



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 08 121 T2** 2004.09.16

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 209 492 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 08 121.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 650 200.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **28.11.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.05.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.02.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **16.09.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G02B 6/12**

G03F 7/00, G02B 1/04

(73) Patentinhaber:

National University of Ireland, Cork, Cork, IE

(74) Vertreter:

**WINTER, BRANDL, FÜRNISS, HÜBNER, RÖSS,
KAISER, POLTE, Partnerschaft, 85354 Freising**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**Connell, Andrew, Cork, IE; O'Brien, Shane,
Mallow, Cork, IE; Kelly, Patrick Vincent, Cork, IE**

(54) Bezeichnung: **Herstellung von Materialien für Wellenleiter mit Stufenbrechungsindex**

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

Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bilden einer Brechungsindexstufe in einem Material, sowie beispielsweise in einem strukturellen Element, zum Beispiel brechende optische Elemente und Wellenleiter. Die Brechungsindexstufe wird permanent gebildet. Ein versenkter oder eingebetteter Wellenleiter kann durch das Verfahren gebildet werden. Die Erfindung betrifft insbesondere Materialien, in denen eine Brechungsindexstufe gebildet ist.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Viele Arten von Wellenleitern (einschließlich negativen Wellenleitern) sind bekannt und werden bei verschiedenen Anwendungen verwendet. Wellenleiter werden verwendet, um die Transmission von elektromagnetischen Wellen und insbesondere von Mikrowellen zu propagieren. Wellenleiter können von jeder gewünschten Form sein. Traditionell wurden Wellenleiter aus tubulären metallischen Materialien hergestellt, aber in der letzten Zeit wurden unterschiedliche Arten von Wellenleitern aufgrund der Verwendung von höheren Transmissionsfrequenzen entwickelt. Ein "versenkter" oder "eingebetteter" Wellenleiter ist ein Wellenleiter, bei welchem der führende Kern durch ein Material mit einem niedrigeren Brechungsindex umgeben ist, z.B. eine Pufferschicht und eine Schutzschicht. Ein Beispiel des Materialtyps, der für die Bildung von Wellenleitern untersucht wird, beinhaltet fotogemusterte Solgelwellenleiter, hergestellt unter Verwendung von Methacryloxypropyltrimethoxysilan, welche in drei unterschiedlichen Publikationen diskutiert werden, nämlich: H. Krug, F. Tiefensee, P.W. Oliveira und H. Schmidt, SPIE Vol 1758 Sol-Gel Optics, 1992, 448; P. Coudray, J. Chisham, A. Malek-Trabizi, C.Y.L, M. Andrews und S.I. Najafi, SPIE Vol 2695, 1996, 92; P. Etienne, P. Coudray, Y Moreau und J. Porque, Journal of Sol-Gel Science and Technology 13, 1998, 523.

[0003] Die Technologie, auf die in diesen Literaturreferenzen Bezug genommen wird, basiert auf Silanvorläufern, die Alkoxy- und Methacrylreste enthalten. Eine dreidimensionale quervernetzte Matrix wird durch die Hydrolyse und durch die Kondensation der Alkoxyreste unter dem Einfluß von Säurekatalysatoren gebildet, wie es typisch für die Solgeldünnschichttechnologien ist. Weiterhin wird Quervernetzen selektiv durch ein Fotomusterungsverfahren erreicht, das ein Quervernetzen über die Methacrylreste in den exponierten Regionen verursacht. Das System verwendet einen Fotoinitiator, welcher auf die Aussetzung gegenüber UV-Licht hin freie Radikale produziert, welche das Quervernetzen zwischen gewissen Resten fördern. Die Flächen, in denen Methacrylatquervernetzung stattfand, haben einen größeren Brechungsindex, als die nicht exponierten Re-

gionen. Somit kann eine versenkte Wellenleiterstruktur durch diese Technik gebildet werden.

[0004] Eine Rißbildung in 5 micron dicken Filmen wurde beobachtet, wenn ein Film, der gemäß der Literaturreferenz P. Etienne, P. Coudray, J. Porque und Y Moreau, Optics Communications 174, 2000, 413 produziert wurde, auf die Löt-Re-Flow-Temperatur von 250°C erhitzt wurde. Da in einigen Fällen die Vorrichtungen, in die die Wellenleiter angebracht werden, oder von denen sie einen Teil bilden, einen Löt-Re-Flow bei Temperaturen von um 250°C unterlaufen müssen (beispielsweise eine BCB (Benzocyclobuten) Planarisierungsschicht kann gegenüber 250°C für 60–90 Minuten ausgesetzt sein) ist es wichtig, daß die Filme thermisch stabil sind, und daß sich der Brechungsindex beim Erhitzen nicht ändert. Die beobachteten Unzulänglichkeiten könnten in einer fortgesetzten Kondensation begründet liegen, welche wenigstens teilweise dem Verfahren zugeschrieben werden kann, das verwendet wird, um den Wellenleiter herzustellen.

[0005] Die Autoren der oben erwähnten Publikationen haben ebenso die Verwendung von schneller härtenden Acrylaten untersucht (sh. Beispiel P. Etienne, P. Coudray, J. Porque und Y Moreau, Optics Communications 174, 2000, 413).

[0006] Während Methacrylate keine bevorzugten Materialien, aufgrund der Gründe, auf die hierin Bezug genommen wird, sind, und da deren radikalischer Mechanismus empfänglich für eine Sauerstoffinhibition ist, (es sei denn, sie werden in einer inerten Atmosphäre, so wie unter Stickstoff, hergestellt) können Wellenleiter aus diesen Materialien durch das Verfahren der vorliegenden Erfindung hergestellt werden.

[0007] Die thermische Stabilität von organischen/anorganischen Hybridfilmen wurde durch die vorliegenden Erfinder untersucht. Insbesondere ergab das Testen einer Zusammensetzung, die gemäß der ersten Literaturreferenz oben auf einer heißen Platte bei 250°C hergestellt wurde, eine sehr schlechte Thermoresistenz, schlechter als viele vollständig organische Polymere.

[0008] Es scheint daher, daß durch die Verfahren, die in den Literaturreferenzen direkt oben beschrieben werden, ein methacrylatmodifiziertes Siloxanpolymer produziert wird, das auf einem Sol-Gel-Weg gebildet wird. Die Filme werden aus Alkoxidvorläufern hergestellt, wie konventionelle Solgele, basierend auf, sagen wir, Tetramethoxysilan. Als solches ist die Verarbeitung ähnlich der normalen Solgel-Verarbeitung. Die Materialien sind leicht zu handhaben und können bei Raumtemperatur und bei Atmosphärendruck umgesetzt werden. Die Solgel-Umsetzung kann unvorhersagbar sein, und produziert ein instabiles Sol, dessen Viskosität mit der Zeit zunimmt. Ein nicht flüssiger Film (Gel) wird produziert, wenn weitere Kondensation auftritt. Sogar nach dem Gelpunkt gibt es sehr viele unkondensierte Gruppen, die in der Lage sind, zu reagieren. Bei moderaten Filmdicken

(in der Größenordnung von einem Mikron aufwärts) kann eine Reißbildung durch Kapillarspannung in Filmen beobachtet werden, während sie schrumpfen. Ein weiteres Problem ist es, daß sogar nach dem Erhitzen der Filme bei erhöhten Temperaturen für ausgedehnte Zeiten rückständige Alkoxide und Hydroxide immer vorhanden sein werden.

[0009] US Patent Nr. 5,076,980 (Nogues et al) beschreibt ein Verfahren, Glas- oder keramische optische Elemente in der Form von Solgel-Monolithen herzustellen. Das Verfahren stellt die folgenden Schritte zur Verfügung:

- (a) Hydrolisieren und Polykondensieren von einem oder von mehreren Oxidvorläufern, um eine Sol zu bilden, das eine Vielzahl von Oxipartikeln umfaßt, die in einer Flüssigkeit suspendiert sind;
- (b) Gießen des Sols in eine Form,
- (c) Gelbilden des Sols durch quervernetzende Oxidpartikel, um eine Gel zu bilden;
- (d) Altern des Gels, um ein gealtertes Gel zu bilden;
- (e) Aussetzen des gealterten Gels gegenüber einer Trocknungsbehandlung. Die Trocknungsbehandlung beinhaltet das Erhitzen des gealterten Gels in einer Umgebung mit hoher Feuchtigkeit; und ein Erhitzen des gealterten Gels in einer Umgebung mit einer niedrigen Feuchtigkeit, um die Flüssigkeit aus den Poren des gealterten Gels zu entfernen, um ein getrocknetes gealtertes Gel zu bilden und
- (f) Verdichten des getrockneten gealterten Gels, um einen Solgel-Monolith zu bilden.

[0010] Nogues et al kümmern sich nicht um das zur Verfügungsstellen eines Materials mit Regionen mit unterschiedlichen Brechungsindizes.

[0011] Die Stabilität einer Brechungsindexstufe gegenüber der Temperatur wird als ein Problem in US Patent Nr. 5,054,872 (Fan et al) für die Produktion von photogehärteten Epoxies für Wellenleiteranwendungen erkannt.

[0012] Wochnowskie et al, Applied Surface Science 154-155 (2000) 706-711 beschreiben die photolytische Modifikation des Brechungsindex von Polymethylmethacrylat durch Anwenden von UV Laserlicht.

[0013] Es gibt daher einen Bedarf für ein alternatives Verfahren zum Herstellen von Wellenleitern, insbesondere von Wellenleitern, welche wenigstens einige der erkannten Nachteile der Wellenleiter des Standes der Technik überwindet.

Zusammenfassung der Erfindung

[0014] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Verfahren zum Bilden eines Materials mit wenigstens zwei Bereichen mit unterschiedlichen Brechungsindizes.

[0015] Das Verfahren umfaßt die Schritte wie definiert in Anspruch 1.

[0016] Die nicht-exponierten Bereiche/der nicht-exponierte Bereich sind die Bereiche/ist der Bereich die/der den Bedingungen des Schrittes (c) nicht ausgesetzt sind/ist. Die exponierten Bereiche/der exponierte Bereich sind diejenigen, (diskreten Bereiche)/ist derjenige diskrete Bereich, die/der den Bedingungen des Schrittes (c) ausgesetzt sind/ist. Normalerweise ist der gelfähige Bestandteil ein polymerisierter Bestandteil. Der begabte Fachmann wird wissen, welcher Bestandteil oder welche Bestandteile auszuwählen ist/sind, um eine gelfähige Zusammensetzung zu kreieren. Dieses Verfahren erlaubt die Bildung einer Struktur, durch welche Wellen propagiert werden können. Typische Wellen, die getragen werden, beinhalten Hochfrequenzwellen, so wie Mikrowellen.

[0017] Schritt (a) erlaubt, daß die gelfähige Zusammensetzung in einer gewünschten Form zur Verfügung gestellt werden kann, beispielsweise in einer gewünschten äußeren Form mit spezifischen Dimensionen, usw. Die gelfähige Zusammensetzung könnte in einer Filmform zur Verfügung gestellt werden, so daß das Verfahren in der Bildung einer Filmstruktur resultieren würde, die dafür geeignet ist, als Wellenleiterstruktur verwendet zu werden.

[0018] Schritt (b) erlaubt, daß die Gelbildung durch die gesamte Masse der gelfähigen Zusammensetzung auftritt, so daß eine Gelmatrix gebildet wird. Es ist nicht erforderlich, die Zusammensetzung im Stadium des Schrittes (b) selektiv zu gelieren. Es ist wünschenswert, daß Schritt (b) in der Bildung einer Matrix resultiert, so wie durch partielle Polymerisierung, beispielsweise durch Quervernetzen. Die partial gelierte Zusammensetzung wird somit eine Matrix mit einer Menge von ungeliertem Material, die in der Matrix verteilt ist, enthalten. Das ungelierete Material wird normalerweise einen oder mehrere Bestandteile der gelfähigen Zusammensetzung einschließlich einer Menge des ungelierten gelfähigen Bestandteils enthalten. Im Allgemeinen gesprochen tritt keine selektive Aussetzung während des Schrittes (b) auf, so daß eine Matrix durch die gesamte Materialmasse gebildet wird, während ungeliertes Material innerhalb der Matrix verbleibt, wiederum im wesentlichen gleichmäßig durch sie verteilt. Die Wirkung ist, eine Gelmatrix oder einen Rahmen zu kreieren, in welchem sich ungeliertes Material befindet. Das Wort "ungeliert" wird hier verwendet, um sich auf ein miteinander verbundenes Materialnetzwerk durch eine Masse von Material und resultierend in einem Material von sehr hohem Molekulargewicht, welches oft als "unendliches" Material bezeichnet wird, zu beziehen. Der Begriff "ungeliert" betrifft Material von im wesentlichen geringerem Molekulargewicht, welches keinen Teil eines miteinander verbundenen Netzwerkes bildet. Das ungelierete Material kann als ein endliches Molekulargewicht habend angesehen werden. "Teilweise geliert" betrifft das Stadium einer Materialmasse, welches gelierte und ungelierete Materialien enthält. Das ungelierete Material kann Material mit hohem Moleku-

largewicht enthalten, welches noch nicht mit dem quervernetztem Netzwerk verbunden ist.

[0019] Schritt (c) ist selektiv. Folgend auf den Schritt (c) ist die Menge an ungeliertem Material in der exponierten Region geringer als die Menge in den nicht-exponierten Regionen. Wenig oder keine weitere Gelbildung wird in den nicht-exponierten Regionen durch den Schritt (c) induziert. Schritt (c) bildet dann die Basis zum Bilden von Regionen mit unterschiedlichem Brechungsindizes, aufgrund der unterschiedlichen Mengen der Gelbildung, die stattgefunden hat.

[0020] Schritt (d) nutzt die Unterschiede (die durch den Schritt (c)) verursacht wurden, bezüglich der Menge der Gelierung durch Extraktion des nicht gelierten Materials aus. In dem Fall, in dem die exponierten Regionen vollständig geliert sind, wird im wesentlichen keine Extraktion von nicht geliertem Material aus den exponierten Regionen stattfinden. Dies liegt an der Tatsache, daß fast der gesamte gelfähige Bestandteil in die Gelstruktur mit aufgenommen ist, so daß wenig oder kein Material für die Extraktion zur Verfügung stehen wird.

[0021] Die nicht-exponierten Regionen/die nicht-exponierte Region wird (bei der Extraktion) wenigstens einiges des nicht gelierten Materials ergeben, so daß der Brechungsindexunterschied zwischen den exponierten und den nicht-exponierten Regionen kreiert wird. Eine Theorie suggeriert, daß Leerstellen in den nicht-exponierten Regionen/in der nicht-exponierten Region (durch die Entfernung des Materials bei der Extraktion) gebildet werden, so daß diese Regionen oder diese Region einen unterschiedlichen Brechungsindex von der exponierten Region/von den exponierten Regionen haben/hat. Es wird dem Fachmann klar sein, daß diese Wirkung durch unterschiedliche Ausmaße der Extraktion erzielt wird. In anderen Worten ist es nicht kritisch, daß von den exponierten Regionen/von der exponierten Region keine Extraktion stattfindet. Vorausgesetzt daß unterschiedliche Mengen von Extraktion zwischen den exponierten und nicht-exponierten Regionen/zwischen der exponierten und nicht-exponierten Region erzielt werden, (so daß ein Unterschied bezüglich der Zusammensetzung und normalerweise Bezug auf die physikalischen Struktur existiert) wird das erfindungsgemäße Verfahren das gewünschte Material kreieren. In anderen Worten und im allgemeinen tritt in den nicht-exponierten Regionen/in der nicht-exponierten Region verglichen mit der exponierten Region/mit den exponierten Regionen mehr Extraktion auf, wenn das Wellenleitermaterial gleichmäßig der Extraktion ausgesetzt wird.

[0022] Auch wenn es nicht essentiell ist, kann, wenn gewünscht, ein zweiter Bestandteil zur Verfügung gestellt werden, um einen Teil der gelfähigen Zusammensetzung zu bilden, gemeinsam mit dem gelfähigen Bestandteil, z.B. einem difunktionalen reaktiven Bestandteil, so wie Diphenyldimethoxysilan. Wünschenswerterweise können der gelfähige Bestandteil und der zweite Bestandteil kombiniert werden, um

eine Nicht-Feststoffmischung zu bilden, z.B. eine flüssige Mischung. Normalerweise wird der zweite Bestandteile einen Brechungsindex haben, der sich von dem Brechungsindex eines Gels der gelfähigen Bestandteiles bei Nichteinbeziehung des zweiten Bestandteiles unterscheidet. Jedoch kann jeglicher zweiter Bestandteil, welcher verwendet werden kann, um den Brechungsindexunterschied zu verstärken, oder um die Flächen mit unterschiedlichem Brechungsindex zu bilden, ausgewählt werden. Der zweite Bestandteil wird ausgewählt, um dem Teil des gelierten Materials, in den er miteinbezogen wird, einen höheren oder niedrigeren Brechungsindex zu verleihen. Die Menge des zweiten Bestandteiles, die aus den nicht-exponierten Regionen/die aus der nicht-exponierten Region extrahiert wird, ist größer als die Menge, die aus den exponierten Regionen/die aus der exponierten Region extrahiert wird. Wiederum ist dies eine Angelegenheit des Grades der Extraktion. Die Menge des zweiten Bestandteiles, die für die Miteinbeziehung in die Zusammensetzung ausgewählt ist, um einen gelierten gelfähigen Bestandteil/eine Matrix mit dem zweiten Bestandteil zu bilden, der/die einen unterschiedlichen Brechungsindex verglichen mit den nicht-exponierten Regionen aufweist. Aus den nichtexponierten Regionen/der nicht-exponierten Region kann ebenso eine Menge des nicht gelierten Bestandteiles extrahiert werden, die der Bildung eines Unterschieds bezüglich des Brechungsindex zuträglich ist. In einer Ausführungsform wird nur der zweite Bestandteil selektiv durch den Extaktionsschritt extrahiert.

[0023] Wenn ein zweiter Bestandteil verwendet wird, ist es wünschenswert, daß der zweite Bestandteil und der gelfähige Bestandteil mischbar sind. Beispielsweise können der zweite Bestandteil und der gelfähige Bestandteil eine Dispersion bilden, beispielsweise ein Sol. Der zweite Bestandteil wird normalerweise in dem gelfähigen Bestandteil dispergiert oder mit ihm gemischt. Die gelfähige Zusammensetzung kann ein Sol sein, so daß das finale gelierte Produkt als Solgel angesehen werden kann.

[0024] Bei der erfindungsgemäßen Anordnung wird das Material mit zwei oder mehr Bereichen zur Verfügung gestellt, die zwei oder mehr Brechungsindexwerte haben, und die wünschenswerterweise eine Stufenänderung bezüglich des Brechungsindex zwischen wenigstens zwei Bereichen des Materials haben. Die Stufe stellt einen genau bestimmten Übergang zwischen den Bereichen mit unterschiedlichen Brechungsindizes dar. Die Stufe ist vorzugsweise linear und wird bei einer wünschenswerten Anordnung so kreiert, daß sie (orthogonal) vom oberen Ende der Wellenleiterstruktur seiner Basis verläuft. Es wird anerkannt werden, daß das theoretische Ideal eines vollständigen Übergangs aus einem Material mit einem Brechungsindexwert zu einem anderen ohne Bereiche mit dazwischenliegendem Brechungsindexwerten erstrebenswert ist. In der Praxis sind jedoch Anordnungen befriedigend, die schlechter als das

Ideal sind, und die die Produkte des Verfahrens der vorliegenden Erfindung stellen sehr nützliche Strukturen zur Verfügung.

[0025] In Schritt (d) kann der zweite Bestandteil (wo immer er vorhanden ist) als eine Dispersion innerhalb der ungelierten gelfähigen Bestandteils oder in einer Form, in der er mit einem gelfähigem Bestandteil vermischt ist, extrahiert werden. Eine Menge des zweiten Bestandteiles, die nicht in dem Material durch Schritt (d) gebunden ist, kann in Schritt (d) extrahiert werden. Nicht geliertes Material und/oder der zweite Bestandteil kann leicht extrahiert werden, beispielsweise durch ein Lösungsmittel (Waschen mit einem Lösungsmittel). Das teilweise gelierte Produkte aus Schritt (d) kann ein unlösliches Netzwerk bilden, in welchem Mengen der Dispersion verbleiben. Der Schritt der teilweisen Gelbildung bildet eine Masse, die bequem für die nachfolgende Verarbeitung ist, beispielsweise, auf welche leicht eine Maske angewendet werden kann. Mengen des zweiten Bestandteils werden immobilisiert oder innerhalb der Gelstruktur, die durch den gelierten gelfähigen Bestandteil gebildet wird, gebunden, während in Gebieten mit geringem Ausmaß der Gelbildung weniger Mengen immobilisiert oder in die Struktur gebunden werden. Das Waschen der gesamten Materialmasse kann daher verwendet werden, um selektiv relativ größere Mengen des Materials des zweiten Bestandteiles aus den teilweise gelierten Bereichen zu entfernen.

[0026] Bei einem bevorzugten Verfahren der Erfindung ist der gelierbare Bestandteil ein polymerisierbarer Bestandteil und ist wünschenswerterweise ein Bestandteil, der für die Quervernetzung empfänglich ist. Dieses Attribut stellt sicher, daß, nachdem Schritt (b) ausgeführt wurde, wo der gelierbare Bestandteil quervernetzbar ist, der zweite Bestandteil in die quervernetzte Struktur miteinbezogen werden kann. Die teilweise Gelierung und vollständige Gelierungsverfahren können Quervernetzungsverfahren sein. Der ausgewählte zweite Bestandteil ist daher wünschenswerterweise in einem Polymernetzwerk, so wie einer quervernetzten Struktur bindbar. Das Material wird in diesem Stadium einige quervernetzte Strukturen enthalten, die aus quervernetztem Material gebildet sind und einiges nicht quervernetztes Material. Diese Struktur wird als teilweise geliert angesehen. Der gelierbare Bestandteil wird normalerweise wenigstens drei funktionelle Gruppen haben, welche gleich oder unterschiedlich sein können. Zwei funktionale Gruppen werden an einer Polymerisationsumsetzung teilnehmen, um eine Polymerkette zu bilden, während die dritte an der Quervernetzungs-umsetzung teilnimmt. Beispielsweise könnten drei hydrolysierbare Gruppen vorhanden sein. Nachdem Schritt (c) ausgeführt wurde, werden die diskreten Bereiche/der diskrete Bereich, die den ausgewählten Bedingungen ausgesetzt wurden/der den ausgesetzten Bedingungen ausgesetzt wurde, in einem größeren Ausmaß quervernetzt sein. Die Einfachheit der Entfernung des ungelierten gelierbaren Bestandteils

und/oder des zweiten Bestandteils aus dem Produkt aus Schritt (c) tritt in unterschiedlichen Ausmaßen auf, abhängig von der Menge der Quervernetzung innerhalb der Struktur. Dementsprechend wird mehr, und wünschenswerterweise im wesentlichen der gesamte zweite Bestandteils (wo immer er vorhanden ist), der in den Bereichen der geringeren Quervernetzung angeordnet ist, selektiv entfernt, beispielsweise durch Extraktion durch eine Extraktion mit einer ausgewählten Chemikalie. Die Extraktion kann beispielsweise unter Verwendung eines Lösungsmittels erzielt werden. Waschen mit (einschließlich Immersion in) einem Lösungsmittel per se würde eine selektive Extraktion normalerweise nicht erreichen, aber aufgrund der Unterschiedlichkeiten bei der physikalischen Struktur kann Material selektiv durch Waschen beispielsweise aus weniger intensiv quervernetzten Bereichen selektiv entfernt werden. Dieser Effekt wird leicht erreicht, beispielsweise, wo der zweite Bestandteil wenigstens teilweise quervernetzt oder auf andere Weise innerhalb einer quervernetzten Struktur des gelierten gelierbaren Bestandteils gebunden ist. Das Lösungsmittel entfernt selektiv nicht quervernetzten (und/oder zweiten Bestandteil) innerhalb den teilweise quervernetzten Regionen, während die vollständiger quervernetzten Bereiche/der vollständiger quervernetzte Bereich im wesentlichen weniger nicht quervernetztes Material enthält, so daß eine Extraktion nicht in demselben Ausmaß auftritt. Die Extraktion von dem nicht gelierten gelierbaren Bestandteil und/oder dem Sekundärbestandteil aus den teilweise quervernetzten Gebieten tritt somit in einem größerem Ausmaß auf, während in den vollständiger quervernetzten Bereichen in einem geringeren Ausmaß extrahiert wird, wobei als Resultat Bereiche kriert werden, die unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.

[0027] Die gelierbare Zusammensetzung kann nicht fest sein und ist typischerweise eine Flüssigkeit mit niedriger oder hoher Viskosität, was für die Einfachheit der Vermischung mit dem zweiten Bestandteil (wo immer er vorhanden ist) sorgen wird. In einer erstrebten Anordnung ist die gelfähige Zusammensetzung polymerisierbar durch Bestrahlung und/oder durch Aussetzung gegenüber erhöhten Temperaturen und/oder durch Aussetzung gegenüber Elektronen oder Ionenstrahlen. Wünschenswerterweise ist die Zusammensetzung durch Erhitzen gelierbar und durch Bestrahlung quervernetzbar. Solche gelfähigen Zusammensetzungen sind nützlich bei dem Verfahren der vorliegenden Erfindung, da eine Maske bequemerweise verwendet werden kann, um diskrete Bereiche oder einen diskreten Bereich des Produktes aus Schritt (c) Bedingungen auszusetzen, welche eine vollständige Gelierung der teilweise gelierten Zusammensetzung induzieren werden. Eine Maske stellt einen sehr bequemen Weg des Zur-Verfügung-Stellen von selektiver Aussetzung gegenüber einer Strahlungsquelle sowie UV-Strahlung, zur Verfügung. Die Maske kann gemäß jeglichem gewünsch-

ten Muster entworfen werden. Selektive Aussetzung durch die Maske wird eine Gelbildung in gewünschten diskreten Bereichen erreichen. Eine bequeme gelfähige Zusammensetzung ist durch UV-Strahlung gelierbar. Ein gelfähiger Bestandteil, welcher durch UV-Bestrahlung gelierbar ist, ist insbesondere bequem und zum Beispiel kann er insbesondere durch die Aussetzung gegenüber UV-Licht im Bereich von etwa 100 nm bis zu etwa 400 nm geliert werden.

[0028] Wünschenswerterweise ist der gelfähige Bestandteil ausgewählt aus einem Alkyl- oder Acyl- substituiertem Alkoxysilan enthaltend ein Oxiran, Methacrylat oder einen Acrylatrest, entsprechende Beispiele sind hierunter angegeben:

(3-Glycidoxypentyl)trimethoxysilan;
 (3-Glycidoxypentyl)triethoxysilan;
 (3-Glycidoxypentyl)methyldimethoxysilan;
 (3-Glycidoxypentyl)methyldiethoxysilan;
 (3-Glycidoxypentyl)dimethylmethoxysilan;
 (3-Glycidoxypentyl)dimethylethoxysilan;
 2-(3-Epoxypropyl)ethyltriethoxysilan;
 2-(3-Epoxypropyl)ethyltrimethoxysilan
 Epoxypropoxypropyl-terminierte Polydimethylsiloxane,

so wie Epoxypropoxypropylmethoxysiloxandimethylsiloxanocopolymere;

Methacryloxypropyltrimethoxysilan;
 Methacryloxypropyltriethoxysilan;
 Methacryloxypropylmethyldimethoxysilan;
 Methacryloxypropylmethyldiethoxysilan;
 Methacryloxypropyltrimethoxysilan;
 Methacryloxypropyltriethoxysilan;
 2-Hydroxyethylmethacrylat;
 2-Hydroxy 3-Methacryloxypropylmethacrylat;
 3-Hydroxypropylmethacrylat;
 Tetrahydrofurfurylmetacrylat;
 Zirkoniumtetramethacrylate;
 Acryloxypropyltrimethoxysilan;
 Acryloxypropylmethyldimethoxysilan;
 2-Hydroxyethylacrylat;
 3-Hydroxypropylacrylat;
 2-Hydroxy 3-Methacryloxypropylacrylat;
 2-Hydroxy 3-Acryloxypropylacrylat;
 Diethylenglykoldiacrylat;
 Triethylenglykoldiacrylat;
 Tetraethylenglykoldiacrylat;
 Trimethylolpropantriacrylat;
 1-6-Hexanedioldiacrylat;
 Tetrahydrofurfurylacrylat;
 Zirkoniumtetraacrylat; und

UV quervernetzbar Polymerevorläufer mit niedrigem Molekulargewicht, beispielsweise XPSU8 (Bisphenol-A-novalec-Harz) erhältlich von Chestech MicroChem Corp., 1254 Chestnut Street, Newton, MA, USA; und

Epoxypropoxypropanol-terminierte Polydimethylsiloxane, so wie die Produkte SMS-E01, DMS-E12 und DMS-E21 von Gelest Inc., Tullytown, PA, USA.

[0029] Die obigen Verbindungen sind Vorläuferma-

terialien, welche mit der Hilfe von Photoinitiatoren UV quervernetzbar sind.

[0030] Vorzugsweise ist der zweite Bestandteil der gelfähigen Zusammensetzung ein Bestandteil mit einem höheren Brechungsindex als der gelfähige Bestandteil, auch wenn der begabte Fachmann anerkennen wird, daß der zweite Bestandteil einen niedrigeren Brechungsindex als der gelierte, gelfähige Bestandteil haben kann.

[0031] Der zweite Bestandteil kann als ein Brechungsindex verstärkender Bestandteil oder als ein Brechungsindex ändernder Bestandteil angesehen werden. Der zweite Bestandteil kann ein Bestandteil mit einem hohen Brechungsindex sein, zum Beispiel Komplexe der Übergangsmetalle, so wie Zirkonium oder Titan, so wie Zirkoniumtetramethacrylat oder kann ein geeigneterweise ausgewähltes Polymer sein. Der zweite Bestandteil (normalerweise ein Bestandteil mit einem hohen Brechungsindex) ist wünschenswerterweise einer, welcher in der Lage ist, an dem Schritt (c), der Gelierungsumsetzung, teilzunehmen. In dieser Hinsicht wird der zweite Bestandteil wenigstens zwei funktionale Gruppen haben, welche es erlauben werden, daß der Bestandteil beispielsweise in eine quervernetzte Struktur miteinbezogen wird. Die exponierte Region oder die exponierten Regionen werden wünschenswerterweise eine größere Menge eines zweiten Bestandteils gebunden in das Gel (die Gelmatrix) haben und werden ebenso einen höheren Brechungsindex haben, als nicht-exponierte Regionen oder als eine nicht-exponierte Region, mit einer geringeren Menge des zweiten Bestandteils, die in das Gel (bei einer gewünschten Wellenlänge) gebunden ist. Der zweite Bestandteil kann feste Partikel enthalten. Der Bestandteil mit dem hohen Brechungsindex kann somit ein Teil der Gelmatrix, beispielsweise als ein Teil einer Polymerkette, so wie einem langen Polymergerüst, werden oder kann zwischen Polymerketten quervernetzt werden. Der Bestandteil mit dem hohen Brechungsindex kann ein Silan sein, z.B. phenylsubstituierte Silane. Phenylsubstituierte Silane sind nützlich als zweiter Bestandteil aus einer Anzahl von Gründen: (i) Wenn ein Photoinitiator als Teil der gelfähigen Zusammensetzung erforderlich ist, können phenylsubstituierte Silane bei der Lösung des Photoinitiators helfen; (ii) phenylsubstituierte Silane assistieren bei dem Schritt, der dem Material einen hohen Brechungsindex verleiht (iii); sie tragen zur thermischen Stabilität im Laufe der Zeit bei (wenigstens in den Bereichen, in welche sie mit einbezogen sind). Geeigneterweise wird das Silan ausgewählt aus denjenigen, die oben offenbart sind, insbesondere aus phenylsubstituierten Silanen.

[0032] Der Unterschied zwischen den Brechungsindizes der exponierten Regionen oder der exponierten Region und der nicht-exponierten Region ist normalerweise im Bereich von etwa 1 zu etwa 6, sowie von etwa 1, 3 bis zu etwa 3. Diese Werte wurden gemäß dem Prisma paarverfahren bestimmt, das in "Refractive Index Measurements of Mixed $\text{HgBr}_x\text{I}_{2-x}$ Single

Crystals", Optical Materials, Volume 14, 2000, Seiten 95–99. V. Marinova, St. Shurulinkov, M. Daviti K. Paraskevopoulos und A. Anagnostopoulos, beschrieben ist.

[0033] Geeigneterweise ist der zweite Bestandteil in Mengen vorhanden, die von 1 Mol% bis zu 50 Mol%, normalerweise von 5 bis 40 Mol% basierend auf dem Molekulargewicht des gelfähigen Bestandteils rangieren.

[0034] Der begabte Fachmann wird wissen, welche gelfähigen Bestandteile mit den bestimmten Feststoffpartikeln, die als sekundärer Bestandteil ausgewählt sind, gut funktionieren werden. Es ist wünschenswert, daß, wo der zweite Bestandteil Feststoffpartikel umfaßt, sie gut durch den gelfähigen Bestandteil dispergiert werden.

[0035] Der gelfähige Bestandteil kann ein polymerisierbares Monomer oder Oligomer oder Mischungen von einem oder von beidem enthalten. Wenn gewünscht kann die gelfähige Zusammensetzung einen Initiator enthalten, um die Polymerisierung zu initiieren. Andere Bestandteile, so wie Beschleuniger, Stabilisatoren, thixotropische Mittel, Farbstoffe, Verbindungsmittel, usw. können hinzugefügt werden wie gewünscht.

[0036] Ein bestimmtes Verfahren, welches insbesondere für die Bildung von Material geeignet ist, das geeignet für die Verwendung als Wellenleiter ist, beinhaltet die folgenden Schritte:

- (i) Bilden einer Pufferschicht auf einem gewünschten Substrat;
- (ii) Anwenden der gelfähigen Zusammensetzung umfassend den gelfähigen Bestandteil auf die Pufferschicht, so daß die gelfähige Zusammensetzung in einer gewünschten Form ist;
- (iii) Aussetzen der gebildeten gelfähigen Zusammensetzung gegenüber Bedingungen, welche die gelfähige Zusammensetzung teilweise gelieren, so daß die Menge des ungelierten Materials bleibt;
- (iv) Aussetzen von wenigstens einem diskreten Bereich des teilweise gelierten Produktes aus Schritt (iii) gegenüber Umständen, welche eine vollständigere Gelierung der teilweise gelierten gelfähigen Zusammensetzung induziert, so daß mehr ungeliertes Material in den exponierten Regionen in die Gelstruktur mitaufgenommen wird, als in den nicht-exponierten Regionen; und
- (v) Extrahieren des Materials, das nicht in die Gelstruktur mitaufgenommen ist, von wenigstens einem Bereich, der den Umständen des Schrittes (iv) nicht ausgesetzt ist.

[0037] Bei der vorliegenden Erfindung kann folgend auf die Extraktion eine weitere Gelierung der gelfähigen Zusammensetzung durch die Aussetzung gegenüber Umständen induziert werden, welche eine weitere Gelierung der gelfähigen Zusammensetzung induzieren. Dieser letzte Schritt kann nicht selektiv ausgeführt werden, beispielsweise ohne eine Maske.

[0038] Nachdem eine Brechungsindexvariation durch die Bildung von Leerräumen mit Dimensionen, welche als sich in der Mikroskala befindend angesehen werden können, erreicht wurde. Die Leerräume können "Mikroleerräume" genannt werden, welche durch Extraktion von Material, welches keinen Teil der Gelstruktur bildet, kreierte werden können, wie oben ausgeführt. Das Material, das die Vorrichtung umfaßt, kann dann vollständig durch weitere Aussetzung gegenüber UV-Strahlung und/oder durch Erhitzen quervernetzt werden. Da keine nichtumgesetzten reaktiven Bestandteile in dem abgelagerten Material verbleiben, verhindert ein weiteres Erhitzen eine weitere Veränderung des Brechungsindex. Das Material wird dann normalerweise in der Form eines Films oder einer Membran vorliegen und ist im gewöhnlichsten Fall ein Feststoff, welcher flexibel sein kann. Die gelfähige Zusammensetzung ist so ausgewählt, daß sie unter den Bedingungen des Verfahrens der Erfindung ein Material bildet, durch welches eine ausgewählte Strahlung hindurchdringen kann.

[0039] Vorteile von gewissen Aspekten der Verfahren, die sich im Umfang der vorliegenden Erfindung befinden, beinhalten: Die Erfindung überwindet die Schwierigkeiten beim Herstellen von einem versenkten (planarem) Wellenleiter durch Erhalten eines Hüllteiles der Wellenleiterschicht in dem Fall, wo wenigstens zwei diskrete Bereiche gegenüber den Bedingungen aus Schritt (c) des Verfahrens ausgesetzt sind. Der Hüllteil, auf den Bezug genommen wird, ist der Teil des Materials (normalerweise) mit einem niedrigen Brechungsindex, welcher zwischen Bereichen mit (normalerweise einem höheren Brechungsindex) liegt – oft als "Leitregion" bezeichnet. Eine schützende Deckschicht und eine untere Pufferschicht können durch bekannte Verfahren hergestellt werden.

[0040] Die Erfindung überwindet die Schwierigkeiten beim Herstellen eines versenkten oder planaren Wellenleiters, welcher thermisch stabil ist, durch: (a) chemisches Fixieren der Brechungsindexstufe, die in einem Aspekt der Erfindung durch ultraviolette Bestrahlung durch eine Maske mittels einer einem Muster entsprechenden Variation in der Zusammensetzung eingeführt wird (im Gegensatz zu dem Sich-Verlassen auf eine Brechungsindexvariation zwischen nichtreagierten und reagierten Teilen, z.B. Vinyl oder Epoxygruppen); (b) Verwenden eines Wellenleiter-schichtmaterials mit einer hohen thermomechanischen Stabilität (bezüglich der Lebenszeit der Vorrichtung).

[0041] Die Erfindung betrifft ebenso den Wellenleiter, der durch ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung erhältlich ist.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0042] **Fig. 1** bis 6 zeigen eine diagrammatische Darstellung von gewissen Stadien einer Ausführungsform eines Verfahrens der Erfindung, wobei:

[0043] **Fig. 1** ein Substrat zeigt, auf welchem eine Wellenleiterstruktur gebildet werden soll;
 [0044] **Fig. 2** zeigt das Substrat aus **Fig. 1**, auf das eine Pufferschicht angewendet wurde;
 [0045] **Fig. 3** zeigt die Struktur aus **Fig. 2**, auf welche ein gelfähige Zusammensetzung umfassend eine Dispersion aus einem zweiten Bestandteil in einem gelfähigem Bestandteil angewendet wurde und die Aussetzung der Struktur gegenüber Bedingungen, welche die gelfähige Zusammensetzung teilweise gelieren lassen;
 [0046] **Fig. 4** zeigt die selektive Aussetzung von diskreten Bereichen der Struktur aus **Fig. 3** gegenüber Bedingungen, welche eine vollständigere Gelierung unter Verwendung einer Maske induzieren;
 [0047] **Fig. 5** zeigt die Struktur aus **Fig. 4**, wobei die Maske entfernt wurde und den weiteren optionalen Schritt des weiteren Aussetzens gegenüber Bedingungen, welche eine sogar noch vollständigere Gelierung der gelfähigen Zusammensetzung induziert;
 [0048] **Fig. 6** zeigt die Struktur aus **Fig. 5**, auf welche eine weitere (schützende) Schicht angewendet wurde;
 [0049] **Fig. 7** zeigt eine Aufsicht von oben auf eine Wellenleiterstruktur, welche unter Verwendung einer komplizierteren Maske kreiert wurde.

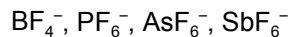
Detaillierte Beschreibung der Figuren

[0050] Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben, auf die oben Bezug genommen wurde.
 [0051] Die Erfindung stellt ein Verfahren zum Bilden einer permanenten Brechungsindexstufe in einem Material zur Verfügung. Die Erfindung kann verwendet werden, um eine versenkte Wellenleiterstruktur zur Verfügung zu stellen. Ein bequemes Verfahren, dies zu tun, ist durch Verwenden eines kombinierten Bestrahlungsmusterschrittes und eines chemischen Extraktionsverfahrens. Insbesondere werden planare Wellenleiter zur Verfügung gestellt.
 [0052] Das Verfahren der Erfindung ist insbesondere nützlich für die Herstellung einer "versenkten" "eingebetteten" Wellenleiterstruktur. **Fig. 1** zeigt Substrat **1**, auf welchem eine Wellenleiterstruktur gebildet werden soll. Typische Substrate beinhalten Glase, Keramiken, Halbleiter, so wie Siliziumscheiben und Polymere. Wie in **Fig. 2** gezeigt, wird eine Pufferschicht **2** auf dem Substrat **1** gebildet. Die Pufferschicht kann durch jegliches geeignetes Verfahren gemacht werden und wird ausgewählt durch den Fachmann. Typische Materialien zum Bilden einer Pufferschicht sind Glase und Materialien, sowie Keramiken, Halbleiter und Polymere, einschließlich Plastik. Typische Verfahren zum Bilden einer Pufferschicht sind Fachleuten gut bekannt. Normalerweise hat die Pufferschicht eine Dicke von einem Mikrometer bis zu 10 Mikrometern. Es ist normal, daß die Pufferschicht aus einem Material hergestellt ist, welches optisch bei der Wellenlänge, bei der der Wellenleiter

verwendet werden soll, transparent ist.

[0053] Eine Schicht oder eine Beschichtung **3** einer gelfähigen Zusammensetzung, welche optional einen zweiten Bestandteil enthält, der in der gelfähigen Zusammensetzung dispergiert ist, wobei der zweite Bestandteil einen Brechungsindexwert hat, der von dem Brechungsindexwert eines Gels (Polymer) der gelfähigen Zusammensetzung (ohne, daß der zweite Bestandteil vorhanden ist) verschieden ist, wird auf die Pufferschicht **2** auf eine Art und Weise angewendet, die der Anwendung der Pufferschicht **2** auf das Substrat ähnelt. Bequemerweise kann ein Solgel verwendet werden. Bei der Ausführungsform ist der gelfähige Bestandteil photopolymerisierbar, dadurch, daß er bei gewissen Wellenlängen photosensitiv ist (im Allgemeinen, wenn auch nicht ausschließlich, im UV-Bereich 100 nm bis 400 nm). Wenn nötig oder gewünscht kann die gelfähige Zusammensetzung einen Photoinitiatorbestandteil enthalten. Der Photoinitiatorbestandteil kann ausgewählt werden aus jeglichem geeigneten Photoinitiator, so wie Oniumsalzen, welche normalerweise als kationische Initiatoren fungieren, und freien radikalischen Photoinitiatoren, so wie β -Diketonen. Beispiele von Oniumsalzen beinhalten die folgenden:
 Diazoniumsalze;
 Diaryliodoniumsalze;
 Diarylbromoniumsalze;
 Triarylsulfoniumsalze;
 Triarylselenoniumsalze;
 Dialkyl 1-4-Hydroxyphenyl-Sulfoniumsalze;
 Ferroceniumsalze und Thiopyryliumsalze.

[0054] Typische Salze beinhalten diejenigen mit einem oder mit mehreren der folgenden Anionen:



[0055] Beispiele freier radikalischer Initiatoren, insbesondere β -Diketone, beinhalten Alkyl-, Alkylphenyl-, Phenyl- und Di-Ketone) sowie Benzophenon; Xanthon, Acetophenon, Anthraquinon, 4,4-Dichlorbenzophenon, 4-Benzylbenzophenon, Benzoylameisensäurebiacetyl- und Benzoylphosphinoxide und andere Spezies mit Sauerstoffdoppelbindungen an zwei oder mehr aneinandergrenzenden atomaren Bestandteilen. Wenn der Begriff "Alkyl" mit Bezug auf die vorliegende Erfindung verwendet wird, kann jede Alkylgruppe verwendet werden, aber bevorzugt ist die Alkylgruppe eine C_1 - C_{20} Gruppe, beispielsweise eine C_1 - C_{10} Gruppe. Wenn der Begriff "Aryl" verwendet wird, ist jegliche Art von Arylgruppe nützlich, aber die Arylgruppe ist wünschenswerterweise eine C_3 - C_{30} Gruppe (einschließlich heterozyklischer Gruppen) insbesondere eine C_6 - C_{20} Gruppe. Wenn der Begriff "Acy" verwendet wird, ist jede Acylgruppe nützlich, so wie eine C_1 - C_{20} Acylgruppe, beispielsweise eine C_1 oder C_{10} Acylgruppe.

[0056] Alternativ ist ein gelfähiges (polymerisierbares) Monomer oder Oligomer, welches gelfähig (polymerisierbar) ohne die Erforderlichkeit für die Hinzufügung eines Initiators in die Zusammensetzung unter

den Bedingungen, denen es ausgesetzt ist, z.B. photopolymerisierbar. Wenn ein Zwei-Komponenten-Ausgangsmaterial verwendet wird, kann es beispielsweise so formuliert sein, daß Zr, Ti oder andere Metalle oder andere Bestandteile mit einem hohen Brechungsindex oder einem reaktiven Rest (z.B. Phenyl-substituierte Silane) durch den Polymerisierungsmechanismus eingeschlossen werden können, so wie Quervernetzen bei Bestrahlung. In einer Ausführungsform eines Verfahrens der Erfindung kann der gelfähige Bestandteil durch ein Bestrahlungs- und/oder thermisches Verfahren teilweise quervernetzt werden. Thermische Verfahren können für diesen Schritt geeigneter sein, da die Verteilung von Hitze durch die Masse des Materials leichter erreicht werden kann als zum Beispiel die Verteilung der UV-Strahlung, welche eine geringere Tendenz dazu hat, zu disszipieren.

[0057] Wie in **Fig. 3** gezeigt, wird die teilweise Gelbildung der Schicht **3** des Ausgangsmaterials durch die Aussetzung der Schicht **3** gegenüber Bedingungen erreicht, welche eine teilweise Gelierung beinhalten. Bei der Ausführungsform wird dies durch die Aussetzung gegenüber einer UV-Strahlung mit relativ geringer Intensität (typische Intensitäten sind im Bereich von 1 bis 30 mW/cm²) (angezeigt durch Pfeile **4**) und mit einer geeigneten Wellenlänge, normalerweise im Bereich von 150–400 nm) und optional zusätzlich oder alternativ Hitzeenergie (angezeigt durch Pfeile **5**) erreicht. Dieser Schritt der teilweisen Gelierung bildet ein unlösliches Netzwerk enthaltend Mengen des ungelierten gelfähigen Bestandteils (und, wenn verwendet, des zweiten Bestandteils). Bei der Ausführungsform ist die bestimmte Gelbildung, welche stattfindet, eine Polymerisierung, beispielsweise eine Polymerisierung durch eine Kondensationsreaktion. Die Matrix oder das Netzwerk, das so gebildet wird, hat typischerweise eine Konsistenz, die mit einem Weichfeststoff oder einer Flüssigkeit mit einer sehr hohen Viskosität vergleichbar ist und enthält in seiner Matrix kleine Mengen des nicht gelierten gelfähigen Bestandteils (und, wenn verwendet, des zweiten Bestandteils). Das ungelierete gelfähige Material kann die Form von nicht-quervernetzt-verbundenem gelierten Material annehmen, welches besser löslich ist (beispielsweise in gewöhnlichen Lösungsmitteln) als die Matrix selbst.

[0058] Eine Maske **6** wird dann über der teilweise gelierten Schicht **3** angeordnet. Die Maske **6** ist gemustert wie gewünscht. Die Maske **6** wird insbesondere mit UV-opaquen-Bereichen **7** und UV-durchlässigen Bereichen in der Form von Aperturen **8**, die in der Maske **6** definiert sind, zur Verfügung gestellt. Bei der Ausführungsform werden die Bereiche der Schicht, die durch die Maske exponiert werden, nach dem Verfahren einen höheren Brechungsindex haben, relativ zu den Bereichen der Schicht, welche gegen die Aussetzung maskiert sind.

[0059] Diskrete Bereiche der Schicht **3** sind (selektiv) gegenüber einem starken Flux ultravioletter

Strahlung (angezeigt durch Pfeile **9**) durch die Maske **6** ausgesetzt, um vollständig die exponierten Bereiche **10** der Schicht **3** zu polymerisieren (in der Ausführungsform quervernetzen). Dies hält den zweiten Bestandteil, so wie den Metallkomplex oder andere Bestandteile mit einem hohen Brechungsindex, lokal fest. Bei den nichtexponierten Regionen **11** (unter der Region **7** der Maske **6**) wird der Grad der Gelbildung (Quervernetzung) viel niedriger sein, was das Material, das in diesen Teilen der Schicht **3** verbleibt, viel empfänglicher für die Extraktion durch beispielsweise eine chemische Extraktion werden läßt.

[0060] Insbesondere folgend auf die selektive Aussetzung gegenüber aktiver Strahlung unter Verwendung der Maske **6** wird eine vollständigere Gelbildung der Schicht **3** erreicht, die in der Struktur resultiert, die in **Fig. 5** dargestellt ist. In **Fig. 5** wurde die Maske **6** entfernt, so daß die gezeigte Struktur das Substrat **1**, die Pufferschicht **2** und die Schicht **3** enthält, welche nun selektiv in variierendem Ausmaß geliert ist. Insbesondere die Bereiche **11** sind teilweise geliert, während die Bereiche **10** bis zu einem wesentlich größeren Ausmaß geliert sind. Das ungelierete Material (einschließlich dem zweiten Bestandteil, wenn er vorhanden ist) kann aus den Bereichen **11** der Schicht **3** in einem unterschiedlichen (normalerweise in einem größeren) Ausmaß extrahiert werden als aus den Bereichen **10**. Aufgrund der unterschiedlichen Menge der Polymerisierung, welche erreicht wurde, wie zwischen Bereichen des Materials eine selektive Extraktion erreicht werden kann, beispielsweise durch Waschen mit (Immersion in) einem geeigneten Lösungsmittel. Lösungsmittelextraktion ist nicht normalerweise aus seiner selbst heraus selektiv. Wesentlich kleinere Mengen des zweiten Bestandteils aus den Bereichen **10** werden extrahiert, während ausreichende Mengen des zweiten Bestandteiles aus den Bereichen **11** extrahierbar sein können, um eine Brechungsindexstufe zwischen jedem der Bereiche **10** und dessen angrenzender Region oder dessen angrenzenden Regionen **11** zur Verfügung zu stellen.

[0061] Daher wird eine Brechungsindexstufe permanent zwischen den exponierten (höherer Brechungsindex) und den unausgesetzten (niedrigerer Brechungsindex) Bereichen fixiert. Ein linearer Übergang zwischen den Bereichen wird gebildet. Die Schicht **3**, die auf der Pufferschicht abgelagert wurde, ist eine Schicht geworden, die geeignet ist für die Verwendung als Wellenleiterschicht.

[0062] Wie in **Fig. 5** gezeigt und wenn gewünscht, kann eine weitere Gelbildung (Polymerisierung), so wie durch Quervernetzen, erreicht werden durch Aussetzen der gesamten Schicht gegenüber Bedingungen, welche eine noch vollständigere Gelbildung der gelfähigen Zusammensetzung induzieren kann, beispielsweise die Aussetzung gegenüber einer UV-Licht-Quelle mit noch höherer Intensität (angezeigt durch die Pfeile **12**) und/oder durch zusätzliche Hitze (angezeigt durch die Pfeile **13**). Eine Maske ist

während dieses letzten Schrittes nicht erforderlich, da die Brechungsindexstufe permanent durch den Extraktionsprozeß fixiert wurde. Wie in **Fig. 6a** gezeigt, kann eine Schutzschicht **14** auf der Schicht **3** gebildet werden. Geeignete Schutzschichten beinhalten diejenigen, die aus Benzocyclobuten gebildet werden. Die Schutzschicht kann in einer Sol-Gel-Form durch konventionelles Verfahren, so wie Spin- oder Eintauchbeschichtung angewendet werden. Geeignete Materialien für die Bildung von Schutzschichten sind dem Fachmann bekannt.

[0063] Die Struktur des Wellenleiters, der durch das Verfahren der vorliegenden Erfindung, das gerade beschrieben wurde, gebildet wird, kann als ein Gratwellenleiter angesehen werden.

[0064] **Fig. 7** zeigt ein komplexes Wellenleitermuster (gesehen von oben) welches illustriert, daß kompliziertere Wellenleitermuster, als diejenigen der **Fig. 1** bis **6** unter Verwendung einer komplexen Maske gebildet werden können. Die Brechungsindexstufe ist durch die Linien **20** angezeigt.

[0065] Ein versenkter Wellenleiter kann durch selektives Gelieren (Quervernetzen) des exponierten Teiles des Films hergestellt werden, um dessen Brechungsindex relativ zu den umgebenden Schichten (der Umhüllung) zu erhöhen. Methacrylate vernetzen sich unter dem Einfluß von Wärme, so daß die Brechungsindexstufe für Wellenleiter verloren gehen könnte, die aus diesen Materialien bei Re-Flow-Temperaturen konstruiert worden sind. Dünne Filme, die aus nicht abgesättigten Monomeren gemacht wurden, und die mit freien radikalischen Initiatoren quervernetzt wurden, sind sehr empfindlich gegenüber Sauerstoffinhibierung. Wenn die Filme nicht vor der Atmosphäre während des Erhitzens geschützt werden, werden die freien Radikale, die aufgrund der thermischen Anregung gebildet werden, wirksam durch den atmosphärischen Sauerstoff aufgefangen werden. Daher, während weiteres Quervernetzen verhindert werden könnte, wird eine klebrige Oberfläche produziert, die thermisch instabile Peroxide und Hydroxide enthält. Beispielsweise kann die hohe Funktionalität des Methacryloxypropyltrimethoxysilanvorläufers (3 Methoxygruppen nehmen an der Kondensationsreaktion teil) verursachen, daß der Ausgangspunkt der Gelbildung zu früh auftritt. Eine weitere Kondensation, die später auftritt, kann verursachen, daß die Matrix des Feststofffilmes einschrumpft, was Spannungen in der Matrix verursacht, was zur Rissbildung führen kann. Weiterhin können Nebenprodukte, die während der Umsetzungsreaktion nachdem der Feststofffilm gebildet ist, eliminiert werden (so wie Alkohol und Wasser) kapillare Spannungen auferlegen, welche verursachen können, daß die Matrix reißt. Es wird daher vermutet, daß die maximale Dicke von rißfreiem Filmen, die gemäß dem Verfahren oder gemäß der Verfahren, die in den oben genannten Literaturreferenzen offenbart sind, hergestellt werden können, in der Größenordnung von 5 Microns liegt. Der produzierte Film zeigt keine guten Ergebnisse

beim Hitzetest. Weiterhin wird vermutet, daß wenigstens teilweise aufgrund der Gegenwart nicht umgesetzten Methacrylat in den gebildeten Schichten das Material empfänglich für einen Verlust der Brechungsindexstufe bei Aussetzung gegenüber von Hitze ist, aufgrund der weiter induzierten Polymerisierung des Methacrylatbestandteiles. Dies kann in den Hüllregionen um den Wellenleiter stattfinden, was den Brechungsindex zwischen den Leit- und Hüllregionen reduziert. Es ist daher schwierig, eine Referenzindexstufe mit dem Verfahren, das in den obigen Literaturreferenzen beschrieben ist, zu erreichen, welche im Laufe der Zeit stabil ist, und welche gegenüber den Bedingungen stabil ist, denen sie ausgesetzt sein könnte. Dementsprechend, während viele gelfähige (polymerisierbare) Bestandteile verwendet werden können, ist es für viele Anwendungen, wo der Wellenleiter hohen Temperaturen usw. ausgesetzt sein könnte, wünschenswert, daß der gelfähige Bestandteil ausgewählt ist aus:

Acryloxypropyltrimethoxysilan;
Acryloxypropylmethyldimethoxysilan;
2-Hydroxyethylacrylat;
3-Hydroxypropylacrylat;
2-Hydroxy-3-methacryloxypropylacrylat;
2-Hydroxy-3-acryloxypropylacrylat;
Diethylenglycoldiacrylat;
Triethylenglycoldiacrylat;
Tetraethylenglycoldiacrylat;
Trimethylolpropantriacrylat;
1-6-Hexandioalacrylat;
Tetrahydrofurfurylacrylat; und
Zirconiumtetraacrylat.

[0066] Der zweite Bestandteil kann ausgewählt werden aus nicht photoreaktiven Verbindungen, welche einen Teil der Zusammensetzung bilden. Vorläufer, welche nicht quervernetzbar durch UV sind, sind ebenso nützlich, z.B. Diphenyldimethoxysilan, Tetramethoxysilan, Tetraethoxysilan und andere solche Silane.

[0067] Eine Alternative für die Verwendung von Methacrylaten ist die Verwendung von Acryloxysilanen.

[0068] Acrylate sind dafür bekannt, daß sie viel schneller sich quervernetzen als Methacrylat unter dem Einfluß von UV-Licht und sind in dieser Hinsicht nützlich. Nützliche Acryloxysilane beinhalten diejenigen, die oben beschrieben sind.

[0069] Eine weitere Materialengruppe, welche bei dem Verfahren der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, beinhaltet Glycidoxysilane. Geeignete Glycidoxysilane sind oben beschrieben. Diese Materialien enthalten eine Oxiran- oder Epoxydgruppe. Diese Materialien sind bevorzugt als ein Ersatz für Methacrylate teilweise aufgrund der Tatsache, daß Epoxydpolymere per se thermisch sehr stabil sind.

[0070] Die kationische Polymerisierung ist ein wünschenswerter Mechanismus, die Gelierung (Quervernetzung) der Zusammensetzung zu bewirken. Es ist

möglich, die Epoxys über eine kationische Polymerisierung bei welcher ein Lewissäurekatalysator aus einer photosensitiven Verbindung (Triarylsulphonium/Hexafluoroantimonatsalz) unter dem Einfluß von UV-Licht gebildet wird, welche mit dem Oxiranring reagiert, durch Licht zu härten. Vollständige organische Epoxide, die durch solch eine Reaktion produziert werden, können dick sein (über 1mm) und sind klebfrei, da atmosphärischer Sauerstoff die Quervernetzungsreaktion nicht zu inhibieren scheint, wie er das bei freier radikalischer Vinylpolymersisation tut. Ein zusätzlicher wünschenswerter Effekt, welcher mit der vorliegenden Erfindung erreicht werden kann, ist es, daß sich die Gelierungsumsetzung (die Photoquervernetzungs- und -umsetzung) sich nicht unter der Maske in irgendeinem wesentlichen Ausmaß ausbreitet, wie es oft bei frei radikalisch gehärteten negativen Photoabdeckungen auftritt. Dieses Nicht-Ausbreitungsphänomen kann mit vielen gelfähigen Zusammensetzungen erreicht werden, einschließlich Hybridsolgel enthaltend Oxiranringe. Es ist daher möglich, symmetrischere Wellenleiter zu produzieren, welche optische Verluste minimieren werden. Die Patentliteratur beschreibt die Verwendung von vollständigen organischen photogehärteten Epoxies bei Wellenleiteranwendungen. Interessanterweise wird bei dieser Technologie gefunden, daß die Brechungsindexstufen in der entgegengesetzten Richtung auftreten, wobei die exponierten Flächen des Polymers **5** einen niedrigeren Brechungsindex haben, als die ungehärteten Flächen. Es wurde gefunden, daß Glycidoxysilane, so wie Glycidoxypropyltrimethoxysilane, wenn sie im initialen Kondensierungsstadium mit wenigsten einem difunktionalem Silan vermischt werden, das Einsetzen der Gelbildung so verzögern, daß die Reaktanten vollständiger vor der Ablagerung auf einem Film des Materials kondensiert werden können, welches wiederum das Einschrumpfen der Matrix minimiert, wenn die letzte der kondensierbaren Gruppen schließlich aufgebraucht ist. Zusätzlich verleihen die difunktionalen Silane einen Grad an Flexibilität. Weitere Wirkungen minimieren die Rißbildung der gehärteten Matrix oder des Gels. Unter Verwendung eines Phenyl-enthaltenden Silans als difunktionaler Reaktant ist es möglich, sowohl den Brechungsindex als auch die thermische Stabilität der Matrix zu erhöhen.

[0071] Die folgenden Mechanismen werden postuliert, um potentiell die Brechungsindexstufe zu erklären, wenn das Lösungsmittelextraktions- (Immersion-) Verfahren keine signifikanten Mengen von irgendeinem Bestandteil extrahiert, sondern physikalisch oder chemisch die unterschiedlichen Bereiche in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst, so wie beispielsweise durch die Bildung von einer Verfärbung in nicht-exponierten Regionen. Zum Beispiel eine milchige Erscheinungsform in unterschiedlichen Ausmaßen in der Struktur. Das Lösungsmittel kann jegliches geeignete Fluid sein, einschließlich überkritische Fluide.

[0072] Eine nicht-quervernetzte Gel-(oder Solgel-)

Zusammensetzung enthaltend einen höheren Anteil von Phenyl-enthaltenden Spezies mit einem hohen Brechungsindex sind nützlich, da Phenyl-substituierte Alkoxide langsamer reagieren, als Alkoxide wie 3-Glycidoxytrimethoxysilan oder Dimethyldimethoxysilan. Daher wird in den extrahierten Bereichen der Brechungsindex niedriger sein, als in den vollständig quervernetzten Bereichen.

[0073] Das Verfahren der Lösungsmittelextraktion entfernt Material in den quervernetzten Bereichen, und produziert dabei (submikroskopische) Leerräume, welche den extrahierten Regionen einen niedrigeren Brechungsindex verleihen, als den vollständig quervernetzten Bereichen, wo im wesentlichen kein Material extrahierbar ist. Wenn die Leerräume klein genug sind, wird keine Lichtstreuung auftreten.

[0074] Die extrahierten Bereiche sind nicht genauso vollständig quervernetzt, wie die Wellenleiterbereiche, wo Photoinitiator vorhanden ist. Der Photoinitiator kann ebenso/alternativ während der Lösungsmittelextraktionsphase entfernt werden. Die Entfernung des Photoinitiators auf diese Art und Weise ist wahrscheinlich, auch wenn weiteres Quervernetzen des Filmes bei Aussetzung gegenüber UV-Licht auftreten kann, da beobachtet wurde, daß das Material bemerkbar härter wird.

[0075] Wo initiale Gelbildung durch eine Kondensationsreaktion des Gels (oder Solgels) erreicht werden kann, wird die Kondensationsreaktion vorzugsweise ausgeführt, bis die Viskosität des Gels (oder Solgels) ausreichend hoch zum Eintauchen oder zum Spinnen ist, zum Beispiel 0,05 bis 100 Ns/cm², wünschenswerterweise 0,1 bis 10 Ns/m² (gemessen unter Verwendung eines Brookfield Viskosimeters bei 25°C unter Verwendung des ICP-TM-650 Standardverfahrens – Association of Connecting Electronics Industries). Ein Film wird durch Spin- oder Eintauchbeschichten abgelagert und durch Erhitzen auf eine Temperatur, die größer als etwa 70°C ist, getrocknet. Sobald die Gelbildung stattgefunden hat, wird eine kontinuierliche Matrix gebildet. Innerhalb dieser kontinuierlichen Matrix (dem Gel) existieren mobile Spezies mit einem niedrigen Molekulargewicht (welche das Sol sein könnten) welche existieren, bis der Film vollständig gehärtet ist. Wenn es für erforderlich gehalten wird, kann nach der initialen teilweisen Gelierung (z.B. wenn der Film immer noch leicht klebrig ist) eine weitere Reaktion dadurch erreicht werden, daß der gesamte Film durch die kurze Aussetzung des Films gegenüber von UV-Licht vollständiger, aber immer noch nicht vollständig, quervernetzt wird. Thermische teilweise Gelierung der gelfähigen Zusammensetzung ist bevorzugt aufgrund der Einfachheit der Verteilung von Hitze durch die Masse des Ausgangsmaterials. Es ist jedoch wichtig, daß einiges an nicht geliertem gelfähigem Bestandteil verbleibt. Eine geeignete Maske wird über dem Film angeordnet und die Leitschichten werden vollständig gehärtet durch deren Aussetzung gegenüber UV-Licht für eine Zeitperiode (typischerweise im Bereich von 10 Sekunden

bis zu 10 Minuten). UV ist bei diesem Schritt nützlich, da UV-Licht eine geringere Tendenz zu disszipieren hat als Hitze, so daß im Wesentlichen keine Polymerisation in nicht-exponierten Bereichen auftritt.

[0076] Es gibt keine Notwendigkeit, eine Excimerlampe zu verwenden. Die photoaktive Verbindung könnte ein wirksamer Katalysator für sowohl die Oxiranringöffnung als auch die Silanol-Kondensationsreaktion sein. Der Film wird dann in ein Lösungsmittel eingetaucht, um das nicht-gelierte (oder Sol)Material zu extrahieren. Die Lösungsmittelmoleküle sind in der Lage, in die Matrix einzudringen und werden das nicht gelierte Material aus dem Film entfernen, aber werden nicht irgendwelche Spezies entfernen, die chemisch an die Matrix gebunden sind. Die extrahierten Teile des Filmes besitzen dann einen niedrigeren Brechungsindex als die vollständig gehärtete Leerschicht, da daß extrahierte Material eine größere Menge des Bestandteiles mit dem hohen Brechungsindex enthalten wird.

[0077] Der gesamte Film wird dann gegenüber einer großen Dosis von UV-Strahlung ausgesetzt, um die verbleibenden nicht vollständig gehärteten Bereiche vollständig zu härten. Da die Brechungsindexstufe aufgrund einer Zusammensetzungsvariation existiert, wird sie stabiler gegenüber der Einwirkung von Temperatur sein, als eine, die aufgrund eines Unterschiedes im Grad der Quervernetzung existiert. Auch kann die Größe dieser Stufe viel größer zur Verfügung gestellt werden.

[0078] Das Verfahren der teilweisen Extraktion, um eine gewünschte Zusammensetzung zu erhalten, und daher, einen Brechungsindex zu erhalten, kann ebenso anwendbar auf Methacrylat- und Acrylat-basierte Systeme sein. Potentiell führt das Verfahren selbst dazu, daß eine größere Brechungsindexstufe erhalten wird, als es möglich wäre, wenn man die existierende "Courday-Typ" Technologie der obigen Literaturreferenzen verwenden würde.

[0079] Eine andere Art des Miteinbeziehens des Phenyls (oder von anderen Bestandteilen mit einem hohen Brechungsindex) in die Matrix wird sein, sie in das Solgel als eine "Diglycidylsilylverbindung" einzuführen, wobei der Phenylbestandteil mit einem hohen Brechungsindex an jedem Ende mit einer Epoxydgruppe terminiert ist. In diesem Falle wird die Verbindung zu dem Solgel danach hinzugefügt. Da die Verbindung keine kondensierbaren Gruppen enthält, wird sie nur mit einbezogen, wo der Film gegenüber UV-Licht ausgesetzt ist. In den nichtexponierten Regionen wird es möglich sein, diese Verbindung vollständig zu extrahieren. Diese Herangehensweise kann dazu geeignet sein, eine besser reproduzierbare Brechungsindexstufe zu kreieren.

[0080] Wenn Methacryloxypropolytrimethoxysilan verwendet wird (von diesem System wird gedacht, daß es geringere optische Verluste produziert als die Solgele, die Epoxide enthalten) ist das Verfahren der teilweisen Extraktion nützlich. Ein Beispiel ist die Bildung von einer großen und stabilen Brechungsindex-

stufe, so wie wenn Zirkonium in der Form eines Methacrylats hinzugefügt wird, zum Beispiel Zirkoniumtetramethacrylat. Da dieses Material keine kondensierbaren Gruppen enthält, sollte es während des Photohärtungsstadiums hinzugefügt werden. Nach der Musterbildung und der Extraktion mit Lösungsmitteln werden alle nicht-photogehärteten Zirkoniumtetramethacrylate entfernt werden. Dann ist das System:

- a) nicht empfindlich gegenüber der Präzipitierung während der Solgel-Herstellung
- b) und erlaubt, daß eine potentiell riesige Brechungsindexstufe kreiert werden kann.

[0081] Die Materialien, die für die Verwendung bei dem Verfahren der Erfindung identifiziert worden sind, sind lediglich beispielhaft, und Fachleute werden andere Materialien kennen, welche für die Verwendung in dem Verfahren der vorliegenden Erfindung geeignet sind.

BEISPIEL I

[0082] Die folgenden Inhaltstoffe wurden in einen kleinen Plastikbecher hineingegeben: Dimethyldimethoxysilan 3,62g; Diphenyldimethoxysilan 7,32g; 3-Glycidoxypropyldimethoxysilan 9,46g; 2 ml 0,1 M HCl wurde zu dem obigen über einen Zeitraum von 5 Stunden hinzugegeben.

[0083] Etwas Präzipitat wurde gebildet, und es wurde vermutet, daß es sich dabei um Diphenylsilandiol handelte. Dieses verschwand bei Erhitzen auf 50°C. Nach dem Rühren des obigen bei 50°C für 2 Stunden wurde die Lösung auf 20°C abgekühlt. Die Lösung verblieb klar. 0,9 g einer 50%-igen Lösung aus Triarylsulphonium/Hexafluorantimonatsalz in Propylen-carbonat wurde danach in die Mischung 30 min. lang hineingerührt.

[0084] In diesem Stadium war die Mischung von niedriger Viskosität und wurde auf eine Siliziumscheibe gegossen, um einen Film von ungefähr 5 bis 10 Micron Dicke zu bilden. Die Mischung wurde getrocknet durch Erhitzen für 40 Stunden bei 70°C und für weitere 2 Stunden bei 100°C, nachdem der Film beim Anfassen trocken war. Der gesamte Film wurde teilweise gehärtet durch dessen Aussetzung gegenüber 40 Lichteinheiten aus einem DEK 1600 Aussetzungssystem (DEK Printing Machines Ltd. Weymouth, Dorset, U.K.). Diese Maschine hat eine Breitband-UV-nicht-kollimierte Lichtquelle. Die gemessenen Intensitäten bei 365 und 405 nm sind 7,6 mW/cm² und 25,7 mW/cm² respektive. Der Lichteinheitendetektor stellt dieselbe Strahlungsdosis über eine ausgedehnte Zeitperiode zur Verfügung, dadurch, daß er den Verlust der Wirksamkeit der UV-Lampe mitberechnet. Es wird vermutet, daß 40 Lichteinheiten gleich 1 Minute und 23 Sekunden sind. Alle der folgenden Beispiele verwendeten diese UV-Quelle. Der Film wurde dann 2 Stunden lang belassen, um das Härten und die weitere Entwicklung

zu erlauben. Dies geschieht, da ein lebendes Polymersystem aus dem obigen Initiator gebildet wird und das Härten nach dem Entfernen der UV-Lichtquelle weitergeht. Die Wellenleiterflächen wurden dann unter Verwendung eines Chrom-auf-Quarzkontaktes für weitere 200 Lichteinheiten exponiert. Die Scheibe wurde dann in Toluol 2 Stunden lang extrahiert und getrocknet. Die Wellenleiterbereiche, welche vorher nicht sichtbar waren, waren nun für das bloße Auge sichtbar. Weiteres Härten von jeglichen Verbleibenden Epoxydgruppen wurde bewirkt durch Aushärten des gesamten Films gegenüber weiteren 200 Lichteinheiten.

[0085] Die thermische Stabilität des Films wurde überprüft durch Anordnen der Scheibe (Wafer) auf einer heißen Platte an der Luft bei Raumtemperatur und beim Erhöhen der Temperatur von 20°C auf 250°C über einen Zeitraum von ungefähr 30 Minuten. Die Scheibe wurde bei dieser Temperatur für weitere 45 Minuten behalten, bevor sie entfernt wurde und auf einer kalten Oberfläche angeordnet wurde. Überraschenderweise erschienen keine Risse in dem Film, und die Wellenleiterstrukturen waren immer noch sichtbar. Die Scheibe wurde an verschiedenen Orten eingeschnitten, um Abschnitte für die Überprüfung der Filmdicke zur Verfügung zu stellen. Kein Abschälen wurde während des Schneidens oder des nachfolgenden Polierens beobachtet, was eine ausgezeichnete Adhäsion an die Scheibe anzeigt. Es wurde gefunden, daß die Dicke 5–6 Micron beträgt. Es wurde weiterhin durch Ausführen eines "Scotch tape-Testes" gefunden, daß die Adhäsion exzellent war, der produzierte Film war hart und verblieb ungezeichnet, wenn auf ihn unter Verwendung eines 2H-Bleistiftes Druck ausgeübt wurde.

[0086] Es wurde vermutet, daß eine gewünschte Menge des Diphenyldimethoxysilans aufgrund niedriger Reaktivität nicht in die Formulierung miteinbezogen wurde. Dies kann durch Verwendung einer höheren Säurekonzentration überwunden werden.

BEISPIEL 2

[0087] Die folgenden Inhaltsstoffe wurden in einem kleinen Plastikbecher angeordnet:

Dimethyldimethoxysilan 5,41g; Diphenyldimethoxysilan 10,99g; 3-Glycidoxypropyldimethoxysilan 14,18g;

[0088] Zu der obigen Mischung wurden 10ml 0,1 M HCl tropfenweise über einen Zeitraum von 1 Stunde hinzugefügt.

[0089] Nachdem 16 Stunden vergangen waren, wurden weitere 5 ml 0,1 M HCl hinzugefügt. Die Mischung wurde dann aufgrund der Präzipitation von Diphenylsilandiol wolkig. Methylethylketon (MEK) wurde hinzugefügt, um eine klare Lösung zur Verfügung zu stellen, und die Reaktion wurde durch Erhitzen auf 50°C für 2 Stunden fortgeführt. Die Mischung wurde dann auf 85°C 2 Stunden lang erhitzt, um jegliche verbleibenden flüchtigen Stoffe (d.h. Wasser

und Lösungsmittel) auszutreiben, um einen klaren viskosen Polymer zu produzieren, der sich nach dem Abkühlen erhärtete. Das Feststoffpolymer wurde dann in MEK wiederum gelöst, um eine viskose Flüssigkeit zur Verfügung zu stellen. Zu dem obigen wurden 1,13 g einer 50%-igen Lösung aus Triarylsulfonium-Hexafluorantimonatsalz in Propylencarbonat hinzugefügt. Die Formulierung wurde dann auf eine 100 ml (4" Siliziumscheibe bei 1000 RPM 5 Minuten lang aufgespinn, um einen Film mit einer Dicke von zwischen 75 und 100 µm zur Verfügung zu stellen. Der Film wurde dann 2 Stunden bei 50°C getrocknet. Der Film wurde dann teilweise für 100 Lichteinheiten gehärtet, und es wurde erlaubt, daß er zwei Stunden lang stehen bleiben kann. Die Wellenleiterregionen wurden durch eine Chrom-auf-Quarz-Maske durch Aussetzen für 400 Lichteinheiten gebildet. Die Scheibe wurde dann in Aceton 3 Stunden lang eingetaucht, um das lösliche Material zu extrahieren. Die Wellenleiter wurden nach der Extraktion offensichtlich. Schließlich wurde die gesamte Filmfläche weiteren 400 Lichteinheiten ausgesetzt, um die Quervernetzung weiter voranzutreiben. Der Film, der bei diesem Beispiel produziert wurde, war weicher, als der, der in Beispiel 1 produziert wurde, aufgrund des Einschlusses eines höheren Anteils des Diphenyldimethoxysilananteils. In beiden der obigen Beispiele wird postuliert, daß die Brechungsindexstufe durch die Bildung von Mikrohohlräumen und/oder durch die Entfernung des löslichen Diphenylbestandteils mit einem höheren Brechungsindex produziert wurde. D.h., eine Variation in der Zusammensetzung zwischen den Wellenleiterregionen und den Hüllregionen kann durch den Extraktionsprozess induziert worden sein.

BEISPIEL 3 – Produktion von Gratwellenleitern, ein Vergleichsbeispiel

[0090] Die Formulierung, die in Beispiel 2 verwendet wurde, wurde auf eine Scheibe (einen Wafer) gespinnt und getrocknet. Der Film wurde einem Wellenleitermuster durch eine Chrom-auf-Quarzmaske 400 Lichteinheiten lang ausgesetzt. Die nicht quervernetzten Spezies (die nicht exponierten Flächen) wurden entfernt durch Eintauchen des Wafers in Aceton. Die Wellenleiterstrukturen, die gebildet wurden, waren 77 µm hoch.

[0091] Dieses Beispiel beweist, daß die UV-Strahlung in die gesamte Tiefe des Films eindrang und daß das Verfahren des Films geeignet ist, dicke, multikodierte Wellenleiter herzustellen.

[0092] Die Resultate aus Beispiel 2 sind dahingehend überraschend, daß die hohe Säurenkonzentration, die verwendet wird, um die Methoxygruppen zu hydrolisieren, versagte, signifikant die Wirksamkeit der Photohärtungsreaktion zu beeinflussen. Es ist Standardpraxis bei der Herstellung von Epoxidharzen, HCL durch Produkte zu entfernen, da sie nicht wünschenswerte Ringöffnungsreaktionen verursachen, welche wiederum negativ die Wirksamkeit der

anschließenden Quervernetzungsreaktionen beeinflussen.

[0093] Alkoxysilane sind bequeme Vorläufer für die Produktion der obigen Polymere weil:

- a) Sie können durch einfache Atmosphärendruck-techniken bearbeitet werden.
- b) Sie sind in einer Vielzahl von Formen mit vielen unterschiedlichen reaktiven Resten, z.B. Epoxid, Mercaptan, Vinyl, Amin, usw. erhältlich.

BEISPIEL 4

[0094] Ein kommerziell erhältliches photohärtbares Bisphenol-A-Epoxydharz (XPSU8 10, aus Chestech MicroChem Corp., 1254 Chestnut Street, Newton, MA, USA) wurde auf eine Scheibe (einen Wafer) bei 1500 RPM gespinnt. Der resultierende Film war ungefähr 10 µm dick. Der gesamte Film wurde 200 Lichteinheiten ausgesetzt, um ein teilweises Quervernetzen zu verursachen. Die Wellenleiter wurden durch eine Chrom-auf-Quarzmaske 900 Lichteinheiten lang gemustert.

[0095] In diesem Stadium waren keine Wellenleiterstrukturen augenscheinlich. Der Film wurde in Aceton eine Stunde lang extrahiert, und die Wellenleiterstrukturen wurden sichtbar. Das lösliche Material wurde aus den teilweise gehärteten Regionen extrahiert. Es wird postuliert, daß eine Brechungsindexstufe durch die Bildung von Mikrohöhlräumen in den extrahierten Hüllbereichen produziert wurde. Dieses Beispiel beweist, daß die Technologie der teilweisen Extraktion auf gesamte organische Systeme anwendbar ist.

[0096] Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wäre es, eine thermische teilweise Quervernetzungsreaktion zu verwenden, beispielsweise über Aminreste, da dieses eine gleichförmigere Verteilung der Retikulation zur Verfügung stellen würde als sie durch Photohärtung möglich wäre, welches ein bevorzugtes Quervernetzen an der Oberfläche verursacht, die am nächsten zur UV-Lichtquelle gelegen ist.

BEISPIEL 5

9 g 3-Glycidoxypropyl-Trimethoxysilan
1 g Dimethyl-diethoxysilan
0,75 g Diphenyl-dimethoxysilan

[0097] Die oben aufgeführten Inhaltsstoffe wurden in einer Rundbodenflasche angeordnet und wurden 15 Minuten lang gerührt. 2 ml 0,1 M HCL wurden dann tropfenweise zu der Mischung hinzugefügt, die über einen Zeitraum von 20 Minuten gerührt wurde.

[0098] Die Umsetzungsmischung wurde dann bis zu dem Punkt des Rückflusses gebracht, und 2 ml Isopropylalkohol wurden dann tropfenweise über eine Zeitperiode von 5 Minuten hinzugefügt. Diese gesamte Mischung wurde dann drei Stunden unter Rückfluß erhitzt und wurde dann abgekühlt. Weitere

2 ml 0,1 M HCL wurden dann tropfenweise unter Rühren hinzugefügt, und der Mischung wurde es erlaubt, eine Stunde lang weiterzurühren.

[0099] Schließlich wurden 0,9 g 50%-iges Triarylsulphon-Hexafluorammoniumsalz in Propylencarbonat als Photoinitiator hinzugefügt. Die Mischung wurde eine weitere Stunde lang gerührt und war dann fertig zur Ablagerung.

[0100] Die Umsetzungsmischung wurde auf ein Siliziumscheibensubstrat durch Eintauchbeschichten beschichtet. Eine Rückzugsgeschwindigkeit von 1,5 ml pro Sekunde wurde verwendet. Die beschichteten Substrate wurden dann bei 100°C 2 Stunden lang getrocknet. Der gesamte Film wurde dann durch Aussetzen des Films gegenüber 20 Lichteinheiten von einem 6600 Aussetzungssystem (DEK Printing Machines Ltd., Weymouth, Dorset, U.K.) (Für Spezifikationen und Dosierungsdetails siehe Beispiel 1) teilweise gehärtet. Wellenleiterstrukturen wurden dann unter Verwendung einer "Chrom auf Quarz" Kontaktmaske für 200 Lichteinheiten photogemustert. Die beschichtete Scheibe wurde dann in Toluol zwei Stunden lang extrahiert und wurde unter einem Stickstofffluß getrocknet, gefolgt durch Trocknen in einem Ofen für 30 Minuten bei 50°C. Nach diesen Behandlungen waren die Wellenleiterstrukturen klar für das bloße Auge sichtbar.

[0101] Die Probe wurde dann durch Aussetzung gegenüber weiteren 200 Lichteinheiten insgesamt gehärtet, um jegliche rückständigen funktionalen Epoxydgruppen zu härten.

[0102] Die Wörter "umfassend/umfaßt" und die Wörter "haben/einschließlich", wenn sie hierin unter Bezugnahme auf die vorliegende Erfindung verwendet werden, werden so verwendet, daß sie die Gegenwart der ausgeführten Eigenschaften, Zutaten, Schritte oder Bestandteile spezifizieren, aber sie schließen die Gegenwart oder Hinzufügung von einer oder mehreren Eigenschaften, Zutaten, Schritten, Bestandteilen oder Gruppen davon nicht aus.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Bilden einer Materialschicht mit wenigstens zwei Bereichen mit unterschiedlichen Brechungsindizes umfassend die folgenden Schritte: (a) zur Verfügung stellen einer Masse einer gelierbaren Zusammensetzung umfassend wenigstens einen gelierbaren Bestandteil in einer gewünschten Form; (b) Exponieren der gelierbaren Zusammensetzung gegenüber Bedingungen, welche die gelierbare Zusammensetzung in der gesamte Masse teilweise ein Gel bilden lassen, so daß ein Teil des Materials in nicht-gelförmiger Form verbleibt; (c) Aussetzen von wenigstens einem diskreten Bereich des teilweise gelförmigen Produktes aus Schritt (b) gegenüber Bedingungen, welche eine vollständige Gelbildung der teilweise gelförmigen gelierbaren Zusammensetzung induzieren, so daß mehr des nicht-gelförmigen Materials in dem wenigstens einem

exponierten Bereich in die Gelstruktur mit aufgenommen wird, als in den nichtexponierten Bereichen; und (d) Entfernen des Materials, das nicht in die Gelstruktur mit aufgenommen ist, wenigstens aus dem nicht-exponierten Bereich, um einen Unterschied in der Lichtbrechung zwischen dem Material des wenigstens einen exponierten Bereiches und dem Material der nicht-exponierten Bereiche herzustellen.

2. Ein Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein zweiter Bestandteil gemeinsam mit dem geliebaren Bestandteil zur Verfügung gestellt wird, wobei der zweite Bestandteil so ausgewählt ist, daß er dem Teil des Materials, in den er mit einbezogen wird, einen höheren oder niedrigeren Brechungsindex verleiht.

3. Ein Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei das Material mit einer Abstufung der Brechungsindizes zwischen wenigstens zwei Bereichen des Materials zur Verfügung gestellt wird.

4. Ein Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei eine Menge des zweiten Bestandteiles, die im Material nicht gebunden ist, durch Schritt (d) extrahiert wird.

5. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, wobei eine Menge des nicht gelförmigen geliebaren Bestandteils mit einem Lösungsmittel extrahiert wird.

6. Ein Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei eine Menge des zweiten Bestandteils mit einem Lösungsmittel extrahiert wird.

7. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, wobei der geliebare Bestandteil aus denen ausgewählt ist, die für Quervernetzen empfänglich sind.

8. Ein Verfahren nach Anspruch 7, wobei nach dem Schritt (c) ausgeführt wurde, der/die diskrete(n) Bereich(e), die gegenüber den Bedingungen exponiert waren, in einem größerem Ausmaß quervernetzt ist/sind.

9. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, wobei die geliebare Zusammensetzung durch Bestrahlung und/oder durch Exponieren gegenüber erhöhten Temperaturen und/oder durch Exponieren gegenüber Elektronen- oder Ionenstrahlung geliebbar ist.

10. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, wobei eine Maske verwendet wird, um wenigstens einen diskreten Bereich des Produktes aus Schritt (b) gegenüber Bedingungen zu exponieren, welche eine vollständigere Gelbildung der teilweise geliebaren Zusammensetzung induzieren.

11. Ein Verfahren nach Anspruch 9 oder Anspruch 10, wobei die geliebare Zusammensetzung durch W-Bestrahlung geliebbar ist.

12. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, wobei der geliebare Bestandteil ausgewählt ist aus das folgende: oder Acyl-substituierten Alkoxysilanen,

(i) Alkyl- oder Acyl-substituierten Alkoxysilanen, einschließlich:

(3-Glycidoxypentyl)trimethoxysilan;
(3-Glycidoxypentyl)triethoxysilan;
(3-Glycidoxypentyl)methyldimethoxysilan;
(3-Glycidoxypentyl)methyldiethoxysilan;
(3-Glycidoxypentyl)dimethylmethoxysilan;
(3-Glycidoxypentyl)dimethylethoxysilan;
2-(3,4-Epoxyoctahexyl)ethyltriethoxysilan;
2-(3,4-Epoxyoctahexyl)ethyltrimethoxysilan;
Epoxypropoxypentyl-terminierte Polydimethylsiloxane, so wie Epoxyoctahexylethyl;
Methylsiloxan-dimethylsiloxan-Copolymere;
Methacryloxypropyltrimethoxysilan;
Methacryloxypropyltriethoxysilan;
Methacryloxypropylmethyldimethoxysilan;
Methacryloxypropylmethyldiethoxysilan;
Methacryloxymethyltrimethoxysilan;
Methacryloxymethyltriethoxysilan; und/oder
(ii) die folgenden Bestandteile:
2-Hydroxyethylmethacrylat;
2-Hydroxy-3-methacryloxypropylmethacrylat;
3-Hydroxypropylmethacrylat;
Tetrahydrofurfurylmethacrylat;
Zirkoniumtetramethacrylat;
Acryloxypropyltrimethoxysilan;
Acryloxypropylmethyldimethoxysilan;
2-Hydroxyethylacrylat;
3-Hydroxypropylacrylat;
2-Hydroxy-3-methacryloxypropylacrylat;
2-Hydroxy-3-acryloxypropylacrylat;
Diethylenglycoldiacrylat;
Triethylenglycoldiacrylat;
Tetraethylenglycoldiacrylat;
Trimethylolpropantriacrylat;
1,6-Hexandioldiacrylat.

13. Ein Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 12, wobei der/die exponierte(n) Bereich (e) mit einer größeren Menge des zweiten Bestandteils gebunden im Gel ausgestattet ist/sind und bei einer gewünschten Wellenlänge einen größeren Brechungsindex als der/die nicht-exponierte(n) Region(en) mit geringeren Mengen des zweiten Bestandteiles gebunden im Gel aufweist/aufweisen.

14. Ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 13, wobei der zweite Bestandteil Feststoffpartikel umfaßt.

15. Ein Verfahren nach Anspruch 14, wobei der zweite Bestandteil als eine Dispersion des geliebba-

ren Bestandteils zur Verfügung gestellt wird.

16. Ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 15, wobei der zweite Bestandteil in der Lage ist, in die Gelstruktur mit eingebunden zu werden.

17. Ein Verfahren nach Anspruch 15, wobei der zweite Bestandteil ausgewählt ist aus Alkyl- oder Acyl-substituierten Alkoxysilanen einschließlich:

Diphenyldimethoxysilan;
Diphenyldiethoxysilan;
Diphenyldipropoxysilan;
Dimethyldimethoxysilan;
Dimethyldiethoxysilan;
Dimethyldipropoxysilan;
Methylphenyldimethoxysilan;
Methylphenyldiethoxysilan;
Methylphenyldipropoxysilan;
Tetramethoxysilan;
Tetraethoxysilan;
Tetrapropoxysilan;
Phenyltrimethoxysilan;
Phenyltriethoxysilan;
Phenyltripropoxysilan;
Methyltrimethoxysilan;
Methyltriethoxysilan;
Methyltripropoxysilan.

18. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, wobei der Brechungsindex des/der exponierten Bereiches/Bereiche und des/der nicht-exponierten Bereiches/Bereiche im Bereich von etwa 1 bis zu etwa 6, so wie von etwa 1,3 bis zu etwa 3 ist.

19. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, wobei der Unterschied der Brechungsindizes des/der exponierten Bereiches/Bereiche und des/der nichtexponierten Bereiches/Bereiche im Bereich von etwa 0.001 bis zu etwa 0.5 ist.

20. Ein verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, umfassend die Schritte:

(i) Bilden eine Pufferschicht auf einem gewünschten Substrat;
(ii) Anwenden einer gelierbaren Zusammensetzung umfassend einen gelierbaren Bestandteil auf die Pufferschicht, so daß die gelierbare Zusammensetzung in einer gewünschten Form vorliegt;
(iii) Exponieren der gebildeten gelierbaren Zusammensetzung gegenüber Bedingungen, welche die gelierbare Zusammensetzung teilweise gelieren, so daß eine Menge nicht-gelförmigen Materials verbleibt
(iv) Exponieren von wenigsten einem diskretem Bereich des partiell gelierten Produktes aus Schritt (iii) gegenüber Bedingungen, welche eine vollständigere Gelbildung der teilweise gelierten gelierbaren Zusammensetzung induzieren, so daß in den exponierten Bereichen mehr des nicht gelförmigen Materials in die Gelstruktur mit einbezogen wird als in den nicht-exponierten Bereichen; und

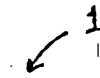
(v) Extrahieren des Materials, das nicht in die Gelstruktur nicht mit einbezogen ist, wenigstens aus dem wenigstens einem Bereich, der den Bedingungen des Schrittes (iv) nicht ausgesetzt war; um einen Unterschied in der Lichtbrechung zwischen dem Material des wenigstens einen exponierten Bereiches und dem Material der nichtexponierten Bereiche herzustellen.

21. Ein Verfahren nach einem vorstehenden Anspruch, umfassend den zusätzlichen Schritt des zur Verfügung stellens einer Schutzschicht oder einer Beschichtung für das Material.

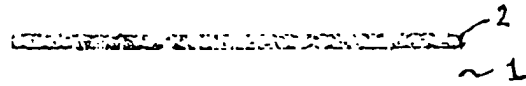
22. Ein Material mit wenigstens zwei Bereichen mit unterschiedlichen Brechungsindizes erhältlich nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 21.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

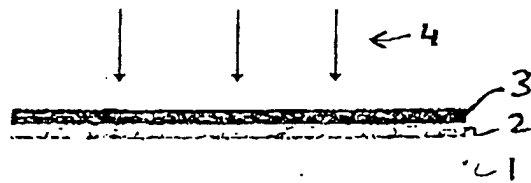
Anhängende Zeichnungen



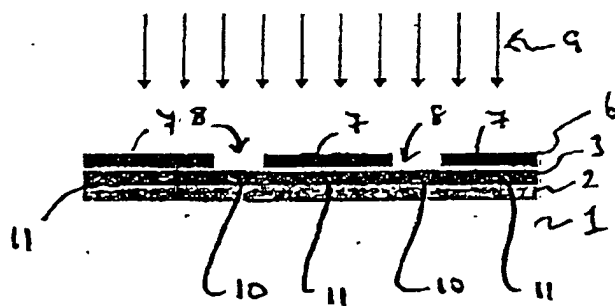
Figur 1



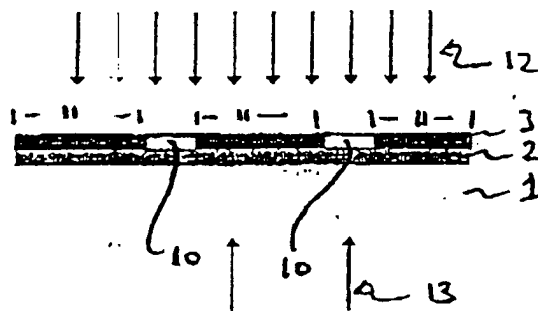
Figur 2



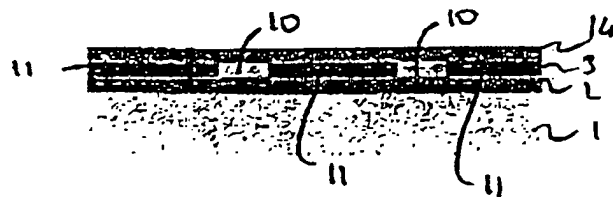
Figur 3



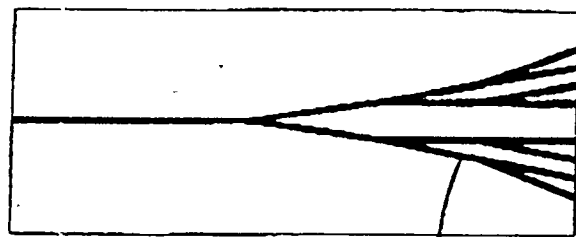
Figur 4



Figur 5



Figur 6



Figur 7

20