl überstrich den Wellenleiter durch die Phasenmaske mit einem Winkel von  $10^\circ$  zur Längsachse des Wellenleiters. Sodann wurden alle Lagen mit einer abschließenden Dosis gehärtet, die sämtliche Lagen durchdrang und die Härtung der Deckschicht sowie der darunterliegenden Schichten fertig stellte. Dadurch wurde auf dem Wellenleiter ein apodisiertes Gitter aufgeprägt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen eines apodisierten Bragg-Gitters in einem photoempfindlichen, planaren linearen Wellenleiter, welches Verfahren umfasst:

Bereitstellen eines photoempfindlichen, planaren linearen Wellenleiters (4) auf einer Oberfläche eines Substrats (2), wobei der Wellenleiter (4) eine Längsachse festlegt;

In Position bringen einer gerasterten Phasenmaske (6) zwischen dem Wellenleiter (4) und einem Laserstrahl (8);

Exponieren des Wellenleiters (4) durch die Phasenmaske (6) an einem Laserstrahl (8), wobei sich entweder der Laserstrahl (8) mit weitgehend konstanter Geschwindigkeit in Bezug auf das Substrat (2) und die Phasenmaske (6) bewegt oder sich das Substrat (2) und die Phasenmaske (6) mit weitgehend konstanter Geschwindigkeit in Bezug auf den Laserstrahl (8) bewegen und wobei der Strahl ein glatt variierendes Intensitätsprofil hat;

**dadurch gekennzeichnet**, dass der Strahl (8) in einem Winkel von mehr als Null Grad und weniger als  $90^\circ$  zur Längsachse unter Bedingungen gescannt wird, die ausreichend sind, um in dem Wellenleiter (4) eine Änderung der Brechzahl zu induzieren und dem Wellenleiter (4) ein apodisiertes Bragg-Gitter zu vermitteln, das dem Raster der Phasenmaske (6) entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Winkel im Bereich von  $1^\circ$  bis  $45^\circ$  liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Winkel im Bereich von  $3^\circ$  bis  $15^\circ$  liegt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Wellenleiter (4) eine dotierte Glas-Zusammensetzung aufweist.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Wellenleiter (4) eine mit Germanium dotierte Glas-Zusammensetzung aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Wellenleiter (4) eine photopolymerisierbare Zusammensetzung aufweist.
7. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Laserstrahl (8) stationär gehalten wird und sich Substrat (2) und Phasenmaske (6) in Bezug auf des Laserstrahl (8) bewegen.
8. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem Substrat (2) und Phasenmaske (6) stationär gehalten werden und sich Laserstrahl (8) in Bezug auf des Substrat (2) und Phasenmaske (6) bewegen.
9. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem die Oberfläche des Substrats (2) eine Unterplattierungszusammensetzung aufweist, die eine Brechzahl kleiner als die des Wellenleiters (4) hat.
10. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Wellenleiter (4) eine Überplattierungszusammensetzung auf einem Kern aufweist und das Verfahren ferner den Schritt der Aufbringung einer Überplattierungszusammensetzung auf den Kern entweder vor oder nach der Exponierung an dem Laserstrahl (8) umfasst, wobei die Überplattierungszusammensetzung eine Brechzahl kleiner als die des Kerns hat.
11. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem der Laserstrahl (8) ein Gaußsches Intensitätsprofil hat.
12. Verfahren zum Erzeugen eines planaren linearen Wellenleiters (4), der ein apodisiertes Bragg-Gitter hat, welches Verfahren umfasst:  
Aufbringen einer Unterplattierungszusammensetzung auf die Oberfläche eines Substrats (2);  
Erzeugen eines apodisierten Bragg-Gitters in einem photoempfindlichen, planaren linearen Wellenleiter (4) auf der Unterplattierung mit Hilfe eines Laserstrahl (8)-Exponierungsprozesses nach Anspruch 1; sowie  
Aufbringen einer Überplattierungszusammensetzung auf den Wellenleiter (4) entweder vor oder nach der Laserstrahl (8)-Exponierung, wobei die Überplattierungszusammensetzung und die Unterplattierungszusammensetzung eine Brechzahl kleiner als die des Wellenleiters (4) haben.
13. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Winkel im Bereich von 1° bis 45° liegt.
14. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Winkel im Bereich von 3° bis 15° liegt.
15. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Wellenleiter (4) eine dotierte Glas-Zusammensetzung aufweist.
16. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Wellenleiter (4) eine mit Germanium dotierte Glas-Zusammensetzung aufweist.
17. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Wellenleiter (4) eine photopolymerisierbare Zusammensetzung aufweist.
18. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Laserstrahl (8) stationär gehalten wird und sich Substrat (2) und Phasenmaske (6) in Bezug auf des Laserstrahl (8) bewegen.
19. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem Substrat (2) und Phasenmaske (6) stationär gehalten werden und sich Laserstrahl (8) in Bezug auf des Substrat (2) und Phasenmaske (6) bewegen.
20. Verfahren nach Anspruch 12, bei welchem der Laserstrahl (8) ein Gaußsches Intensitätsprofil hat.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

