



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 38 178 T2** 2008.07.03

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 875 014 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 38 178.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB97/00128**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 900 375.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1997/026571**

(86) PCT-Anmeldetag: **17.01.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **24.07.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **04.11.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **03.10.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.07.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G02B 6/02 (2006.01)**  
**G02B 6/12 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**96300394 18.01.1996 EP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, IT, LI, NL, SE**

(73) Patentinhaber:

**British Telecommunications p.l.c., London, GB**

(72) Erfinder:

**KASHYAP, Raman, Ipswich, Suffolk IP4 3NU, GB**

(74) Vertreter:

**BEETZ & PARTNER Patentanwälte, 80538 München**

(54) Bezeichnung: **OPTISCHER WELLENLEITER MIT EINEM MANTEL MIT PHOTOEMPFINDLICHEM BRECHUNGS-INDEX**

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**

## Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen optischen Wellenleiter, der einen lichtempfindlichen Brechungsindex hat, und hat eine besondere, aber nicht ausschließliche Verwendung für optische Fasern.

## Hintergrund

**[0002]** Es ist weithin bekannt, dass eine Germanium-dotierte Silicium-Faser eine Lichtempfindlichkeit zeigt, so dass der Brechungsindex des Kerns der Faser sich ändert, wenn einem blau-grünen Licht ausgesetzt, wie von Hill et al in „Photosensitivity in Optical Waveguides; Application to Reflection Filter Fabrication“, Applied Physics Letters Vol. 32, Nr. 10, 647 (1978) gezeigt wird. Es wurde später gezeigt, dass noch stärkere Effekte auftreten, wenn der Kern einer ultravioletten Strahlung ausgesetzt wird, nahe der Absorptionsspitze eines Germanium-betreffenden Defekts an einer Wellenlänge von 240 nm. Es wird verwiesen auf G. Meltz et al in „Formation of Bragg Gratings in Optical Fibres by Transverse Holographic Method“, Opt. Lett. Vol. 14, Nr. 15 823 (1989). Das lichtempfindliche Phänomen ist nicht auf Germanium allein beschränkt; Zermetall, Europium und Erbium haben alle variierende Grade einer Empfindlichkeit in einer optischen Silicium-Grund-Faser gezeigt, aber keines ist so empfindlich wie Germanium. Eine Germanium-Bor-Kolegierung hat sich auch als sehr erfolgreich erwiesen bei der Erzeugung von großen Indexmodulationen des Kerns, in dem Bereich von  $10^{-3}$ , und es wird verwiesen auf Y. Duval et al in „Correlation Between Ultra-violet-induced Refractive Index Change and Photo-luminescence in Ge-doped Fibre“, Applied Physics Letters, Vol. 61, Nr. 25, 2955 (1992).

**[0003]** Ferner wurde berichtet, dass die Lichtempfindlichkeit erhöht werden kann durch eine heiße Wasserstoff-Behandlung von optischen Fasern. Es wird verwiesen auf G. Meltz et al in „Bragg Grating Formation and Germanin Silicate Fibre Photosensitivity“, International Workshop of Photo Induced Seif-Organisation Effects in Optical Fibres SPIE Vol. 1516, S. 185 (1991).

**[0004]** Auf herkömmliche Weise werden optische Fasern gebildet, indem eine Glasröhre genommen wird und dessen Inneres einem Dotiermaterialgas ausgesetzt wird, um so eine Dotiermaterialablagerung auf dessen innerer Oberfläche zu bilden. Danach wird die Glasröhre erwärmt und gesintert, um ihr Inneres zusammenzufallen lassen mit dem Ergebnis, dass das Dotiermaterial einen Kernbereich durch das Zentrum bildet. Die Wirkung des Dotiermaterials ist, den Brechungsindex des zentralen oder Kern-Bereichs zu erhöhen und einen umgebenden Mantelbe-

reich mit niedrigerem Brechungsindex zu belassen. Die resultierende zusammengefallene Glasröhre wird dann gezogen, um eine feine bzw. dünne optische Faser zu produzieren mit reduziertem Durchmesser  $\sim 120 \mu\text{m}$ , mit einem durch einen Mantel umgebenen Kern. Auf eine herkömmliche Weise veranlasst die Differenz  $\Delta n$  zwischen den Brechungsindizes des Mantels  $n_1$  und dem Kern  $n_2$ , dass Licht entlang des Kerns geleitet wird.

**[0005]** In herkömmlichen lichtempfindlichen optischen Fasern, d. h. Fasern, die einen lichtempfindlichen Kern haben, ist es möglich, so genannte Brechungsindex-Bragg-Gitter in den Fasern aufzuzeichnen und für einen allgemeinen Überblick wird verwiesen auf „Photosensitive Optical Fibres: Devices and Applications“, Kashyap et al, Optical Fibre Technology 1, 17–34 (1994). In einem in EP-A-0 668 514 beschriebenen Verfahren, ist sowohl der Mantel als auch der Kern lichtempfindlich gemacht, so dass das Brechungsindexgitter sowohl in dem Kern als auch zu einem Grad in dem Mantel aufgezeichnet ist. Auch wird verwiesen auf „Optical fiber design for strong gratings photoimprinting with radiation mode suppression“, E. Delevaque et al, Conference on Fiber Communication, Technical Digest Series, Vol. 8, Nr. 6, S. 343–346, das eine optische Faser mit einem lichtempfindlichen Kern und einem lichtempfindlichen dazwischenliegenden Bereich zwischen dem Kern und dem Mantel offenbart. Ein Brechungsindexgitter wird in den Kern und den dazwischenliegenden Bereich geschrieben, was zu einer Unterdrückung von Mantelmodi führt. Lichtempfindliche Bereiche um den Faserkern wurden ebenso bisher für eine Modusübereinstimmung verwendet, wie in US-A-5 416 863 beschrieben.

**[0006]** Brechungsindexgitter, die in optischen Fasern erzeugt werden gemäß diesen Aufzeichnungsverfahren nach Stand der Technik, können als Schmalband-Reflexionsfilter verwendet werden. Eine Verwendung des Reflexionsfilters ist, einen Fasergitleraser vorzusehen, wie nun erläutert wird.

**[0007]** Es ist bekannt, dass, wenn der Kern einer optischen Silicium-Faser mit bestimmten „seltene Erden“-Elementen dotiert ist, wie Erbium oder Ytterbium, zeigt die Faser eine optische Aktivität und kann als ein Verstärker verwendet werden. Die Faser wird aufgepumpt mit einer optischen Strahlung an einer ersten Wellenlänge, so dass eine optische Strahlung an einer zweiten unterschiedlichen Wellenlänge verstärkt wird, wenn sie durch die aufgepumpte Faser geleitet wird. Eine solche „seltene Erden“-dotierte Faser kann verwendet werden, um einen Laser vorzusehen. Die „seltene Erden“-dotierte Faser ist in einem optischen Hohlraum enthalten, der an einem Ende durch ein Brechungsindexfasergitter definiert wird, das wie oben gebildet wird, angespleißt an die Erbium-dotierte Faser.

**[0008]** Es wäre wünschenswert, die Brechungsindexgitter in die „seltene Erden“-dotierte Faser selbst zu schreiben, dies hat sich aber in der Praxis als schwierig erwiesen. Wenn die Faser mit „seltene Erden“-Elementen in ihrem Kern dotiert wird, haben die Fasern normalerweise wenig oder kein Germanium darin, so dass es schwierig ist, Gitter in derart hoch dotierte Fasern zu schreiben, obwohl es gezeigt wurde und es wird verwiesen auf G. Meltz et al supra. Um Gitter in „seltene Erden“-dotierte Fasern zu schreiben, müssen diese typischerweise mit Wasserstoff behandelt werden. Typischerweise werden die Fasern zusätzlich mit Aluminium oder Phosphor dotiert, um den Brechungsindex des Kerns zu erhöhen. Solche Fasern zeigen eine Lichtempfindlichkeit in dem Kern an einer Wellenlänge in dem Bereich von 193 nm, aber die Lichtempfindlichkeit ist begrenzt im Vergleich zu der Lichtempfindlichkeit für einen Germanium- oder Bordotierten Kern, der eine Lichtempfindlichkeit bei 244 nm zeigt. US 5,237,576 offenbart einen optischen Faser-Laser.

#### Zusammenfassung der Erfindung

**[0009]** Gemäß der vorliegenden Erfindung, in einem ersten Aspekt, ist ein optischer Wellenleiter vorgesehen, wie in dem Anspruch 1 spezifiziert. Wie hier verwendet, bedeutet der Begriff „optisch nicht-statives Material“ ein optisch aktives Material, das angeregt werden kann in Zustände zur Erzeugung einer optischen Verstärkungs- oder einer Laser-Aktion, oder ein optisch nichtlineares Material, das einen Brechungsindex hat, der transient auf eine nichtlineare Weise als eine Funktion eines angelegten elektrischen AC- oder DC-Felds oder einer optischen Strahlung variiert, zum Beispiel der Kerr-Effekt, aber nicht darauf begrenzt, oder ein gepoltes Material, das einen elektrischen Dipol-Moment als eine Funktion eines angelegten elektrischen Felds oder einer optischen Strahlung hat.

**[0010]** Somit kann gemäß der Erfindung ein Brechungsindexgitter in den Mantelbereich des optischen Wellenleiters geschrieben werden, auch wenn das Gitter nicht im Wesentlichen in den Kernbereich geschrieben wird. Es wurde beobachtet, dass der Übertragungsmodus für eine Strahlung, die entlang des Wellenleiters geleitet wird, ausreichend in den Mantelbereich reicht, dass ein darin aufgezeichnetes Brechungsindexgitter die Energie einer optischen Strahlung, die sich entlang des Wellenleiters bewegt, an einer geeigneten Bragg-Wellenlänge reflektiert, die bestimmt wird durch die räumliche Periodizität des Brechungsindexgitters.

**[0011]** Die Erfindung sieht einen optischen Wellenleiter vor, einschließlich Kern- und Mantelbereiche zum Leiten einer optischen Strahlung, und ein Brechungsindexgitter, das in dem Mantelbereich gebildet wird, aber nicht im Wesentlichen in dem Kernbereich.

**[0012]** Das Mantelmaterial umfasst ein Mantel-Dotiermaterial, das den Brechungsindex des Mantelmaterials lichtempfindlich macht, zumindest innerhalb eines gegebenen Wellenlängenbereichs, und der Kernbereich kann ein Kern-Dotiermaterial umfassen, das den Brechungsindex des Kernmaterials größer als den des Mantelmaterials macht. Somit können die Lichtempfindlichkeitscharakteristiken des Mantels unabhängig von den Charakteristiken des Kerns gewählt werden.

**[0013]** Die ersten und zweiten Dotiermaterialien für das Mantelmaterial können B und Ge aufweisen, was ermöglicht, dass der Mantel bei 244 nm lichtempfindlich gemacht werden kann, und ermöglicht, dass der Mantel einen niedrigeren Brechungsindex hat als der Kern, um so eine Einzelmodeoperation des Wellenleiters zu ermöglichen.

**[0014]** Das Kernmaterial kann ein Dotiermaterial umfassen, wie ein „seltene Erden“-Element, um es optisch aktiv zu machen, zum Beispiel zur Verwendung in einem Verstärker oder einem Laser. Das „seltene Erden“-Dotiermaterial kann Er oder Yb oder Nd aufweisen.

**[0015]** Fasern gemäß dem Stand der Technik, die mit seltenen Erden in ihrem Kern dotiert sind, enthalten typischerweise ein zusätzliches Dotiermaterial, wie Al oder P, um den Brechungsindex relativ zu dem Mantel zu erhöhen. Der hohe Wert des Brechungsindex, der in dem Kern erzeugt wird, ermöglicht, dass der Kerndurchmesser reduziert wird im Vergleich zu einer herkömmlichen optischen Silicium-Faser, und ermöglicht, dass eine Einzelmode-Übertragung erreicht wird. Der Unterschied zwischen dem Kerndurchmesser der Erbium-dotierten Faser und einer herkömmlichen Faser führt jedoch zu Schwierigkeiten, wenn gewünscht wird, sie zusammen zu spleißen. Die Faser kann mit einem lichtempfindlichen Brechungsindex-Mantelbereich vorgesehen sein, so dass der Mantel einer optischen Strahlung ausgesetzt werden kann, um seinen Brechungsindex zu reduzieren, wodurch veranlasst wird, dass der Übertragungsmodus der mit seltenen Erden dotierten Faser sich in den Mantel ausbreitet. Als ein Ergebnis kann die Konfiguration des Übertragungsmodus in der mit seltenen Erden dotierten Faser veranlasst werden, sich transversal auszubreiten, um der Übertragungsmodus-Konfiguration der herkömmlichen Silicium-Faser zu entsprechen, die einen Kern mit größerem Durchschnitt hat. Auf diese Weise kann eine Übertragungsmodusübereinstimmung erreicht werden.

**[0016]** Die Wellenleiter können zusammen gespleißt werden und der Kernbereich des Wellenleiters kann eine Querdimension haben, die geringer ist als die entsprechende Querdimension des Kernbereichs eines Wellenleiters, mit dem er verbunden ist,

so dass die Veränderung des Brechungsindex des Mantelmaterials des ersten Wellenleiters den Modus des ersten Wellenleiters spreizt, um dem des zweiten Wellenleiters zu entsprechen.

[0017] Die Erfindung kann weiter eine Spleißung bzw. Verbindungsstelle umfassen, wenn durch dieses Verfahren verarbeitet.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0018] Um die Erfindung verständlicher zu machen, werden nun Ausführungsbeispiele davon auf beispielhafte Weise unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, wobei:

[0019] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht einer Länge einer herkömmlichen optischen Faser ist;

[0020] [Fig. 2a](#) ein Querschnitt der in [Fig. 1](#) gezeigten Faser ist;

[0021] [Fig. 2b](#) ein Querschnitt durch eine Faser gemäß der Erfindung ist;

[0022] [Fig. 3](#) ein Graph des Brechungsindexprofils durch die herkömmliche Faser ist im Querschnitt, der in [Fig. 2a](#) gezeigt wird;

[0023] [Fig. 4](#) ein Graph des Brechungsindexprofils durch die optische Faser gemäß der Erfindung ist, die in [Fig. 2b](#) gezeigt wird;

[0024] [Fig. 5](#) ein der [Fig. 4](#) entsprechender Graph ist, der die Variation des Brechungsindex in dem lichtempfindlichen Mantel der optischen Faser gemäß der Erfindung zeigt und die Moduskonfiguration für übertragenes Licht zeigt;

[0025] [Fig. 6](#) eine schematische Darstellung eines Brechungsindex-Aufzeichnungsverfahrens ist;

[0026] [Fig. 7](#) eine Darstellung eines Gitters ist, das in einer optischen Faser gemäß der Erfindung durch das Verfahren aufgezeichnet wird;

[0027] [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung eines Brechungsindex-Blazegitters, das sowohl in dem Kern als auch dem Mantel einer optischen Faser gemäß der Erfindung aufgezeichnet ist;

[0028] [Fig. 9](#) ein Graph des Brechungsindexprofils der Faser ist, die in der [Fig. 8](#) gezeigt wird, über einen Querschnitt der Faser;

[0029] [Fig. 10](#) eine schematische Darstellung von zusammengespleißten optischen Fasern ist, mit unterschiedlichen Kerndurchmessern und einer Übertragungsmodus-Konfigurationsübereinstimmung;

[0030] [Fig. 11a](#), b und c Graphen der Brechungsindexprofile und der entsprechenden Übertragungsmodi sind über die Querschnitte A-A', B-B' und C-C' der gespleißten Faser-Anordnung, die in der [Fig. 10](#) gezeigt wird;

[0031] [Fig. 12](#) planare Wellenleiter darstellt, die in einer Matrix auf einem gemeinsamen Substrat angeordnet sind;

[0032] [Fig. 13](#) eine Schnittansicht ist, die entlang D-D' genommen wird, wie in der [Fig. 12](#) gezeigt wird;

[0033] [Fig. 14](#) eine Darstellung des transversalen Brechungsindexprofils eines weiteren Beispiels einer optischen Faser gemäß der Erfindung ist;

[0034] [Fig. 15a](#) einen optischen Faser-Laser darstellt, der eine optische Faser gemäß der Erfindung umfasst;

[0035] [Fig. 15b](#), c und d Brechungsindexgitter darstellen, die in der in der [Fig. 15a](#) gezeigten Faser gebildet werden;

[0036] [Fig. 16a](#) ein Graph der Wellenlängen-Antwort des in der [Fig. 15a](#) gezeigten optischen Hohlraums ist, bei Abwesenheit des in der [Fig. 15c](#) gezeigten Blazegitters;

[0037] [Fig. 16b](#) ein Graph der Wellenlängen-Antwort des in der [Fig. 15c](#) gezeigten Blazegitters ist;

[0038] [Fig. 16c](#) die Wellenlängen-Antwort an dem Ausgang des in der [Fig. 15a](#) gezeigten Lasers darstellt;

[0039] [Fig. 17](#) ein schematischer perspektivische Ansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Wellenleiters gemäß der Erfindung ist; und

[0040] [Fig. 18](#) ein Graph des Übertragungsverlusts ist als eine Funktion der Wellenlänge für Licht, das durch ein Blazegitter, wie in [Fig. 8](#) gezeigt, übertragen wird.

#### Detaillierte Beschreibung

[0041] Unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) zeigt diese eine herkömmliche optische Einzelmode-Faser **1** aus Silicium, die aus einem Kernbereich **2** besteht, der derart dotiert ist, um einen relativ hohen Brechungsindex zu haben, umgeben von einem Mantelbereich **3**, der einen relativ niedrigen Brechungsindex hat. In einem typischen Beispiel hat der Kernbereich **2** einen Durchmesser von 8–10  $\mu\text{m}$  und der Mantelbereich **3** hat einen äußeren Durchmesser von 125  $\mu\text{m}$ . Ein Querschnitt durch die Faser wird in der [Fig. 2a](#) gezeigt und die entsprechende Variation des Brechungsindex  $n$  in der Richtung  $\alpha$  über den Durch-

messer der Faser wird in der [Fig. 3](#) gezeigt. Der Graph von [Fig. 3](#) ist etwas idealisiert und zeigt eine Faser mit einem Brechungsindex  $n_1$  in dem Mantelbereich und einem Brechungsindex  $n_2$  in dem Bereich des Kerns. Der Wert  $\Delta n = n_2 - n_1$  wird gewählt, um zu veranlassen, dass eine optische Strahlung entlang des Kerns geleitet wird, auf eine Weise, die weithin bekannt ist. Herkömmlicherweise kann der Kernbereich **2** mit Al oder P dotiert sein, auf eine weithin bekannte Weise, um den Wert von  $n_2$  relativ zu dem Brechungsindex  $n_1$  des umgebenden Silicium-Mantelbereichs **3** zu erhöhen. Ein typisches Beispiel des Standes der Technik ist  $n_1 = 1,454$  und  $n_2 = 1,585$ .

**[0042]** Wenn gewünscht wird, ein Brechungsindexgitter in die Faser zu schreiben, entsteht ein Problem darin, dass der Al- oder P-dotierte Kern nur eine relativ niedrige Lichtempfindlichkeit gegenüber ultraviolettem Licht zeigt, bei 193 nm, und eine Wasserstoff-Behandlung erforderlich sein kann, um einen gewünschten Grad an Lichtempfindlichkeit zu erzielen. Der Kern kann alternativ mit Ge und/oder B dotiert werden, um eine Lichtempfindlichkeit zu erzielen, die bei 244 nm stattfindet. Der Effekt eines Ge-Dotiermaterials ist, den Brechungsindex des Kerns zu erhöhen, während der Effekt von B ist, den Brechungsindex als eine Funktion einer Dotiermaterialdichte zu verringern. Somit ist es möglich, ein Co-Dotieren zu erzielen, um so die Lichtempfindlichkeit zu erhöhen, ohne notwendigerweise eine wesentliche Zunahme des gesamten Brechungsindex zu verursachen.

**[0043]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 3](#) wird die Übertragungsmoduskonfiguration **4** für Licht gezeigt, das sich entlang des Wellenleiters bewegt, das eine Amplitudenspitze in dem Zentrum des Kernbereichs zeigt und Endbereiche **4b**, die sich in den Mantelbereich **3** erstrecken können.

**[0044]** Wenn der Kern mit einem „seltene Erden“-Element, wie Yb oder Er, dotiert ist, um eine optische Aktivität zu erreichen, entsteht ein Problem dadurch, dass Dotiermaterialien, wie Ge oder B, nicht zufriedenstellend in Kombination mit dem „seltene Erden“-Dotiermaterial in dem Kern verwendet werden können, um eine Lichtempfindlichkeit zu erzielen. Es wurde festgestellt, dass Ge oder B eine Instabilität in dem mit seltenen Erden dotierten Kern erzeugt. Dotiermaterialien, wie Al und P, können verwendet werden, um den Brechungsindex des Kerns zu erhöhen, wie aber oben erläutert ist es schwierig, eine zufriedenstellende Lichtempfindlichkeit mit diesen Materialien zu erzielen.

**[0045]** Die vorliegende Erfindung sieht einen alternativen Ansatz vor. Gemäß der Erfindung wird das Mantelmaterial der Faser lichtempfindlich gemacht. Unter Bezugnahme auf die [Fig. 4](#) ist dies ein Graph

entsprechend der [Fig. 3](#) für die Konzentration eines Dotiermaterials in einer Silicium-Faser gemäß der Erfindung. Wie in [Fig. 4](#) gezeigt, ist der Kern **2** mit einem relativ lichtunempfindlichen Dotiermaterial, wie Al oder P, dotiert und kann optional ein „seltene Erden“-Element umfassen, um den Kern optisch aktiv zu machen, z. B. Er oder Yb. Als ein Ergebnis hat der Kern einen Brechungsindex  $n_2$  eines relativ hohen Werts im Vergleich zu dem Brechungsindex  $n_1$  des Mantels.

**[0046]** Der Mantel **3** wird lichtempfindlich gemacht als ein Ergebnis einer Dotierung mit Ge und B in einem inneren Bereich **3a**, der den Kern umgibt. Der Effekt des Ge-Dotiermaterials ist, den Brechungsindex für den inneren Mantelbereich **3a** zu erhöhen als eine Funktion der Konzentration des Dotiermaterials, während der Effekt des B-Dotiermaterials ist, entsprechend den Brechungsindex des inneren Mantelbereichs zu reduzieren. Die jeweiligen Dotiermaterial-Dichten von Ge und B werden gewählt, so dass der resultierende Brechungsindex einen Wert  $n_1$  annimmt, entsprechend dem verbleibenden äußeren Bereich **3b** des Mantels, der nicht dotiert ist mit Ge oder B. Die Anordnung der inneren und äußeren Mantelbereiche **3a, b** wird schematisch in dem Schnitt durch die Faser gezeigt, die in der [Fig. 2b](#) gezeigt wird. Der  $\Delta n$ -Wert für die in der [Fig. 4](#) gezeigte Faser kann gleich oder im Wesentlichen ähnlich zu dem einer herkömmlichen optischen Faser sein, wobei der Wert von  $n_1$  und  $n_2$  zum Beispiel derselbe ist wie in der [Fig. 3](#) gezeigt. Wenn gewünscht, kann die Lichtempfindlichkeit des Mantelbereichs verbessert werden durch eine kalte Druck-Wasserstoff-Behandlung, wie beschrieben wird von P. Lemaire, R. M. Atkins, V. Mizrahi und W. A. Reed in „High Pressure H<sub>2</sub> loading as a technique for achieving ultrahigh UV photosensitivity and thermal sensitivity in GeO<sub>2</sub> doped optical fibres“, Electron. Lett., Vol. 29, Nr. 13 1191 (1993) und von P. Lemaire, A. M. Vengsarkar, W. A. Reed, V. Mizrahi und K. S. Kranz in „Refractive index changes in optical fibres sensitised with molecular hydrogen“, in Proc. Conference on Optical Fiber Communications, OFC '94, Technical Digest, S. 47, Paper TuL1, 1994.

**[0047]** Die in der [Fig. 4](#) gezeigte Konfiguration zeigt die Situation, in der die Faser gemäß der Erfindung noch keiner ultravioletten Strahlung ausgesetzt wurde. [Fig. 5](#) zeigt den Effekt einer einfallenden ultravioletten Strahlung auf den inneren lichtempfindlichen Mantelbereich **3a**. Eine Strahlung bei einer Wellenlänge von 244 nm veranlasst, dass der Brechungsindex des Mantelbereichs **3a** zunimmt, wie gezeigt, auf einen Wert  $n_1'$  von dem vorherigen Wert von  $n_1$ , gezeigt mit gestrichelter Linie. Der Unterschied  $\Delta n'$  zwischen dem Brechungsindex  $n_2$  und  $n_1'$ , der nach der ultravioletten Belichtung auftritt, ermöglicht auch weiter ein Leiten von Licht entlang des Wellenleiters. Die Übertragungsmodus-Konfiguration vor der Belich-

tung mit UV-Licht wird in gestrichelter Linie **4** gezeigt und entspricht der Moduskonfiguration des Standes der Technik, wie in [Fig. 3](#) gezeigt. Der Effekt der Zunahme von  $n_1$  aufgrund der UV-Belichtung resultiert in einem Ausbreiten der Moduskonfiguration in den Mantel, um so die Moduskonfiguration **5** mit den Endbereichen **5a**, **5b** zu erzeugen, die sich in den lichtempfindlichen Mantelbereich **3a** ausbreiten. In einem Beispiel der Erfindung hat der Kern **2** einen äußeren Durchmesser von 10  $\mu\text{m}$ , der Bereich **3a** hat einen äußeren Durchmesser von 20  $\mu\text{m}$  und der Bereich **3b** des Mantels hat einen äußeren Durchmesser von 125  $\mu\text{m}$ . Der Brechungsindex des Kerns  $n_2$  ist 1,475 und der Brechungsindex  $n_1$  des Mantels vor einer UV-Belichtung ist 1,454. Nach der Belichtung ändert sich der Wert des Brechungsindex des inneren Mantelbereichs **3a** auf  $n_1' = 1,464$ .

**[0048]** Die Lichtempfindlichkeit des Mantels **3** kann verwendet werden, um eine Anzahl von unterschiedlichen Effekten zu erreichen. In der Erfindung ist ein Brechungsindexgitter in dem Mantel aufgezeichnet, wobei der Brechungsindex zwischen Werten  $n_1$  und  $n_1'$  variiert mit einer räumlichen Periodizität  $A$  entlang der Länge des Mantels. Es wurde festgestellt, dass, da die Endbereiche **4b**, **5b** der Übertragungsmoduskonfiguration in den Mantel hineinreichen, der Modus ausreichend mit den räumlichen Brechungsindexvariationen interagiert, um eine Bragg-Reflexion zu erzeugen. Die Wellenlänge der Bragg-Reflexion wird gegeben durch  $\lambda_{\text{Bragg}} = 2 \Lambda n_{\text{eff}}/N$ , wobei  $A$  die Periode des Interferenzmusters ist und  $n_{\text{eff}}$  der effektive Index des geleiteten Modus ist.  $N$  ist eine Ganzzahl und zeigt die Ordnung der Interaktion an. In diesem Fall ist  $n_{\text{eff}} \sim (n_2 + n_1)/2$ .

**[0049]** Das Brechungsindexgitter kann in die Faser geschrieben werden durch jede einer Anzahl von herkömmlichen Techniken und für eine allgemeine Beschreibung wird verwiesen auf Kashyap supra. Ein Beispiel wird nun beschrieben unter Bezugnahme auf die [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#). Ultraviolettes Licht von einem Laser **6** mit einer Wellenlänge von 244 nm wird durch einen Strahlenteiler **7** geführt, um erste und zweite kohärente Strahlen **8**, **9** zu bilden, die durch Spiegel **10**, **11** reflektiert werden, um miteinander zu interferieren und ein Interferenzmuster in dem Bereich **12** zu bilden, der quer entlang der Länge einer optischen Faser **13** verläuft, die einen lichtempfindlichen Mantel hat, wie unter Bezugnahme auf die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) beschrieben. Wie detaillierter in der [Fig. 7](#) gezeigt, wird das Interferenzmuster in dem lichtempfindlichen Mantel **3** der Faser **13** aufgezeichnet mit dem Ergebnis, dass eine räumlich periodische Brechungsindexvariation in dem Mantel erzeugt wird mit einer räumlichen Periodizität  $A$ . Die Amplitude der Variation kann variieren von einer Spitze in einem zentralen Bereich **14** des Musters und zu den Enden **15**, **16** hin abnehmen. Das Muster wird in dem Kern **2** der Faser nicht in einem signifikanten Ausmaß auf-

gezeichnet, aufgrund der Tatsache, dass der Kern, der typischerweise mit Al oder P und optional mit einem „seltene Erden“-Element, wie Yb oder Er, dotiert ist, im Wesentlichen nicht lichtempfindlich ist auf das einfallende Licht der Wellenlänge 244 nm.

**[0050]** Die Faser mit ihrem lichtempfindlichen inneren Mantelbereich kann hergestellt werden durch eine aus einer Anzahl von herkömmlichen Herstellungstechniken. Im Allgemeinen wird eine Vorform mit dem gewünschten Brechungsindexprofil erzeugt, die dann gezogen wird, um die dünne Faser zu erzeugen. Verschiedene Verfahren können für die Herstellung der Vorform verwendet werden. Die drei allgemein verwendeten Verfahren sind MCVD (modified chemical vapour deposition), OVD (outside vapour deposition) und VAD (vapour-phase axial deposition). Unter den dreien ist MCVD das am meisten eingesetzte Verfahren und für eine detaillierte Beschreibung wird verwiesen auf „Fundamentals of Fibre Optics in Telecommunications and Sensor Systems“, Editor P. B. Pal, Wiley Eastern Limited – Fabrication Techniques of Optical Fibres, H. Karstensen, Ch. 9, S. 223–248.

**[0051]** Ein Beispiel der Herstellung der Vorform unter Verwendung von MCVD wird nun beschrieben. Für eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Vorrichtung wird verwiesen auf Karstensen supra, S. 233–239. Zuerst wird eine kontrollierte Menge an  $\text{SiCl}_4$ -Dampf als Dotiermaterial zusammen mit Sauerstoff in eine rotierende verschmolzene Silicium-Substrat-Röhre zugeführt. Ein traversierender Knallgas-Brenner erhitzt einen kurzen Bereich der Röhre auf eine Temperatur von ungefähr 1600°C. In dieser heißen Zone reagieren die Chemikalien und bilden Glaspartikel, die nachfolgend stromabwärts auf der inneren Wand der Röhre abgelagert werden. Die Hitze von dem langsam traversierenden Brenner, der folgt, sintert den abgelagerten Ruß, um eine transparente Glasschicht zu bilden. Der Brenner wird dann schnell zu dem anderen Ende der Röhre zurückgebracht und der Prozess wird wiederholt, um Schichten von Material aufzubauen, die schließlich den äußeren Mantelbereich **3b** der oben beschriebenen Faser gemäß der Erfindung bilden.

**[0052]** Danach werden Dotiermaterial-Gase in den Prozess eingeführt und eine Mischung von P und F wird als Dotiermaterial in aufeinander folgenden Schichten eingeführt. Der Effekt von P und F ist jeweils, den Brechungsindex zu erhöhen und zu verringern und insgesamt den Schmelzpunkt des abgelagerten Glases zu reduzieren.

**[0053]** Dann wird eine Mischung aus gasförmigem  $\text{BCl}_3$  und  $\text{GeCl}_4$  in die Substratröhre zugeführt, zusammen mit  $\text{SiCl}_4$ , um Glas abzulagern, das mit B und Ge co-dotiert ist. Das resultierende Glas bildet schließlich die innere Mantelschicht **3a** und hat einen



Brechungsindex, der derselbe ist wie die äußere Mantelschicht und ebenso lichtempfindlich gegenüber UV-Licht ist.

**[0054]** Danach wird, um ein Material für den Faserkern zu bilden, die Fließgeschwindigkeit von  $\text{GeCl}_4$  relativ zu  $\text{BCl}_3$  erhöht, während die Fließgeschwindigkeit von  $\text{SiCl}_4$  gleich gehalten wird. Dies lagert ein Glasmaterial mit einem höheren Brechungsindex ab als der des Mantels.

**[0055]** Wenn gewünscht können Er-Dotiermaterial oder ähnliche „seltene Erden“-Materialien eingeführt werden, um den letztendlichen Faserkern optisch aktiv zu machen.

**[0056]** Die resultierende Struktur wird dann gesintert, um die Röhre zusammenfallen zu lassen und die Vorform zu erzeugen, aus der die Faser durch herkömmliche Techniken gezogen werden kann.

**[0057]** Eine weitere Anwendung der Erfindung betrifft Strahlungsmodus-Taps, auch als Seiten-Tap-Filter bekannt. Diese wurden gebildet durch Schreiben eines schrägen oder so genannten Blazegitters in den Kern der Faser. Das Gitter verbindet Licht, das sich entlang der Faser bewegt, in einen Strahlungsmodus, in dem das Licht nicht länger in dem Kern geleitet wird. Es wird verwiesen auf G. Meltz et al in „In-Fibre Bragg Grating Tap“, Proc. Conference on Optical Fibre Communications, OFC '90, Technical Digest S. 24, Paper TUG1, 1990. Wie in dieser Referenz beschrieben, führen Blazegitter, die in eine Faser geschrieben werden, zu einem Auskoppeln von Licht mit sichtbaren Wellenlängen. Durch Erhöhen des Durchmessers des Kerns lokal, um so eine schwach leitende Faser vorzusehen, ist es einfach möglich, eine Modusbeschränkung zu überwinden aufgrund der Leitung der Faser, über viel schmalere Bandbreiten, um die gewünschte Auskopplung von Licht von der Faser zu erzeugen. Es gibt jedoch eine Begrenzung der Schmalheit des Bands, die erzeugt werden kann. Die vorliegende Erfindung liefert eine alternative Lösung zur Erhöhung des Kerndurchmessers lokal.

**[0058]** Unter Bezugnahme nun auf [Fig. 8](#) wird eine optische Faser **16** gezeigt, die aus Silicium besteht, mit einem Kern **17** und einem umgebenden Mantel **18**. Der Kern ist nicht lichtempfindlich und optisch aktiv und der Mantel ist lichtempfindlich, wobei die Faser auf die Weise gebildet wurde, die unter Bezugnahme auf [Fig. 4](#) beschrieben wird.

**[0059]** Ein Brechungsindex-Blazegitter **19**, das schematisch gezeigt wird, wird in den lichtempfindlichen Mantel **18** der Faser **16** auf eine Weise geschrieben, die weithin bekannt ist und von Meltz et al supra beschrieben wird. Der Kern kann mit Al oder P dotiert sein und der Mantel kann mit Ge und B co-do-

tiert sein, um eine Lichtempfindlichkeit vorzusehen, wie oben beschrieben. Ein Diagramm des Brechungsindex  $n$  über den Durchmesser der Faser in der Richtung  $a$  wird in der [Fig. 9](#) gezeigt. Das Brechungsindexgitter **19** wird somit im Wesentlichen nur in dem Mantel **18** aufgezeichnet. Der Modus des Lichts, das entlang der Faser **16** übertragen wird, wird vergrößert über den Kern hinaus in den Mantel und es kann gezeigt werden, dass dies eine Verschmälerung der Bandbreite der Filtercharakteristiken erzeugt. In einem spezifischen Beispiel hat die Faser einen Kerndurchmesser von  $12\text{ }\mu\text{m}$  und einen äußeren Manteldurchmesser von  $125\text{ }\mu\text{m}$ , was eine Seiten-Tap-Bandbreite von ungefähr  $15\text{ nm}$  bei  $1550\text{ nm}$  liefert. Es ist offensichtlich, dass herkömmliche Typ-B-Fasern einen Kerndurchmesser in dem Bereich von  $8\text{ }\mu\text{m}$  haben, so dass der Seiten-Tap-Filter einfach an herkömmliche Fasern gespleißt werden kann, ohne einen signifikanten Modusverlust. Während in der [Fig. 8](#) der gesamte Mantel lichtempfindlich ist, kann der Mantel in einer alternativen Konfiguration als ein lichtempfindlicher innerer Mantel gebildet werden, co-dotiert mit Ge:B, abgestimmt auf den Brechungsindex eines äußeren Mantels, der nicht lichtempfindlich ist, wie oben unter Bezugnahme auf [Fig. 2b](#) beschrieben. Ein Graph des Übertragungsverlusts, der entlang der Länge der Faser erfahren wird, mit einem Gitter wie in der [Fig. 8](#) gezeigt, als eine Funktion der Wellenlänge wird in der [Fig. 17](#) gezeigt.

**[0060]** Als eine Alternative können Nicht-Blaze-Gitter mit langen Perioden, wie beschrieben von A. N. Vengsarkar et al in „Long Period Fibre Gratings as Band Rejection Filters“, OFC 95, Paper PD4, San Diego, California, 1995, durch diese Technik gebildet werden.

**[0061]** Die Erfindung kann in Verbindung mit gespleißten Modusanpassungs-Fasern verwendet werden. Für Fasern mit Erbium-dotierten Kernen kann der Kern zusätzlich mit Al dotiert werden, um einen hohen Brechungsindex zu erzielen, in diesem Fall kann der Kerndurchmesser wesentlich reduziert werden, während er weiterhin in dem Einzelmode überträgt. Somit kann der Kerndurchmesser auf Werte wie  $4\text{ }\mu\text{m}$  reduziert werden aufgrund der Zunahme von  $\Delta n$  zwischen dem Kern und dem Mantel, was aus der hohen Dotiermaterial-Konzentration in dem Kern resultiert. Während eine derartige Anordnung optisch effizient ist, entstehen Probleme beim Spleißen einer solchen Faser mit einem kleinen Durchmesser zu einer herkömmlichen Faser oder einer Faser, wie unter Bezugnahme auf [Fig. 8](#) beschrieben, die ein Blazegitter umfasst, oder zu einem herkömmlichen Seiten-Tap-Filter, der ein Blazegitter in einer relativ schwach leitenden Faser mit einem vergrößerten Kerndurchmesser umfasst, wie oben beschrieben.

**[0062]** [Fig. 10](#) zeigt eine Konfiguration, die dieses

Problem löst. Eine erste Silicium-Faser **20** hat einen nicht lichtempfindlichen Er-dotierten Kern **21**, umgeben von einem Mantelmaterial **22**, das einen inneren lichtempfindlichen Mantelbereich **22a** umfasst, umgeben von einem nicht lichtempfindlichen Bereich **22b**. Der Kern **21** kann zusätzlich mit Al dotiert sein, um seinen Brechungsindex zu erhöhen. Als ein Ergebnis ist die Faser stark leitend und der Kerndurchmesser  $w_1$  kann einen relativ kleinen Wert haben, z. B. 4  $\mu\text{m}$ . Der umgebende lichtempfindliche Mantelbereich **22a** kann mit Ge und B dotiert sein, wie oben unter Bezugnahme auf die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) beschrieben, und kann einen äußeren Durchmesser  $a_c$  von 16  $\mu\text{m}$  haben.

**[0063]** Die Faser **20** ist bei S an eine Silicium-basierte Faser **23** gespleißt, die einen Kern **24** hat, umgeben von dem Mantel **25**. Die Faser kann eine herkömmliche Standardfaser sein, wie in einem optischen Telekommunikationssystem verwendet, mit einem Kerndurchmesser  $w_2$  von 8  $\mu\text{m}$ , d. h. signifikant größer als der Kerndurchmesser der Faser **20**. Der äußere Durchmesser  $a_2$  des Mantels **25** kann eine ähnliche Dimension haben wie die Faser **22**, in dem Bereich von 120  $\mu\text{m}$ . Jedoch kann die Faser **23** als eine Alternative einen vergrößerten Kern haben und ein Blaze-Gitter umfassen oder kann wie in der [Fig. 8](#) gezeigt sein.

**[0064]** Unter Bezugnahme nun auf die Graphen, die in den [Fig. 11a](#), b und c gezeigt werden, wird die Brechungsindexverteilung über einen Querschnitt der Faser für die jeweiligen entsprechenden Schnitte A-A', B-B' und C-C' in [Fig. 10](#) gezeigt. Unter Betrachtung der [Fig. 11a](#) ist zu sehen, dass der Wert des Brechungsindex des Kerns  $n_2$  einen relativ hohen Wert in dem Er:Al-dotierten Kernbereich **21** hat, während der lichtempfindliche Ge:B-Mantelbereich **22a**, der keiner UV-Strahlung ausgesetzt wurde, einen relativ niedrigen Brechungsindex  $n_1$  hat, entsprechend der Brechungsindexverteilung des umgebenden Mantelbereichs **22b**.

**[0065]** Unter Bezugnahme auf [Fig. 11c](#) hat der Kern der Standard-Faser **23** einen niedrigeren Brechungsindex  $n_2$  als der Kern der Faser **20** und der Kern der Faser **23** hat einen größeren Durchmesser  $w_2$  als der Durchmesser  $w_1$  des Kerns der Faser **20**.

**[0066]** Wiederum unter Bezugnahme auf [Fig. 11a](#) wird die Übertragungsmoduskonfiguration bei **26** gezeigt und es ist zu sehen, dass der Modus eine relativ schmale Konfiguration (im Vergleich zu [Fig. 11c](#)) mit einer relativ scharfen Spitze **26a** und einem relativ kleinen Endbereich **26b** hat, der sich in den Mantel erstreckt. Dagegen ist in der [Fig. 11c](#) zu sehen, dass der Übertragungsmodus, bei **27** gezeigt, im Allgemeinen breiter ist mit einer niedrigeren Spitze **27a** als die entsprechende Spitze **26a** in der Faser **20**. Der Unterschied zwischen diesen beiden Moduskonfigurationen

kann zu einer Zunahme von signifikanten Verlusten an dem Spleiß S zwischen den zwei Fasern führen.

**[0067]** Der Spleiß ist einer UV-Strahlung ausgesetzt, um den Brechungsindex des lichtempfindlichen Mantelbereichs **22a** der Faser **20** in dem Bereich des Spleißes zu ändern. In einem spezifischen Beispiel ist der Spleiß einer Strahlung bei 244 nm von einer Laserquelle (nicht gezeigt) ausgesetzt, um den Brechungsindex des lichtempfindlichen Ge:B-co-dotierten Bereichs **22a** zu ändern. Dies wird detaillierter in der [Fig. 11b](#) gezeigt, wo zu sehen ist, dass der Brechungsindex des Mantels **22** sich von dem Wert  $n_1$  ([Fig. 11a](#)) zu  $n_1'$  geändert hat. Die Moduskonfiguration **28** wird weiter und breitet sich aus in den Bereich des Mantels **22** als ein Ergebnis davon, dass die Faser schwächer leitend wird für den Modus aufgrund der Abnahme des Werts  $\Delta n = n_2 - n_1'$  im Vergleich zu der Konfiguration in der [Fig. 11a](#). Somit kann sich in dem Bereich des Spleißes der Modus, wie in der [Fig. 11b](#) gezeigt, in der Faser **20** ausbreiten, um der Breite der Moduskonfiguration für die Faser **23** zu entsprechen, in [Fig. 11c](#) gezeigt. Auf diese Weise werden Verluste an dem Spleiß vermieden. Die progressive Ausbreitung des Modus wird durch die Linien **29** in der [Fig. 10](#) dargestellt. Es ist offensichtlich, dass als eine Alternative der Wert des Terms  $\Delta n$  zur Zunahme konfiguriert werden kann. Dies hat den Effekt einer Verringerung der Breite der Moduskonfiguration für die Faser **23**. Dies kann nützlich sein in bestimmten Abgleichungssituationen, wo es erforderlich ist, den Durchmesser des Modus zu reduzieren.

**[0068]** Die [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) zeigen eine alternative Konfiguration, in der die Wellenleiter aus Spuren auf einem Substrat bestehen. Ein optisch transparentes Silicium-Substrat **30** ist auf seiner oberen Oberfläche mit Ge:B durch eine Maske (nicht gezeigt) dotiert, um ein rechteckiges Matrixmuster von optisch leitenden Spuren **31** vorzusehen, die in Reihen und Spalten  $C_n$ ,  $R_n$  angeordnet sind. Der Unterschied  $\Delta n$  des Brechungsindex zwischen den Spuren **31**, das darunterliegende Glassubstrat und die darüberliegende Luft erzeugt ein Leiten von Licht entlang den Reihen und Spalten. Eine selektive Verbindung und Trennung zwischen sich überkreuzenden Reihen und Spalten kann erreicht werden durch Belichtung des Substrats selektiv mit einer ultravioletten Strahlung. Wenn zum Beispiel gewünscht wird, die Verbindung zwischen der Reihe  $R_1$  und der Spalte  $C_1$  zu trennen, wird eine UV-Strahlung mit 244 nm quer auf das Substrat gerichtet, z. B. von einer Laserquelle, um den Bereich **32** selektiv auszusetzen. Auf diese Weise wird der Brechungsindex der lichtempfindlichen Schicht **32** in dem Bereich der Kreuzung der Reihe und der Spalte auf ein ausreichendes Pegel angehoben, dass das Mantelmaterial **31** nicht länger als ein Leiter wirkt und Licht wird in dem Bereich **32** abgegeben, wenn es sich entlang der Reihe  $R_1$  oder der



Spalte C<sub>1</sub> bewegt. Die in der [Fig. 12](#) gezeigt Vorrichtung kann somit als ein programmierbares logisches Array für optische Signale verwendet werden.

**[0069]** Unter Bezugnahme nun auf [Fig. 14](#) wird ein weiteres Beispiel einer optischen Faser gemäß der Erfindung gezeigt, das als eine Modifizierung der in der [Fig. 4](#) gezeigten Konfiguration betrachtet werden kann, und gleiche Bereiche sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet. Die Silicium-Faser besteht aus einem Kern **2** mit einem Mantel **3** mit einem inneren Mantelbereich **3a**, der lichtempfindlich ist als ein Resultat einer Co-Dotierung mit B:Ge auf die oben beschriebene Weise. Der Bereich **3a** hat bei Fehlen einer Belichtung mit UV-Licht einen Brechungsindex, der dem des äußeren Mantelbereichs **3b** entspricht, der nicht dotiert ist, um lichtempfindlich zu sein. In den oben beschriebenen Fasern kann der Kern mit Al oder P dotiert sein, um seinen Brechungsindex zu heben. Der Kern kann alternativ mit Ge und/oder B dotiert werden, um eine Lichtempfindlichkeit zu erzielen. Jedoch kann dies nicht erreicht werden, wenn gewünscht wird, den Kern mit Yb oder Er zu dotieren, um eine optische Aktivität zu erzielen, da, wie oben beschrieben, es nicht möglich ist, Ge oder B in Kombination mit einem „seltene Erden“-Dotiermaterial zu verwenden, um eine Lichtempfindlichkeit in dem Kern zu erzielen. Die Anordnung der [Fig. 14](#) liefert eine Lösung für dieses Problem.

**[0070]** In der [Fig. 14](#) ist der Kern **2** als ein innerer Kernbereich **2a** umgeben von einem äußeren Kernbereich **2b** angeordnet. Der innere Kernbereich **2a** kann mit einem „seltene Erden“-Element dotiert werden, wie Er oder Yb, und kann zusätzlich Al umfassen, um den Brechungsindex weiter anzuheben. Der äußere Kernbereich **2b** ist mit Ge und B dotiert, um lichtempfindlich zu sein. Somit können mit dieser Anordnung Brechungsindexgitter sowohl in den inneren Bereich **3a** des Mantels als auch den äußeren Bereich **2b** des Kerns geschrieben werden.

**[0071]** Unter Bezugnahme nun auf die [Fig. 15](#) und [16](#) wird ein optischer Faser-Laser gezeigt, in dem ein resonanter Hohlraum zwischen den ersten und zweiten Brechungsindexgittern **33**, **34** ausgebildet ist, die in einer optischen Faser **35** gebildet werden. Die Faser entspricht der Faser **1**, die in der [Fig. 2b](#) gezeigt wird, und hat einen Kern **2**, der umgeben ist durch einen lichtempfindlichen inneren Mantelbereich **3a** und einen nicht lichtempfindlichen äußeren Mantelbereich **3b**. Die Gitter **33**, **34** werden jeweils in den [Fig. 15b](#) und [Fig. 15d](#) detaillierter gezeigt. Die Gittermuster g1 und g2 werden in den inneren Mantelbereichen **3a** auf eine Weise aufgezeichnet, die oben unter Bezugnahme auf [Fig. 7](#) oder in einem der anderen weithin bekannten Verfahren beschrieben wird, z. B. beschrieben von Kashyap et al. Der Kern der Faser **35** ist mit einem „seltene Erden“-Element dotiert, wie Yb oder Er, um ihn optisch aktiv zu machen. Der

Kern **2** ist nicht lichtempfindlich.

**[0072]** Die Faser **35** umfasst auch ein Blazegitter, das eine verlustbehaftete Wellenlängencharakteristik hat, die detaillierter in der [Fig. 16b](#) gezeigt wird. Das Blazegitter **36** wird detaillierter in der [Fig. 15c](#) gezeigt und umfasst ein Brechungsindex-Blazemuster g3, das in dem inneren Mantelbereich **3a** der Faser aufgezeichnet ist, aber nicht im Wesentlichen in dem Kern oder dem äußeren Mantelbereich.

**[0073]** Die Faser wird durch eine Laserstrahlung bei 1480 nm (oder 980 nm) von einem Pumpen-Laser **38** gepumpt, der durch einen herkömmlichen Schmelz-Faser-Koppler **39** mit der Faser **35** verbunden ist.

**[0074]** Die Gitter **33**, **34** haben eine räumliche Periodizität, die gewählt wird, um eine Resonanz für Signale zu erzeugen, die von einem Laser **40** in die Faser zugeführt werden. Die nominale Betriebswellenlänge des Lasers **40** ist in diesem Beispiel 1530 nm. Die Wellenlängencharakteristik des Hohlraums, bei Fehlen des Blazegitters **36**, wird in der [Fig. 16a](#) gezeigt und es ist zu sehen, dass die Charakteristik eine unerwünschte Spitze an der zentralen Wellenlänge des Lasers **40** umfasst, nämlich 1530 nm. Die Charakteristiken des Blazegitters **36** werden gewählt, so dass ihre verlustbehaftete Spitze 1530 nm ist, so dass der Effekt des Filters ist, die Verstärkungsspitze zu unterdrücken, gezeigt in der [Fig. 16a](#). Die resultierende Ausgabe am Ende **41** der Faser wird in [Fig. 16c](#) gezeigt, wo zu sehen ist, dass das Blazegitter **36** die Spitze unterdrückt, die ansonsten bei 1530 nm auftreten würde.

**[0075]** Es ist zu sehen, dass die in der [Fig. 15a](#) gezeigten Gitter alle in der optisch aktiven Faser aufgezeichnet sind. Die Gitter sind in dem inneren Mantelbereich **3a** aufgezeichnet mit dem Ergebnis, dass es keine Spleiße gibt. Im Gegensatz dazu muss in dem Stand der Technik die optisch aktive Faser an herkömmliche Germano-Silicium-Fasern angespleißt werden, da es nicht einfach möglich ist, die Gitter in der optisch aktiven Faser selbst aufzuzeichnen.

**[0076]** Die optische Aktivität des Kernbereichs der Fasern gemäß der Erfindung muss nicht unbedingt durch Dotiermaterialien erzeugt werden. Zum Beispiel kann, wie in der [Fig. 18](#) gezeigt, die Faser ein röhrenförmiges Element **42** aufweisen, das aus einem Ge:B-dotierten Quarzglas gemacht ist, das den lichtempfindlichen Mantelbereich vorsieht, gefüllt mit einer optisch nicht-stativen Flüssigkeit oder einem Kolloid **43**, die/das den Kernbereich vorsieht. Ein Brechungsindexgitter kann in dem Mantelbereich **42** aufgezeichnet werden, auf die oben unter Bezugnahme auf [Fig. 6](#) beschriebene Weise. Weitere Details dieser hohlen Faser-Konstruktion ist zu finden in unserer PCT/GB95/02322. Beispiele von nicht-stativen Mate-

rialien, die verwendet werden können, um den Kern **43** zu bilden, sind Flüssigkristalle, die einen variablen Brechungsindex zeigen als eine Funktion eines angelegten elektrischen Felds, Flüssigkeiten, die den Kerr-Effekt zeigen, Nitrobenzole und kolloidale Suspensionen von Quantumpunkten. Die Ge-Dotierung in der Glasröhre **42** kann nur ein radial innerer Bereich sein, wie durch die gestrichelte Linie **44** angezeigt wird, auf eine ähnliche Weise, wie unter Bezugnahme auf die **Fig. 2** und **Fig. 4** beschrieben wird.

**[0077]** Viele andere Modifizierungen und Variationen fallen in den Umfang der Erfindung. Zum Beispiel kann der Kernbereich ein nicht-statives gepoltes Material umfassen, das ein Dipol-Moment zeigt, das auf ein angelegtes elektrisches Feld reagiert. Es wird verwiesen auf L. Li & D. N. Payne in „Permanently-Induced Linear Electro-Optic Effect in Silica Optical Fibres“, Dig. Conf. Integrated and Guided Wave Optics, 1989 OSA, Paper TuAA2-1 (1989), und T. Fujiwara, D. Wong, Y. Zhao, S. Fleming, V. Grishina & S. Poole in „UV-Excited Poling and Electrically Tunable Bragg Gratings in a Germanosilicate Fibre“, Post-deadline Paper OFC '95 (Feb '95). Die Faser kann vorgesehen werden mit einer Elektrodenanordnung, um ein elektrisches Feld an das gepolte Material in dem Kernbereich anzulegen, um seine optischen Charakteristiken zu steuern. Es wird verwiesen auf EP 96300638.2.

**[0078]** In einer weiteren Modifizierung umfasst der Mantelbereich konzentrische Bereiche eines lichtempfindlichen Materials, mit Zwischenraum angeordnet durch konzentrische Bereiche mit relativ niedriger Lichtempfindlichkeit.

**[0079]** Wie hier verwendet, umfasst der Begriff optische Strahlung sowohl sichtbare als auch nicht sichtbare Strahlung, einschließlich einer Infrarot- und einer Ultraviolett-Strahlung.

### Patentansprüche

1. Optischer Wellenleiter, einschließlich einem Kernbereich und einem Mantelbereich, wobei der Brechungsindex des Kernbereichs höher ist als der des Mantelbereichs, wobei der Mantelbereich ein lichtempfindliches Material umfasst, das den Brechungsindex des Mantelbereichs zumindest in einem gegebenen Wellenlängenbereich lichtempfindlich macht, wobei der Wellenleiter weiter ein Brechungsindex-Diffraktionsgitter umfasst, wobei der Kernbereich entweder ein optisch aktives Material, das angeregt werden kann in Zustände zur Erzeugung optischer Verstärkung oder einer Laseraktion, oder ein optisch nichtlineares Material umfasst, das einen Brechungsindex hat, der transient auf eine nichtlineare Weise als eine Funktion eines angelegten elektrischen AC- oder DC-Felds oder einer optischen Strahlung variiert, **dadurch gekennzeichnet**, dass

das Brechungsindex-Gitter im Wesentlichen nur in dem Mantelbereich angeordnet ist, wobei das lichtempfindliche Material ein erstes Dotiermaterial ist und der Mantelbereich ein zweites Dotiermaterial umfasst, wobei die ersten und zweiten Dotiermaterialien jeweils den Brechungsindex des Mantels derart erhöhen und reduzieren, dass

i) ohne Lichteinwirkung in dem Wellenlängenbereich der Mantelbereich einen Brechungsindex auf einem Basispegel annimmt, der geringer ist als der des Kernbereichs, und  
ii) bei Lichteinwirkung in dem Wellenlängenbereich der Brechungsindex des Mantelbereichs sich von diesem Basispegel verändert.

2. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 1, wobei die ersten und zweiten Dotiermaterialien für das Mantelmaterial Ge und B aufweisen.

3. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei das Kern-Dotiermaterial Al oder P aufweist.

4. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 3, wobei das Material zur Erzeugung der optischen Aktivität ein „seltene Erden“-Dotiermaterial aufweist.

5. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 4, wobei das „seltene Erden“-Dotiermaterial Yb oder Er aufweist.

6. Optischer Wellenleiter gemäß einem vorhergehenden Anspruch, wobei der Mantel (**3**) einen ersten relativ lichtempfindlichen Bereich (**3a**) und einen zweiten relativ lichtunempfindlichen Bereich (**3b**) umfasst.

7. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 6, wobei die ersten und zweiten Bereiche (**3a**, **3b**) denselben Brechungsindex vor einer Einwirkung auf den ersten Bereich (**3a**) von Licht haben, auf das er lichtempfindlich ist.

8. Optischer Wellenleiter gemäß einem vorhergehenden Anspruch, wobei das Kern- und Mantelmaterial Quarzglas aufweist.

9. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 1, wobei das Gitter ein Blazegitter (**19**) ist.

10. Optischer Verstärker einschließlich ein optischer Wellenleiter (**35**) gemäß einem vorhergehenden Anspruch.

11. Verstärker gemäß Anspruch 10, wobei das Gitter (**33**, **34**) einen Teil eines Hohlraumresonators bildet zur Erzeugung einer Laserverstärkung.

12. Verstärker gemäß Anspruch 10 einschließlich eines Brechungsindex-Blazegitters in dem Mantelbereich des Wellenleiters zum Modifizieren der Wellen-

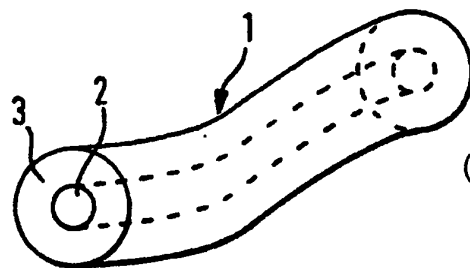
längen-resonanten Charakteristik des Hohlraums.

13. Optischer Wellenleiter gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Material des Kernbereichs eine optisch aktive Flüssigkeit umfasst.

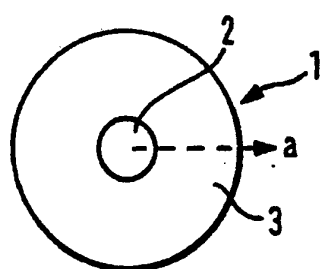
14. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 13, wobei die optisch aktive Flüssigkeit Nitrobenzol aufweist.

15. Optischer Wellenleiter gemäß Anspruch 13, wobei die optisch aktive Flüssigkeit ein Flüssigkristallmaterial aufweist.

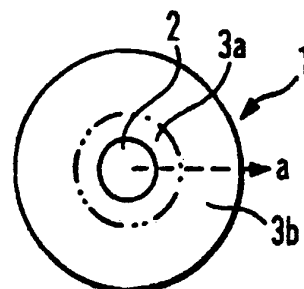
Es folgen 8 Blatt Zeichnungen



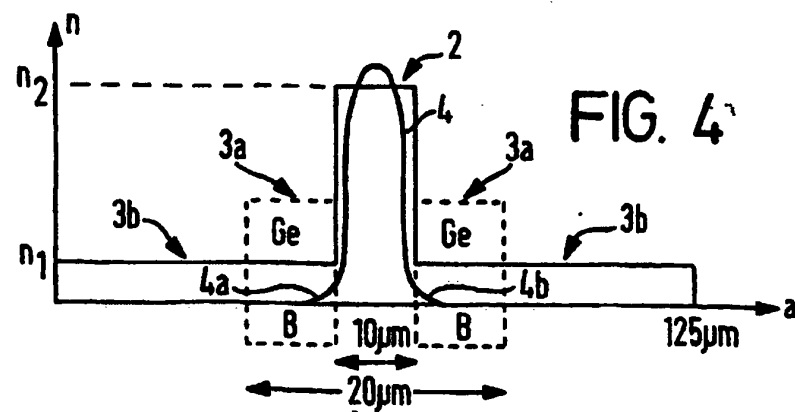
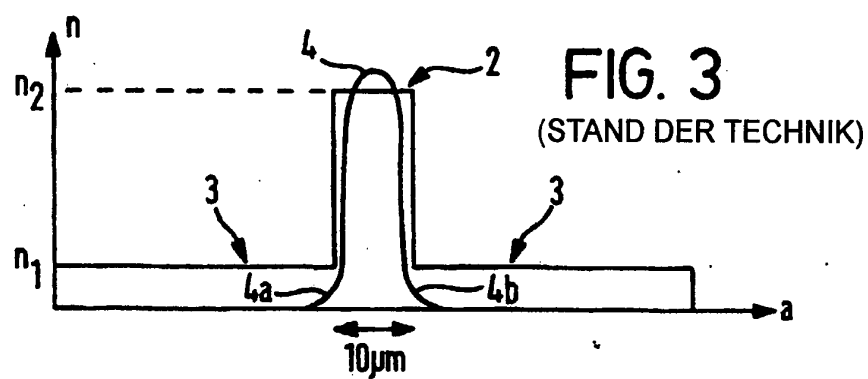
**FIG. 1**  
(STAND DER TECHNIK)

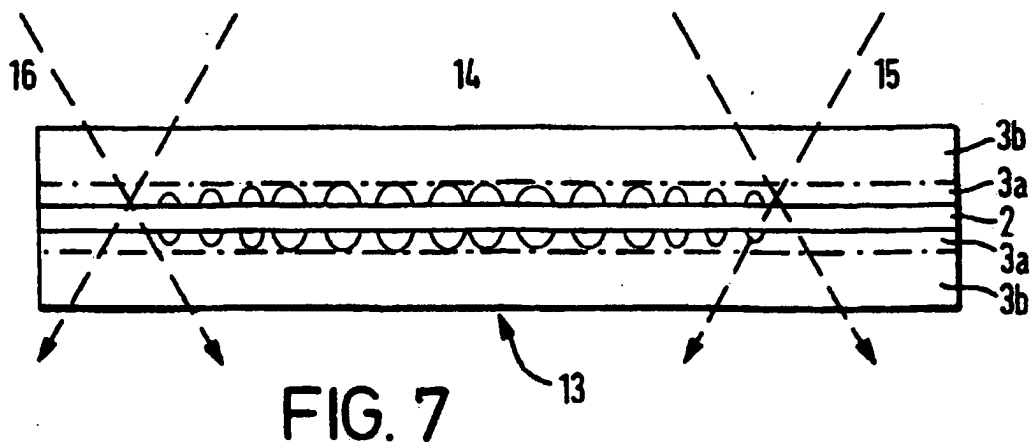
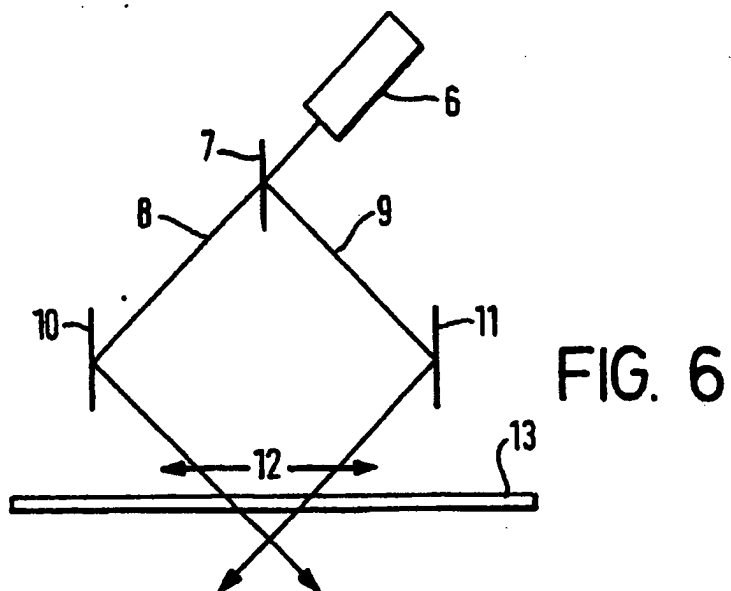
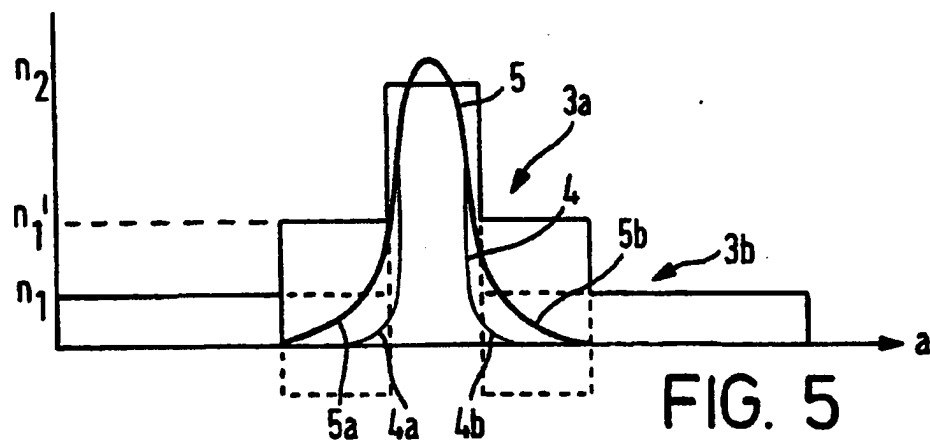


**FIG. 2a**  
(STAND DER TECHNIK)

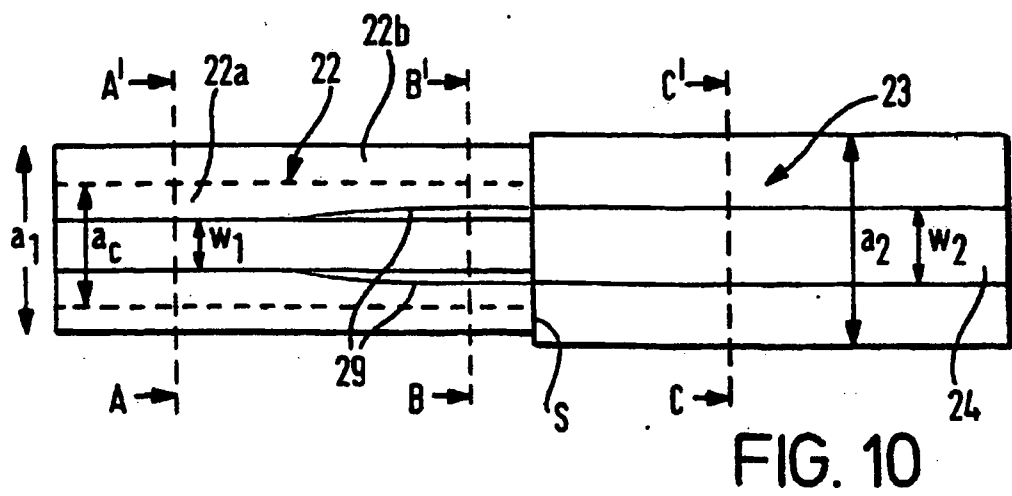
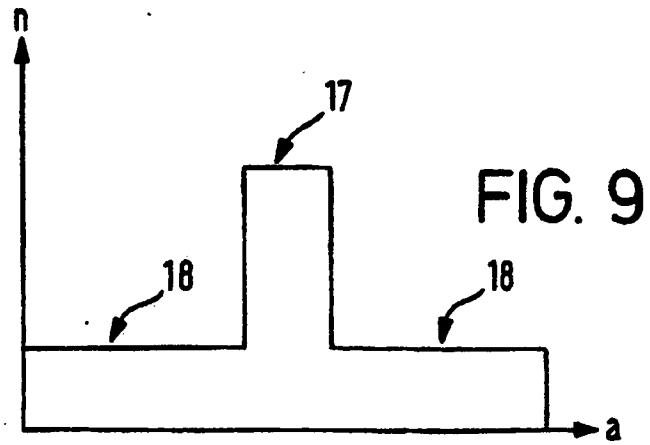
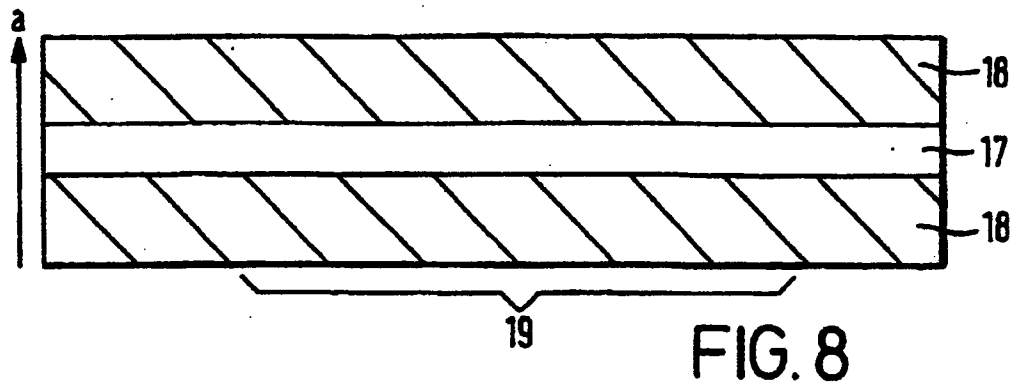


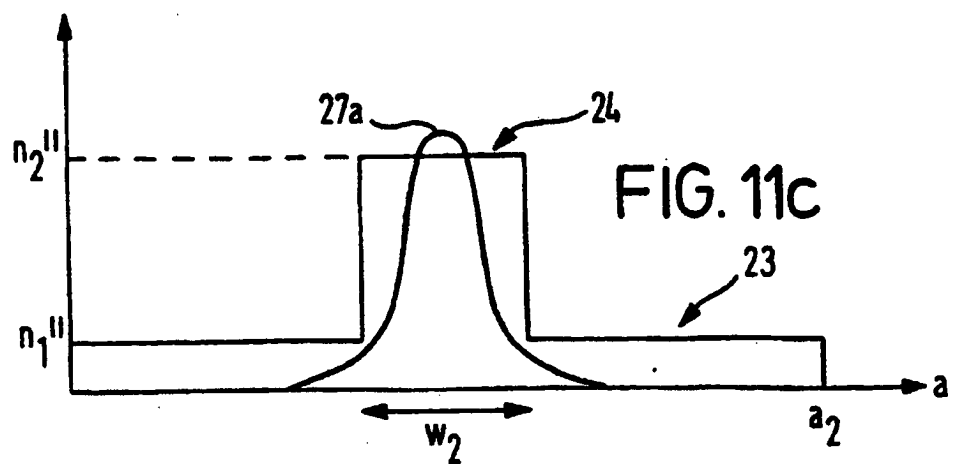
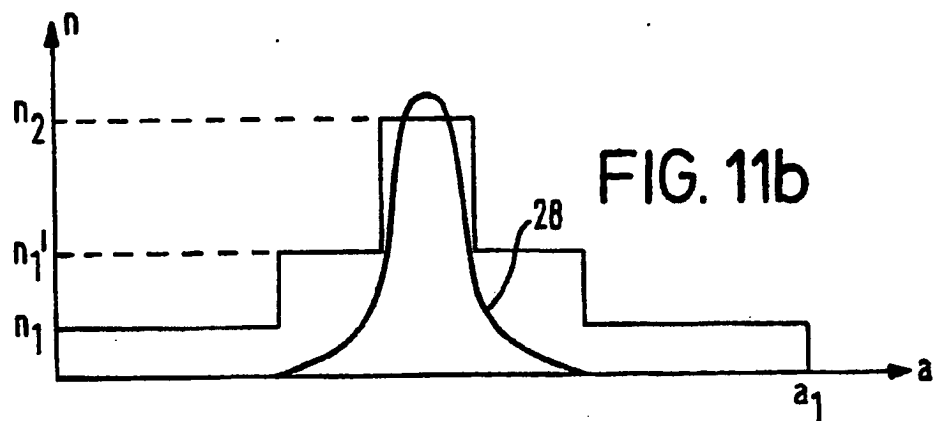
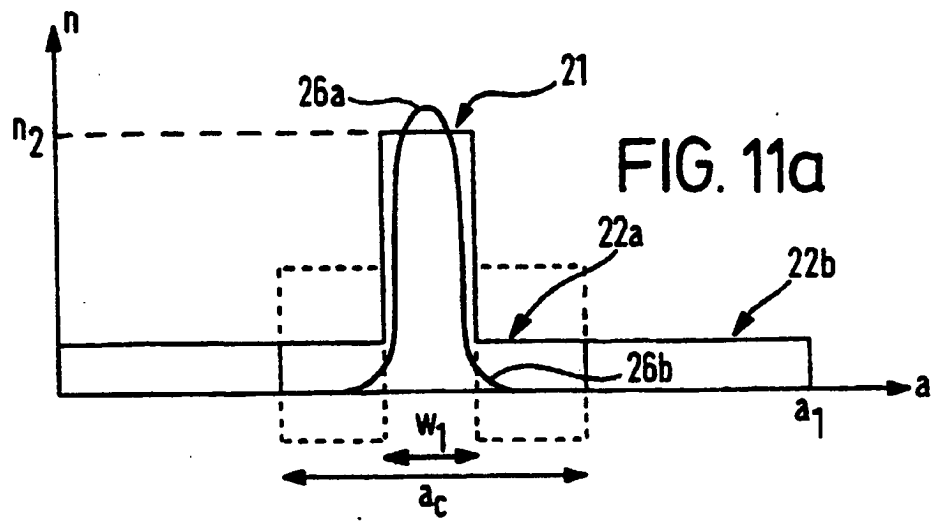
**FIG. 2b**

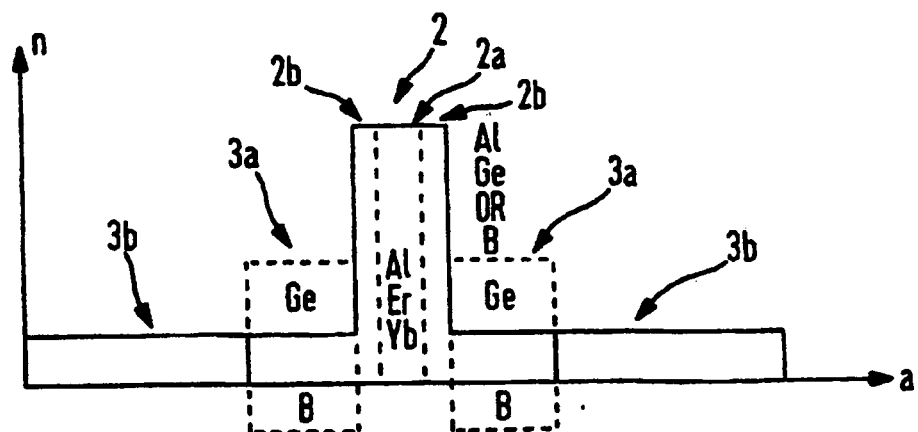
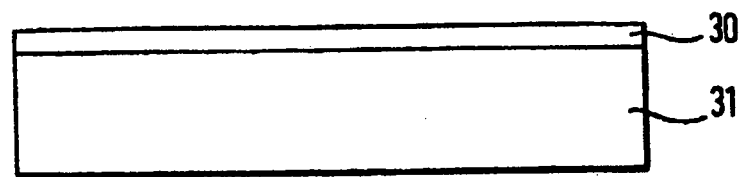
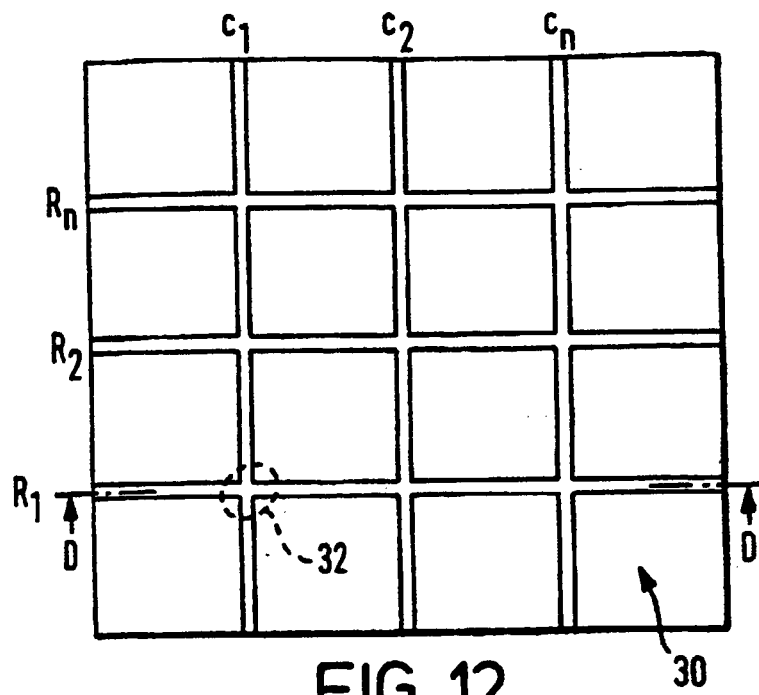


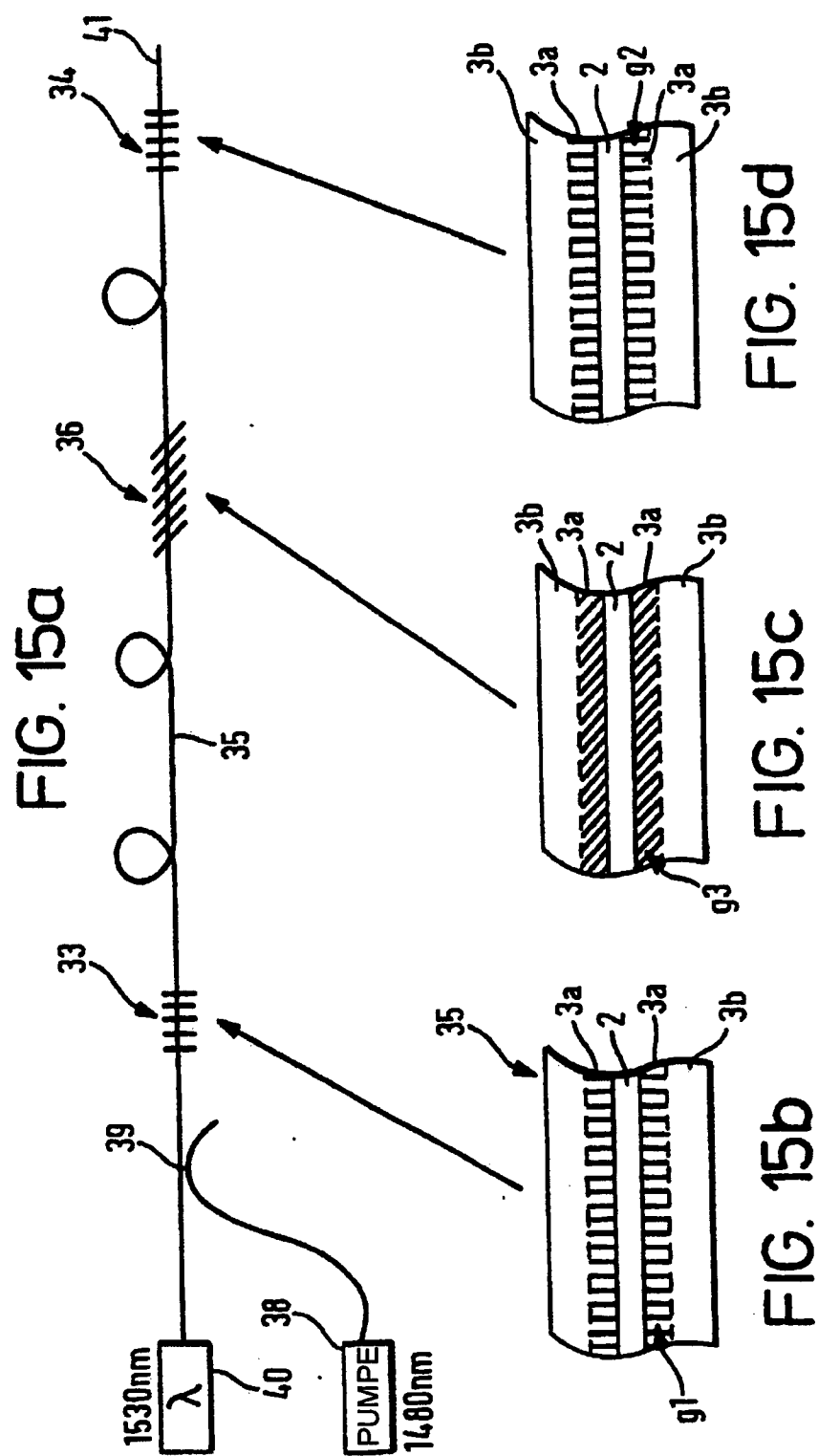












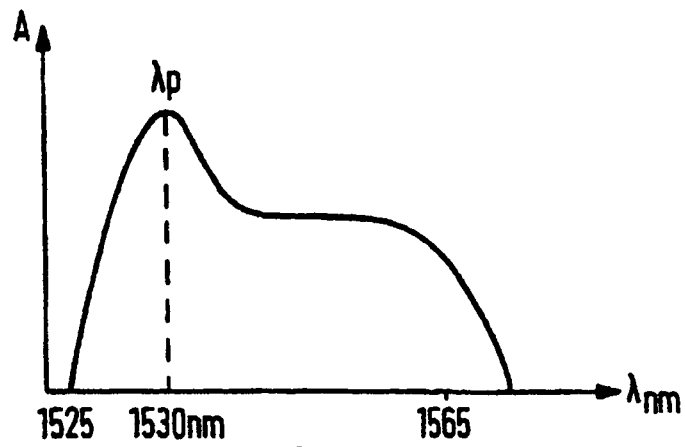


FIG. 16a

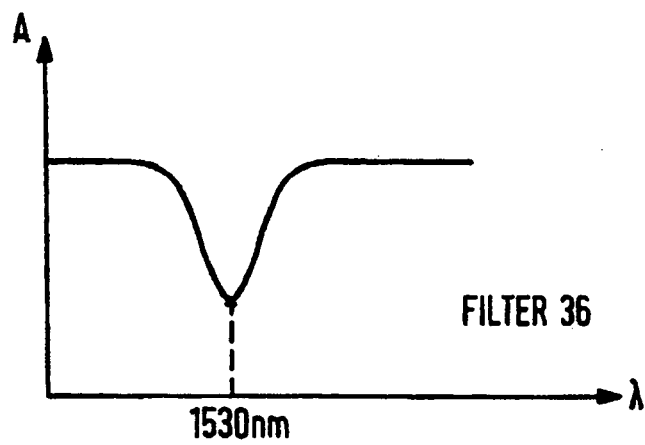


FIG. 16b

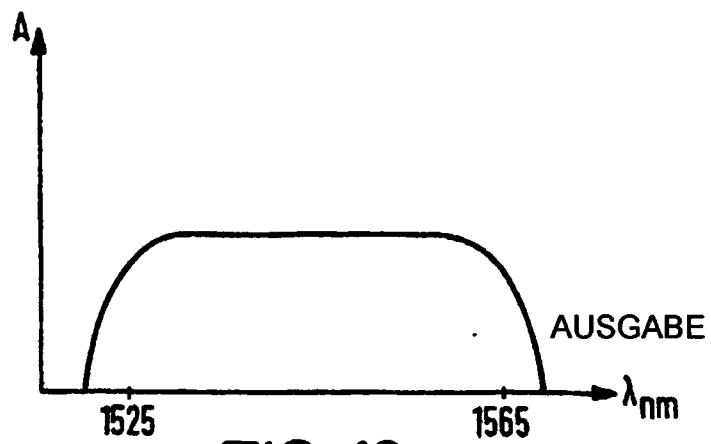


FIG. 16c



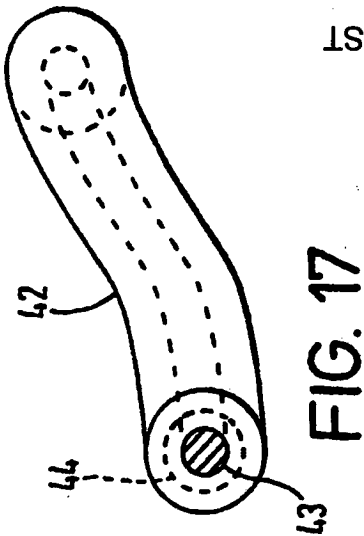


FIG. 17

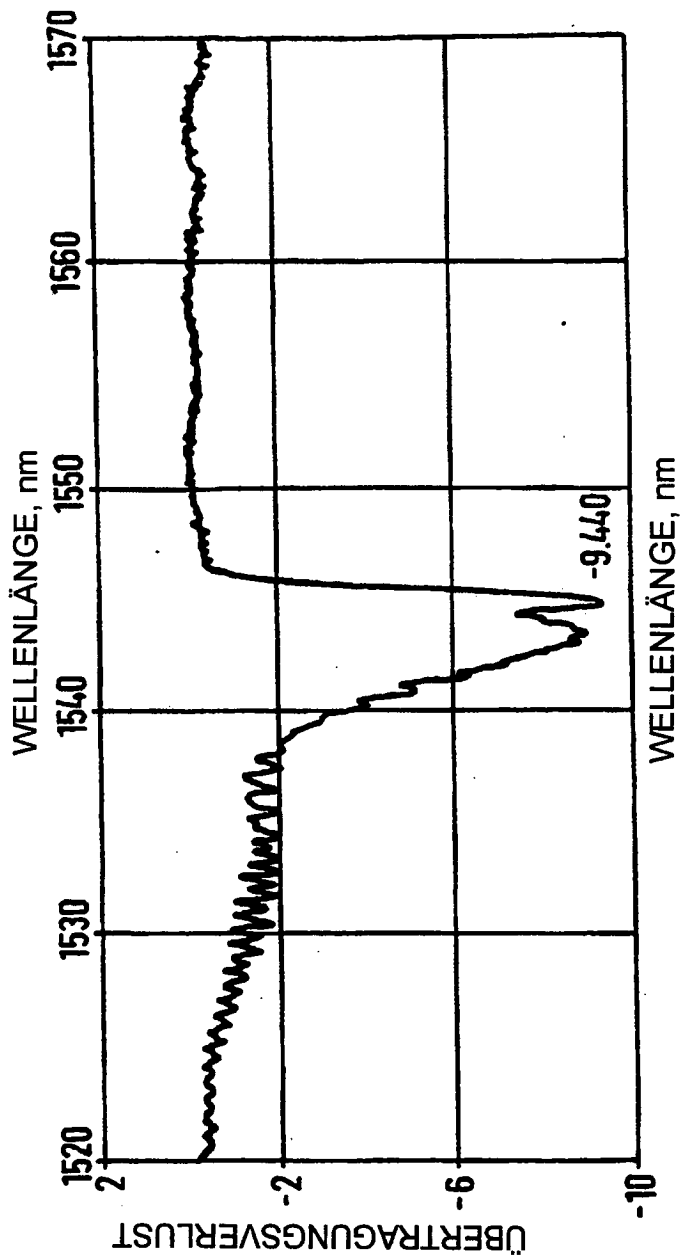


FIG. 18