(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 36 804 T2** 2008.01.10

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 753 771 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 36 804.8**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 401 478.1**
(96) Europäischer Anmeldetag: **04.07.1996**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **15.01.1997**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **03.01.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.01.2008**

(51) Int Cl.[8]: ***G02B 6/02*** (2006.01)
G02B 6/036 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
9508252 07.07.1995 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, GB, IT

(73) Patentinhaber:
Draka Comteq B.V., Amsterdam, NL

(74) Vertreter:
Kohler Schmid Möbus Patentanwälte, 70565 Stuttgart

(72) Erfinder:
Nouchi, Pascale, 91140 Villebon sur Yvette, FR;
Sansonetti, Pierre, 91120 Palaiseau, FR

(54) Bezeichnung: **Monomodaler dispersionsverschobener optischer Wellenleiter mit grosser effektiver Modenfläche**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft generell einen monomodalen optischen Wellenleiter, wie eine Glasfaser, typischerweise zur Verwendung als Fernübertragungsverbindung bestimmt. Die Erfindung findet Anwendung insbesondere für Unterwasserverbindungen. Genauer bezieht sich die Erfindung auf eine monomodale Glasfaser mit Dispersionsverschiebung und großer effektiver Modenfläche.

[0002] Eine monomodale Glasfaser mit sogenannter Dispersionsverschiebung ist so beschaffen, dass bei der Übertragungswellenlänge, auf der sie eingesetzt wird, die chromatische Dispersion der transmittierten Welle im Wesentlichen gleich Null ist. Es kann gezeigt werden, dass in Siliziumdioxid bei einer Wellenlänge λ von 1,27 μm und ausschließlich bei dieser Wellenlänge, die chromatische Dispersion gleich Null ist. Nichtsdestoweniger ist es vorteilhafter für eine Faser, die zum Aufbau einer Fernverbindung bestimmt ist, bei einer Wellenlänge λ = 1,55 μm zu übertragen, da daraus eine minimale Dämpfung der Lichtübertragung resultiert. Für λ = 1,55 μm ist es hingegen notwendig, die chromatische Dispersion des Siliziumdioxids, die nicht gleich Null ist, zu kompensieren, insbesondere durch einen geeigneten Aufbau des Kerns und der Ummantelung der Glasfaser. Die Terminologie „Glasfaser Dispersionsverschiebung mit" wird verwendet, um eine Faser zu definieren, in der die chromatische Dispersion im Wesentlichen durch Kompensation der dem Siliziumdioxid eigenen chromatischen Dispersion gleich Null gemacht wird, die bei einer von 1,27 μm verschiedenen Wellenlänge auftritt.

[0003] Die effektive Modenfläche Seff einer Faser ist definiert durch:

$$Seff = \frac{2\pi \left(\int_0^\infty \Psi^2(r).r.dr\right)^2}{\int_0^\infty \Psi^4(r).r.dr}$$

wobei Ψ (r) eine skalare Funktion der Feldverteilung in der Faser ist und r den radialen Abstand, in Polarkoordinaten, eines Punktes in einem Koordinatensystem bezeichnet, das quer zu der Faser liegt und in Bezug auf diese zentriert ist. Es wird gezeigt, dass die Qualität der Übertragung in der Faser umso besser ist, je größer die effektive Modenfläche Seff ist. Es ist daher zur Verbesserung der Übertragungsqualität in der Faser – was den Vorteil hat, die Anzahl der Zwischenverstärker über die Verbindung hinweg, und so auch die Kosten der Einrichtung zu verringern – besonders günstig, wenn die effektive Modenfläche so groß wie möglich ist.

[0004] Nach dem bisherigen Stand der Technik existieren zwei Indexprofile zur Herstellung einer monomodalen Glasfaser mit Dispersionsverschiebung und großer effektiver Modenfläche. Diese Profile werden entsprechend als „Profil mit Trapez + Ring" bzw. als „Profil mit verdecktem Zentralbereich + Ring" bezeichnet. Ein Profil definiert ein Diagramm des Indexniveaus im Kern und in der Ummantelung der Faser als Funktion des radialen Abstands in Bezug auf die Mittellinie der Faser. Das Indexniveau ist ausschließlich eine Funktion dieses Abstands und hängt nicht von der Winkelkoordinate ab, da die Mittelachse der Faser eine Drehachse für jede Schicht des Kerns und der Ummantelung definiert.

[0005] Das Dokument „Attenuation-optimized dispersion-flattened quadruple-clad fibers with moderate f-doping in the first inner cladding", veröffentlicht in „IEEE Photonics Technology Letters, volume 4, no. 6", 1. Juni 1992, Seiten 638-641, definiert einen monomodalen optischen Wellenleiter mit Dispersionsverschiebung, der eine Ummantelung mit einem vorbestimmten Brechungsindex und einen Kern umfasst, welcher aufweist: einen zentralen Bereich mit einem Brechungsindex, der höher als der Brechungsindex der Ummantelung ist, einen ersten ringförmigen Bereich, der den zentralen Bereich umgibt und einen Brechungsindex aufweist, der niedriger als der Brechungsindex der Ummantelung ist, einen zweiten ringförmigen Bereich, der den ersten ringförmigen Bereich umgibt und einen Brechungsindex aufweist, der höher als der Brechungsindex der Ummantelung ist, und einen dritten ringförmigen Bereich, der den zweiten ringförmigen Bereich umgibt und einen Brechungsindex aufweist, der niedriger als der Brechungsindex der Ummantelung ist, aufweist.

[0006] Das Dokument zeigt das Brechungsindexprofil einer Realisierung eines entsprechenden optischen Wellenleiters, wobei der Brechungsindex im zentralen Bereich abhängig von einem polaren Abstand variiert, der in Bezug auf die Mitte des Wellenleiters in solcher Weise definiert ist, dass der Brechungsindex höher ist als der Brechungsindex der Ummantelung, außer in dem Gebiet ganz in der Nähe der Mitte des Wellenleiters, in welchem der Brechungsindex niedriger als der Brechungsindex der Ummantelung ist.

[0007] Das als mit „Trapez + Ring" bezeichnete Profil, das in der französischen Patentanmeldung Nr. 94-10615 beschrieben ist, definiert eine Faser, die aufweist:

– eine Ummantelung mit einem vorbestimmten Brechungsindex und

– einen Kern, der zum einen einen zentralen Bereich mit einem Brechungsindex, der höher als der Brechungsindex der Ummantelung ist und von einem gegebenen Wert des radialen Abstands an abnimmt bis zum Erreichen des Brechungsinde-

xes der Ummantelung, und zum anderen einen den zentralen Bereich umgebenden Ring mit einem Brechungsindex, der höher als der Brechungsindex der Ummantelung ist und der von diesem zentralen Bereich durch einen Randbereich getrennt ist, dessen Brechungsindex dem Brechungsindex der Ummantelung entspricht, umfasst.

[0008] Dieses Profil mit „Trapez + Ring" bietet eine effektive Modenfläche Seff, die 85 μm^2 erreichen kann. Die Fasern, die ein solches Profil definieren, weisen jedoch den erheblichen Nachteil auf, dass sie anfällig für Verluste durch Mikrokrümmungen sind.

[0009] Das als mit „verdecktem Zentralbereich + Ring" bezeichnete Profil, das in dem Dokument mit dem Titel „Transmission Characteristics of a Coaxial Optical Fiber Line" beschrieben und veröffentlicht in „Journal of Lightwave Technology, vol.11, no.11, November 1993, Seiten 1717-1720" ist, definiert eine Faser, die umfasst:

– eine Ummantelung mit einem vorbestimmten Brechungsindex und

– einen Kern, der zum einen einen zentralen Bereich mit einem Brechungsindex, der niedriger als der Brechungsindex der Ummantelung ist, und zum anderen einen den zentralen Bereich umgebenden Ring mit einem Brechungsindex, der höher als der Brechungsindex der Ummantelung ist, aufweist.

[0010] Dieses Profil mit „verdecktem Zentralbereich + Ring" bietet eine effektive Modenfläche Seff, die 90 μm^2 erreichen kann. Die Fasern, die ein solches Profil verwenden, erscheinen jedoch aufgrund der dieser erheblichen intrinsischen Verluste, die durch die hohen Brechzahlunterschiede verursacht werden, nicht optimal.

[0011] Daher sind, nach dem bisherigen Stand der Technik, die beiden Arten einer Glasfaser mit Dispersionsverschiebung und großer effektiver Modenfläche nicht gänzlich zufriedenstellend, im Hinblick auf ihr Verhalten im Sinne einer Abschwächung, ob es sich um Verluste durch Mikrokrümmungen oder um intrinsische Verluste handelt. Die Erfindung zielt daher darauf ab, diese Nachteile zu beseitigen, indem eine Glasfaser mit Dispersionsverschiebung und großem effektivem Modenbereich bereitgestellt wird, die gänzlich zufriedenstellende Eigenschaften für alle Abschwächungsparameter besitzt.

[0012] Zu diesem Zweck ist ein monomodaler optischer Wellenleiter, umfassend:

– einen optischen Kern und

– eine Ummantelung, die den optischen Kern umhüllt und durch einen vorbestimmten Brechungsindex definiert ist,

wobei der optische Kern zum einen einen zentralen Bereich mit einem konstanten Brechungsindex, der niedriger als der vorbestimmte Brechungsindex ist, und zum anderen einen den zentralen Bereich umgebenden ringförmigen Bereich mit einem Brechungsindex, der höher als der vorbestimmte Brechungsindex ist, aufweist,

erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass der Kern zudem zwischen dem ringförmigen Umgebungsbereich und der Ummantelung mindestens einen zusammengesetzten ringförmigen Bereich aufweist, der aus zwei aufeinanderfolgenden ringförmigen Bereichen mit jeweiligen Brechungsindices, die niedriger bzw. höher als der vorbestimmte Brechungsindex sind, besteht.

[0013] Es kann vorgesehen werden, dass in mindestens in einem der zentralen oder ringförmigen Bereiche der Brechungsindex als Funktion eines radikalen Abstandes, der in Bezug auf die Mittellinie des Wellenleiters definiert ist, variabel ist.

[0014] Weitere Merkmale und Vorzüge der vorliegenden Erfindung erscheinen deutlicher beim Lesen der folgenden Beschreibung, unter Bezugnahme auf die entsprechenden angehängten Zeichnungen, in welchen:

[0015] Fig. 1 eine Querschnittsansicht eines erfindungsgemäßen monomodalen optischen Wellenleiters zeigt;

[0016] Fig. 2, gemäß einer ersten Variante der Erfindung, ein Diagramm eines erfindungsgemäßen Indexprofils, welches dem in Fig. 1 dargestellten Leiter zugeordnet ist; und

[0017] Fig. 3, gemäß einer zweiten Variante der Erfindung, ein Diagramm eines erfindungsgemäßen Indexprofils ist, welches dem in Fig. 1 dargestellten Leiter zugeordnet ist.

[0018] Unter Bezugnahme auf Fig. 1 weist ein monomodaler optischer Wellenleiter, oder eine Glasfaser, gemäß der Erfindung im Querschnitt eine optische Ummantelung **1** auf, die einen optischen Kern **2** umhüllt. Der optische Kern **2** besteht aus einem ringförmigen zentralen Bereich **21**, der von drei aufeinanderfolgenden konzentrischen ringförmigen Bereichen **22**, **23** und **24** umhüllt ist. Die Glasfaser ergibt sich aus dem Ausziehen von Material aus einem Vorformling, der durch aufeinanderfolgende Ablagerungen von Schichten aus in geeigneter Weise dotiertem Siliziumdioxid erhalten wird. Gemäß einer Variante der Erfindung, die in Fig. 2 veranschaulicht ist, welche das Indexniveau n als Funktion des Abstandes r in Polarkoordinaten bezogen auf die Mitte der Faser darstellt, weist der zentrale Bereich **21** einen konstanten Brechungsindex auf, der niedriger als der Brechungsindex der Ummantelung **1** ist, und der ers-

te konzentrische ringförmige Bereich **22**, der den zentralen Bereich umgibt, hat einen konstanten Brechungsindex, der höher als der Brechungsindex der Ummantelung **1** ist. Im Übrigen ist zwischen dem ringförmigen Umgebungsbereich **22** und der Ummantelung **1** ein zusammengesetzter ringförmiger Bereich vorgesehen, der aus den beiden aufeinanderfolgenden konzentrischen ringförmigen Bereichen **23** und **24** besteht, die als der innere und der äußere bezeichnet sind, welche jeweils konstante Brechungsindices aufweisen, die niedriger bzw. höher als der Brechungsindex der Ummantelung **1** sind. Auf diese Weise unterscheidet sich die Erfindung von dem bisherigen Stand der Technik, welcher in dem vorstehend erwähnten Dokument „Transmission Characteristics of a Coaxial Optical Fiber Line" beschrieben ist, durch diesen zusammengesetzten ringförmigen Bereich, der aus den beiden aufeinanderfolgenden konzentrischen inneren und äußeren ringförmigen Bereichen **23** und **24** zusammengesetzt ist, welche jeweils einen niedrigeren bzw. höheren Brechungsindex als der Brechungsindex der Ummantelung **1** aufweisen. Die physikalische Eigenschaft, die dem durch die Erfindung verschafften erheblichen Vorteil zugrundeliegt, ist die folgende: Es ist gezeigt, dass die chromatische Dispersion M einer Glasfaser in guter Annäherung durch die Summe der Materialdispersion M1, die der für eine ebene Welle in einem homogenen Milieu von gegebenem Index erhaltenen Dispersion entspricht, und der Leiterdispersion M2, die der Dispersion entspricht, welche bei Vernachlässigung der Abhängigkeit der Indexwerte als Funktion der Wellenlänge erhalten wird, angegeben ist. Dies schreibt sich:

$$M = M1 + M2$$

[0019] Es wird zudem gezeigt, dass

$$M1 = -\lambda/c\cdot\partial^2 n/\partial\lambda^2),$$

und

$$M2 = -[\Delta n/\lambda c]\cdot V(\partial^2(VB)/\partial V^2)$$

wobei λ die Wellenlänge der Lichtwelle ist, die im Wesentlichen 1,55 μm entspricht, c die Lichtgeschwindigkeit, n eine Variable des Indexwerts, Δn die Indexdifferenz zwischen dem Maximalindex des Kerns und dem Index der Ummantelung und $V(\partial^2(VB)/\partial V^2)$ ein Ausdruck ist, der die Dispersion des Leiters kennzeichnet, wobei V die normalisierte Frequenz und B der normalisierte effektive Index ist, wobei der effektive Index der von der sich in dem Kern ausbreitenden Lichtwelle „gesehene" Index ist. Um der Faser eine chromatische Dispersion gleich Null zu verleihen, ist es notwendig, den durch die Summe (M1 + M2) angenommenen Wert gleich Null zu machen und daher den Wert M1 durch einen Wert M2 von gleichem absolutem Wert und entgegengesetztem Vorzeichen zu kompensieren. In dem vorstehend erwähnten Dokument „Transmission Characteristics of a Coaxial Optical Fiber Line" ist die beschriebene Glasfaser derart, dass der von $V(\partial^2(VB)/\partial V^2)$ angenommene Wert in der Gleichung

$$M2 = -[\Delta n/\lambda c]\cdot V(\partial^2(VB)/\partial V^2)$$

niedrig ist, was dazu zwingt, Δn zu erhöhen, um den Wert von M1 durch den Wert von M2 zu kompensieren. Nun aber führt eine große Indexdifferenz zwischen dem Kern und der Ummantelung der Glasfaser zu intrinsischen Verlusten.

[0020] Im Rahmen der Erfindung ist der von $V(\partial^2(VB)/\partial V^2)$ angenommene Wert ausreichend hoch, um nicht eine große Indexdifferenz Δn zwischen dem Kern und der Ummantelung der Faser zu erreichen. Es ergeben sich daraus dann wesentlich geringere intrinsische Verluste.

[0021] Als nicht beschränkendes Beispiel kann eine Ausführung eines optischen Wellenleiters gemäß der Erfindung angegeben werden. In dieser Ausführung, wie in Fig. 2 veranschaulicht, wurde die Schreibweise Δn_i und r_i gewählt, um jeweils eine Indexvariation in Bezug auf den Index der Ummantelung **1** bzw. einen an einem äußersten Punkt jedes der den Kern **2** bildenden Bereiche gemessenen Radius zu bezeichnen, wobei i den Index für jeden der Bereiche **21**, **22**, **23** und **24** bezeichnet. Die Ausführung ergibt: $\Delta n_{21} = -5{,}5\cdot10^{-3}$, $\Delta n_{22} = 11\cdot10^{-3}$, $\Delta n_{23} = -5{,}5\cdot10^{-3}$, $\Delta n_{24} = -5{,}5\cdot10^{-3}$, und $r_{21} = 2{,}1$ μm, $r_{22} = 4{,}2$ μm, $r_{23} = 7{,}06$ μm und $r_{24} = 8{,}4$ μm

[0022] Das von der Erfindung vorgeschlagene Indexprofil verleiht der Glasfaser eine effektive Modenfläche, die im Wesentlichen 85 μm^2 entspricht.

[0023] In einer Variante von Fig. 2 ist das in Fig. 3 dargestellte Indexprofil derart, dass in jedem der beiden Bereiche **22** und **24** der Brechungsindex n im Dreieck als Funktion des radialen Abstandes r variabel ist, während er gleichzeitig höher als der Brechungsindex der Ummantelung **1** bleibt. Diese Variante ist nicht einschränkend, und es ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass der Brechungsindex in mindestens einem Bereich **22**, **23** und **24** variabel sein kann, als Funktion des radialen Abstandes r gemäß einer gegebenen Geometrie, wie etwa Dreieck, Raute, Spitzbogenkurve, etc.. Die folgenden Merkmale werden jedoch eingehalten. In den Bereichen **21** und **23** bleibt der Brechungsindex des Kerns höher als der Brechungsindex der Ummantelung **1**. In den Bereichen **22** und **24** bleibt der Brechungsindex des Kerns niedriger als der Brechungsindex der Ummantelung **1**.

[0024] Obwohl die vorangehende Beschreibung sich darauf beschränkt, einen einzigen zusammen-

gesetzten ringförmigen Bereich, bestehend aus den beiden aufeinanderfolgenden konzentrischen ringförmigen Bereichen **23** und **24**, die jeweils Brechungsindices aufweisen, die niedriger bzw. höher als der Brechungsindex der Ummantelung **1** sind, in Betracht zu ziehen, können mehrere aufeinanderfolgende konzentrische ringförmige Bereiche vorgesehen werden, wobei jeder aus zwei ringförmigen konzentrischen inneren und äußeren Bereichen besteht, die jeweils Brechungsindices aufweisen, die niedriger bzw. höher als der Brechungsindex der Ummantelung **1** sind.

[0025] Ein weiterer erheblicher sich aus der Erfindung ergebender Vorteil ist die geringe spektrale Steigung der erhaltenen chromatischen Dispersion, die zum Beispiel gleich 0,065 ps/nm^2/km in dem zuvor gegebenen Ausführungsbeispiel ist. Dies bedeutet, dass die chromatische Dispersion M wenig in Abhängigkeit von der verwendeten Wellenlänge λ fluktuiert, was eine Möglichkeit zum Multiplexierung bezüglich der Wellenlänge bietet, typischerweise bei Wellenlängen nahe λ = 1,55 μm.

Patentansprüche

1. Monomodaler optischer Wellenleiter umfassend:
– einen optischen Kern (**2**) und
– eine Ummantelung (**1**), die den optischen Kern (**1**) umhüllt und durch einen vorbestimmten Brechungsindex definiert ist,
wobei der optische Kern (**2**) zum einen einen zentralen Bereich (**21**) mit einem konstanten Brechungsindex, der niedriger als der vorbestimmte Brechungsindex ist, und zum anderen einen den zentralen Bereich (**21**) umgebenden ringförmigen Bereich (**22**) mit einem Brechungsindex, der höher als der vorbestimmte Brechungsindex ist, aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass der Kern zudem zwischen dem ringförmigen Umgebungsbereich (**22**) und der Ummantelung (**1**) mindestens einen zusammengesetzten ringförmigen Bereich aufweist, der aus zwei aufeinander folgenden ringförmigen Bereichen (**23**, **24**) mit jeweiligen Brechungsindices, die niedriger bzw. höher als der vorbestimmte Brechungsindex sind, besteht.

2. Monomodaler optischer Wellenleiter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem der ringförmigen Bereiche (**22**, **23**, **24**) der Brechungsindex variabel ist, abhängig von einem definierten polaren Abstand in Bezug auf die Mittellinie des optischen Wellenleiters.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

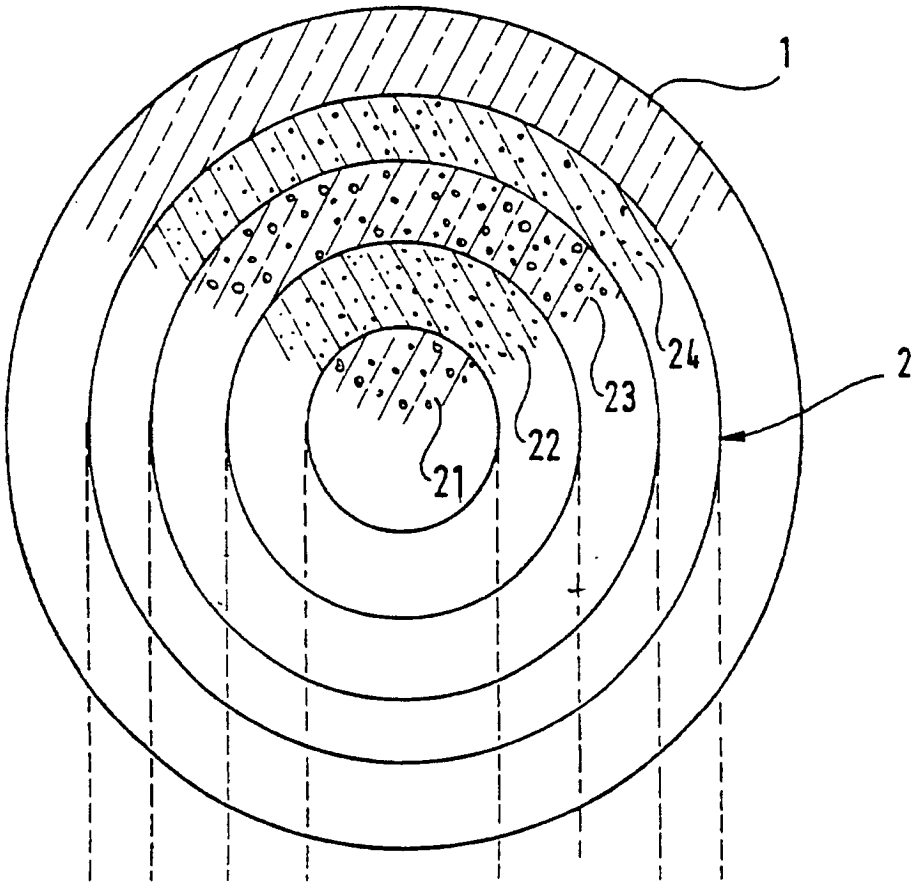


FIG.2

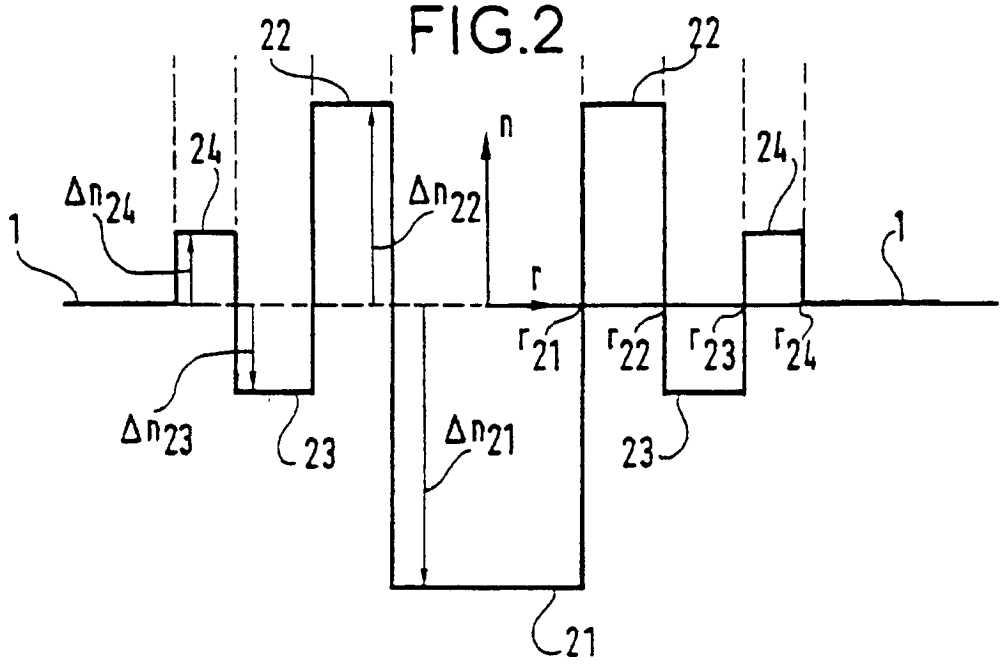


FIG. 3

