



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 00 568 T2** 2004.06.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 255 138 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 00 568.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 309 523.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **12.11.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.11.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **06.08.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.06.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G02B 6/22**
G02B 6/16

(30) Unionspriorität:

844643 27.04.2001 US

(73) Patentinhaber:

Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(74) Vertreter:

**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049
Pullach**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Hsu, Lucas, Allentown, Pennsylvania 18104-4515,
US; Peckham, David W., Lawrenceville, Georgia
30044, US; Reed, William A., Summit, New
Jersey 07901, US; Yan, Man Fei, Berkeley Heights,
New Jersey 07922, US**

(54) Bezeichnung: **Optische Faser mit positiver Dispersion und grosser effektiver Fläche**

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

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

Beschreibung**Hintergrund der Erfindung****1. Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine optische Faser mit positiver Dispersion. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf eine Faser mit positiver Dispersion, die verbesserte Übertragungscharakteristika aufweist, einschließlich einer erhöhten Wirkfläche.

2. Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Optische Fasern sind dünne Stränge aus Glas oder Kunststoff, die in der Lage sind, optische Signale, die relativ große Mengen an Informationen enthalten, über lange Entfernungen und mit relativ geringer Dämpfung zu übertragen. In der Regel werden optische Fasern hergestellt, indem ein Abschnitt einer optischen Vorform, die eine Brechkernregion enthält, die von einer aus Glas oder einem anderen geeigneten Material hergestellten Schutzumhüllungsregion umgeben ist, erhitzt und gezogen wird. Aus der Vorform gezogene optische Fasern sind in der Regel durch einen oder mehrere Überzüge, die auf die Umhüllungsregion aufgebracht sind, geschützt.

[0003] Im Rahmen des Bemühens, die Übertragungskapazität optischer Fasern zu verbessern, werden Wellenlängenmultiplex-Systeme (WDM-Systeme, WDM = wavelength division multiplexing) verwendet. Allgemein multiplexieren WDM-Systeme eine Mehrzahl von Informationskanälen auf eine einzelne Faser, wobei jeder Kanal bei einer anderen Wellenlänge arbeitet. Um die Auswirkungen der inhärenten Nichtlinearität einer Interaktion zwischen Kanälen (beispielsweise 4-Photonen-Mischen) zu bekämpfen, umfassen viele WDM-Systemanordnungen eine Dispensionskompensationsanordnung, die eine Faser mit positiver Dispersion enthält, die mit einer (Negativ-)Dispersion-Kompensationsfaser verknüpft ist. Die Faser mit positiver Dispersion weist in der Regel eine Einmodenfaser mit einem geringen Grad an Dispersion auf, um die nichtlinearen Interaktionen zwischen Kanälen zu verringern. Die Dispersion-Kompensationsfaser tendiert dazu, eine negative Dispersion aufzuweisen, um die eingebrachte und auf andere Weise angesammelte Dispersion zu verringern.

[0004] Dispersion-Kompensationsfasern tendieren jedoch dazu, eine höhere Signaldämpfung aufzuweisen als Nicht-Dispersion-Kompensationsfasern. Somit ist wünschenswert, daß die Faser mit positiver Dispersion einen relativ geringen Verlust aufweist, um die Gesamtdämpfung der Dispersion-Kompensationsanordnung zu verringern. Konventionell existieren verlustarme optische Fasern mit positiver Dispersion. Derartige Fasern umfassen beispielsweise die verlustarme Faser mit einem Kern aus reinem Silika von Sumitomo Electric Industries, Ltd. Siehe außerdem z.B. US-Patentschrift Nr. 4,852,968, die eine optische Faser mit einem zusammengesetzten Brechungsindexgraben offenbart.

[0005] Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß viele dieser optischen Fasern Kernregionen aus reinem Silika aufweisen, im Gegensatz zu herkömmlicheren optischen Fasern, deren Kernregionen aus Silika hergestellt sind, das beispielsweise mit Germaniumdioxid (GeO_2) dotiert ist. Optische Fasern, die Kernregionen aus reinem Silika aufweisen, sind in der Regel teurer als Fasern mit GeO_2 -dotierten oder anderen dotierten Kernen, da beispielsweise reines Silika schwieriger und somit teurer zu verarbeiten ist als Ge-dotiertes Silika. Ferner weisen Fasern mit einem Kern aus reinem Silika inhärente Schwierigkeiten auf, die mit dem Mantel mit gesenktem Index verbunden sind, beispielsweise machen die Fehlanpassungseigenschaften des Kerns und des Mantels den Faserziehungsprozeß schwieriger.

[0006] Dementsprechend wäre es wünschenswert, eine optische Faser aufzuweisen, einschließlich einer optischen Faser mit einer positiven Dispersion von ungleich Null, die eine relativ große Wirkfläche aufweist und die die oben erörterten wünschenswerten Übertragungscharakteristika ohne die Herstellungs- und wirtschaftlichen Einschränkungen einer herkömmlichen Faser mit einem Kern aus reinem Silika aufweist.

Zusammenfassung der Erfindung

[0007] Die Erfindung ist in einer optischen Faser mit positiver Dispersion gemäß Anspruch 1 verkörpert. Sie umfaßt eine dotierte Kernregion mit einem Brechungsindex n_1 , eine Mantelregion mit einem Brechungsindex n_2 und eine(n) erste(n) und eine(n) zweite(n) kreisförmige(n) Ring oder Region mit Brechungsindizes n_3 bzw. n_4 , die zwischen der dotierten Kernregion und der Mantelregion gebildet sind. Die verschiedenen Regionen werden derart hergestellt, daß die Bandbreiten des Brechungsindexwertes in Prozent folgendermaßen lauten: $0,14 < (n_1 - n_2)/n_2 < 0,31$; $-0,19 < (n_3 - n_2)/n_2 < -0,02$; und $-0,20 \leq (n_4 - n_2)/n_2 \leq -0,075$. Die Kernregion ist beispielsweise mit Germanium oder einem anderen geeigneten Material dotiert. Die erste und die zweite Region sind beispielsweise mit Fluor oder einem anderen geeigneten Material herunterdotiert. Die Mantelregion ist beispielsweise reines Silika. Eine Faser mit positiver Dispersion gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung weist bei

einer Wellenlänge von 1550 nm eine chromatische Dispersion von mehr als $20 \pm 2,0$ Picosekunden/(Nanometer-Kilometer) mit einer Dispersionsneigung von weniger als $0,062 \text{ ps}/(\text{nm}^2\text{-km})$ auf. Ferner beträgt der Modenfelddurchmesser (MFD – mode field diameter) der Faser zumindest $11,9 \pm 0,7 \text{ }\mu\text{m}$. Ferner weist eine optische Faser gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung eine relativ große effektive Wirkfläche A_{eff} , beispielsweise mehr als $100,0 \text{ }\mu\text{m}^2$, und eine relative Dispersionsneigung (RDS – relative dispersion slope) von weniger als $0,0032 \text{ nm}^{-1}$ auf. Die Herstellung der optischen Faser umfaßt eine Herstellung einer Kernregion mit einer Breite von etwa $6,0 \text{ }\mu\text{m}$ bis etwa $6,4 \text{ }\mu\text{m}$, einer ersten kreisförmigen Region mit einer Breite von etwa $2,0 \text{ }\mu\text{m}$ bis etwa $4,1 \text{ }\mu\text{m}$, und einer zweiten kreisförmigen Region mit einer Breite von etwa $15,0 \text{ }\mu\text{m}$ bis etwa $35,0 \text{ }\mu\text{m}$. Eine optische Faser gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung liefert gewünschte Übertragungscharakteristika wie beispielsweise eine relativ große effektive Wirkfläche und einen relativ geringen Übertragungsverlust bei gewünschten Frequenzen (beispielsweise 1550 nm), ohne die Herstellungs- und wirtschaftlichen Einschränkungen herkömmlicher Fasern aufzuweisen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0008] In den Zeichnungen sind:

[0009] **Fig. 1** eine perspektivische Ansicht einer beschichteten optischen Faser;

[0010] **Fig. 2** ein graphisches Diagramm der gesamten chromatischen Dispersion einer dispersionsabgeflachten optischen Faser, als Funktion der Wellenlänge, das ihre Materialdispersions- und Wellenleiterdispersionskomponenten zeigt;

[0011] **Fig. 3a** eine Querschnittsansicht einer unbeschichteten herkömmlichen optischen Faser, die mehrere Schichten von Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindizes zeigt;

[0012] **Fig. 3b** ein graphisches Diagramm eines Brechungsindexprofils der in **Fig. 3a** gezeigten optischen Faser;

[0013] **Fig. 4a** eine Querschnittsansicht einer weiteren unbeschichteten herkömmlichen optischen Faser, die mehrere Schichten von Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex zeigt;

[0014] **Fig. 4b** ein graphisches Diagramm eines Brechungsindexprofils der in **Fig. 4a** gezeigten optischen Faser;

[0015] **Fig. 5a** eine Querschnittsansicht einer optischen Faser gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung, die mehrere Schichten von Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex zeigt;

[0016] **Fig. 5b** ein graphisches Diagramm eines Brechungsindexprofils der in **Fig. 5a** gezeigten optischen Faser;

[0017] **Fig. 6a** eine Querschnittsansicht einer optischen Faser gemäß weiteren Ausführungsbeispielen der Erfindung, die mehrere Schichten von Materialien mit unterschiedlichem Brechungsindex zeigt;

[0018] **Fig. 6b** ein graphisches Diagramm eines Brechungsindexprofils der in **Fig. 6a** gezeigten optischen Faser; und

[0019] **Fig. 7** ein vereinfachtes schematisches Diagramm eines optischen Systems, bei dem Ausführungsbeispiele der Erfindung nützlich sind.

Ausführliche Beschreibung

[0020] Im Handel durchsetzungsfähige optische Fasern beinhalten die Zusammenwirkung zahlreicher Faserentwurfsüberlegungen. Allgemein ist es wünschenswert, daß der Faserübertragungsverlust gering ist; daß die Faser in der Lage ist, ein bescheidenes Maß an Durchbiegung zu tolerieren, ohne einen übermäßigen Verlust zu erleiden; daß die Faser über einen gegebenen Wellenlängenbereich eine gewisse Dispersion aufweist; daß die Dispersionsneigung relativ gering ist; und daß die Faser eine Grenzwellenlänge aufweist, die für eine Einmodenübertragung bei der Systemwellenlänge geeignet ist.

[0021] Obwohl qualitativ hochwertige Glasmaterialien entwickelt wurden, die einen geringen Übertragungsverlust liefern, ist qualitativ hochwertiges Glas allein nicht ausreichend, um alle wünschenswerten Merkmale von im Handel durchsetzungsfähigen optischen Fasern zu erfüllen.

[0022] Viele wünschenswerte Merkmale werden beispielsweise durch das Brechungsindexprofil der Faser adressiert, das zeigt, wie der Brechungsindex der Faser als Funktion der Entfernung von ihrer Mittelachse variiert. Parameter, die zum Beschreiben des Brechungsindexprofils verwendet werden, nehmen allgemein auf den Brechungsindex der äußersten Glasschicht Bezug. Idealisierte Modelle eines Brechungsindexprofils weisen in der Regel axial symmetrische Ringe oder Regionen eines unterschiedlichen Brechungsindex auf. Ein Verändern der Anzahl, Größe und/oder Gestalt einer jeglichen dieser Regionen wirkt sich jedoch im allgemeinen auf mehr als eine Charakteristik der Faser aus (beispielsweise wird die Dispersionsneigung verringert, der Übertragungsverlust jedoch erhöht). Somit besteht eine beträchtliche Entwurfsanstrengung darin, ein Brechungsindexprofil zu erzeugen, das die meisten, wenn nicht alle, der gewünschten Merkmale liefert und trotzdem ohne weiteres herstellbar ist.

[0023] Die Bandbreite optischer Fasern wird von vielen Faktoren beeinflusst, einschließlich der Dispersion. Bei einer Mehrmodenfaser ergibt sich beispielsweise eine modale Dispersion, wenn Lichtpulse, die in ein Ende der Faser eintreten, ausgebreitet werden, wenn sie aus dem anderen Ende der Faser austreten. Eine modale Dispersion findet statt, weil eine Mehrmodenfaser viele verschiedene Moden (Pfade) einer bestimmten Wellenlänge unterstützt, und wenn die unterschiedlichen Moden an dem anderen Ende der Faser kombiniert werden, ist das Nettoergebnis ein Ausbreiten des eingegebenen Pulses. In der Regel ist eine modale Dispersion nicht wünschenswert. Ferner bedeutet der Begriff Dispersion in der Regel eine chromatische oder „lineare“ Dispersion. Herkömmlicherweise ist das Vorzeichen der Dispersion positiv, wenn eine kurzwellige Strahlung eine größere Geschwindigkeit aufweist als eine langwellige Strahlung.

[0024] Eine Einmodenfaser ist eine optische Faser, die entworfen ist, um lediglich den Grundmode (LP_{01}) einer bestimmten Wellenlänge zu unterstützen. Eine Einmodenfaser, die eine viel größere Bandbreite aufweist als eine Mehrmodenfaser, überträgt optische Signale bei proportional höheren Übertragungsraten. Trotzdem verhält sich eine Einmodenfaser bei Wellenlängen, die kürzer sind als die LP_{11} -Grenzwellenlänge, die durch den Kernradius (a), den Brechungsindex (n) und den Brechungsindexunterschied (Δ) zwischen Kern und Mantel ermittelt wird, als ob sie eine Mehrmodenfaser wäre. Mit abnehmendem Δ und a breiten sich bei Wellenlängen, die länger sind als die LP_{11} -Grenzwellenlänge, immer weniger Moden aus, bis sich lediglich ein Mode ausbreitet. Dementsprechend muß die LP_{11} -Grenzwellenlänge um einen geeigneten Betrag kürzer sein als die zu übertragenden Wellenlängen.

[0025] Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** ist eine beschichtete optische Faser **10** gezeigt, beispielsweise eine optische Faser, bei der Ausführungsbeispiele der Erfindung im Zusammenhang mit derselben nützlich sind. Die optische Faser **10** umfaßt eine lichtführende Kernregion **12** und eine Mantelregion **14**, die die Kernregion **12** umgibt. Die Kernregion **12** und die Mantelregion **14** sind allgemein aus Glas hergestellt und sind in der Regel aus einer Glasvorform gezogen, wie oben erörtert wurde.

[0026] Der Durchmesser der Kernregion **12** beträgt bei einer Einmodenfaser etwa 5–8 μm und bei einer Mehrmodenfaser etwa 50 oder 62,5 μm . Obwohl der Durchmesser der Kernregion **12** abhängig davon, ob die Faser eine Einmoden- oder eine Mehrmodenfaser ist, variiert, beträgt der Gesamtdurchmesser der Mantelregion **14**, die die Kernregion **12** umgibt, in der Regel etwa 125 μm .

[0027] Zum Zweck des Schutzes und der Stärke ist die Mantelregion **14** mit einem oder mehreren Überzügen bedeckt, beispielsweise einer primären Überzugsschicht **16** und einer sekundären Überzugsschicht **18**, was in der Regel zu einem Gesamtaußendurchmesser von etwa 250 bis 1000 μm führt. Die sekundäre Überzugsschicht **18** weist allgemein ein relativ hohes Modul auf, beispielsweise 10^9 Pascal (Pa), um einem Handhaben standzuhalten. Die primäre Überzugsschicht **16** weist ein relativ niedriges Modul auf, beispielsweise 10^6 Pa, um einen Puffer zu liefern, der Mikrokrümmungsverluste verringert.

[0028] Unter Bezugnahme auf **Fig. 2** ist schematisch die chromatische Dispersion einer optischen Faser dargestellt, beispielsweise der in **Fig. 1** gezeigten optischen Faser **10**. Insbesondere zeigt **Fig. 2** graphisch, wie durch die additive Kombination einer Materialdispersion **21** und einer Wellenleiterdispersion **22** eine gesamt-dispersionsabgeflachte Charakteristik **23** erzeugt wird. Dispersionsabgeflachte Fasern weisen bei zwei Wellenlängen, beispielsweise bei 1400 nm und 1700 nm, allgemein eine Nulldispersion auf.

[0029] Die Materialdispersion **21** ist dem eigentlichen Material, das beim Herstellen der optischen Faser verwendet wird, intrinsisch zugeordnet. Bei **Fig. 2** ist die Materialdispersion **21** Silikaglas zugeordnet. Die Wellenleiterdispersion **22** ist eine Funktion des Brechungsindexprofils der Faser. Im Gegensatz zu der Materialdispersion wird die Wellenleiterdispersion innerhalb bestimmter Grenzen durch den Konstrukteur beeinflusst. Das jeweilige Brechungsindexprofil, das die gesamt-dispersionsabgeflachte Charakteristik **23** ergibt, wurde bisher bei dem Entwurf von dispersionsabgeflachten Fasern verwendet, bei denen die chromatische Dispersion über die breite Wellenlängenregion, die sich von 1400 bis 1700 nm erstreckt, verringert ist.

[0030] Unter Bezugnahme auf **Fig. 3a** ist ein Querschnitt einer unbeschichteten Glasfaser **30** gezeigt, der eine Anordnung einer Mehrzahl von Schichten **31**, **32**, **33**, **34** zeigt, die jeweils einen anderen Brechungsindex zum Modifizieren der Wellenleiterdispersionscharakteristik der Faser **30** aufweisen. Obwohl die Schichten **31** bis **34** nahelegen, daß Änderungen des Brechungsindizes zwischen Schichten abrupt sind, ist dies nicht unbedingt der Fall. In der Regel werden allmähliche Indexänderungen zwischen benachbarten Schichten verwendet, Fasern mit gradiertem Index führt. Um jedoch ein Verständnis von Ausführungsbeispielen der Erfindung zu erleichtern, sind abrupte Änderungen gezeigt. Es versteht sich, daß Ausführungsbeispiele der Erfindung Fasern mit gradiertem Index betrachten.

[0031] Die optische Faser **30** weist eine mittige Kernregion **31** auf, deren Brechungsindex nominell n_1 beträgt. Die mittige Kernregion **31** ist von einem ersten kreisförmigen Ring bzw. einer ersten kreisförmigen Region **32** umgeben, der bzw. die einen Nennbrechungsindex n_3 aufweist. Die erste Region **32** ist von einem bzw. einer kreisförmigen Ring bzw. Region **33** umgeben, der bzw. die einen Nennbrechungsindex n_4 aufweist. Ein weiterer Mantel **34** eines Nennbrechungsindex n_2 umgibt die zweite Region **33**. Es sei darauf hingewiesen, daß **Fig. 3a** nicht maßstabsgetreu gezeichnet ist (der Durchmesser der Mantelschicht **34** beträgt etwa 125 μm , während der Durchmesser der Kernregion **31** bei einer Einmodenfaser beispielsweise 8 μm beträgt).

[0032] Unter Bezugnahme auf **Fig. 3b** ist ein Brechungsindexprofil gezeigt, beispielsweise das Brechungsindexprofil einer Faser, die eine Anordnung aufweist, die der in **Fig. 3a** gezeigten Faser **30** entspricht. Statt das Brechungsindexprofil unter Verwendung der tatsächlichen Werte des Brechungsindex graphisch darzustellen, ist es zweckmäßig und herkömmlich, das Brechungsindexprofil als Funktion normierter Brechungsindexdifferenzen Δ_1 , Δ_2 und Δ_3 zu zeigen, die wie folgt definiert sind: $\Delta_1 \approx (n_1 - n_2)/n_2 \times 100$, $\Delta_2 \approx (n_3 - n_2)/n_2 \times 100\%$ und $\Delta_3 \approx (n_4 - n_2)/n_2 \times 100\%$. Bezüglich des Brechungsindexprofils weist die der ersten Region **32** in

[0033] **Fig. 3a** entsprechende Fläche einen Außenradius a_2 und einen Innenradius a_1 auf. Die der zweiten Region **33** entsprechende Fläche weist einen Außenradius a_3 und einen Innenradius a_2 auf. Bei dieser bestimmten herkömmlichen Anordnung gilt: $\Delta_1 = 0,65\%$, $\Delta_2 = -0,25\%$ und $\Delta_3 = 0,10\%$. Bei dieser bestimmten Anordnung gilt ferner: $a_1 = 3,4 \mu\text{m}$, $a_2 = 5,2 \mu\text{m}$ und $a_3 = 7,2 \mu\text{m}$. Somit beträgt die Breite der ersten Region **32** $1,8 \mu\text{m}$ ($5,2 \mu\text{m} - 3,4 \mu\text{m}$), und die Breite der zweiten Region **33** beträgt $2,0 \mu\text{m}$ ($7,2 \mu\text{m} - 5,2 \mu\text{m}$).

[0034] Das in **Fig. 3b** gezeigte Brechungsindexprofil weist in der Regel einen mit Germanium oder einem anderen geeigneten Material dotierten Silikakern, eine(n) erste(n) kreisförmige(n) Ring oder Region, der bzw. die mit Fluor oder einem anderen geeigneten Material dotiert ist, eine(n) zweite(n) kreisförmige(n) Ring oder Region, der bzw. die mit Germanium oder einem anderen geeigneten Material dotiert ist, und einen Außenmantel aus reinem Silika auf. In der Regel erhöht ein Dotieren von Silika mit Germanium oder einem ähnlichen Material den Brechungsindex des sich ergebenden dotierten Materials, und ein Dotieren von Silika mit Fluor oder einem ähnlichen Material verringert den Brechungsindex des sich ergebenden dotierten Materials.

[0035] Obwohl der Silikakern in **Fig. 3b** in der Regel beispielsweise eine mit Germanium dotierte Region ist, ist es möglich, daß die Kernregion einer optischen Faser aus reinem Silika hergestellt ist, wobei die erste und die zweite kreisförmige Region und die Mantelregion Pegel verringerter Brechungsindizes aufweisen, beispielsweise durch die Verwendung unterschiedlicher Dotierungspegel von Fluor oder einem anderen geeigneten Material. Unter Bezugnahme auf **Fig. 4a-b** sind beispielsweise eine Querschnittsansicht (**Fig. 4a**) und ein entsprechendes Brechungsindexprofil (**Fig. 4b**) einer unbeschichteten Glasfaser **40** gezeigt, beispielsweise der Faser mit einem Kern aus reinem Silika von Sumitomo Electric Industries, Ltd. Bei dieser herkömmlichen Anordnung umfaßt die optische Faser **40** eine mittige Kernregion **41** mit einem Brechungsindex n_1 , die von einem ersten kreisförmigen Ring **42** mit einem Nennbrechungsindex n_3 umgeben ist. Der erste kreisförmige Ring **42** ist von einem zweiten kreisförmigen Ring **43** umgeben, der einen Nennbrechungsindex n_4 aufweist. Der zweite kreisförmige Ring **43** ist von einem äußeren Mantel **44** umgeben, der einen Nennbrechungsindex n_2 aufweist. Insbesondere sind bei dieser spezifischen Anordnung die Werte von n_1 , n_2 , n_3 und n_4 derart, daß $\Delta_1 = 0,26\%$ und $\Delta_2 = 0,08$. Ferner beträgt das Verhältnis von b_2 zu b_1 $2,5$.

[0036] Obwohl viele herkömmliche Optische-Faser-Indexprofile ein herkömmliches Kernprofil aufweisen, das einen mit Germanium dotierten Silikakern, eine oder mehrere mit Fluor dotierte Zwischenschichten und einen äußeren Mantel aus reinem Silika aufweist, weist das Indexprofil der in **Fig. 4a bis 4b** gezeigten Sumitomo-Faser einen Kern aus reinem Silika, eine mit Fluor dotierte Zwischenschicht und einen mit Fluor dotierten äußeren Mantel auf. Der Brechungsindex der Zwischenschicht (n_3) ist geringer als der Brechungsindex des äußeren Mantels (n_2), und somit ist die Zwischenschicht stärker mit Fluor dotiert als der äußere Mantel. Wie jedoch zuvor erörtert wurde, weisen optische Fasern mit Kernen aus reinem Silika eine Reihe von Nachteilen auf. Beispielsweise ist reines Silika schwieriger und somit kostspieliger zu verarbeiten als dotiertes Silika. Ferner ist ein Herstellen des mit Fluor dotierten Mantels schwieriger. Beispielsweise sind RIT-Ummantelungsröhren (RIT = rod in tube = Stabrohrverfahren), die mit Fasern mit reinem Silikakern kompatibel sind, schwieriger herzustellen und/oder zu erhalten und somit kostspieliger. Das heißt, daß Außenummantelungsröhren, die mit Fluor oder einem anderen geeigneten Material (herunter) dotiert sind, schwieriger zu erhalten sind als beispielsweise die außen mit reinem Silika ummantelten Röhren, die bei herkömmlicheren, mit Germanium dotierten Silikakernen verwendet werden.

[0037] Unter Bezugnahme auf **Fig. 5a bis 5b** sind eine Querschnittsansicht (**Fig. 5a**) und ein entsprechendes Brechungsindexprofil (**5b**) einer optischen Faser **50** gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung gezeigt. Das erfindungsgemäße Profil weist eine Kernregion **51** aus dotiertem Silika auf, eine(n) erste(n) kreisförmige(n) Ring oder Region **52**, der bzw. die einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als der der Kernregion, eine(n) zweite(n) kreisförmige(n) Ring oder Region **53**, der bzw. die einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als der der ersten Region, und einen Außenmantel **54**, der einen Brechungsindex aufweist, der höher ist als der der ersten und der zweiten Region, jedoch geringer ist als der der Kernregion. Die erste Region (kreisförmiger Ring) weist einen Außenradius c_2 und einen Innenradius c_1 auf. Die zweite Region (kreisförmiger Ring) weist einen Außenradius c_3 und einen Innenradius c_2 auf. Beispielsweise spiegelt das Faserprofil eine Anordnung wider, die einen mit Germanium dotierten Silikakern, eine die Kernregion umgebende erste mit Fluor dotierte Region und eine die erste Region umgebende mit Fluor dotierte zweite Region sowie einen die zweite Region umgebenden Außenummantel aus reinem Silika aufweist. Alternativ dazu ist die Kernregion mit Germanium oder Fluor oder mit anderen geeigneten Ko-Dotierungsmitteln kodotiert. Ferner ist alternativ eine oder mehrere der ersten und zweiten Regionen mit Germanium und Fluor oder mit anderen geeigneten Ko-Dotierungsmitteln kodotiert.

[0038] Gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung liefert das erfindungsgemäße Brechungsindexprofil eine optische Faser mit positiver Dispersion, die eine relativ große effektive Übertragungsfläche aufweist (das heißt effektive Kernfläche, A_{eff}) und Übertragungscharakteristika aufweist, die zumindest so wünschenswert sind wie die von herkömmlichen Fasern, die jedoch nicht die Nachteile von herkömmlichen Fasern aufweisen, wie sie beispielsweise oben erörtert wurden. Gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung gilt beispielsweise $\Delta_1 = 0,303\%$, $\Delta_2 = -0,026\%$ und $\Delta_3 = -0,075\%$, wie in **Fig. 5a** gezeigt ist. Bei dieser besonderen Anordnung gilt ferner: $c_1 = 6,343 \mu\text{m}$, $c_2 = 8,343 \mu\text{m}$ und $c_3 = 23,343 \mu\text{m}$. Somit beträgt die Breite des ersten kreisförmigen Rings $2.000 \mu\text{m}$ ($8,343 \mu\text{m} - 6,343 \mu\text{m}$), und die Breite des zweiten kreisförmigen Rings beträgt $15 \mu\text{m}$ ($23,343 \mu\text{m} - 8,343 \mu\text{m}$).

[0039] Unter Bezugnahme auf **Fig. 6a** bis **6b** ist eine Querschnittsansicht (**Fig. 6a**) und ein entsprechendes Brechungsindexprofil (**Fig. 6b**) des Brechungsindexprofils einer optischen Faser **55** gemäß anderen Ausführungsbeispielen der Erfindung gezeigt. Wie die Profile der zuvor erörterten Ausführungsbeispiele der Erfindung weist auch das in **Fig. 6a** bis **6b** gezeigte Faserprofil einen Kern **56** aus dotiertem Silika, eine erste Region **57** mit einem Brechungsindex, der geringer ist als der der Kernregion, eine zweite Region **58** mit einem Brechungsindex, der geringer ist als der der ersten Region, und einen äußeren Mantel **59** mit einem Brechungsindex, der größer ist als der der ersten und der zweiten Region, und der geringer ist als der der Kernregion, auf. Ferner weist die erste Region **57** einen Außenradius d_2 und einen Innenradius d_1 auf. Die zweite Region **58** weist einen Außenradius d_3 und einen Innenradius d_2 auf. Wie in **Fig. 5b** gezeigt ist, gilt $\Delta_1 = 0,148\%$, $\Delta_2 = -0,187\%$ und $\Delta_3 = -0,200\%$. Bei dieser bestimmten Anordnung gilt ferner $d_1 = 6,00 \mu\text{m}$, $d_2 = 10,013 \mu\text{m}$ und $d_3 = 29,013 \mu\text{m}$. Demnach beträgt die Breite der ersten Region $4,013 \mu\text{m}$ ($10,013 \mu\text{m} - 6,00 \mu\text{m}$), und die Breite der zweiten Region beträgt $19,000 \mu\text{m}$ ($29,013 \mu\text{m} - 10,013 \mu\text{m}$).

[0040] Obwohl die vorherigen Erläuterungen von Ausführungsbeispielen der Erfindung spezifische Werte offenbaren, sei angemerkt, daß, gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung, die beschriebenen Faserqualitäten über eine Bandbreite von Werten für Δ_1 , Δ_2 und Δ_3 erhalten werden können, wobei:

$$0,14\% < \Delta_1 < 0,31\%;$$

$$-0,19\% < \Delta_2 < -0,02\%; \text{ und}$$

$$-0,20\% \leq \Delta_3 \leq -0,075\%.$$

[0041] Auf diese Weise beträgt der Radius der Kernregion ferner beispielsweise zwischen etwa $6,0 \mu\text{m}$ und etwa $6,4 \mu\text{m}$, beträgt die Breite der ersten Region zwischen etwa $2,0 \mu\text{m}$ und etwa $4,1 \mu\text{m}$, und beträgt die Breite der zweiten Region zwischen etwa $15,0 \mu\text{m}$ und etwa $35,0 \mu\text{m}$. Somit liegt der Wert von c_1 und/oder d_1 zwischen etwa $6,0 \mu\text{m}$ und etwa $6,4 \mu\text{m}$, liegt der Wert von c_2 und/oder d_2 zwischen etwa $8,0 \mu\text{m}$ und etwa $10,5 \mu\text{m}$, und liegt der Wert von c_3 und/oder d_3 zwischen etwa $23,0 \mu\text{m}$ und etwa $45,5 \mu\text{m}$.

[0042] Faseranordnungen gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung weisen eine chromatische Dispersion auf, die bei einer Wellenlänge von 1550 nm einen Betrag, der größer als $20 \pm 0,2 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ ist, und eine Dispersionsneigung von weniger als $0,062 \text{ ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km})$ aufweist. Überdies weisen derartige Faseranordnungen bei einer Wellenlänge von 1550 nm einen Modenfelddurchmesser (MFD) von zumindest etwa $11,9 \pm 0,7 \mu\text{m}$ auf, und die effektive Kernfläche, A_{eff} , ist bei einer Wellenlänge von 1550 nm größer als $100 \mu\text{m}^2$ (beispielsweise $106 \mu\text{m}^2$). Ferner beträgt die relative Dispersionsneigung (RDS), die die Dispersionsneigung (bei 1550 nm) geteilt durch die Dispersion (bei 1550 nm) ist, weniger als $0,0032 \text{ nm}^{-1}$.

[0043] Eine Spezifizierungstabelle für eine optische Faser mit positiver Dispersion gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung wurde entwickelt. Die Tabelle soll jedoch nicht die gesamte Bandbreite von akzeptablen Fasern definieren, und ist lediglich zu Veranschaulichungszwecken dargestellt.

VERANSCHAULICHENDE FASERSPEZIFIKATIONSTABELLE

Effektive Kernfläche

$$(A_{\text{eff}}) > 100 \mu\text{m}^2 \text{ (Durchschnitt)}$$

$$\text{Dispersion bei } 1550 \text{ nm } 20 \pm 0,2 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$$

$$\text{Dispersionsneigung } < 0,062 \text{ ps}/(\text{nm}^2\cdot\text{km}) \text{ (Durchschnitt)}$$

Relative Dispersions-

$$\text{neigung (RDS)} < 0,0032 \text{ nm}^{-1} \text{ (Durchschnitt)}$$

Dämpfung bei 1550 nm	$\leq 0,192$ dB/km (Durchschnitt)
Modenfelddurchmesser (MFD)	$\geq 11,9 \pm 0,7$ μm (1550 nm)
Grenzwellenlänge (λ_c)	< 1530 nm (2m Referenzlänge)
Makrokrümmung	$< 0,45$ dB/km (16 mm) $< 0,033$ dB bei 1550 nm (1 Windung, 20 mm)
Mikrokrümmung	$< 0,043$ dB/km $< 0,001$ dB bei 1550 nm (100 Windungen, 50 mm)

[0044] Unter Bezugnahme auf **Fig. 7** ist ein vereinfachtes schematisches Diagramm eines optischen Systems **60** gezeigt, bei dem Ausführungsbeispiele der Erfindung nützlich sind. Das optische Kommunikationssystem **60** umfaßt eine oder mehrere optische Quellen oder Sender **62**, die Wellenlängen modulieren, beispielsweise in der Region von 1530 bis 1565 nm, mit unterschiedlichen Basisbandsignalen. Die modulierten Wellenlängen werden beispielsweise über einen Multiplexer **63** oder einen anderen geeigneten Koppler kombiniert und in eine Faserübertragungsleitungskombination **64_a** bis **64_b** eingebracht, die beispielsweise einen optischen Verstärker **66** zwischen denselben umfaßt. Die Faserübertragungsleitungskombination **64_a** bis **64_b** weist beispielsweise eine Dispersionskompensationsanordnung auf, die eine Faser mit positiver Dispersion wie beispielsweise die optische Faser gemäß Ausführungsbeispielen der Erfindung (beispielsweise Faserübertragungsleitung **64_a**) und eine Dispersionskompensationsfaser (beispielsweise Faserübertragungsleitung **64_b**) umfaßt. An dem Empfängerende werden die übertragenen optischen Kanäle beispielsweise durch einen Demultiplexer **67** gemäß ihren Wellenlängen geteilt und durch Empfänger **68** verarbeitet, um die individuellen Basisbandsignale zu extrahieren.

[0045] Fachleute werden erkennen, daß an den hierin beschriebenen Ausführungsbeispielen der optischen Fasern viele Änderungen und Ersetzungen vorgenommen werden können, ohne von den beigefügten Patentansprüchen abzuweichen. Derartige Änderungen und Ersetzungen umfassen Brechungsindexprofile, die zwischen benachbarten Schichten allmählich abnehmen (beispielsweise Gradierte-Index-Profile), Variationen bezüglich der Breite der Schichten, die Verwendung unterschiedlicher Dotierungsmaterialien, um dieselben allgemeinen Profilgestalten zu erzielen, und die Verwendung von Kunststoffmaterialien (statt Glas) beim Herstellen der optischen Faser, sind aber nicht auf dieselben beschränkt. Ferner sei angemerkt, daß bei vielen praktischen Fasern in der Mitte der Faser aufgrund des Herstellungsprozesses, der beim Herstellen der Faser verwendet wird, eine Indexvertiefung vorliegt. Es versteht sich, daß, obwohl manche Figuren hierin idealisierte Profile zeigen, Ausführungsbeispiele der Erfindung derartige mittige Vertiefungen in Betracht ziehen.

Patentansprüche

1. Eine optische Faser (**50, 55**) mit positiver Dispersion, die eine erhöhte Wirkfläche aufweist, mit folgenden Merkmalen:

einer dotierten Kernregion (**51, 56**), die einen Brechungsindex n_1 aufweist;

einer Umhüllungsregion (**54, 59**), die einen Brechungsindex n_2 aufweist;

einer ersten Region (**52, 57**) zwischen der dotierten Kernregion und der Umhüllungsregion und direkt benachbart zu der dotierten Kernregion, wobei die erste Region einen Brechungsindex n_3 aufweist; und

einer zweiten Region (**53, 58**) zwischen der dotierten Kernregion und der Umhüllungsregion und direkt benachbart zu der ersten Region und der Umhüllungsregion, wobei die zweite Region einen Brechungsindex n_4 aufweist, der geringer ist als der der ersten Region,

dadurch gekennzeichnet, daß

$0,14\% < (n_1 - n_2)/n_2 < 0,31\%$, $-0,19\% < (n_3 - n_2)/n_2 < 0,02\%$ und $-0,20\% \leq (n_4 - n_2)/n_2 \leq -0,075\%$,

der Radius der dotierten Kernregion im Bereich von ungefähr 6,0 μm bis ungefähr 6,4 μm liegt,

die Breite der ersten Region im Bereich von ungefähr 2,0 μm bis ungefähr 4,1 μm liegt und

die Breite der zweiten Region im Bereich von ungefähr 15,0 μm bis ungefähr 35,0 μm liegt.

2. Die Faser gemäß Anspruch 1, wobei die optische Faser eine chromatische Dispersion mit einer Größe aufweist, die bei einer Wellenlänge von 1550 nm größer ist als $20 \pm 2,0$ ps/(nm-km).

3. Die Faser gemäß Anspruch 1, wobei die optische Faser eine Dispersionsneigung aufweist, die bei einer

Wellenlänge von 1550 nm geringer ist als 0,062 ps/(nm²-km).

4. Die Faser gemäß Anspruch 1, wobei die optische Faser einen Modenfelddurchmesser aufweist, der bei einer Wellenlänge von 1550 nm größer ist als 11,64 μm .

5. Die Faser gemäß Anspruch 1, wobei die optische Faser bei einer Wellenlänge von 1550 nm eine effektive Kernfläche A_{eff} von mehr als 100,0 μm^2 aufweist.

6. Die Faser gemäß Anspruch 1, die ferner zumindest eine Überzugsschicht aufweist, die um die zweite Umhüllungsregion gebildet ist.

7. Die Faser gemäß Anspruch 1, wobei die optische Faser eine relative Dispersionsneigung von weniger als 0,00310 nm⁻¹ aufweist .

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

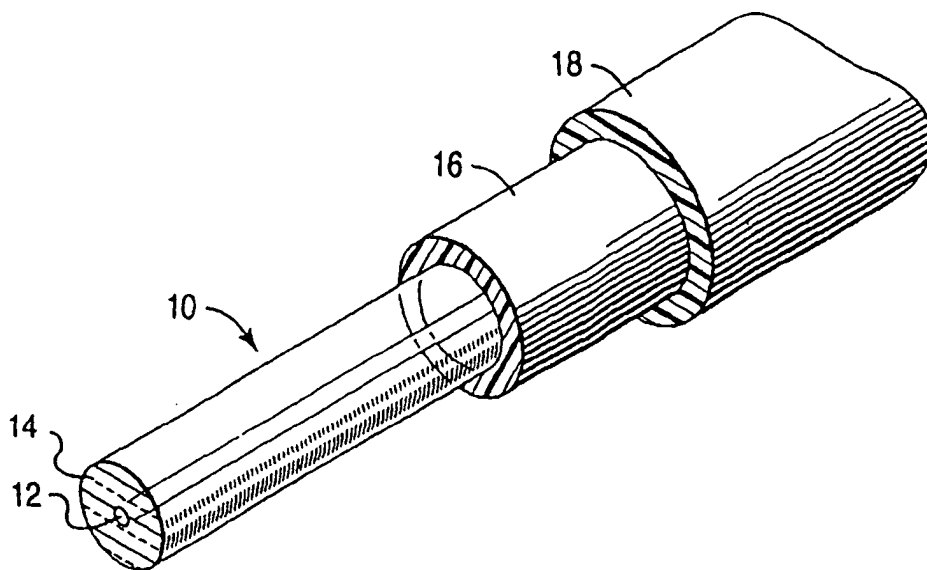


FIG 1

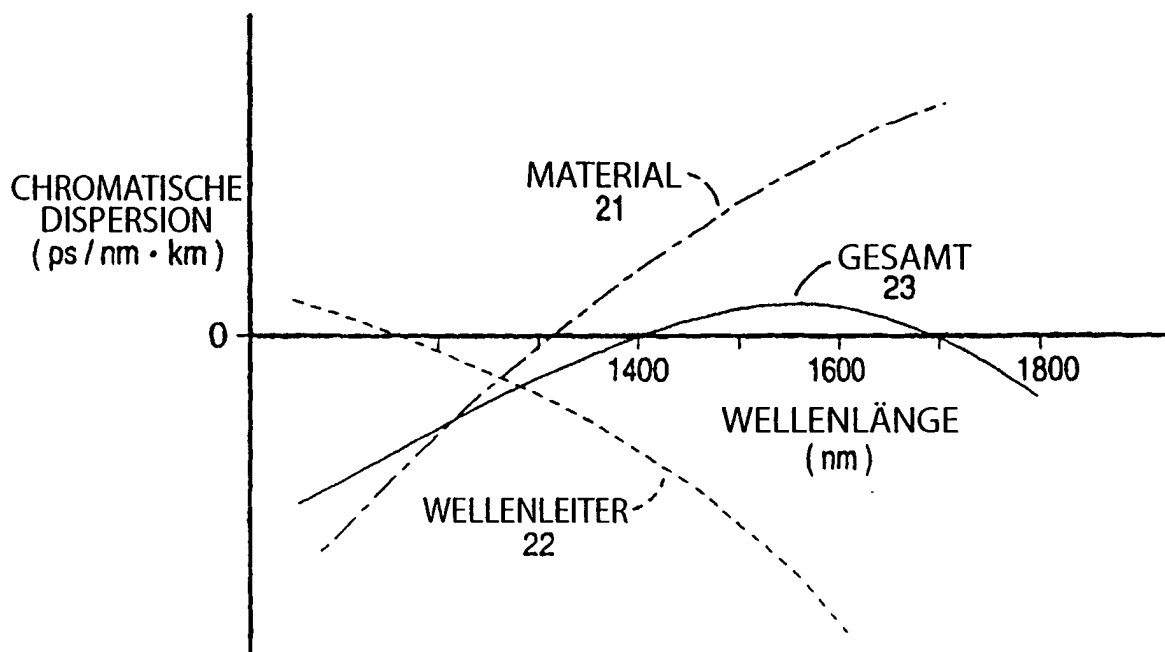


FIG 2

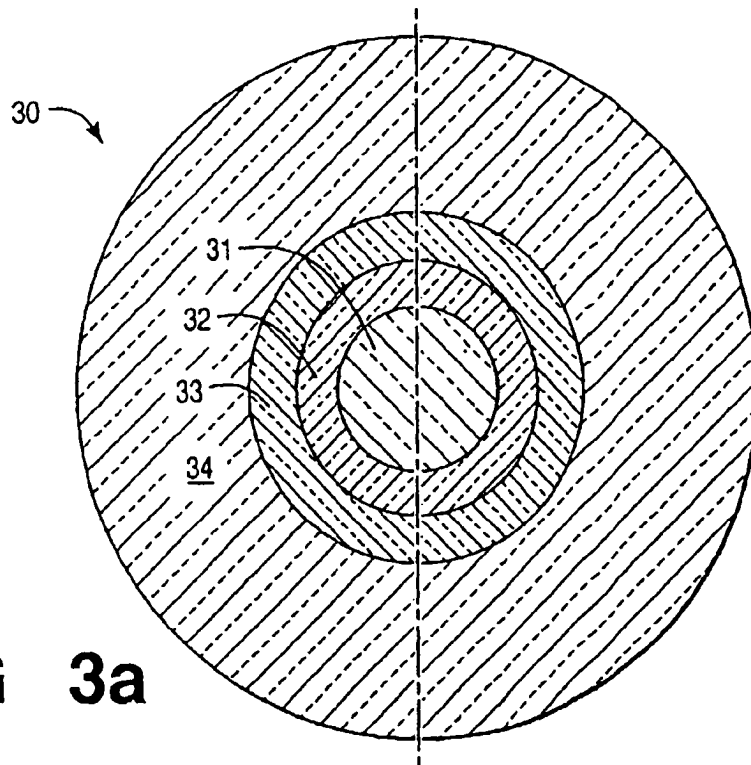


FIG 3a

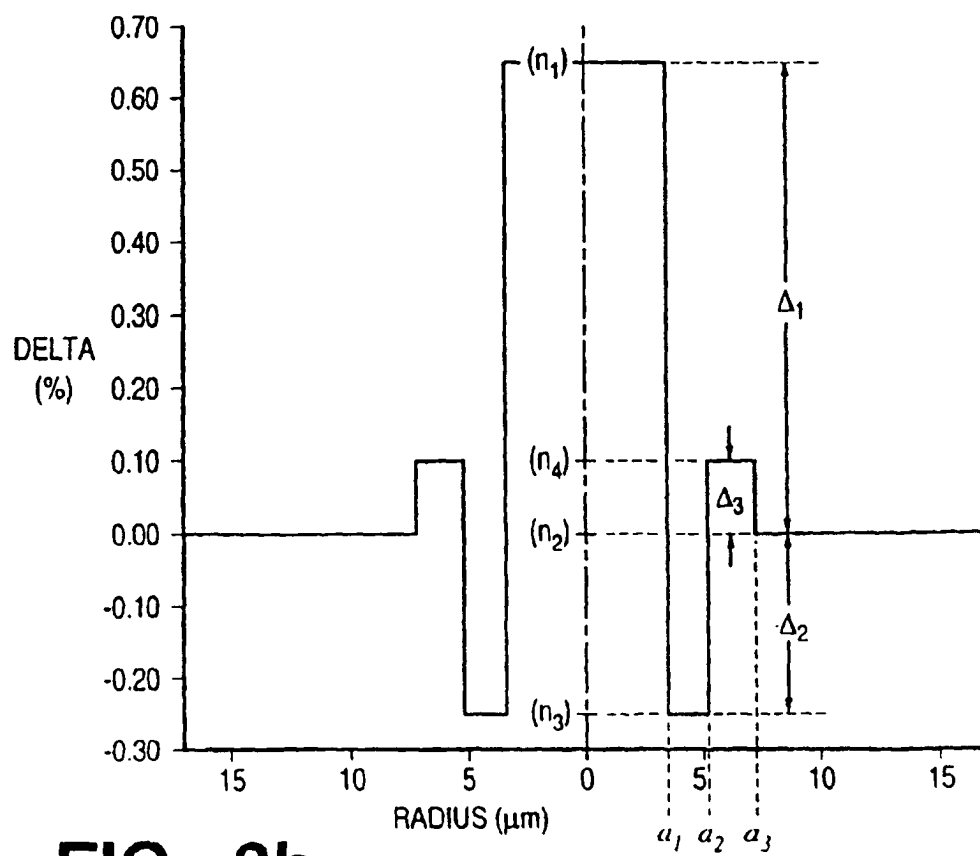


FIG 3b

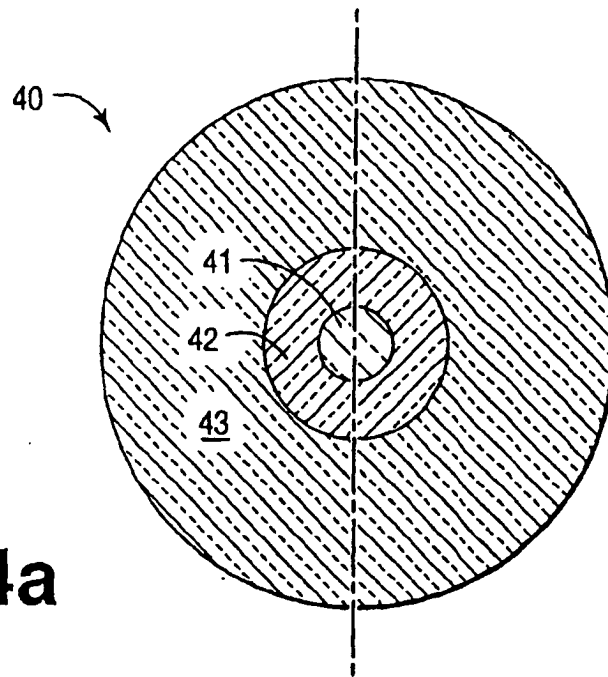


FIG 4a

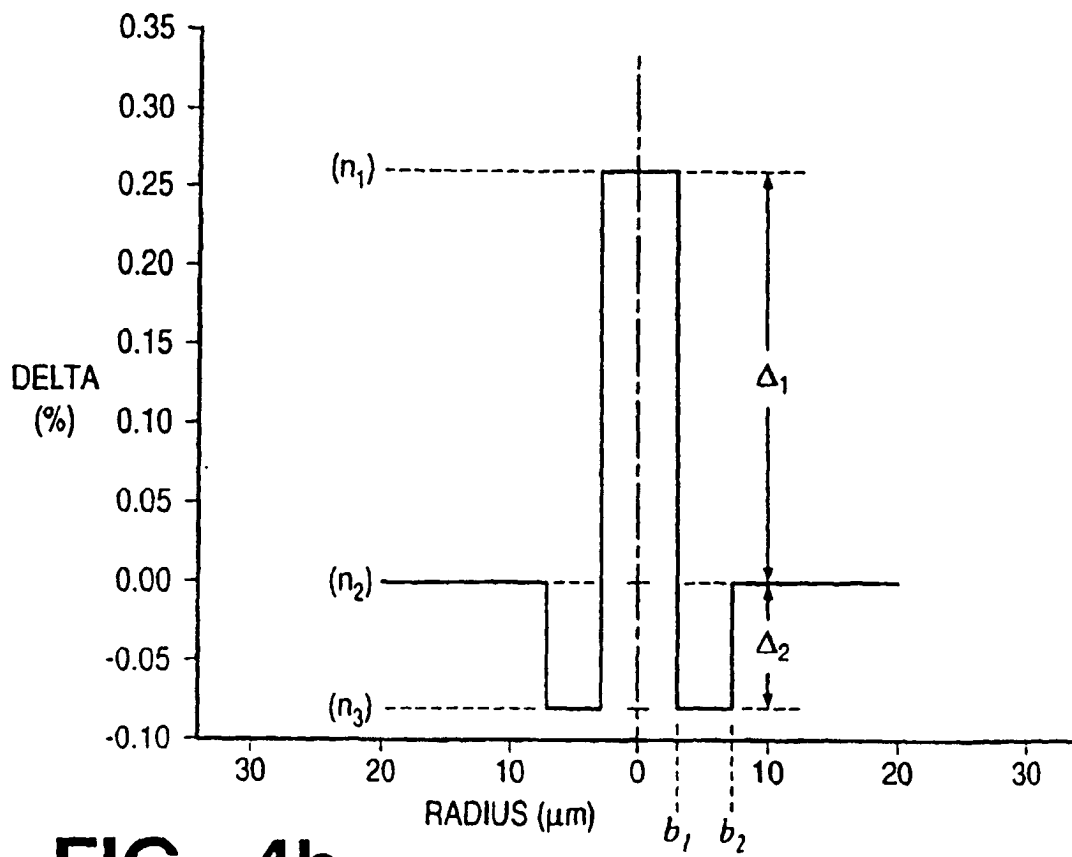


FIG 4b

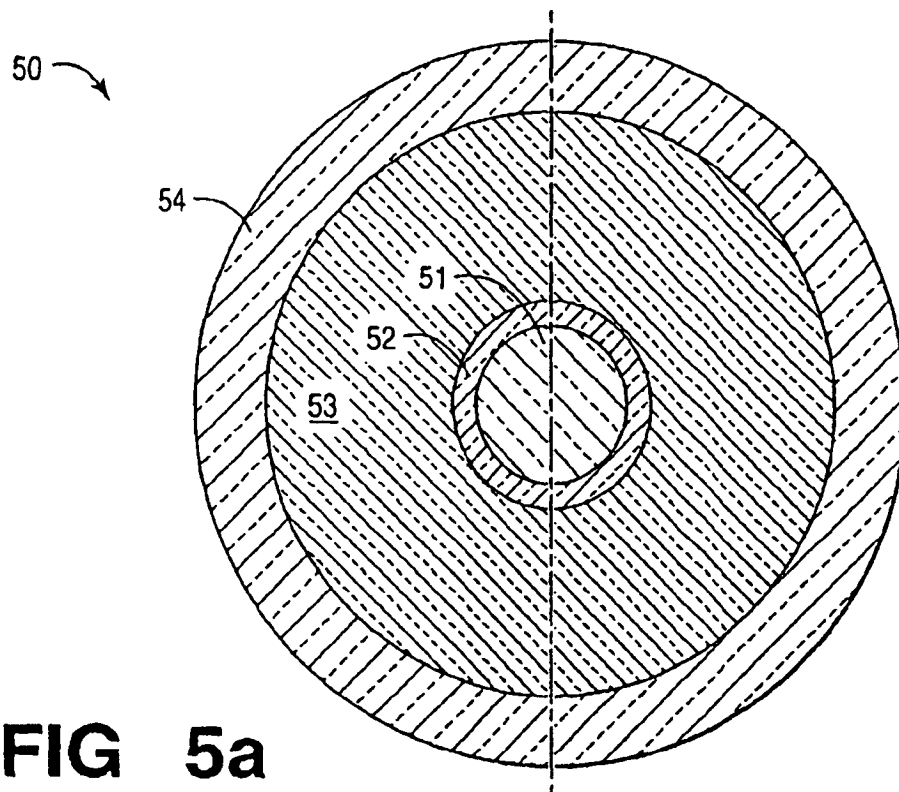


FIG 5a

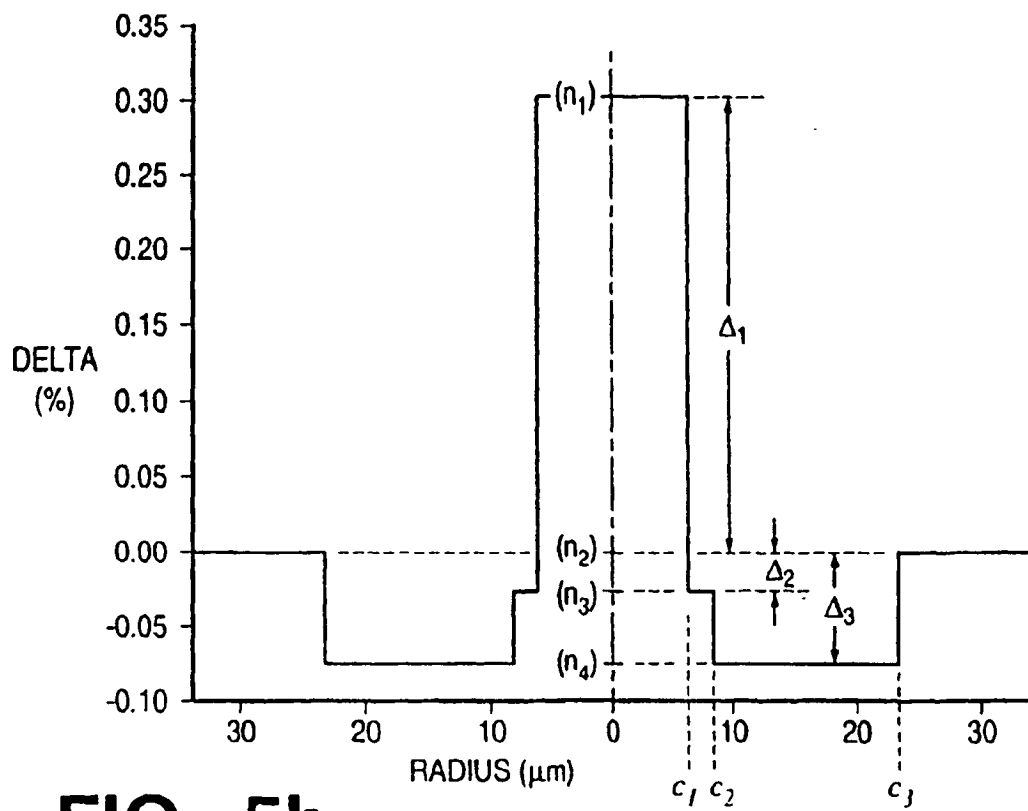


FIG 5b

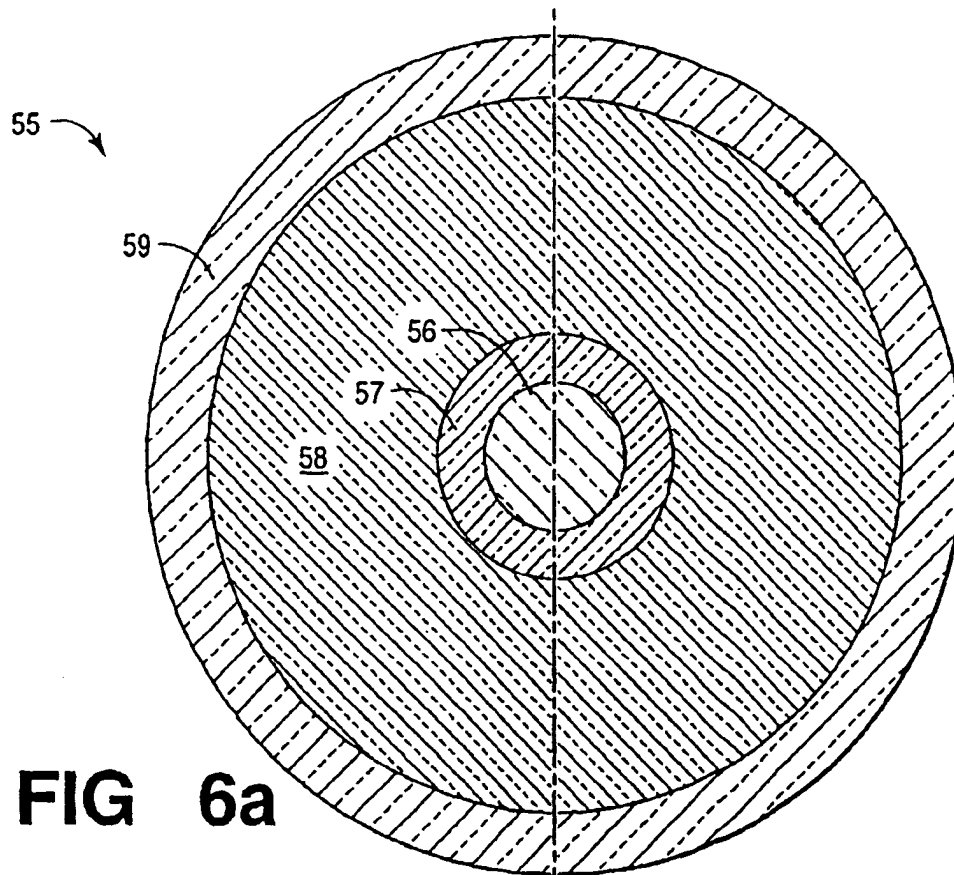


FIG 6a

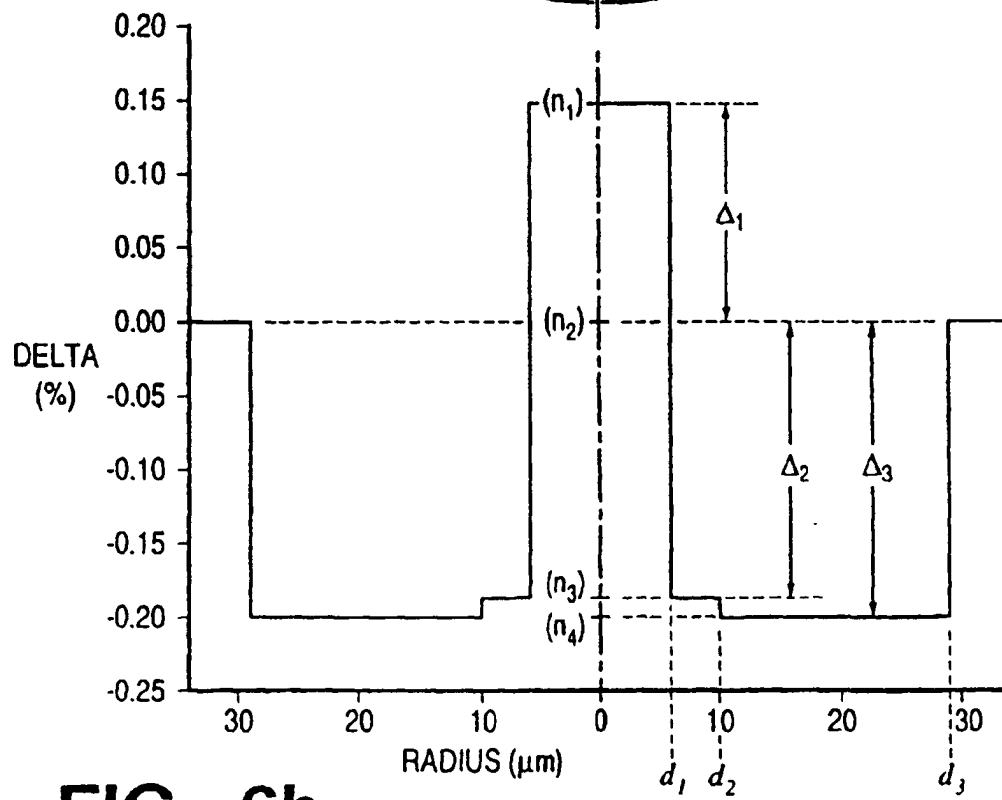


FIG 6b

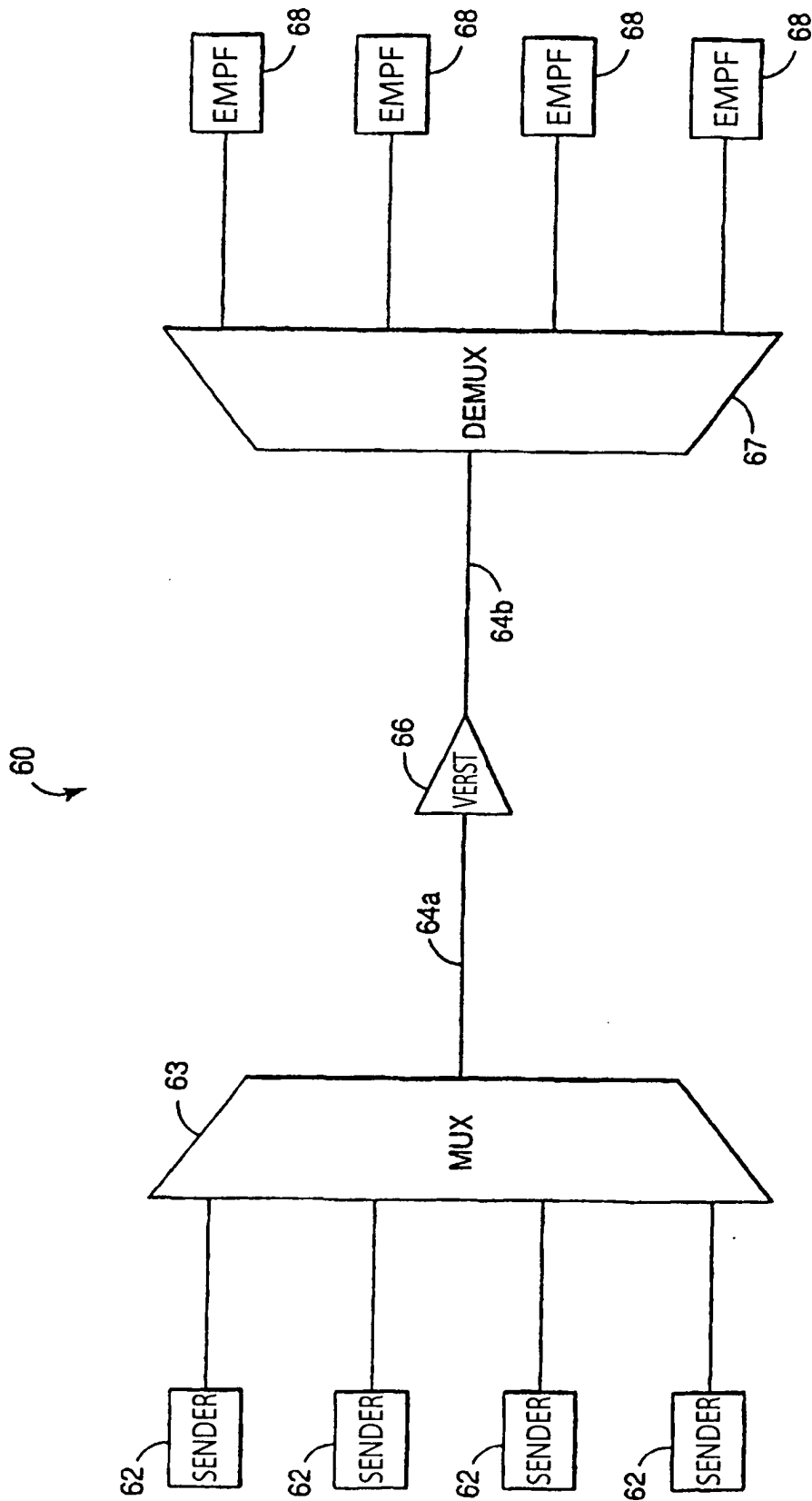


FIG 7