



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 01 680 T2 2005.11.10**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 397 718 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G02B 26/12**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 01 680.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/NL02/00400**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 736 295.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 03/001274**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **03.01.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **17.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **20.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **10.11.2005**

(30) Unionspriorität:
1018338 20.06.2001 NL

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:
Draka Fibre Technology B.V., Eindhoven, NL

(72) Erfinder:
**VAN BERGEN, Heero, Andries, NL-5673 RR
Nuenen, NL; VAN STRALEN, Jacobus, Mattheus,
NL-5045 DV Tilburg, NL; JETTEN, Peter, Mark,
NL-6001 CG Weert, NL**

(74) Vertreter:
Vossius & Partner, 81675 München

(54) Bezeichnung: **OPTISCHE FASER**

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 eine optische Faser, die hauptsächlich aus Hartglas besteht, wobei die Faser aufweist:

- i) einen inneren Kern mit einem ersten Brechungsindex n_1 und einem ersten Durchmesser a ;
- ii) einen äußeren Kern, der den Außenumfang des inneren Kerns umgibt und einen zweiten Brechungsindex n_2 und einen zweiten Durchmesser b aufweist; und
- iii) eine Hülle, die den Außenumfang des äußeren Kerns umgibt, wobei die Hülle einen dritten Brechungsindex n_3 aufweist, wobei $n_1 > n_2 > n_3$ ist.

[0002] Die EP-A-0 249 230 betrifft eine optische Einmoden-Faser mit einer Wellenlänge mit einer Dispersion von null im Wellenlängenbereich von 1500 nm–1600 nm, wobei die optische Faser einen Kern aufweist, der aus einem inneren Kern aus $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ oder $\text{GeO}_2\text{-F-SiO}_2$ und einem äußeren Kern aus F-SiO_2 und einer Hülle aus F-SiO_2 besteht.

[0003] Das US-Patent Nr. 5,848,215 betrifft eine optische Faser, wobei die chromatische Dispersion für die angestrebte Wellenlänge von 1550 nm der optischen Kommunikationssignale über die gesamte Faserlänge als Ergebnis der relativen Brechungsindexdifferenz der optischen Faser und des Kernradius null wird, der in dieselbe Richtung erhöht oder gesenkt wird.

[0004] Eine solche optische Faser ist ferner aus der EP-A-0 785 448 bekannt, wobei diese Faser vorzugsweise eine Anzahl von Vorbedingungen erfüllen muß, insbesondere $a/b < 0,20$ und $b > 15 \mu\text{m}$. Eine solche Faser weist eine Wellenlänge mit einer Dispersion von null im Bereich von mindestens 1560 nm auf, die jedoch 1600 nm nicht überschreitet, wobei dieser Wert relativ zur Wellenlänge des Signallichts ($1,5 \mu\text{m}$) leicht verschoben ist. Die daraus bekannte optische Faser weist außerdem einen MFD-Wert auf, der nicht niedriger als $8,0 \mu\text{m}$ ist, um die optische Leistungsdichte zu senken, ohne die Signalintensität als ganzes zu senken. Zusätzlich dazu weist die optische Faser, die daraus bekannt ist, eine sogenannte Grenzwellenlänge von mindestens $1,0 \mu\text{m}$, jedoch nicht mehr als $1,8 \mu\text{m}$ auf, wenn deren Länge 2 m beträgt. Außerdem zeigen alle Beispiele, die in der EP-A-0 785 448 beschrieben werden, eine sogenannte Null-Dispersion oberhalb 1550 nm auf, was auf Fasern mit negativer Dispersion hinweist. Biegeverluste werden nicht erwähnt.

[0005] Gemäß des üblichen Verfahrens wird eine optische Faser, die einen vorbestimmten Außendurchmesser aufweist, durch Erwärmung eines Endes einer stangenförmigen Vorform und anschließendes Ziehen der optischen Faser aus deren weichgemachten Ende hergestellt. In einer optischen Faser,

die auf diese Weise erhalten worden ist, werden jedoch der Querschnitt der Kernteile und die umgebenden Schichten eine geringfügig ellipsoidische oder verzerrte Kreisform aufweisen, was es schwierig macht, eine perfekt kreisförmige konzentrische Form zu erhalten. Folglich ist die Brechungsindexverteilung in die Richtung des Durchmessers der so erhaltenen optischen Faser nicht perfekt konzentrisch, was zu einer Zunahme der sogenannten Polarisationsmodendispersion (PMD) führt. So ist die „Polarisationsmodendispersion“ eine Dispersion, die als ein Ergebnis einer Differenz der Geschwindigkeit zwischen den beiden Polarisierungen auftritt, die in einem Querschnittsabschnitt einer optischen Faser zueinander orthogonal sind. Der Einfluß der oben erwähnten Polarisationsmodendispersion ist groß, wenn solche optischen Fasern für eine Fernübertragung verwendet werden, die eine große Kapazität über eine große Entfernung benötigt. Zusätzlich ist der Einfluß der Polarisationsmodendispersion bei hohen Übertragungsraten pro Kanal beträchtlich.

[0006] Für einige Zeit sind optische Fasern im Gebrauch gewesen, die im Durchlaßfenster mit 1550 nm verwendet werden. Diese sogenannten dispersions-optimierten Fasern (DSF) machen von dem von sich aus niedrigen Dämpfungspegel der Faser bei Wellenlängen im sogenannten C-Band (1530–1565 nm) Gebrauch, und zusätzlich dazu weisen sie eine verschobene Null-Dispersion im C-Band auf, so daß sie eine Verbreiterung des Übertragungsimpulses infolge von Zwischern entgegenwirken. Im allgemeinen wird Wellenlängenmultiplexen (WDM) zur Erhöhung der Kapazität einer Glasfaser verwendet, bei dem mehrere Wellenlängen im selben Durchlaßfenster zur gleichzeitigen Übertragung von Daten über eine Glasfaser verarbeitet werden. Wenn WDM und hohe Übertragungsraten verwendet werden, können sogenannte nichtlineare Effekte einen nachteiligen Effekt auf die Übertragungskapazität haben. Diese nichtlinearen Effekte sind Vierwellenmischung (FWM), Eigenphasen-Modulation (SPM), Kreuzphasen-Modulation (XPM) und parametrische Verstärkung (PG). Da die FWM hauptsächlich bei einer Dispersion von null oder nahezu null auftritt, zeigen die bekannten WDM-Fasern im C-Band eine niedrige Dispersion, die von null abweicht. Der SPM wird entgegengewirkt, indem die effektive Faserfläche erhöht wird. Als Ergebnis wird die Intensität des Lichts reduziert, das in der Faser übertragen werden soll. Ein Nachteil der Erhöhung der effektiven Fläche ist es, daß der Dispersionsgradient der Faser zunehmen wird. Folglich wird die Nutzbarkeit der Faser an den Kanten des Übertragungsbereichs infolge der Dispersion begrenzt, die zu hoch oder zu niedrig ist. Dies führt zu einer ernstlichen Einschränkung hinsichtlich der Verwendung der Fasern in Übertragungsbereichen außerhalb des C-Bands, wobei diesen Bereichen ein großes Maß an Aufmerksamkeit in Hinblick auf eine noch weitere Erhöhung der Übertragungskapazität

einer einzelnen Faser gegeben wird, wie dem L-Band (1565–1625 nm) oder dem S-Band (1440–1530 nm). Es werden folglich Lösungen für den Kompromiß zwischen dem Dispersionsgradienten und der effektiven Fläche in Profilen gesucht, in denen der mittlere Abschnitt des lichtübertragenden Kerns einen niedrigeren Brechungsindex aufweist, häufig in Kombination mit einem Indexring in der Hülle. Aufgrund der hohen Anzahl geometrischer Eigenschaften, die zu kontrollieren sind, sind solche Profile jedoch schwierig zu reproduzieren und mit einer ausreichenden Ausbeute zu produzieren. Außerdem nimmt die Gefahr von Abweichungen der Kreissymmetrie zu, was einen nachteiligen Effekt auf die Polarisationsmodendispersion (PMD) hat. Zusätzlich dazu ist es schwierig, die Biegeverluste, die eine Rolle bei der Installation einer Faser spielen, bei der Verwendung solcher Profile ausreichend niedrig zu halten.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es folglich, eine Faser bereitzustellen, die ein Profil aufweist, das in einer leicht reproduzierbaren Weise hergestellt werden kann, wobei die Faser insbesondere für WDM-Anwendungen geeignet ist.

[0008] Eine Faser, wie sie im Oberbegriff des Anspruchs 1 aufgeführt wird, wird unter Bezugnahme auf [Fig. 1](#) in EP-A-785 448 beschrieben.

[0009] Die Erfindung, auf die in der Einleitung verwiesen wird, ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge mit einer Dispersion von null der optischen Faser weniger als 1500 nm beträgt, und daß sie die folgenden Anforderungen erfüllt:

$$0,2 < a/b < 0,55$$

$$0,05 < D2/D1 < 0,3$$

wobei:

$$D2 = ((n2 - n0)/n2) \cdot 100\%$$

$$D1 = ((n1 - n0)/n1) \cdot 100\%$$

$n0$ = Brechungsindexwert von undotiertem Siliziumoxidglas

$n1$ = Brechungsindexwert des dotierten inneren Kerns

$n2$ = Brechungsindexwert des dotierten äußeren Kerns.

[0010] Indem sowohl das Verhältnis a/b als auch das Verhältnis $D2/D1$ geeignet gewählt werden, wird eine optische Faser erhalten, die für WDM-Anwendungen besonders geeignet ist. Der Vorteil eines solchen Profils ist, daß es potentiell weniger empfindlich gegenüber der PMD und Makrobiegung ist, bei dem es möglich ist, falls erwünscht, die Empfindlichkeit gegenüber der PMD mittels Dotierstoffen noch weiter zu senken.

[0011] Das Profil, das in der vorliegenden Erfindung Anwendung findet, wird durch die obenerwähnten Parameter definiert. In diesem Zusammenhang kann

außerdem erwähnt werden, daß der Brechungsindexwert in der Fläche mit einem Durchmesser a konstant ist, wobei es in einer spezifischen Ausführungsform jedoch wünschenswert ist, daß der Brechungsindex in der Fläche mit einem Durchmesser a , die die mittlere Symmetrieachse umgibt, einen maximalen Wert aufweist, wobei der maximale Wert im wesentlichen linear zum äußeren Kern hin auf einen Wert n_1' abnimmt, wobei $n_1 > n_1' > n_2$. In einer spezifischen Ausführungsform ist es ferner wünschenswert, daß der Brechungsindex in der Fläche mit einem Durchmesser a , die die mittlere Symmetrieachse umgibt, einen maximalen Wert aufweist, wobei der maximale Wert im wesentlichen linear auf den Wert n_2 zum äußeren Kern hin abnimmt. Unter spezifischen Umständen kann es ferner wünschenswert sein, eine Ausführungsform zu verwenden, in der der Brechungsindexwert n_1 in der Fläche mit einem Durchmesser a' , die die mittlere Symmetrieachse umgibt, im wesentlichen konstant ist, wobei der Brechungsindexwert anschließend über eine Strecke zum äußeren Kern hin im wesentlichen linear auf einen Wert n_1' abnimmt, wobei $a' < a < b$ und $n_1 > n_1' > n_2$. Überdies ist eine spezielle Ausführungsform wünschenswert, in der der Brechungsindexwert in der Fläche mit einem Durchmesser a' , die die mittlere Symmetrieachse umgibt, konstant ist, wobei der Brechungsindexwert über eine Strecke zum äußeren Kern hin im wesentlichen linear auf einen Wert n_2 abnimmt, wobei $a' < a < b$ und $n_1 > n_2$.

[0012] Die vorliegende optische Faser weist ein sogenanntes Doppelform-Kernprofil auf, wobei der Kern aus einem mittleren Abschnitt mit einem hohen Brechungsindexwert und angrenzend daran einem umgebenden Ring mit einem niedrigeren Brechungsindex besteht. Die Brechungsindexwerte des Kerns und des angrenzenden umgebenden Rings sind höher als jene der Hülle, wobei die Hülle den Ring umgibt. Die Zunahme des Brechungsindex des Kerns relativ zu den umgebenden Schichten wird bewirkt, indem der Silika-Kern mit GeO_2 dotiert wird. In einer speziellen Ausführungsform sind sowohl der Kern als auch ein Teil des inneren Kerns, der den Kern umgibt, mit Fluor dotiert.

[0013] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfüllt die vorliegende optische Faser außerdem die Anforderung:

$$2 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}) \leq \text{Dispersion bei } 1550 \text{ nm} \leq 10 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}).$$

[0014] Der nichtlineare Effekt FWM nimmt stark zu, wenn die Dispersion der optischen Faser sich einem Wert von Null nähert. Da es sehr schwierig in einem Übertragungssystem ist, solche nichtlinearen Effekte zu kompensieren, ist es wünschenswert, daß die Dispersion im obenerwähnten Bereich stattfindet.

[0015] In einer speziellen Ausführungsform erfüllt

die vorliegende optische Faser außerdem vorzugsweise die Anforderung:

Dispersionsgradient bei 1550 nm: $\leq 0,095$ ps/(nm²·km).

[0016] Ein Dispersionsgradient, der die obige Anforderung erfüllt, ist besonders wünschenswert, da sich die Dispersion an der Kante des Durchlaßbandes stark von der Dispersion in dessen Mitte unterscheiden wird, wenn der Gradient zu hoch ist. Zusätzlich ist eine solche Differenz der Dispersion in einem Übertragungssystem schwierig, und sie kann nur mit hohen Kosten kompensiert werden kann, so daß es wünschenswert ist, daß die oben erwähnte Anforderung hinsichtlich des Dispersionsgradienten erfüllt wird.

[0017] In einer speziellen Ausführungsform ist es außerdem für die vorliegende optische Faser wünschenswert, daß sie die Anforderung erfüllt:
 $7,5 \leq \text{MFD} \leq 9,5$

[0018] Wenn der Modenfelddurchmesser (MFD) niedriger als 7,5 ist, wird die Lichtstärke in der optischen Faser zunehmen, als dessen Folge die optische Faser nachteilig durch den unerwünschten nichtlinearen Effekt SPM beeinflusst werden wird. Ein Modenfelddurchmesser, der größer als 9,5 ist, wird jedoch zu Problemen mit dem Dispersionsgradienten führen, dessen Wert ebenfalls höher wird, was folglich unerwünscht ist.

[0019] In einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird es für die optische Faser besonders bevorzugt, daß sie die Anforderung erfüllt:
Grenzwellenlänge < 1450 nm

[0020] In einer speziellen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind der innere Kern und ein Teil des äußeren Kerns mit Fluor dotiert. Diese Art und Weise der Dotierung macht es möglich, die Kreissymmetrie der Faser in einer reproduzierbaren Weise aufrechtzuerhalten, in der das Quetschverfahren, in dem der Hohlstab in einen massiven Stab verwandelt wird, leichter zu steuern ist.

[0021] Es wird besonders bevorzugt, wenn die vorliegende optische Faser eine oder mehrere zusätzliche Schichten aufweist, die auf der Hülle vorhanden sind, wobei der E-Modul der ersten zusätzlichen Schicht bei einer Temperatur von 20°C niedriger als 5 MPA ist und wobei das der zweiten zusätzlichen Schicht höher 500 MPA ist.

[0022] Solche Fasern scheinen sehr gute Makrobiegeeigenschaften zu haben, wobei diese Eigenschaften nur beobachtet werden können, wenn mindestens 100 Wicklungen auf einer Walze mit einem Durchmesser von 30 mm angeordnet sind. Die experimentell bestimmten Makrobiegewerte mit 100 Wick-

lungen auf einer solchen Walze sind niedriger als 10 dB/km.

[0023] Die vorliegende Erfindung wird im folgenden unter Bezugnahme auf eine Anzahl Figuren detaillierter erläutert werden, wobei die Figuren jedoch keine Begrenzung des Rahmens der Erfindung bilden.

[0024] Die [Fig. 1-Fig. 5](#) sind erfindungsgemäße Brechungsindexprofile.

[0025] [Fig. 1](#) zeigt schematisch ein abgestuftes Brechungsindexprofil der vorliegenden optischen Faser, in der der Brechungsindex im inneren Kern mit einem Durchmesser a über dessen gesamte Dicke im wesentlichen konstant ist.

[0026] In [Fig. 2](#) weist der innere Kern einen maximalen Brechungsindexwert in der Fläche auf, die die mittlere Symmetrieachse umgibt, wobei der maximale Brechungsindex zum äußeren Kern hin auf einen Wert n_1' abnimmt, wobei $n_1 > n_1' > n_2$.

[0027] In [Fig. 3](#) weist der innere Kern einen maximalen Brechungsindexwert in der Fläche auf, die die mittlere Symmetrieachse umgibt, wobei der maximale Brechungsindexwert n_1 von der mittleren Symmetrieachse zum äußeren Kern hin auf einen Wert n_2 abnimmt.

[0028] In [Fig. 4](#) weist der innere Kern einen maximalen Brechungsindexwert in der Fläche mit einem Durchmesser a' auf, die die mittlere Symmetrieachse umgibt. Dieser maximale Brechungsindexwert n_1 nimmt anschließend zum äußeren Kern hin in der Fläche mit einem Durchmesser a auf einen Wert n_1' ab, wobei $a' < a < b$ und $n_1 > n_1' > n_2$.

[0029] [Fig. 5](#) zeigt ein Brechungsindexprofil, in dem der innere Kern einen maximalen Brechungsindexwert in einer Fläche aufweist, die die mittlere Symmetrieachse umgibt, wobei die Fläche einen Durchmesser a' aufweist. Der maximale Brechungsindexwert n_1 nimmt zum äußeren Kern hin in der Fläche mit einem Durchmesser a auf einen Wert n_2 ab, wobei $n_1 > n_2$ und $a' < a < b$.

Patentansprüche

1. Optische Faser, die hauptsächlich aus Hartglas besteht, wobei die Faser aufweist:
 - i) einen inneren Kern mit einem ersten Brechungsindex n_1 und einem ersten Durchmesser a;
 - ii) einen äußeren Kern, der den Außenumfang des inneren Kerns umgibt und einen zweiten Brechungsindex n_2 und einen zweiten Durchmesser b aufweist; und
 - iii) eine Hülle, die den Außenumfang des äußeren Kerns umgibt, wobei die Hülle einen dritten Brechungsindex n_3 aufweist,

wobei $n_1 > n_2 > n_3$, und die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

$$0,2 < a/b < 0,55$$

$$0,05 < D_2/D_1 < 0,3$$

wobei:

$$D_2 = ((n_2 - n_0)/n_2) \cdot 100\%$$

$$D_1 = ((n_1 - n_0)/n_1) \cdot 100\%$$

n_0 = Brechungsindexwert von undotiertem Siliziumoxidglas

n_1 = Brechungsindexwert des dotierten inneren Kerns

n_2 = Brechungsindexwert des dotierten äußeren Kerns,

dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge mit einer Dispersion von null der optischen Faser weniger als 1500 nm beträgt.

2. Optische Faser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Faser außerdem die Anforderung erfüllt:

$$2 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}) \leq \text{Dispersion bei } 1550 \text{ nm} \leq 10 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}).$$

3. Optische Faser nach den Ansprüchen 1–2, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Faser außerdem die Anforderung erfüllt:

$$\text{Dispersionsgradient bei } 1550 \text{ nm} \leq 0,095 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km}).$$

4. Optische Faser nach den Ansprüchen 1–3, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Faser außerdem die Anforderung erfüllt:

$$7,5 \text{ MFD} \leq 9,5$$

5. Optische Faser nach den Ansprüchen 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Faser außerdem die Anforderung erfüllt:

$$\text{Grenzwellenlänge} < 1450 \text{ nm}$$

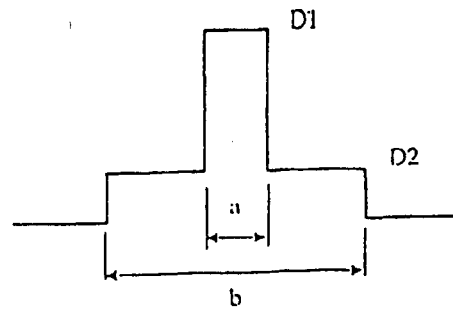
6. Optische Faser nach den Ansprüchen 1–5, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teil der Hülle mit Fluor dotiert ist, wobei der dotierte Teil der Hülle zum Außenumfang des äußeren Kerns direkt benachbart liegt.

7. Optische Faser nach den Ansprüchen 1–6, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere zusätzliche Schichten auf der Hülle vorhanden sind, wobei das E-Modul der ersten zusätzlichen Schicht bei 20°C niedriger als 5 MPa ist und das der zweiten zusätzlichen Schicht höher als 500 MPa ist.

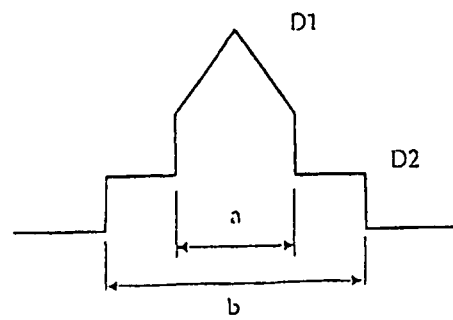
Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

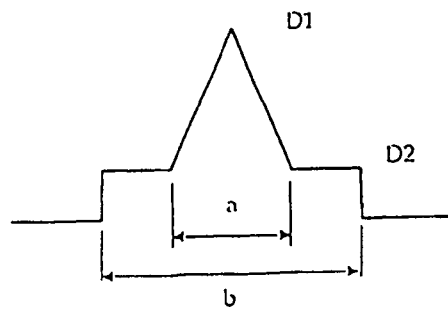
FIGUR 1



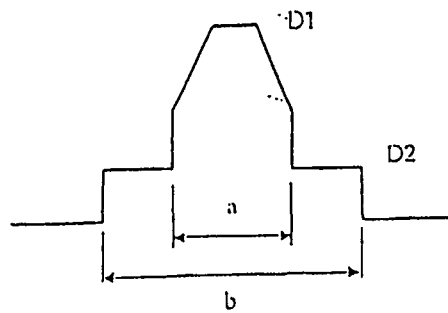
FIGUR 2



FIGUR 3



FIGUR 4



FIGUR 5

