

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-266808

(P2005-266808A)

(43) 公開日 平成17年9月29日(2005.9.29)

(51) Int.Cl.⁷

G02B 6/22

F I

G02B 6/22

テーマコード (参考)

2H050

審査請求 未請求 請求項の数 48 O L 外国語出願 (全 41 頁)

(21) 出願番号	特願2005-68908 (P2005-68908)	(71) 出願人	505068181
(22) 出願日	平成17年3月11日 (2005.3.11)		ドラカ・コムテック・ペー・ペー
(31) 優先権主張番号	0450525		オランダ国、1021・イエー・ゼット・
(32) 優先日	平成16年3月16日 (2004.3.16)		アムステルダム、ボールストラート・2
(33) 優先権主張国	フランス (FR)	(74) 代理人	100062007
			弁理士 川口 義雄
		(74) 代理人	100114188
			弁理士 小野 誠
		(74) 代理人	100103920
			弁理士 大崎 勝真
		(74) 代理人	100124855
			弁理士 坪倉 道明
		(72) 発明者	マキシム・ゴルリエ
			フランス国、75008・パリ、ブルバ
			ール・ドウ・クルセル、87
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高次モードを使用するSバンドにおける色分散補償光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 Sバンドにおける色分散補償光ファイバを提供すること。

【解決手段】 Sバンドにおける色分散補償光ファイバは、1460nmから1530nmに及ぶSバンドである使用されるスペクトルバンドにおいて光信号を搬送する、標準SMF光ファイバまたはNZ-DSF光ファイバの色分散の補償に使用される。

Sバンドにおける色分散補償光ファイバは、使用されるスペクトルバンド外にある、すなわちSバンド外にある大域の色分散最小値に対応する波長を有する。

【選択図】 図1

Figure 1

タイプ	11 μm	12 μm	13 μm	14 μm	15 μm	16 μm	17 μm	18 μm	19 μm	20 μm
DSF	3.5	3.5	6.74	16.96			30	2.1	0.6	
DSF2	4.5	3.62	18.67	13.53	16.5		28.4	1.6	-2.8	3.3
DSF3	5.5	3.53	5.18	8.62	11.68	15.3	29.2	1.6	2.5	-2.1
DSF4	4.5	3.48	9.84	14.46	18.21		30	1.7	0.8	4.7
DSF5	5.5	3.52	6.02	9.22	12.86	16	30	0.7	0.7	-2.3

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中心から周辺まで、可変屈折率プロファイルを有するコア、次いで一定屈折率のクラッドを連続して備え、 1495 nm の波長において、基本モード LP_{01} に加えて、少なくとも1つの高次モードの伝播を可能にする、波長多重化伝送システムのための 1460 nm から 1530 nm に及ぶSバンドにおける色分散補償光ファイバであって、コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、一方では、 1495 nm の波長において、第1に、色分散が -150 ps/nm-km より小さく、第2に、色分散対色分散傾斜比が 200 nm と 300 nm との間にあり、第3に、有効面積が $60\text{ }\mu\text{m}^2$ より大きく、他方では、大域的色分散最小値に対応する波長が 1550 nm と 1600 nm との間にあるように決定される色分散補償光ファイバ。

【請求項 2】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散が -200 ps/nm-km より小さいように決定されることを特徴とする請求項1に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 3】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散が -250 ps/nm-km より小さいように決定されることを特徴とする請求項2に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 4】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散が -300 ps/nm-km より小さいように決定されることを特徴とする請求項3に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 5】

高次モードが、モード LP_{02} であることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 6】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散対色分散傾斜比が 200 nm と 250 nm との間にあるように決定されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 7】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、有効面積が $70\text{ }\mu\text{m}^2$ より大きくなるように決定されることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 8】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、有効面積が $80\text{ }\mu\text{m}^2$ より大きくなるように決定されることを特徴とする請求項7に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 9】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、大域的色分散最小値に対応する波長が 1570 nm と 1590 nm との間にあるように決定されることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 10】

コアの可変屈折率プロファイルが、中心から周辺まで、クラッドの屈折率より大きい最大屈折率を有する中心スライスと、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第1周辺スライスと、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第2周辺スライスと、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第3周辺スライスとを連続して備えることを特徴とする請求項1から9のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

中心スライスの屈折率とクラディングの屈折率との間の最大屈折率差 (n_1) が、 20.10^{-3} と 32.10^{-3} との間にあり、中心スライスの外半径 (r_1) が、 $3\mu\text{m}$ と $4.5\mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 10 に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 12】

ゼロ半径とクラディングの屈折率より大きい屈折率を有する中心スライスの部分の半径 (r_1) との間における、クラディングに対する屈折率差の積分

【数 1】

$$(S_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r).dr)$$

10

の値が、 100.10^{-3} と $115.10^{-3}\mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 13】

ゼロ半径とクラディングの屈折率より大きい屈折率を有する中心スライスの部分の半径 (r_1) との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の 2 倍

【数 2】

$$(T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r).r.dr)$$

20

の値が、 $325.10^{-3}\mu\text{m}^2$ と $475.10^{-3}\mu\text{m}^2$ との間にあることを特徴とする請求項 10 から 12 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 14】

ゼロ半径と第 2 周辺スライスの半径 (r_3) との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の 2 倍

【数 3】

$$(T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r).r.dr)$$

の値が、 $400.10^{-3}\mu\text{m}^2$ と $800.10^{-3}\mu\text{m}^2$ との間にあることを特徴とする請求項 10 から 13 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。 30

【請求項 15】

第 1 周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 (n_2) が、 -4.10^{-3} と 5.10^{-3} との間にあり、第 1 周辺スライスの外半径 (r_2) が、 $5\mu\text{m}$ と $11\mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 10 から 14 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 16】

第 2 周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 (n_3) が、 -5.10^{-3} と 5.10^{-3} との間にあり、第 2 周辺スライスの外半径 (r_3) が、 $8\mu\text{m}$ と $15\mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 10 から 15 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。 40

【請求項 17】

第 3 周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 (n_4) が、 -5.10^{-3} と 5.10^{-3} との間にあり、第 3 周辺スライスの外半径 (r_4) が、 $11\mu\text{m}$ と $17\mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 10 から 16 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 18】

コアの可変屈折率プロファイルが、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第 4 周辺スライスを備え、前記第 4 周辺スライスが、第 3 周辺スライスの周上に位置することを特徴とする請求項 10 から 17 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ 50

。

【請求項 19】

第4周辺スライスの屈折率とクラッドイングの屈折率との屈折率差 (n_5) が、0と $10 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第4周辺スライスの外半径 (r_5) が、 $14 \mu\text{m}$ と $17 \mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項18に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 20】

中心から周辺まで、可変屈折率プロファイルを有するコア、次いで一定屈折率のクラッドイングを連続して備え、基本モード $LP_{0,1}$ に加えて、 1495 nm の波長において、少なくとも1つの高次モードの伝播を可能にする波長多重化伝送システムのための 1460 nm から 1530 nm に及ぶSバンドにおける色分散補償光ファイバであって、コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、一方では、 1495 nm の波長において、第1に、色分散が -150 ps/nm-km であり、第2に、色分散対色分散傾斜比が 130 nm より小さく、第3に、有効面積が $50 \mu\text{m}^2$ より大きく、他方では、大域的色分散最小値に対応する波長が 1530 nm と 1580 nm との間にあるように決定される色分散補償光ファイバ。

【請求項 21】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散が -200 ps/nm-km より小さくなるように決定されることを特徴とする請求項20に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 22】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散が -250 ps/nm-km より小さくなるように決定されることを特徴とする請求項21に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 23】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散が -300 ps/nm-km より小さくなるように決定されることを特徴とする請求項22に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 24】

高次モードが、モード $LP_{0,2}$ であることを特徴とする請求項1から23のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 25】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、色分散対色分散傾斜比が 90 nm と 110 nm との間にあるように決定されることを特徴とする請求項1から24のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 26】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、有効面積が $65 \mu\text{m}^2$ より大きくなるように決定されることを特徴とする請求項1から25のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 27】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、有効面積が $80 \mu\text{m}^2$ より大きくなるように決定されることを特徴とする請求項26に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 28】

コアの屈折率プロファイルが、前記高次モードでは、 1495 nm の波長において、大域的色分散最小値に対応する波長が 1540 nm と 1560 nm との間にあるように決定されることを特徴とする請求項1から27のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 29】

コアの可変屈折率プロファイルが、中心から周辺まで、
クラッドイングの屈折率より大きい最大屈折率を有する中心スライスと、
中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第1周辺スライスと、

中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第 2 周辺スライスと、
中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第 3 周辺スライスとを連続して備えることを特徴とする請求項 1 から 28 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 30】

中心スライスの屈折率とクラディングの屈折率との最大屈折率差 (n_1) が、 1.5×10^{-3} と 3.0×10^{-3} との間にあり、中心スライスの外半径 (r_1) が、 $3 \mu\text{m}$ と $5 \mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 29 に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 31】

ゼロ半径とクラディングの屈折率より大きい屈折率を有する中心スライスの部分の半径 (r_1) との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の 2 倍

【数 4】

$$(T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr)$$

の値が、 $375 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ と $525 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ との間にあることを特徴とする請求項 29 または 30 に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 32】

ゼロ半径と第 2 周辺スライスの半径 (r_3) との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の 2 倍

【数 5】

$$(T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr)$$

の値が、 $400 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ と $700 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ との間にあることを特徴とする請求項 29 から 31 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 33】

第 1 周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 (n_2) が、 -7×10^{-3} と 5×10^{-3} との間にあり、第 1 周辺スライスの外半径 (r_2) が、 $5 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 29 から 32 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 34】

第 2 周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 (n_3) が、 -5×10^{-3} と 5×10^{-3} との間にあり、第 2 周辺スライスの外半径 (r_3) が、 $7 \mu\text{m}$ と $15 \mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 29 から 33 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 35】

第 3 周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 (n_4) が、 -5×10^{-3} と 5×10^{-3} との間にあり、第 3 周辺スライスの外半径 (r_4) が、 $10 \mu\text{m}$ と $16 \mu\text{m}$ との間にあることを特徴とする請求項 29 から 34 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 36】

コアの可変屈折率プロファイルが、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第 4 周辺スライスを備え、前記第 4 周辺スライスが、第 3 周辺スライスの周上に位置することを特徴とする請求項 29 から 35 のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項 37】

第 4 周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 (n_5) が、0 と

10・10⁻³との間にあり、第4周辺スライスの外半径(r_5)が、14 μ mと17 μ mとの間にあることを特徴とする請求項18に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項38】

1495 nmの波長において、10 mmの半径の湾曲によって生じる損失が、100 dB/mより小さいことを特徴とする請求項1から37のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項39】

1495 nmの波長において、10 mmの半径の湾曲によって生じる損失が、50 dB/mより小さいことを特徴とする請求項38に記載の色分散光ファイバ。

【請求項40】

減衰が、1495 nmの波長において、1.5 dB/kmより小さいことを特徴とする請求項1から39のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項41】

減衰が、1495 nmの波長において、1 dB/kmより小さいことを特徴とする請求項40に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項42】

偏光モード分散が、1495 nmの波長において、0.5 ps/km^{1/2}より小さいことを特徴とする請求項1から41のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項43】

偏光モード分散が、1495 nmの波長において、0.2 ps/km^{1/2}より小さいことを特徴とする請求項42に記載の分散補償光ファイバ。

【請求項44】

モジュール(3)が、先行請求項のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバ(4)を備えることを特徴とする色分散補償モジュール。

【請求項45】

基本モードを高次モードに変換することができる第1モード変換器(2)、前記分散補償光ファイバ(4)、および高次モードを基本モードに変換することができる第2モード変換器(5)を直列に連続して備えることを特徴とする請求項44に記載の色分散補償モジュール。

【請求項46】

線光ファイバ(1)および請求項44または45に記載の補償モジュール(3)を直列に連続して備えることを特徴とする光ファイバ波長多重化伝送システム。

【請求項47】

線光ファイバ(1)の長さ分散補償光ファイバ(4)の長さとの比が、1495 nmにおける線光ファイバ(1)の色分散と、1495 nmにおける分散補償光ファイバ(4)の色分散との比の絶対値の逆数でほぼあることを特徴とする請求項46に記載の光ファイバ波長多重化伝送システム。

【請求項48】

1460 nmと1530 nmとの間の各波長の累積色分散の絶対値が、100 kmの伝送にわたって平均して30 ps/nmより小さいことを特徴とする請求項46または47に記載の光ファイバ波長多重化伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長多重化伝送システムの色分散補償光ファイバの分野に関する。分散補償光ファイバの機能は、いわゆる線ファイバの色分散を補償することである。本発明は、より具体的には、標準SMF光ファイバまたはNZ-DSF光ファイバの色分散の補償に使用されるSバンドにおける色分散補償光ファイバに関する。線光ファイバは、1460 nmから1530 nmに及ぶSバンドである、使用されるスペクトルバンドにおいて光信号を搬送する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

参照によって本明細書に組み込まれている仏国特許出願第0204271号明細書に記載の従来の技術の第1項目によれば、Cバンドおよび/またはLバンドにおけるHOM色分散補償光ファイバ（または高次モード光ファイバ）の例が知られている。この光ファイバは、Cバンドおよび/またはLバンドにおける色分散傾斜のわずかな変化を呈示し、したがって、線光ファイバの色分散および色分散傾斜の良好な補償を可能にする。しかし、この補償光ファイバは、Sバンドにおける使用には適切ではない。その最小色分散波長は、Sバンドから除去されるには、高過ぎ、かつ遠過ぎる。最小色分散波長は、大域的色分散最小値に対応する波長である。

10

【0003】

本出願人の欧州特許第1 351 417号明細書に記載されている従来の技術の第2項目によれば、中心から周辺に向かって、可変屈折率プロファイル、次いで一定屈折率のクラディングを有するコアを備える、波長多重化伝送システムのための色分散光ファイバが知られている。この場合、色分散は、 $-150 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ より小さく、色分散傾斜は、厳密に負であり、有効面積は、 $40 \mu\text{m}^2$ より大きい。さらに、全体的な最小色分散に対応する波長と、 30 nm より大きい動作スペクトル領域の上限に対応する波長との差は、 35 nm より大きく、前記動作スペクトル範囲にわたる分散傾斜の相対変化は、 30% より小さい絶対値を有する。

【0004】

20

米国特許出願第2003/0185531号明細書に記載の従来の技術の第3項目によれば、複数のコア領域と、 $\text{LP}_{0,2}$ モードにおいて提供される光導波路をもたらしように選択される屈折率プロファイルと、動作波長バンド内の代表的な波長である指定 λ_0 における $-300 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ より負の分散と、投影ゼロ分散が λ_0 -分散(λ_0)/傾斜(λ_0)として確定される($\lambda_0 - 75 \text{ nm}$)より小さい投影ゼロ分散と、3次分散が λ_0 における最適適合分散によって除算された分散の最適線であって、最大偏差を最小化するように選択された最適線からの最大偏差として確定される、動作波長バンドにわたって 2% より小さい3次分散とを備える、少なくとも1つの高次空間モードを支持する限定モード色補償光ファイバが知られている。

【特許文献1】仏国特許出願第0204271号明細書

30

【特許文献2】欧州特許第1 351 417号明細書

【特許文献3】米国特許出願第2003/0185531号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

したがって、本発明によって提案される解決法は、Sバンド全体にわたって色分散および色分散傾斜の有効な補償を可能にするために、色分散傾斜について可能な限り小さい変化を呈示するSバンドにおけるHOM分散補償光ファイバに関する。これを実現するために、最小色分散波長は、Sバンドにおける色分散傾斜の低レベルの変化、有効領域の大きな値、非常に負の色分散値、および補償される線光ファイバの色分散対色分散傾斜比に可能な限り近い色分散対色分散傾斜比の間の良好な折衷を保証するように、狭く最適なスペクトル領域から選択される。補償が標準SMF（単一モードファイバ）光ファイバまたはNZ-DSF（ノンゼロ分散シフトファイバ）光ファイバについてであるかに応じて、最小色分散波長の最適領域およびパラメータと追求される光学特性との折衷は、わずかに異なる。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

Sバンドにおいて光信号を搬送する標準SMF光ファイバを補償するために、本発明によれば、中心から周囲まで、可変屈折率プロファイルを有するコア、次いで一定屈折率のクラディングを連続して備え、 1495 nm の波長において、基本モード $\text{LP}_{0,1}$ に加

50

えて、少なくとも1つの高次モードの伝播を可能にする、波長多重化伝送システムのための1460nmから1530nmに及ぶスペクトルバンドSにおける色分散補償光ファイバが提供され、コアの屈折率プロファイルは、前記高次モードでは、一方では1495nmの波長において、第1に、色分散が -150 ps/nm-km より小さく、第2に、色分散対色分散傾斜比が200nmと300nmとの間であり、第3に、有効領域が $60\mu\text{m}^2$ より大きく、他方では、大域的色彩分散最小値に対応する波長が1550nmと1600nmとの間にあるように決定される。

【0007】

Sバンド全体にわたって標準SMF光ファイバの色分散についてより精確な補償を可能にするために、コアの屈折率プロファイルは、前記高次モードでは、1495nmの波長において、色分散対色分散傾斜比が200nmと250nmとの間にあるように決定されることが好ましい。

10

【0008】

Sバンド全体にわたって色分散傾斜の変化を小さく維持しながら、本発明による分散補償光ファイバの光学特性間において達成される折衷を改善するために、コアの屈折率プロファイルは、前記高次モードでは、1495nmの波長において、大域的色彩分散最小値に対応する波長が1570nmと1590nmとの間にあるように決定されることが好ましい。

【0009】

本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバの補償の品質および他の特性を改善するために、屈折率のいくつかの好ましい範囲およびコアの屈折率プロファイルの半径が、この段階で与えられる。「依然としてより小さい」という表現は、パラメータが一定である場合、「より小さい」ことを意味し、パラメータが、考慮しているスライスにわたって可変である場合、考慮しているスライスにわたって「依然としてより小さい」ことを意味する。

20

【0010】

コアの屈折率プロファイルは、前記高次モードでは、1495nmの波長において、有効面積が $70\mu\text{m}^2$ より大きく、好ましくは $80\mu\text{m}^2$ より大きくなるように決定されることが好ましい。

【0011】

中心スライスの屈折率とクラディングの屈折率との最大屈折率差 n_1 は、 $20 \cdot 10^{-3}$ と $32 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、中心スライスの外半径 r_1 は、 $3\mu\text{m}$ と $4.5\mu\text{m}$ との間にあることが好ましい。

30

【0012】

ゼロ半径とクラディングの屈折率より大きい屈折率を有する中心スライスの部分の半径 r_1 との間における、クラディングに対する屈折率差の積分

【数6】

$$(S_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr)$$

40

の値は、 $100 \cdot 10^{-3}$ と $115 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$ の間にあることが好ましい。

【0013】

ゼロ半径とクラディングの屈折率より大きい屈折率を有する中心スライスの部分の半径 r_1 との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の2倍

【数7】

$$(T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr)$$

50

の値は、 $325 \cdot 10^{-3} \mu m^2$ と $475 \cdot 10^{-3} \mu m^2$ との間にあることが好ましい。

【0014】

ゼロ半径と第2周辺スライスの半径 r_3 との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の2倍

【数8】

$$(T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr)$$

10

の値は、 $400 \cdot 10^{-3} \mu m^2$ と $800 \cdot 10^{-3} \mu m^2$ との間にあることが好ましい。

【0015】

第1周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_2 は、 $-4 \cdot 10^{-3}$ と $5 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第1周辺スライスの外半径 r_2 は、 $5 \mu m$ と $11 \mu m$ との間にあることが好ましい。

【0016】

第2周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_3 は、 $-5 \cdot 10^{-3}$ と $5 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第2周辺スライスの外半径 r_3 は、 $8 \mu m$ と $15 \mu m$ との間にあることが好ましい。

20

【0017】

第3周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_4 は、 $-5 \cdot 10^{-3}$ と $5 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第3周辺スライスの外半径 r_4 は、 $11 \mu m$ と $17 \mu m$ との間にあることが好ましい。

【0018】

第4周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_5 は、 0 と $10 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第4周辺スライスの外半径 r_5 は、 $14 \mu m$ と $17 \mu m$ との間にあることが好ましい。

【0019】

Sバンドにおいて光信号を搬送するNZ-DSF光ファイバを補償するために、本発明によれば、中心から周辺まで、可変屈折率プロファイルを有するコア、次いで一定屈折率のクラディングを連続して備え、 $1495 nm$ の波長において、基本モードLP₀₁に加えて、少なくとも1つの高次モードの伝播を可能にする、波長多重化伝送システムのための $1460 nm$ から $1530 nm$ に及ぶスペクトルバンドSにおける色分散補償光ファイバが提供され、コアの屈折率プロファイルは、前記高次モードでは、一方では、 $1495 nm$ の波長において、第1に、色分散が $-150 ps/nm \cdot km$ より小さく、第2に、色分散対色分散傾斜比が $130 nm$ より小さく、第3に、有効面積が $50 \mu m^2$ より大きく、他方では、大域的色分散最小値に対応する波長が $1530 nm$ と $1580 nm$ との間にあるように決定される。

30

【0020】

Sバンド全体にわたって標準SMF光ファイバの色分散をより精密に補償することを可能にするために、コアの屈折率プロファイルは、前記高次モードでは、 $1495 nm$ の波長において、色分散対色分散傾斜比が $90 nm$ と $110 nm$ との間にあるように決定されることが好ましい。

40

【0021】

Sバンド全体にわたって色分散傾斜の変化を小さく維持しながら、本発明による色分散補償光ファイバの光学特性間において達成される折衷を改善するために、コアの屈折率のプロファイルは、前記高次モードでは、 $1495 nm$ の波長において、大域的色分散最小値に対応する波長が $1540 nm$ と $1560 nm$ との間にあるように決定されることが好ましい。

50

【 0 0 2 2 】

本発明によるHOMタイプの色分散補償光ファイバの補償の品質および他の特性を改善するために、屈折率のいくつかの好ましい範囲およびコアの屈折率プロファイルの半径が与えられる。「依然としてより小さい」という表現は、パラメータが一定である場合、「より小さい」ことを意味し、パラメータが、考慮しているスライスにわたって可変である場合、考慮しているスライスにわたって「依然としてより小さい」ことを意味する。

【 0 0 2 3 】

コアの屈折率のプロファイルは、前記高次モードでは、1495 nmの波長において、有効面積が $65 \mu\text{m}^2$ より大きい、好ましくは $80 \mu\text{m}^2$ より大きくなるように決定されることが好ましい。

10

【 0 0 2 4 】

中心スライスの屈折率とクラディングの屈折率との最大屈折率差 n_1 は、 $15 \cdot 10^{-3}$ と $30 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、中心スライスの外半径 r_1 は、 $3.5 \mu\text{m}$ と $5 \mu\text{m}$ との間にあることが好ましい。

【 0 0 2 5 】

ゼロ半径とクラディングの屈折率より大きい屈折率を有する中心スライスの部分の半径 r_1 との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の2倍

【数9】

$$(T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr)$$

20

の値は、 $375 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ と $525 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ との間にあることが好ましい。

【 0 0 2 6 】

ゼロ半径と第2周辺スライスの半径 r_3 との間における、クラディングに対する屈折率差と半径との積の積分の2倍

【数10】

$$(T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr)$$

30

の値は、 $400 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ と $700 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ との間にあることが好ましい。

【 0 0 2 7 】

第1周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_2 は、 $-7 \cdot 10^{-3}$ と $5 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第1周辺スライスの外半径 r_2 は、 $5 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ との間にあることが好ましい。

【 0 0 2 8 】

第2周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_3 は、 $-5 \cdot 10^{-3}$ と $5 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第2周辺スライスの外半径 r_3 は、 $7 \mu\text{m}$ と $15 \mu\text{m}$ との間にあることが好ましい。

40

【 0 0 2 9 】

第3周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_4 は、 $-5 \cdot 10^{-3}$ と $5 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第3周辺スライスの外半径 r_4 は、 $10 \mu\text{m}$ と $16 \mu\text{m}$ との間にあることが好ましい。

【 0 0 3 0 】

第4周辺スライスの屈折率とクラディングの屈折率との屈折率差 n_5 は、 0 と $10 \cdot 10^{-3}$ との間にあり、第4周辺スライスの外半径 r_5 は、 $14 \mu\text{m}$ と $17 \mu\text{m}$ との間にあることが好ましい。

50

【0031】

補償が、標準SMF光ファイバまたはNZ-DSF光ファイバについてであるかにかかわらず、光ファイバは、以下の有利な特性を有することが好ましい。

【0032】

高次モードは、モードLP₀₂であることが好ましい。このモードでは、非常に負の色分散を呈示する色分散補償光ファイバは、容易に得ることができ、このモードは、偏光の問題の原因である、ファイバの円形の幾何学的形状における欠陥に対して非常に鋭敏ではない。しかし、たとえばモードLP₁₁またはモードLP₀₃など、他の高次モードが可能である。

【0033】

コアの屈折率プロファイルは、前記高次モードでは、1495nmの波長において、色分散が-200ps/nm-kmより小さく、好ましくは-250ps/nm-kmより小さく、有利には-300ps/nm-kmより小さく、これにより、所与の線光ファイバについて、使用される補償光ファイバの長さを低減することが可能であるように決定されることが好ましい。

【0034】

使用される動作スペクトルバンドは、1460nmから1530nmのSバンドである。本発明によるHOMタイプ色分散光ファイバを統合する、以下でより詳細に記述される光ファイバ波長多重化伝送システムは、平均で100kmを超える伝送に関して、1460nmと1530nmとの間の各波長について、30ps/nmより小さい累積色分散の絶対値を有することが好ましい。

【0035】

コアの屈折率プロファイルは、少なくとも4つのスライスを有することが好ましい。コアの屈折率プロファイルは、少なくとも5つのスライスを有することが有利である。色分散がより負になると、本発明によるHOMタイプ色分散光ファイバの波長の関数として、色分散の曲線の良好な線形性を得るために必要なコアの屈折率プロファイルにおけるスライスの数がより多くなる。多数のスライスにより、非常に良好な色分散の補償を可能にしながら、前記HOMタイプ色分散補償光ファイバの他の特性に対して過度に深刻な影響を有さないHOMタイプ色分散補償光ファイバを得ることが可能になる。5つのスライスは、スペクトルバンドSにおける補償について、HOMタイプ分散補償光ファイバの特性とその製造の複雑さとの間の良好な折衷を構築する。スライスの形状は、たとえば、矩形であるが、3角形、台形、またはアルファの形状とすることも可能である。

【0036】

本発明の第1の好ましい実施形態では、本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバは、4つのスライスを有するコアの可変屈折率プロファイルを備える。したがって、コアの可変屈折率プロファイルは、中心から周辺まで、クラディングの屈折率より大きい最大屈折率を有する中心スライス、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第1周辺スライス、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第2周辺スライス、および中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第3周辺スライスを連続して有する。

【0037】

本発明の第2の好ましい実施形態では、本発明による分散補償を提供するHOMタイプ光ファイバは、5つのスライスを有するコアの可変屈折率プロファイルを備える。したがって、コアの可変屈折率プロファイルは、中心から周辺まで、クラディングの屈折率より大きい最大屈折率を有する中心スライス、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第1周辺スライス、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第2周辺スライス、中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第3周辺スライス、および中心スライスの最大屈折率より小さい最大屈折率を有する第4周辺スライスを連続して備える。

【0038】

10

20

30

40

50

本発明は、本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバを統合する色分散補償モジュールにも関する。このモジュールは、基本モードを高次モードに変換することができる第1モード変換器、本発明による分散補償光ファイバ、および高次モードを再び基本モードに変換することができる第2モード変換器を直列に連続して備えることが好ましい。このモジュールは、光ファイバ波長多重化伝送システムに統合されることが可能であり、したがって、このシステムは、線光ファイバおよび本発明による補償モジュールを直列に連続して備える。本発明によるこの光ファイバ波長多重化伝送システムでは、線光ファイバの長さ分散補償光ファイバの長さとの比は、最適な補償を可能にするために、1495nmの波長における線光ファイバの色分散と、1495nmの波長における色分散補償光ファイバの色分散との比の絶対値の逆数であることが好ましい。

10

【0039】

例として与えられる、以下の記述および添付の図面から、本発明はよりよく理解され、他の特性および利点が明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0040】

図1は、標準SMF光ファイバの補償に使用される本発明によるHOMタイプ分散補償光ファイバのプロファイルのいくつかの例について、半径および屈折率差の値を与える表である。左列は、HOM1からHOM5のプロファイルの名称を示す。第2列は、考慮している例のコア屈折率プロファイルが備えるスライス数を示す。次の5つの列は、 μm で表されたコア可変屈折率プロファイルの半径を与える。最後の5つの列は、1000倍された一定屈折率のクラディングに対する屈折率差を与える（単位なし）。表のすべてのボックスが埋められているわけではないが、その理由は、プロファイルは、すべてが同じ数のスライスを有するわけではないからである。

20

【0041】

図2は、モード $LP_{0,2}$ について図1に示された本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバのプロファイルの他の特性を与える表である。左列は、上記ですでに説明されたプロファイルの名称を与える。次の列は、考慮している各プロファイルが備えるスライス数を表す。考慮している各プロファイルについて、他の列は、考慮しているプロファイルに対応する光ファイバのスライスの特性を与える。次の列は、1495nmの波長における $ps/nm-km$ で表された色分散を与える。次の列は、1495nmの波長におけるnmで表された色分散対色分散傾斜比を与える。次の列は、1495nmの波長における μm^2 で表された有効面積 A_{eff} を与える。次の列は、nmで表された最小色分散波長 λ_{min} を与える。最後の2つの列は、1475nmから1515nmおよび1465nmから1525nmの動作スペクトル領域について、それぞれ、色分散傾斜の最大相対変化を%として与える。動作スペクトル領域にわたる分散傾斜の相対変化は、一方では、前記動作スペクトル領域にわたる最大色分散傾斜と前記動作スペクトル領域にわたる最小色分散傾斜との差と、他方では、前記動作スペクトル領域の平均色分散傾斜との間の商に対応する。4つのスライス、好ましくは5つのスライスを有する光ファイバは、可能な最も負の色分散、可能な最大有効面積、および考慮している動作スペクトル領域にわたって可能な最も線形の色分散の間において、より良好な折衷を達成することを可能にする。1570nmから1590nmの好ましい狭い領域における最小分散波長も、折衷を改善することを可能にする。

30

40

【0042】

図3は、NZ-DSF光ファイバの補償に使用される本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバのプロファイルのいくつかの例について、半径および屈折率差の値を与える表である。図3は、図1と同様であるが、左列は、HOM7からHOM12のプロファイルの名称を与える。

【0043】

図4は、モード $LP_{0,2}$ について、図3に示される本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバのプロファイルの他の特性を与える表である。4つのスライス、好ましくは

50

5つのスライスを有する光ファイバは、可能な最も負の色分散、可能な最大有効面積、および考慮している動作スペクトル領域にわたって可能な最も線形の色分散傾斜の間においてより良好な折衷を達成することを可能にする。1540nmから1560nmの好ましい狭い領域内における最小分散波長も、折衷を改善することを可能にする。最小分散波長が前記最小色分散波長領域外にある例HOM7、HOM10、およびHOM12の色分散傾斜の線形性は、他の例より明らかに悪く、有効面積もより小さい。例HOM12の色分散傾斜の劣悪な線形性によって示されるように、小さい色分散対色分散傾斜比を見つける試行は、得られる折衷に対して悪影響を有するようである。最も注目される例は、表の最右列の30%の閾値に対応する。この30%の閾値は、標準SMF線光ファイバの補償に使用される色分散補償光ファイバにも適用される。

10

【0044】

図5は、本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバの5スライスプロファイルタイプを概略的に示す。横座標に沿って、半径が μm でプロットされる。縦座標に沿って、1000が乗算された屈折率差が単位を有せずにプロットされる。中心スライスと呼ばれる第1スライスは、クラディングの一定屈折率および外半径 r_1 の状態、最大屈折率差 n_1 を有する。最大屈折率差 n_1 は、正である。ゼロ半径と半径 r_1 との間において、屈折率は、一定であることが好ましい。第1周辺スライスと呼ばれる第2スライスは、クラディングの一定屈折率および外半径 r_2 の状態、屈折率差 n_2 を有する。屈折率差 n_2 は、正または負であることがある。負の屈折率差は、埋め込まれたスライスに対応する。屈折率は、半径 r_1 と半径 r_2 との間において一定であることが好ましい。第2周辺スライスと呼ばれる第3スライスは、クラディングの一定屈折率および外半径 r_3 の状態、屈折率差 n_3 を有する。屈折率差 n_3 は、正または負であることがある。屈折率は、半径 r_2 と半径 r_3 との間において一定であることが好ましい。第3周辺スライスと呼ばれる第4スライスは、クラディングの一定屈折率および外半径 r_4 の状態、屈折率差 n_4 を有する。屈折率差 n_4 は、正または負であることがある。屈折率は、半径 r_3 と半径 r_4 との間において一定であることが好ましい。第4周辺スライスと呼ばれる第5スライスは、クラディングの一定屈折率および外半径 r_5 の状態、屈折率差 n_5 を有する。屈折率差 n_5 は、正または負であることがある。屈折率は、半径 r_4 と半径 r_5 との間において一定であることが好ましい。半径 r_5 を超えると、一定屈折率のクラディングである。4つしかスライスを有さない光ファイバでは、一定屈折率のクラディングは、半径 r_4 から開始される。3つしたスライスを有さない光ファイバでは、一定屈折率のクラディングは、半径 r_3 から開始される。

20

30

【0045】

図6は、本発明による光ファイバ波長多重化伝送システムを概略的に示す。伝送システムは、光信号の伝播の観点で上流から下流に見て、以下の要素を直列に連続して備える：線光ファイバ1に補償モジュール3が続く、このモジュールは、まず、基本モード $LP_{0,1}$ に従って伝播している光エネルギーのほとんどを $LP_{0,2}$ などの高次モードに変換するモード変換器2、次いで、線光ファイバの色分散を補償するが、高次モード $LP_{0,2}$ においてである、本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバ4、次いで、高次モード $LP_{0,2}$ に従って伝播している光エネルギーのほとんどを再び基本モード $LP_{0,1}$ に変換するモード変換器5を備える。本発明による伝送システムは、送信器、受信器、増幅器など、明瞭化の理由で図6には示されていない他の要素を備えることも可能であり、および/または、図6に示される要素のシーケンスの数倍を含むことが可能である。

40

【0046】

1495nmの波長において、10mmの半径の湾曲によって生じる損失は、100dB/mより小さく、50dB/mより小さいことが有利である。

【0047】

1495nmの波長における減衰は、1.5dB/kmより小さく、1dB/kmより小さいことが有利である。

【0048】

50

1495 nmの波長における偏光モード分散は、 $0.5 \text{ ps/km}^{1/2}$ より小さく、 $0.2 \text{ ps/km}^{1/2}$ より小さいことが有利である。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】標準SMF光ファイバの補償に使用される本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバのプロファイルのいくつかの例について、半径および屈折率差の値を与える表である。

【図2】モードLP₀₂について図1に示された本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバのプロファイルの他の特性を与える表である。

【図3】NZ-DSF光ファイバの補償に使用される本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバのプロファイルのいくつかの例について、半径および屈折率差の値を与える表である。

【図4】モードLP₀₂について図1に示された本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバのプロファイルの他の特性を与える表である。

【図5】本発明によるHOMタイプ色分散補償光ファイバの5つのスライスを備える屈折率のプロファイルのタイプを概略的に示す図である。

【図6】本発明による光ファイバ波長多重化伝送システムを概略的に示す図である。

【符号の説明】

【0050】

r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 半径

LP₀₁ 基本モード

LP₀₂ 高次モード

n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 、 n_5 屈折率差

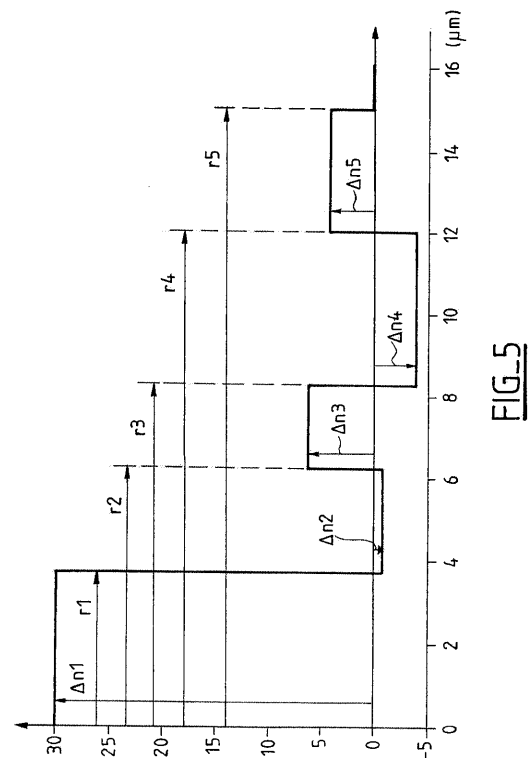
20

【図1】

Figure 1

タイプ	r_1 μm	r_2 μm	r_3 μm	r_4 μm	r_5 μm	10^1 Δn1	10^1 Δn2	10^1 Δn3	10^1 Δn4	10^1 Δn5
HOM1	3.5	3.5	6.74	14.96		30	2.1	0.6		
HOM2	4.5	3.62	10.67	13.53	16.5		28.4	1.6	-2.8	3.3
HOM3	5.5	3.53	5.18	8.82	11.68	15.3	29.2	1.6	2.5	-2.1
HOM4	4.5	3.48	9.54	14.46	15.21		30	1.7	0.8	5.7
HOM5	5.5	3.52	6.02	9.22	12.88	16	30	0.7	2.7	-2.3

【図5】



【図2】

Figure 2

タイプ	分散 ps/nm-km	分散傾斜 nm	S_{eff} μm^2	λ_{eff} nm	傾斜の最大変化 [1475-1515nm] [1465-1525nm]	
HOM1	3.5	-280	230	68	1575	8% 14%
HOM2	4.5	-280	230	72	1555	8% 11%
HOM3	5.5	-300	280	81	1575	0% 2%
HOM4	4.5	-320	250	75	1580	11% 16%
HOM5	5.5	-350	230	73	1575	9% 12%

【図3】

Figure 3

タイプ	r_1 μm	r_2 μm	r_3 μm	r_4 μm	r_5 μm	10^1 Δn1	10^1 Δn2	10^1 Δn3	10^1 Δn4	10^1 Δn5
HOM7	3.5	3.75	9.82	13.75		27.7	1	2.14		
HOM8	4.5	4.22	7	14.29	15.7		23.1	-0.1	2.1	0.5
HOM9	5.5	4.1	8.24	8.27	11.04	15.48	24.4	-0.4	1.4	2.5
HOM10	5.5	3.86	5.46	11	12.49	15.6	30	-1.1	1.6	-2.2
HOM11	4.5	4.74	7.93	13.98	15.37		19.1	-4.3	2.4	1.5
HOM12	5.5	4.56	5.8	7.61	10.68	15.22	21.6	-3.8	-2.7	1.9

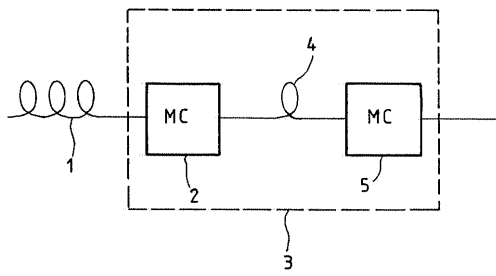
【図4】

Figure 4

	タイプ	分散	分散傾斜	S_{eff}	λ_{eff}	傾斜の最大変化	
		ps/nm-km	nm	μm^2	nm	[1475-1515nm]	[1465-1525nm]
HOM7	3 S	-300	101	64	1565	30%	39%
HOM8	4 S	-300	93	77	1550	12%	24%
HOM9	5 S	-320	94	72	1550	13%	20%
HOM10	5 S	-320	100	54	1580	38%	54%
HOM11	4 S	-220	94	89	1555	11%	20%
HOM12	5 S	-200	50	58	1570	88%	126%

【 図 6 】

FIG_6



フロントページの続き

- (72)発明者 ドウニ・モラン
フランス国、7 8 1 5 0 ・ル・シエスネ、スクワール・エブル・4、レジダンス・ブルトウイユ
- (72)発明者 ルイ・アンヌ・ドウ・モンモリオン
フランス国、7 5 0 1 7 ・パリ、リュ・トリユフォー、3 2
- (72)発明者 ピエール・シラール
フランス国、7 8 1 5 0 ・ル・シエスネ、スクワール・ラファエル・2、レジダンス・オルセー
- Fターム(参考) 2H050 AC15 AC38 AC71 AC72 AC81 AD01

【外国語明細書】

Specification**Title of Invention**

Chromatic dispersion-compensating optical fibre in the S-band using a higher order mode

The invention relates to the field of chromatic dispersion-compensating optical fibres for a wavelength multiplexing transmission system. The function of the dispersion-compensating optical fibre is to compensate for the chromatic dispersion of a so-called line fibre. The invention relates more precisely to an chromatic dispersion-compensating optical fibre in the S-band for use in compensating for the chromatic dispersion of either a standard SMF optical fibre or of an NZ-DSF optical fibre, where the line optical fibre carries an optical signal in the spectral band in use, which is the S-band extending from 1460 nm to 1530 nm.

According to a first item of prior art, described in Patent Application FR 0204271, which is hereby incorporated by reference, there is known an example of an HOM chromatic dispersion-compensating optical fibre (or higher order mode optical fibre) in the C-band and/or L-band, which exhibits slight variations in the chromatic dispersion slope in the C- and/or L-band, thus enabling good compensation for chromatic dispersion and for the chromatic dispersion slope of the line optical fibre. That compensating optical fibre is not, however, suitable for use in the S-band. Its minimum chromatic dispersion wavelength is too high and too far removed from the S-band. The minimum chromatic dispersion wavelength is the wavelength corresponding to a global chromatic dispersion minimum.

According to a second item of prior art, described in European Patent EP 1 351 417 of the present Applicant, there is known a dispersion-compensating optical fibre for a wavelength multiplexing transmission system, comprising, from the centre towards the periphery, a

core having a variable index profile then a cladding of constant index, wherein, the chromatic dispersion is less than -150 ps/nm.km, the chromatic dispersion slope is strictly negative, and the effective area is greater than $40 \mu\text{m}^2$. Furthermore, the difference between the wavelength corresponding to the overall minimum chromatic dispersion and the wavelength corresponding to an upper limit of an operating spectral range greater than 30 nm is greater than 35 nm, and the relative variation of the dispersion slope over said operating spectral range has an absolute value less than 30% .

According to a third item of prior art, described in US Patent Application US2003/0185531, there is known a limited mode dispersion compensating optical fiber supporting at least one high order spatial mode comprising: a plurality of core areas, the refractive index profile of which are selected to result in an optical waveguide providing in the LP_{02} mode: dispersion more negative than -300 ps/nm/km at a representative wavelength, designated λ_0 , within an operative waveband; projected zero dispersion less than $(\lambda_0 - 75 \text{ nm})$, where projected zero dispersion is defined as $\lambda_0 - \text{Dispersion}(\lambda_0) / \text{Slope}(\lambda_0)$; and third order dispersion less than 2% over the operative waveband, where third order dispersion is defined as the maximum deviation from a best line fit for dispersion divided the best fit dispersion at λ_0 , said best fit line chosen to minimize said maximum deviation.

The solution proposed by the invention accordingly relates to an HOM dispersion-compensating optical fibre in the S-band exhibiting as small variations as possible in the chromatic dispersion slope in order to enable effective compensation for chromatic dispersion and for the chromatic dispersion slope across the entire S-band. In order to do so, the minimum chromatic dispersion wavelength is selected from a narrow and optimum spectral range in order to ensure a good compromise between the low level of variation in the chromatic dispersion slope in the S-band, the high value for effective area, the very negative chromatic dispersion value, and a chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio that is as close as possible to that of the line optical

fibre to be compensated. Depending on whether the compensation is for a standard SMF (single mode fibre) optical fibre or for an NZ-DSF (non-zero dispersion shifted fibre) optical fibre, the optimum range for the minimum chromatic dispersion wavelength and the compromise between the parameters and optical properties being sought are slightly different.

In order to compensate a standard SMF optical fibre carrying an optical signal in the S-band, according to the invention there is provided an chromatic dispersion-compensating optical fibre in the spectral band S extending from 1460 nm to 1530 nm for a wavelength multiplexing transmission system, comprising successively, from the centre to the periphery, a core having a variable index profile and then a cladding of constant index, enabling the propagation, at a wavelength of 1495 nm, in addition to the fundamental mode LP_{01} , of at least one higher order mode, the index profile of the core being determined in such a manner that, for said higher mode, on the one hand at a wavelength of 1495 nm, firstly the chromatic dispersion is less than -150 ps/nm-km, secondly the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is between 200 nm and 300 nm, and thirdly the effective area is greater than $60 \mu\text{m}^2$ and, on the other hand, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1550 nm and 1600 nm.

In order to enable more precise compensation for the chromatic dispersion of a standard SMF optical fibre across the entire S-band, preferably the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is between 200 nm and 250 nm.

In order to improve the compromise achieved between the optical properties of the dispersion-compensating optical fibre according to the invention whilst preserving a low variation in the chromatic dispersion slope across the entire S-band, preferably the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at

a wavelength of 1495 nm, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1570 nm and 1590 nm.

In order to improve the quality of the compensation of the HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre according to the invention and its other properties, a number of preferred ranges for the indices and the radii of the index profile of the core will now be given. The expression "remains less than" means "is less than" if the parameter is constant and means "remains less than" over the slice under consideration if the parameter is variable over the slice under consideration.

Preferably the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the effective area is greater than $70 \mu\text{m}^2$, and preferably greater than $80 \mu\text{m}^2$.

Preferably the maximum index difference Δn_1 between the index of the central slice and the index of the cladding is between $20 \cdot 10^{-3}$ and $32 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_1 of the central slice is between $3 \mu\text{m}$ and $4.5 \mu\text{m}$.

Preferably the value of the integral $S_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) dr$ of the index difference relative to the cladding, between a zero radius and the radius r_1 of the portion of the central slice having an index higher than the index of the cladding, is between $100 \cdot 10^{-3}$ and $115 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$.

Preferably the value of twice the integral $T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) r \cdot dr$ of the product of the index difference relative to the cladding times the radius, between a zero radius and the radius r_1 of the portion of the central slice having an index higher than the index of the cladding, is between $325 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $475 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

Preferably the value of twice the integral $T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$

of the product of the index difference relative to the cladding times the radius, between a zero radius and the radius r_3 of the second peripheral slice, is between $400 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $800 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

Preferably the index difference Δn_2 between the index of the first peripheral slice and the index of the cladding is between $-4 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_2 of the first peripheral slice is between $5 \mu\text{m}$ and $11 \mu\text{m}$.

Preferably the index difference Δn_3 between the index of the second peripheral slice and the index of the cladding is between $-5 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_3 of the second peripheral slice is between $8 \mu\text{m}$ and $15 \mu\text{m}$.

Preferably the index difference Δn_4 between the index of the third peripheral slice and the index of the cladding is between $-5 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_4 of the third peripheral slice is between $11 \mu\text{m}$ and $17 \mu\text{m}$.

Preferably the index difference Δn_5 between the index of the fourth peripheral slice and the index of the cladding is between 0 and $10 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_5 of the fourth peripheral slice is between $14 \mu\text{m}$ and $17 \mu\text{m}$.

To compensate an NZ-DSF optical fibre carrying an optical signal in the S-band, according to the invention there is provided an chromatic dispersion-compensating optical fibre in the spectral band S extending from 1460 nm to 1530 nm , for a wavelength multiplexing transmission system, comprising successively, from the centre to the periphery, a core having a variable index profile and then a cladding of constant index, enabling the propagation, at a wavelength of 1495 nm , in addition to the fundamental mode LP_{01} , of at least one higher order mode, the index profile of the core being determined in such a manner that, for

said higher mode, on the one hand at a wavelength of 1495 nm, firstly the chromatic dispersion is lower than -150 ps/nm-km, secondly the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is less than 130 nm and thirdly the effective area is greater than $50 \mu\text{m}^2$ and, on the other hand, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1530 nm and 1580 nm.

In order to enable more precise compensation for the chromatic dispersion of a standard SMF optical fibre across the entire S-band, preferably the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is between 90 nm and 110 nm.

In order to improve the compromise achieved between the optical properties of the dispersion-compensating optical fibre according to the invention whilst preserving a low variation in the chromatic dispersion slope across the entire S-band, preferably the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1540 nm and 1560 nm.

In order to improve the quality of the compensation of the HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre according to the invention and its other properties, a number of preferred ranges for the indices and radii of the index profile of the core will be given. The expression "remains less than" means "is less than" if the parameter is constant and means "remains less than" over the slice under consideration if the parameter is variable over the slice under consideration.

Preferably the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the effective area is greater than $65 \mu\text{m}^2$, preferably greater than $80 \mu\text{m}^2$.

Preferably the maximum index difference Δn_1 between the index of the central slice and the index of the cladding is between $15 \cdot 10^{-3}$ and $30 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_1 of the central slice is between $3.5 \mu\text{m}$ and $5 \mu\text{m}$.

Preferably the value of twice the integral $T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$ of the product of the index difference relative to the cladding times the radius, between a zero radius and the radius r_1 of the portion of the central slice having an index higher than the index of the cladding, is between $375 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $525 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

Preferably the value of twice the integral $T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$ of the product of the index difference relative to the cladding times the radius, between a zero radius and the radius r_3 of the second peripheral slice, is between $400 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $700 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

Preferably the index difference Δn_2 between the index of the first peripheral slice and the index of the cladding is between $-7 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_2 of the first peripheral slice is between $5 \mu\text{m}$ and $10 \mu\text{m}$.

Preferably the index difference Δn_3 between the index of the second peripheral slice and the index of the cladding is between $-5 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_3 of the second peripheral slice is between $7 \mu\text{m}$ and $15 \mu\text{m}$.

Preferably the index difference Δn_4 between the index of the third peripheral slice and the index of the cladding is between $-5 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_4 of the third peripheral slice is between $10 \mu\text{m}$ and $16 \mu\text{m}$.

Preferably the index difference Δn_5 between the index of the fourth peripheral slice and the index of the cladding is between

0 and $10 \cdot 10^{-3}$ and the outer radius r_3 of the fourth peripheral slice is between 14 μm and 17 μm .

Whether the compensation is for a standard SMF optical fibre or an NZ-DSF optical fibre, the optical fibre preferably has the following advantageous characteristics.

Preferably the higher order mode is the mode LP_{02} , for which mode chromatic dispersion-compensating optical fibres exhibiting very negative chromatic dispersions can readily be obtained, and which mode is not very sensitive to defects in the circular geometry of the fibre, which defects are responsible for the polarisation problems. Other higher order modes are, however, possible, such as for example the mode LP_{11} or the mode LP_{03} .

Preferably the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion is less than -200 ps/nm-km, preferably less than -250 ps/nm-km, advantageously less than -300 ps/nm-km, which makes it possible, for a given line optical fibre, to reduce the length of the compensation optical fibre to be used.

The operational spectral band used is the S-band from 1460 nm to 1530 nm. An optical fibre wavelength multiplexing transmission system, described in greater detail hereinafter, integrating an HOM type dispersion-compensating optical fibre according to the invention will preferably have an absolute value for cumulative chromatic dispersion for each wavelength between 1460 nm and 1530 nm of less than 30 ps/nm on average over 100 km of transmission.

Preferably the index profile of the core comprises at least four slices. The index profile of the core advantageously comprises at least five slices. The more negative the chromatic dispersion, the higher the number of slices in the index profile of the core required to obtain good linearity of the curve for the chromatic dispersion as a function of the wavelength for the HOM type dispersion-compensating

optical fibre according to the invention. That high number of slices makes it possible to obtain an HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre that, whilst enabling very good compensation for chromatic dispersion, does not have too serious an effect on the other properties of said HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre. Five slices constitutes a good compromise between the properties of the HOM type dispersion-compensating optical fibre and the complexity of its manufacture, for compensation in the spectral band S. The shape of the slices is, for example, rectangular, but it may also be triangular, trapezoidal or alpha-shaped.

In a first preferred embodiment of the invention, the HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre according to the invention comprises a variable index profile of a core having four slices. The variable index profile of the core thus comprises successively, from the centre to the periphery, a central slice having a maximum index higher than the index of the cladding, a first peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, a second peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, and a third peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice.

In a second preferred embodiment of the invention, the HOM type optical fibre providing dispersion compensation according to the invention comprises a variable index profile of a core having five slices. The variable index profile of the core accordingly comprises successively, from the centre to the periphery, a central slice having a maximum index higher than the index of the cladding, a first peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, a second peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, a third peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, and a fourth peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice.

The invention relates also to a chromatic dispersion compensation module integrating an HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre according to the invention. Preferably that module comprises successively in series a first mode converter capable of converting the fundamental mode to the higher order mode, an dispersion-compensating optical fibre according to the invention and a second mode converter capable of converting the higher order mode back to the fundamental mode. That module may be integrated in an optical fibre wavelength multiplexing transmission system, which system accordingly comprises successively in series a line optical fibre and a compensation module according to the invention. In that optical fibre wavelength multiplexing transmission system according to the invention, the ratio between the length of the line optical fibre and the length of the dispersion compensation optical fibre is preferably more or less the inverse of the absolute value of the ratio between the chromatic dispersion of the line optical fibre at a wavelength of 1495 nm and the chromatic dispersion of the chromatic dispersion compensation optical fibre at a wavelength of 1495 nm, in order to enable optimised compensation.

The invention will be better understood and other particularities and advantages will become apparent from the description given hereinbelow and the attached drawings, given by way of example.

Figure 1 is a table giving the values of radii and index differences for some examples of profiles of HOM type dispersion-compensating optical fibres according to the invention for use in compensating a standard SMF optical fibre. The left-hand column shows the denomination of the profiles from HOM1 to HOM5. The second column indicates the number of slices that the core index profile of the example under consideration comprises. The next five columns give radii of the core variable index profile in μm . The last five columns give the index differences relative to the cladding of constant index multiplied by a thousand (no units). Not all the boxes in the Table have been completed, since the profiles do not all have the same number of slices.

Figure 2 is a table giving other properties of the profiles of HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibres according to the invention shown in Figure 1 for the mode LP_{02} . The left-hand column gives the denomination of the profiles already explained above. The next column indicates the number of slices that each profile under consideration comprises. For each profile under consideration, the other columns give properties of the slice of optical fibre corresponding to the profile under consideration. The next column gives the chromatic

dispersion in ps/nm-km at a wavelength of 1495 nm. The next column gives the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio in nm at a wavelength of 1495 nm. The next column gives the effective area A_{eff} in μm^2 at a wavelength of 1495 nm. The next column gives the minimum chromatic dispersion wavelength λ_{min} in nm. The last two columns give the maximum relative variations in chromatic dispersion slope as a %, respectively, for operational spectral ranges from 1475 nm to 1515 nm and from 1465 nm to 1525 nm. The relative variation in the dispersion slope over an operational spectral range corresponds to the quotient between, on the one hand, the difference between the maximum chromatic dispersion slope over said operational spectral range and the minimum chromatic dispersion slope over said operational spectral range and, on the other hand, the mean chromatic dispersion slope for said operational spectral range. Optical fibres having four slices and preferably five slices make it possible to achieve better compromises between the most negative chromatic dispersion possible, the greatest effective area possible and the most linear chromatic dispersion slope possible over the operational spectral range under consideration. A minimum dispersion wavelength in the preferred narrow range of from 1570 nm to 1590 nm also makes it possible to improve the compromise.

Figure 3 is a table giving the values of radii and index differences for some examples of profiles of HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibres according to the invention for use in compensating an NZ-DSF optical fibre. Figure 3 is similar to Figure 1, but the left-hand column gives the denomination of the profiles from HOM7 to HOM12.

Figure 4 is a table giving other properties of the profiles of HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibres according to the invention shown in Figure 3 for the mode LP_{02} . Optical fibres having four slices and preferably five slices make it possible to achieve better compromises between the most negative chromatic dispersion

possible, the greatest effective area possible and the most linear chromatic dispersion slope possible over the operational spectral range under consideration. A minimum dispersion wavelength within the preferred narrow range of from 1540 nm to 1560 nm also makes it possible to improve the compromise. The linearity of the chromatic dispersion slope of Examples HOM7, HOM10 and HOM12, the minimum dispersion wavelengths of which are outside said minimum chromatic dispersion wavelength range is appreciably worse than that of the other Examples, their effective areas also being smaller. The attempt to find a low chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio seems to have a deleterious effect on the compromise obtained, as shown by the poor linearity of the chromatic dispersion slope of Example HOM12. The most interesting Examples correspond to a threshold of 30% for the column on the far right of the table. That threshold of 30% also applies for chromatic dispersion-compensating optical fibres for use in compensating a standard SMF line optical fibre.

Figure 5 shows diagrammatically a five-slice profile type of an HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre according to the invention. Plotted along the abscissa are the radii in μm . Plotted along the ordinate are the index differences multiplied by a thousand without units. The first slice, called the central slice, has a maximum index difference Δn_1 with the constant index of the cladding and an outer radius r_1 . The maximum index difference Δn_1 is positive. Between a zero radius and the radius r_1 , the index is preferably constant. The second slice, called the first peripheral slice, has an index difference Δn_2 with the constant index of the cladding and an outer radius r_2 . The index difference Δn_2 can be positive or negative. A negative index difference corresponds to a buried slice. The index is preferably constant between radius r_1 and radius r_2 . The third slice, called the second peripheral slice, has an index difference Δn_3 with the constant index of the cladding and an outer radius r_3 . The index difference Δn_3

can be positive or negative. The index is preferably constant between radius r_2 and radius r_3 . The fourth slice, called the third peripheral slice, has an index difference Δn_4 with the constant index of the cladding and an outer radius r_4 . The index difference Δn_4 can be positive or negative. The index is preferably constant between radius r_3 and radius r_4 . The fifth slice, called the fourth peripheral slice, has an index difference Δn_5 with the constant index of the cladding and an outer radius r_5 . The index difference Δn_5 can be positive or negative. The index is preferably constant between radius r_4 and radius r_5 . Beyond the radius r_5 is the cladding of constant index. For optical fibres having only four slices, the cladding of constant index starts from the radius r_4 . For optical fibres having only three slices, the cladding of constant index starts from the radius r_3 .

Figure 6 shows diagrammatically an optical fibre wavelength multiplexing transmission system according to the invention. The transmission system comprises successively in series the following elements, viewed from upstream to downstream from the point of view of the propagation of the light signal: a line optical fibre 1 followed by a compensation module 3 which comprises first of all a mode converter 2 that converts most of the light energy being propagated according to the fundamental mode LP_{01} to a higher order mode, for example LP_{02} , and then an HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre 4 according to the invention, compensating for the chromatic dispersion of the line optical fibre 1 but in the higher order mode LP_{02} , and then a mode converter 5 that converts most of the light energy being propagated according to the higher order mode LP_{02} back to the fundamental mode LP_{01} . The transmission system according to the invention may also comprise other elements not shown in Figure 6 for reasons of clarity, such as transmitters, receivers, amplifiers, and/or may contain the sequence of elements shown in Figure 6 several times.

Preferably the losses caused by bending for a radius of 10 mm, at a wavelength of 1495 nm, are less than 100 dB/m, advantageously less than 50 dB/m.

Preferably the attenuation, at a wavelength of 1495 nm, is less than 1.5 dB/km, advantageously less than 1 dB/km.

Preferably the polarisation mode dispersion, at a wavelength of 1495 nm, is less than $0.5 \text{ ps/km}^{1/2}$, advantageously less than $0.2 \text{ ps/km}^{1/2}$.

Brief Description of Drawings

- Figure 1 is a table giving the values of radii and index differences for some examples of profiles of HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibres according to the invention for use in compensating a standard SMF optical fibre.

- Figure 2 is a table giving other properties of the profiles of HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibres according to the invention shown in Figure 1 for the mode LP_{02} .

- Figure 3 is a table giving the values of radii and index differences for some examples of profiles of HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibres according to the invention for use in compensating an NZ-DSF optical fibre.

- Figure 4 is a table giving other properties of the profiles of HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibres according to the invention shown in Figure 1 for the mode LP_{02} .

- Figure 5 shows diagrammatically a type of index profile comprising five slices of an HOM type chromatic dispersion-compensating optical fibre according to the invention.

- Figure 6 shows diagrammatically an optical fibre wavelength multiplexing transmission system according to the invention.

Claims

1. Chromatic dispersion-compensating optical fibre in the S-band extending from 1460 nm to 1530 nm, for a wavelength multiplexing transmission system, comprising successively, from the centre to the periphery, a core having a variable index profile and then a cladding of constant index, enabling the propagation, at a wavelength of 1495 nm, in addition to the fundamental mode LP_{01} , of at least one higher order mode, the index profile of the core being determined in such a manner that, for said higher mode, on the one hand at a wavelength of 1495 nm, firstly the chromatic dispersion is less than -150 ps/nm-km, secondly the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is between 200 nm and 300 nm, and thirdly the effective area is greater than $60 \mu m^2$, and, on the other hand, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1550 nm and 1600 nm.
2. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 1, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion is less than -200 ps/nm-km.
3. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 2, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion is less than -250 ps/nm-km.
4. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 3, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion is less than -300 ps/nm-km.
5. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the higher order mode is the mode LP_{02} .

6. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is between 200 nm and 250 nm.

7. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the effective area is greater than $70 \mu\text{m}^2$.

8. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 7, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the effective area is greater than $80 \mu\text{m}^2$.

9. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1570 nm and 1590 nm.

10. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the variable index profile of the core comprises successively, from the centre to the periphery,

a central slice having a maximum index higher than the index of the cladding,

a first peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice,

a second peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, and

a third peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice.

11. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 10, characterised in that the maximum index difference (Δn_1) between the

index of the central slice and the index of the cladding is between $20 \cdot 10^{-3}$ and $32 \cdot 10^{-3}$ and in that the outer radius (r_1) of the central slice is between $3 \mu\text{m}$ and $4.5 \mu\text{m}$.

12. Dispersion-compensating optical fibre according to either claim 10 or claim 11, characterised in that the value of the integral

($S_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) dr$) of the index difference relative to the cladding,

between a zero radius and the radius (r_1) of the portion of the central slice having an index higher than the index of the cladding, is between $100 \cdot 10^{-3}$ and $115 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$.

13. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 10 to 12, characterised in that the value of twice the integral

($T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) r dr$) of the product of the index difference relative to the

cladding times the radius, between a zero radius and the radius (r_1) of the portion of the central slice having an index higher than the index of the cladding, is between $325 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $475 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

14. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 10 to 13, characterised in that the value of twice the integral

($T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r) r dr$) of the product of the index difference relative to the

cladding times the radius, between a zero radius and the radius (r_3) of the second peripheral slice, is between $400 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $800 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

15. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 10 to 14, characterised in that the index difference (Δn_2) between the index of the first peripheral slice and the index of the cladding is between $-4 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and in that the outer radius (r_2) of the first peripheral slice is between $5 \mu\text{m}$ and $11 \mu\text{m}$.

16. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 10 to 15, characterised in that the index difference (Δn_3) between the index of the second peripheral slice and the index of the cladding is between -5.10^{-3} and 5.10^{-3} and in that the outer radius (r_3) of the second peripheral slice is between 8 μm and 15 μm .

17. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 10 to 16, characterised in that the index difference (Δn_4) between the index of the third peripheral slice and the index of the cladding is between -5.10^{-3} and 5.10^{-3} and in that the outer radius (r_4) of the third peripheral slice is between 11 μm and 17 μm .

18. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 10 to 17, characterised in that the variable index profile of the core comprises a fourth peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, said fourth peripheral slice being situated at the periphery of the third peripheral slice.

19. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 18, characterised in that the index difference (Δn_5) between the index of the fourth peripheral slice and the index of the cladding is between 0 and 10.10^{-3} and in that the outer radius (r_5) of the fourth peripheral slice is between 14 μm and 17 μm .

20. Chromatic dispersion-compensating optical fibre in the S-band extending from 1460 nm to 1530 nm, for a wavelength multiplexing transmission system, comprising successively, from the centre to the periphery, a core having a variable index profile and then a cladding of constant index, enabling the propagation, at a wavelength of 1495 nm, in addition to the fundamental mode LP_{01} , of at least one higher order mode, the index profile of the core being determined in such a manner that, for said higher mode, on the one hand at a wavelength of 1495 nm, firstly the chromatic dispersion is less than -150 ps/nm-km, secondly the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is less than 130 nm, and thirdly the effective area is greater than 50 μm^2 , and, on the other

hand, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1530 nm and 1580 nm.

21. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 20, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion is less than -200 ps/nm-km.

22. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 21, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion is less than -250 ps/nm-km.

23. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 22, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion is less than -300 ps/nm-km.

24. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the higher order mode is the mode LP_{02} .

25. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the chromatic dispersion to chromatic dispersion slope ratio is between 90 nm and 110 nm.

26. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the effective area is greater than $65 \mu\text{m}^2$.

27. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 26, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the effective area is greater than $80 \mu\text{m}^2$.

28. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the index profile of the core is determined in such a manner that, for said higher mode, at a wavelength of 1495 nm, the wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum is between 1540 nm and 1560 nm.

29. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the variable index profile of the core comprises successively, from the centre to the periphery,

a central slice having a maximum index higher than the index of the cladding,

a first peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice,

a second peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, and

a third peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice.

30. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 29, characterised in that the maximum index difference (Δn_1) between the index of the central slice and the index of the cladding is between $15 \cdot 10^{-3}$ and $30 \cdot 10^{-3}$ and in that the outer radius (r_1) of the central slice is between $3.5 \mu\text{m}$ and $5 \mu\text{m}$.

31. Dispersion-compensating optical fibre according to either claim 29 or claim 30, characterised in that the value of twice the integral

($T_{01} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$) of the product of the index difference relative to the

cladding times the radius, between a zero radius and the radius (r_1) of the portion of the central slice having an index higher than the index of the cladding, is between $375 \cdot 10^{-3}$ and $525 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

32. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 29 to 31, characterised in that the value of twice the integral

($T_{03} = 2 \cdot \int_0^{r_3} \Delta n(r) r \cdot dr$) of the product of the index difference relative to

the cladding times the radius, between a zero radius and the radius (r_3) of the second peripheral slice, is between $400 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$ and $700 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^2$.

33. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 29 to 32, characterised in that the index difference (Δn_2) between the index of the first peripheral slice and the index of the cladding is between $-7 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and in that the outer radius (r_2) of the first peripheral slice is between $5 \mu\text{m}$ and $10 \mu\text{m}$.

34. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 29 to 33, characterised in that the index difference (Δn_3) between the index of the second peripheral slice and the index of the cladding is between $-5 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and in that the outer radius (r_3) of the second peripheral slice is between $7 \mu\text{m}$ and $15 \mu\text{m}$.

35. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 29 to 34, characterised in that the index difference (Δn_4) between the index of the third peripheral slice and the index of the cladding is between $-5 \cdot 10^{-3}$ and $5 \cdot 10^{-3}$ and in that the outer radius (r_4) of the third peripheral slice is between $10 \mu\text{m}$ and $16 \mu\text{m}$.

36. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of claims 29 to 35, characterised in that the variable index profile of the core comprises a fourth peripheral slice having a maximum index less than the maximum index of the central slice, said fourth peripheral slice being situated at the periphery of the third peripheral slice.

37. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 18, characterised in that the index difference (Δn_5) between the index of the fourth peripheral slice and the index of the cladding is between 0 and $10 \cdot 10^{-3}$ and in that the outer radius (r_5) of the fourth peripheral slice is between $14 \mu\text{m}$ and $17 \mu\text{m}$.

38. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the losses caused by bending for a radius of 10 mm, at a wavelength of 1495 nm, are less than 100 dB/m.

39. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 38, characterised in that the losses caused by bending for a radius of 10 mm, at a wavelength of 1495 nm, are less than 50 dB/m.

40. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the attenuation, at a wavelength of 1495 nm, is less than 1.5 dB/km.

41. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 40, characterised in that the attenuation, at a wavelength of 1495 nm, is less than 1 dB/km.

42. Dispersion-compensating optical fibre according to any one of the preceding claims, characterised in that the polarisation mode dispersion, at a wavelength of 1495 nm, is less than $0.5 \text{ ps/km}^{1/2}$.

43. Dispersion-compensating optical fibre according to claim 42, characterised in that the polarisation mode dispersion, at a wavelength of 1495 nm, is less than $0.2 \text{ ps/km}^{1/2}$.

44. Chromatic dispersion compensation module, characterised in that said module (3) comprises a dispersion-compensating optical fibre (4) according to any one of the preceding claims.

45. Chromatic dispersion compensation module according to claim 44, characterised in that said module (3) comprises successively in series a first mode converter (2) capable of converting the fundamental mode to the higher order mode, said dispersion-compensating optical fibre (4) and a second mode converter (5) capable of converting the higher order mode back to the fundamental mode.

46. Optical fibre wavelength multiplexing transmission system, characterised in that said system comprises successively in series a line optical fibre (1) and a compensation module (3) according to either claim 44 or claim 45.

47. Optical fibre wavelength multiplexing transmission system according to claim 46, characterised in that the ratio between the length of the line optical fibre (1) and the length of the dispersion-compensating optical fibre (4) is more or less the inverse of the absolute value of the ratio between the chromatic dispersion of the line optical fibre (1) at a wavelength of 1495 nm and the chromatic dispersion of the dispersion-compensating optical fibre (4) at a wavelength of 1495 nm.

48. Optical fibre wavelength multiplexing transmission system according to either claim 46 or claim 47, characterised in that the absolute value for the cumulative chromatic dispersion for each wavelength between 1460 nm and 1530 nm is less than 30 ps/nm on average over 100 km of transmission.

1. Abstract

The invention relates to an chromatic dispersion-compensating optical fibre in the S-band, for use in compensating for the chromatic dispersion of either a standard SMF optical fibre or of an NZ-DSF optical fibre, carrying an optical signal in the spectral band in use, which is the S-band extending from 1460 nm to 1530 nm.

The chromatic dispersion-compensating optical fibre in the S-band has a wavelength corresponding to the global chromatic dispersion minimum, which is situated outside the spectral band in use, that is to say outside the S-band.

2. Representative Drawing

Fig. 1

Fig. 1

Figure 1

	Type	r1 μm	r2 μm	r3 μm	r4 μm	r5 μm	10 ¹ $\Delta n1$	10 ² $\Delta n2$	10 ³ $\Delta n3$	10 ⁴ $\Delta n4$	10 ⁵ $\Delta n5$
HOM1	3 S	3.5	6.74	14.08			30	2.1	0.6		
HOM2	4 S	3.02	16.07	13.53	16.5		29.4	1.6	-2.8	3.3	
HOM3	5 S	3.53	5.16	8.82	11.88	15.2	29.7	1.6	2.5	-2.1	2.9
HOM4	4 S	3.48	9.54	14.48	16.21		30	1.7	0.8	4.7	
HOM5	5 S	3.32	6.02	9.22	12.88	16	30	0.7	2.7	-2.3	2.6

Fig. 2

Figure 2

	Type	Dispersion	Dispersion/slope	S_{20} μm^2	λ_{20} nm	Max variation of the slope	
		Ps/nm-km	nm			[1475-1515nm]	[1465-1525nm]
HOM1	3 S	-280	230	68	1475	8%	14%
HOM2	4 S	-280	230	72	1505	8%	11%
HOM3	5 S	-300	230	81	1575	9%	2%
HOM4	4 S	-300	250	75	1580	11%	20%
HOM5	5 S	-300	230	73	1575	9%	12%

Fig. 3

Figure 3

	Type	r1 μm	r2 μm	r3 μm	r4 μm	r5 μm	10 ¹ $\Delta n1$	10 ² $\Delta n2$	10 ³ $\Delta n3$	10 ⁴ $\Delta n4$	10 ⁵ $\Delta n5$
HOM7	3 S	3.75	5.82	13.76			27.7	1	2.4		
HOM8	4 S	4.22	7	14.28	15.7		23.1	-0.1	2.1	0.5	
HOM9	5 S	4.1	5.24	8.27	11.04	15.48	24.4	-0.4	1.4	2.5	1.5
HOM10	5 S	5.55	6.48	11	12.48	15.6	30	-1.1	1.8	-2.2	2.6
HOM11	4 S	4.74	7.93	13.88	16.37		19.3	-4.3	2.4	1.5	
HOM12	5 S	4.56	6.6	7.61	10.88	15.22	21.6	-3.8	-2.7	2.5	1.8

Fig. 4

Figure 4

	Type	Dispersion	Dispersion/slope	S_{20} μm^2	λ_{20} nm	Max variation of the slope	
		Ps/nm-km	nm			[1475-1515nm]	[1465-1525nm]
HOM7	3 S	-300	101	64	1565	30%	38%
HOM8	4 S	-300	83	77	1550	12%	24%
HOM9	5 S	-320	91	72	1550	13%	20%
HOM10	5 S	-320	100	84	1590	38%	54%
HOM11	4 S	-220	94	88	1655	11%	20%
HOM12	5 S	-200	50	58	1570	88%	126%

Fig. 5

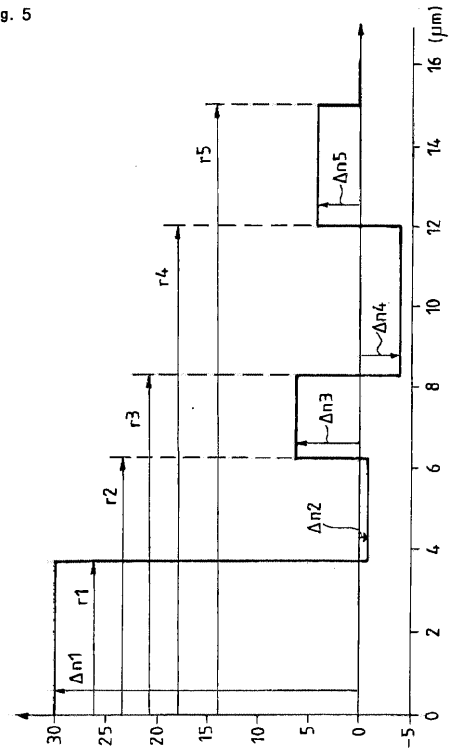


FIG. 5

Fig. 6

FIG. 6

