

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5925307号
(P5925307)

(45) 発行日 平成28年5月25日(2016.5.25)

(24) 登録日 平成28年4月28日(2016.4.28)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 B 6/036 (2006.01) G O 2 B 6/036
G O 2 B 6/02 (2006.01) G O 2 B 6/02 4 1 1

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2014-518542 (P2014-518542)	(73) 特許権者	509094034
(86) (22) 出願日	平成23年12月28日 (2011.12.28)		オーエフエス ファイテル, エルエルシー
(65) 公表番号	特表2014-523546 (P2014-523546A)		アメリカ合衆国 30071 ジョージア
(43) 公表日	平成26年9月11日 (2014.9.11)		, ノアクロス, ノースイースト エクスプレ
(86) 国際出願番号	PCT/US2011/067634		スウェーデン 2000
(87) 国際公開番号	W02013/002831	(74) 代理人	100094112
(87) 国際公開日	平成25年1月3日 (2013.1.3)		弁理士 岡部 譲
審査請求日	平成26年5月29日 (2014.5.29)	(74) 代理人	100106183
(31) 優先権主張番号	61/503,044		弁理士 吉澤 弘司
(32) 優先日	平成23年6月30日 (2011.6.30)	(72) 発明者	グルナー-ニールセン, ラーズ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		デンマーク国 デーケー-2700 コペンハーゲン, ブロンショジ, アヴェンディンゲン 22エー
		審査官	井上 徹
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 1550nmの波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長範囲1550nmにおける使用のための光ファイバストレッチャモジュールであって、

相対分散勾配、RDS、および相対分散曲率、RDC、を備え、前記勾配の前記曲率に対する比が30nmよりも小さく、かつ1550nmにおいて $-20 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ と $-100 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ との間の分散値を備え、前記1550nmの範囲における前記第一のファイバの前記RDSが、 0.004 nm^{-1} と 0.03 nm^{-1} との間であり、前記1550nmの範囲における前記第一のファイバの前記RDCが、 0.0001 nm^{-2} と 0.002 nm^{-2} との間である第一のファイバ及び

1550nmにおいて、ゼロであるRDC、 0.002 nm^{-1} より大きいRDSの値、および $10 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ よりも大きい分散値を備える第二のファイバを有する光ファイバストレッチャモジュール。

【請求項2】

前記第二のファイバが、1550nmにおいて、 $20 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ である分散値、および 0.003 nm^{-1} である相対分散勾配を備える超大有効断面積ファイバからなる請求項1に記載の光ファイバストレッチャモジュール。

【請求項3】

前記1550nmの範囲において、前記光ファイバストレッチャモジュールが 0.005 nm^{-1} と 0.06 nm^{-1} との間のRDSを備える、請求項1に記載の光ファイバ

トレッチャモジュール。

【請求項 4】

前記 1550 nm の範囲において、前記光ファイバストレッチャモジュールが 0.042 nm^{-1} である RDS、および 0.00295 nm^{-1} である RDC を備える、請求項 3 に記載の光ファイバストレッチャモジュール。

【請求項 5】

1550 nm の波長範囲においてパルスを生成するパルス発生器と、
前記 1550 nm の波長範囲における使用のための光ファイバストレッチャモジュールであって、

相対分散勾配、RDS、および相対分散曲率、RDC、を備え、前記勾配の前記曲率に対する比が 30 nm よりも小さく、かつ 1550 nm において $-20 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ と $-100 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ との間の分散値を備え、前記 1550 nm の範囲における前記第一のファイバの前記 RDS が、 0.004 nm^{-1} と 0.03 nm^{-1} との間であり、前記 1550 nm の範囲における前記第一のファイバの前記 RDC が、 0.0001 nm^{-2} と 0.002 nm^{-2} との間である第一のファイバ及び

1550 nm において、ゼロである RDC、 0.002 nm^{-1} より大きい RDS の値、および $10 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ よりも大きい分散値を備える第二のファイバを有する光ファイバストレッチャモジュールと

を有するチャープパルス増幅システム。

【請求項 6】

前記第二のファイバが、超大有効断面積ファイバからなる、請求項 5 に記載のチャープパルス増幅システム。

【請求項 7】

前記 1550 nm の範囲において、前記光ファイバストレッチャモジュールが 0.005 nm^{-1} と 0.06 nm^{-1} との間の RDS を備える、請求項 5 に記載のチャープパルス増幅システム。

【請求項 8】

前記 1550 nm の範囲において、前記光ファイバストレッチャモジュールが 0.042 nm^{-1} である RDS、および 0.00295 nm^{-1} である RDC を備える、請求項 5 に記載のチャープパルス増幅システム。

【請求項 9】

1550 nm の波長範囲においてチャープパルス増幅システムを動作させる方法であって、

前記 1550 nm の波長範囲においてパルスを生成可能なパルス発生器を提供し、

前記 1550 nm の波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュールであって、相対分散勾配、RDS、および相対分散曲率、RDC、を備え、前記勾配の前記曲率に対する比が 30 nm よりも小さく、かつ 1550 nm において $-20 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ と $-100 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ との間の分散値を備え、前記 1550 nm の範囲における前記第一のファイバの前記 RDS が、 0.004 nm^{-1} と 0.03 nm^{-1} との間であり、前記 1550 nm の範囲における前記第一のファイバの前記 RDC が、 0.0001 nm^{-2} と 0.002 nm^{-2} との間である第一のファイバ及び

1550 nm において、ゼロである RDC、 0.002 nm^{-1} より大きい RDS の値、および $10 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ よりも大きい分散値を備える第二のファイバを有するファイバストレッチャモジュールを提供し、

前記 1550 nm の波長範囲内においてパルス発生器から入力パルスを発生するチャープパルス増幅システムを動作させる方法。

【請求項 10】

前記 1550 nm の範囲における前記光ファイバストレッチャモジュールが 0.005 nm^{-1} と 0.06 nm^{-1} との間の RDS を備える、請求項 9 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

関連出願への相互参照

本出願は、2011年6月30日に出願され、「1550nmの波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュール」と題される米国仮特許出願第61/503,044号の優先権を主張し、その開示がすべて参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本発明の実施形態は、一般的に1550nmの波長範囲における使用のためのファイバストレッチャデバイスに関連する。より具体的には、本発明の実施形態は、短パルスレーザシステムにおける分散管理のためのファイバストレッチャモジュールに関する。

10

【背景技術】

【0003】

ファイバストレッチャモジュールは、パルスを引き延ばすために典型的にはバルクの光学系、またはチャープされたファイバブラッグ回折格子を用いる、ファイバベースの公知のフェムト秒のチャープパルス増幅システムのための解決方法を提供する。チャープされたファイバブラッグ回折格子は、一般的に、極めて好ましくない顕著な振幅のリップルだけでなく、大きな群遅延リップルを生じる。そのために、ファイバベースのストレッチャは、上に説明された不利な点について、より小さいサイズ、より良好な安定性、より長い寿命、より低いコスト、および改良された特性によってバルクの光学系で作られるストレッチャより好ましい。

20

【0004】

ファイバストレッチャを用いることについての難しさは、特定の圧縮回折格子と整合しなければならない(すなわち、それは、反対の符号、つまり正/負を有して量的に等しい分散を備えなければならない)ということである。一般に、圧縮回折格子は、三次分散 β_3 、および四次分散 β_4 の両方に高い数値を備える。例えば、1550nmにおいて $\beta_2 = -57.4 \text{ ps}^2$ の二次分散を有して入射角度 64.5° で動作する1200本/mmの圧縮回折格子は以下の分散値を備えるべきである。

$$\beta_2 = -57.4 \text{ ps}^2; \quad \beta_3 = 3.17 \text{ ps}^3; \quad \text{および} \quad \beta_4 = -0.291 \text{ ps}^4$$

【0005】

1550nmにおいて、これらの値は以下に対応する。

$$D = 45 \text{ ps/nm}; \quad RDS = 0.0420 \text{ nm}^{-1}; \quad \text{および} \quad RDC = 0.00295 \text{ nm}^{-2}$$

ここで、Dは分散、RDSは相対分散勾配、およびRDCは回折格子の相対分散曲率である。

30

【0006】

しかし、既存の分散補償ファイバ(Dispersion Compensation Fiber、DCF)、および超大有効断面積(Super Large Effective Area、SLA)ファイバの組み合わせで作られる公知のストレッチャモジュールを用いて、すなわちおおよそ0.90kmの超高勾配(Ultra-High Slope、UHS)DCF、および3.6kmのSLAを用いて1550nmにおいて以下の分散値を有するストレッチャモジュールを作ることができる。

$$\beta_2 = 57.2 \text{ ps}^2; \quad \beta_3 = -3.17 \text{ ps}^3; \quad \text{および} \quad \beta_4 = 0.14 \text{ ps}^4$$

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

β_2 、および β_3 は目標値に非常に近いことがわかるが、 β_4 は所望の回折格子の適合する値の~50%である。そのために、ストレッチャモジュールと選択される回折格子との間に望まれる整合を達成するために新しい解決方法が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

50

【0008】

本発明の実施形態は、一般的に、1550nmの波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュールに関連する。より具体的には、本発明の実施形態は、短パルスレーザシステムにおける分散管理のためのファイバストレッチャモジュールに関する。

【0009】

本発明の一実施形態において、1550nmの波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュールは、約30nmよりも小さい値である相対分散勾配(Relative Dispersion Slope、RDS)と相対分散曲線(Relative Dispersion Curve、RDC)の比、および約1550nmにおいて約 $-10\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ よりも小さい分散値、D、を備える第一のファイバと、約ゼロのRDC値、 0.002nm^{-1} よりも大きい相対RDS値、および約1550nmにおいて約 $10\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ よりも大きい分散、D、の値を備える第二のファイバとを有し、第一および第二のファイバの長さは、対応する圧縮回折格子または他の形式の圧縮デバイスとの最良の可能性のある分散整合を得るように調整されて、Erドープされたファイバ増幅器およびレーザの波長範囲で動作し、それは一般に約1520nmと約1620nm(すなわち、1550nmの範囲)の間であってよい。

【0010】

本発明の他の実施形態において、チャープパルス増幅システムは、1550nmの波長範囲においてパルスを生成するパルス発生器と、この範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュールと、増幅要素と、圧縮回折格子または他の圧縮デバイスとを有し、ファイバストレッチャモジュールは、約30nmよりも小さい値である相対分散勾配と相対分散曲率(RDS/RDC)の比、および約1550nmにおいて約 $-10\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ よりも小さい分散、D、の値を有する第一のファイバと、約ゼロのRDC値、 0.002nm^{-1} よりも大きいRDSの値、および約1550nmにおいて約 $10\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ よりも大きい分散の値からなる第二のファイバとを有し、第一および第二のファイバの長さは、約1550nmにおいて対応する圧縮回折格子との最良の可能性のある分散整合を得るように調整される。

【0011】

本発明のさらに他の実施形態において、1550nmの波長範囲においてチャープパルス増幅システムを動作させる方法は、1550nmの波長範囲においてパルスを生成するパルス発生器を提供し、1550nmの波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュール、増幅段、および圧縮回折格子を提供し、1550nmの波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュールは、約30nmよりも小さい値である相対分散曲率と相対分散勾配の比(RDS/RDC)、および約1550nmにおいて約 $-10\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ よりも小さい分散の値を備える第一のファイバと、約ゼロの相対分散曲率の値、 0.002nm^{-1} よりも大きい相対分散勾配の値、および約1550nmにおいて約 $10\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ よりも大きい分散の値を備える第二のファイバとを有し、第一および第二のファイバの長さは、約1550nmにおいて対応する圧縮回折格子または他の圧縮デバイスとの最良の可能性のある分散整合を得るように調整される。

【0012】

上に列挙された本発明の特徴が詳細に理解され得る方法として、上に大まかに要約された本発明の実施形態のより具体的な記述が実施形態の参照によってなされてよく、それは添付される図面に図解される。しかし、添付される図面は本発明の範囲内に包含される実施形態の単に代表的な実施形態を図解し、したがって限定するものと考えられるべきでなく、本発明のために他の同様に有効な実施形態に通用してよい。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】RDS対RDCの目標曲線、並びに公知のファイバ、および本発明の実施形態により設計される例示的なファイバを含むストレッチャモジュールの結果のグラフである。

【図2】公知のファイバ、および本発明の実施形態により設計される例示的なファイバを含むストレッチャモジュールの屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図3】本発明の実施形態による公知のファイバの分散、およびRDSの値のモデル化された特性を示すグラフである。

【図4】本発明の実施形態による1つの例示的ファイバ設計の分散、およびRDSの値のモデル化された特性を示すグラフである。

【図5】本発明の実施形態による公知のファイバのモデル化されたRDC特性を示すグラフである。

【図6】本発明の実施形態により設計された例示的ファイバのモデル化されたRDC特性を示すグラフである。

10

【図7】本発明の実施形態による公知のファイバに対するクラッドに相対的なモデル化された有効屈折率差を示すグラフである。

【図8】本発明の実施形態により設計された例示的ファイバに対するクラッドに相対的なモデル化された有効屈折率差を示すグラフである。

【図9】本発明の実施形態により設計された例示的ファイバのモデル化された曲げ損失を示すグラフである。

【図10】本発明の実施形態により設計された例示的ファイバ、および二つの実物、すなわち異なる屈折率特性を有する二つの異なるプリフォームの屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図11】本発明の実施形態により設計された二つの例示的ファイバについて測定されたRDC対RDSの値を目標値と比較したグラフを示す。

20

【図12】本発明の実施形態により設計された例示的ファイバについて実行された特定のカットオフ測定解析の結果を示すグラフである。

【0014】

本明細書中で用いられる表題は単に編成目的のためであり、本明細書または特許請求の範囲を限定するために用いられることを意図していない。本出願を通して用いられるように、語「してよい(may)」は、強制的な意味(すなわち、ねばならない(must))を意味する)より、むしろ許容的な意味(すなわち、可能性を備えることを意味する)で用いられる。同様に、語「含む(include)」、「含んでいる(including)」、および「含む(includes)」は、含むことを意味するが、それに限定されない。理解を容易にするために、可能な場合には、同様の参照番号が図に共通な同様の要素を指定するために用いられている。

30

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明の実施形態は、一般的に、1550nm波長範囲における使用のためのファイバストレッチャモジュールに関連する。より具体的には、本発明の実施形態は、パルスを伸張するためにバルクの光学系またはチャープされたファイバブラッグ回折格子を用いることなく、ファイバベースのフェムト秒チャープパルス増幅システムのための別(方式)の解決方法を提供するファイバストレッチャモジュールに関する。

【0016】

40

ここで用いられるように、用語「約(about)」、あるいは「おおよそ(approximately)」、またはそれらの派生語は、数値を参照するとき、その数値はどちらかの方向に当該の数値の10%以内を含むと見なされるべきである。さらに、そのような用語が絶対値(例えば、ゼロ)を表現するために使われるとき、当業者によって普通に使われるように、絶対値はどちらかの方向に妥当な測定の一単位以内を含むと見なされるべきである。

【0017】

本発明の多くの実施形態において、ファイバストレッチャモジュールは1550nmの範囲で動作するどのような光ファイバシステムにも適している。一実施形態において、ファイバストレッチャモジュールは、1550nmの波長範囲で動作するどのようなチ

50

ャープパルス増幅の構成とともに使われてよい。そのような実施形態において、パルス発生器は1550nmの波長範囲でシステムにパルスを提供してよい。

【0018】

さらに、本発明の実施形態により、ファイバストレッチャモジュールは、そのマルチモード設計にもかかわらずシングルモード動作が可能である。一般に、それは高次モードの高い曲げ損失を経てそのような可能性を得る。

【0019】

本発明の実施形態により作られるファイバストレッチャモジュールは、より少ない振幅のリップルだけでなく、より少ない群遅延リップルを提供することにより、バルクの光学系またはチャープされたFBGを用いる現状のモジュールよりも優れた利点を与える。さらに、ファイバストレッチャモジュールは、他のファイバによる解決方法よりも優れたより小さい寸法、より良好な安定性、より長寿命、およびより低いコストによってより望ましいものである。

【0020】

本発明の一実施形態において、ファイバストレッチャモジュールは第一のファイバと第二のファイバとを有し、結合されるとき、1550nmにおいて目標とする2、3、および4の値としてそれぞれ約57.4ps²、-3.17ps³、および0.291ps⁴を生じる。そのような値を得るために、多くの実施形態において、ファイバストレッチャモジュールは、現在知られているモジュール、例えば、上に述べられたUHS-DCFCモジュールと比較して増加したRDCを備える。

【0021】

本発明の実施形態により、二つのファイバ、すなわち第一のファイバ(F1)、および第二のファイバ(F2)の組み合わせを構成する、組み合わせられた分散補償ファイバ(Dispersion Compensating Fiber Combined, DCFC)のRDC_cは以下の式から計算できる。

【0022】

【数1】

$$RDC_c = \frac{1}{RDS_{F1} - RDS_{F2}} \left((RDS_c - RDS_{F2}) RDC_{F1} - (RDS_c - RDS_{F1}) RDC_{F2} \right)$$

【0023】

一実施形態において、F2は、 $RDS_{F2} = 0.003 \text{ nm}^{-1}$ 、 $RDC_{F2} = 0$ であるSLAファイバである。そのような実施形態において、 $RDS_c = 0.0420 \text{ nm}^{-1}$ 、および $RDC_c = 0.00295 \text{ nm}^{-2}$ である結合されたモジュールの目標とするRDS、およびRDCの値を用いることにより、F1について、所望の、あるいは目標とするRDC、およびRDSの間の比が計算できる。図1は、RDC対RDSの目標とする曲線、ならびに公知のファイバ(UHS)、および本発明の実施形態により設計された例示的なファイバ(設計9)の実験結果のグラフを示す。また、図1は、固定されたRDS/RDCの比を例示する線を示す。目標とする曲線は設計9の15nmRDS/RDCの線に密接しているが、それに対して、実在のUHSファイバは32nmのRDS/RDC比によって特徴付けられる。

【0024】

記述された実施形態の中の上記の関係に基づいて、第一のファイバ(すなわち、F1)は意図された性能特性を達成するように設計されてよい。他の実施形態において、第一のファイバ、F1、はさらに次の制限のそれぞれを包含してよい。(1)ファイバは、現行もしくは公知のファイバ設計と同等、またはよりよいマイクロバンド損失を備え、(2)ファイバは、波長1550nmにおいて 0.0002 nm^{-2} よりも大きいRDCの値を備え、および/または(3)ファイバは、1550nmにおいて-40から-70ps/(nm·km)の範囲の分散を備える。そのような特性の組み合わせが本発明の実施形態

に適するファイバ設計をもたらす。

【0025】

上記の要求に基づき、シミュレーション実験が異なるファイバ設計を用いて行われ、その結果がここに提示される。

【0026】

図2は、本発明の実施形態によるファイバの所望の屈折率プロファイルを公知のUHSファイバと比較して示すグラフを示す。両方のファイバは、三つの重要な特性を備えることを特徴としている。外側のクラッドと比較して正の n を有する中心部コアは、外側のクラッドと比較して負の n を有するトレンチに取り囲まれ、さらに外側のクラッドと比較して正の n を有するリングに取り囲まれ、外側のクラッドが続く。図2に示されるファイバの物理的な実物において、通常、コアはゲルマニウムがドーブされたシリカからなり、トレンチはフッ素および任意の少量のゲルマニウムがドーブされたシリカからなり、かつ、リングはゲルマニウムおよび任意の少量のフッ素がドーブされたシリカからなる。外側のクラッドは純シリカから作られたものであってよい。リングと外側のクラッドの間には、フッ素がドーブされ、さらにリンおよび/またはゲルマニウムがドーブされたシリカからなる（純シリカクラッドと同じくらいの n を有する）内側のクラッド層があってよい。公知のUHSファイバと比較して、このファイバの屈折率プロファイルは、より広いトレンチ、および外側のクラッドと比較してより高い n を備えるリングを有することによって主として区別されるということが注目される。

10

【0027】

図3および図4は、公知のUHSファイバ、および本発明の実施形態による設計9のファイバの分散およびRDSの値のモデル化した特性を比較するグラフをそれぞれ示す。

20

【0028】

図5および図6は、公知のUHSファイバ、および本発明の実施形態による目標とする設計9のファイバのRDCの値のモデル化した特性を示すグラフをそれぞれ示す。示されるように、設計9は、1550nmの動作範囲付近で著しく高いRDCの値を提供する。設計9のファイバの分散、RDS、およびRDCをUHS設計のそれらと比較すると、さらに高いRDS/RDCの比は、同時により深くなっている負の分散のピークの波長範囲を減少させることによって得られるということが注目される。これは、UHS設計のそれと比較して設計9のより広いトレンチ、およびリングのより高い n の結果である。

30

【0029】

図7および図8は、公知のUHSファイバ、および設計9のファイバに対する最初の三つの高次モード $LP_{0,2}$ 、 $LP_{1,1}$ 、および $LP_{2,1}$ についてと同様に基底モード $LP_{0,1}$ についてモデル化された有効屈折率をそれぞれ示す。図8には、1550nmにおいて、 $LP_{0,1}$ に加えて $LP_{0,2}$ 、 $LP_{1,1}$ 、および $LP_{2,1}$ モードは実質的に有効な屈折率を備えるように見えることが観察され、それは設計9のファイバがシングルモードでないことを示している。しかし、設計9のファイバの曲げ損失を示すグラフを示す図9に示されるように、このファイバの高次モードは実質的により高い曲げ損失を備え、その結果、シングルモードでの動作を保証する。

【0030】

二つの異なるプリフォームが製造され、ファイバに線引きされた。図10は、目標とする設計9のファイバの屈折率プロファイルと比較した、本発明の実施形態による二つの物理的な実物の屈折率プロファイルの例を示すグラフを示す。二つのプリフォームから線引きされたファイバのそのような測定された特性の結果がそれぞれ表1および表2で以下に示される。

40

【0031】

【表 1】

プリフォームid	スプールid	長さ	減衰 @1310nm	減衰 @1410nm	減衰 @1550nm	減衰 @1625nm	減衰 @1550nm	RDS @1550nm	RDC @1550nm	PMD
		m	dB/km	dB/km	dB/km	dB/km	ps/(nm·km)	nm ⁻¹	nm ⁻²	ps·km ^{-0.5}
90519371	21000000	10019	0.975	0.888	0.591	1.934	-41.04	0.009988	0.000454	
90519371	22000000	10019	0.926	0.852	0.56	1.137	-34.6	0.006534	0.000298	
90519371	23000000	10019	0.928	0.859	0.564	0.921	-33.88	0.005485	0.00014	
90519371	24000000	10014	0.926	0.858	0.563	1	-34.5	0.005833	0.000275	
90519371	25000000	10014	0.94	0.864	0.568	1.463	-34.38	0.005618	0.000134	
90519371	26000000	10014	0.936	0.86	0.564	0.877	-33.95	0.004932	0.000171	
90519371	27000000	10014	0.93	0.86	0.563	0.801	-33.75	0.005324	0.000125	0.032
90519371	28000000	10024	0.937	0.866	0.564	0.719	-33.57	0.004786	0.000226	
90519371	29100000	10019	0.928	0.863	0.56	1.244	-36.22	0.006683	0.000295	
90519371	29200000	10009	0.933	0.868	0.563	1.022	-36.2	0.006712	0.000214	
90519371	29400000	10019	0.933	0.869	0.563	1.396	-38.05	0.007591	0.000346	
90519371	29500000	10014	0.965	0.931	0.557	1.688	-40.71	0.009453	0.000416	0.032
90519371	29600000	10014	0.932	0.867	0.56	1.639	-39.72	0.008926	0.000369	
90519371	29700000	10014	0.935	0.86	0.564	1.521	-40.03	0.00883	0.000305	
90519371	29800000	10009	0.959	0.916	0.56	1.601	-40.94	0.00932	0.000361	0.048
90519371	29910000	10019	0.925	0.859	0.561	1.618	-41.12	0.009677	0.000391	
90519371	29920000	10009	0.922	0.862	0.563	1.714				
90519371	29930000	10009	0.919	0.853	0.557	1.635	-43.3	0.011115	0.000508	
90519371	29940000	10019	0.924	0.85	0.554	1.616	-42.81	0.010879	0.000538	0.056
90519371	29950000	4861	0.953	0.909	0.552	2.442	-43.21	0.011847	0.000555	0.065
90519371	29960000	9288	0.984	0.934	0.575	2.135	-45.9	0.013275	0.000608	0.056

10

表 1

【 0 0 3 2 】

【表 2】

プリフォームid	スプールid	長さ	減衰@1550nm	分散@1550nm	RDS@1550nm	RDC@1550nm	PMD
		m	dB/km	ps/(nm·km)	nm ⁻¹	nm ⁻²	ps·km ^{-0.5}
110224371	72000000	10019	0.5625	-46.14	0.013455	0.00072957	0.027
110224371	73000000	10009	0.5595	-43.25	0.011707	0.00060404	0.017
110224371	74000000	10009	0.5595	-42.95	0.010896	0.00054881	0.02
110224371	75000000	10009	0.556	-41.7	0.00961	0.00045269	0.038
110224371	76000000	10014	0.5525	-41.32	0.009198	0.0003235	0.135
110224371	77000000	10014	0.557	-43.71	0.011118	0.00053023	0.172
110224371	78000000	10014	0.555	-42.33	0.010222	0.0005101	0.142
110224371	79100000	10014	0.558	-45.9	0.012567	0.00064317	0.15
110224371	79200000	10014	0.5525	-44.87	0.011487	0.00055535	0.273
110224371	79300000	10009	0.5535	-49.73	0.014862	0.00078894	0.094
110224371	79400000	10014	0.5565	-51.33	0.014464	0.00062795	0.144
110224371	79500000	10009	0.557	-61.27	0.020728	0.00111174	0.23
110224371	79600000	10019	0.5595	-59.74	0.019709	0.00099303	0.027
110224371	79700000	10009	0.5645	-60.18	0.019488	0.00108797	0.049
110224371	79910000	10004	0.5515	-59.52	0.020206	0.00112428	0.135
110224371	79920000	5446	0.5475	-59.61	0.021246	0.0010569	0.065
110224371	79930000	10009	0.556	-60.4	0.020153	0.0010602	0.065
110224371	79940000	6247	0.57	-69.42	0.026332	0.0017611	0.083
110224371	79950000	5143	0.5715	-83.26	0.027574	0.00196318	0.089

30

表 2

【 0 0 3 3 】

図 1 1 は、表 1 および表 2 で上に議論された実験テストについて測定された RDC および RDS の値の間の関係を示すグラフを示す。示されるように、実験値の大きな広がりにもかかわらず、設計されたファイバである実物 1、および実物 2 は目標とする線に接近して収まる RDS / RDC の比の値を生じる。

【 0 0 3 4 】

上記実験テストに加えて、長尺のファイバのシングルモード動作が得られるかどうかを

50

調査するために、特別なカットオフ測定が実行された。実験は、ポピンの半径 90 mm のスプールに巻かれて、ファイバ 10 km を伝播した後、40 mm の心棒によるファイバの減衰を測定することを含んだ。図 12 は、特別なカットオフ測定の解析結果を示すグラフを示している。図に示されるように、与えられた巻き付け条件で、ファイバは 10 km 伝播の後、1480 nm にわたってシングルモードである。

【0035】

ここに上記されるように、実施された全ての実験を考慮して、本発明の実施形態による例示的なファイバは、本発明の実施形態により、ストレッチャファイバモジュールを生成するために SLA ファイバと結合されてよい。他の例示的な実施形態により、ストレッチャファイバモジュールは、ここに上記されるようなファイバを用いて作られ、より具体的には表 1 に記述されるようなファイバが、表 3 で以下に示される特性を備えるストレッチャファイバモジュールを生成するために、公知の SLA ファイバと結合された。

【0036】

【表 3】

ファイバID:		090445070001
分散@1550nm	ps/nm	-45.2
ベータ2@1550nm	ps ²	57.7
ベータ3@1550nm	ps ³	-3.23
ベータ4@1550nm	ps ⁴	0.25
最大挿入損失 1540~1560nm	dB	6.0
PMD	ps	0.17
MPI 1540~1560nm	dB	<-41
長さ 全長	m	14621
長さ DCF	m	5459
長さ SLA	m	9162
有効断面積@1550nmDCF	μm^2	13
有効断面積@1550nmSLA	μm^2	112
分散係数@1550nmDCF	ps/(nm·km)	-42.0
分散係数@1550nmSLA	ps/(nm·km)	20.2

表 3

【0037】

表 3 のデータを解析すると、公知の UHS / SLA モジュールと比較すると、四次分散パラメータ、4、に対するよりよい整合が得られるということが見られる。実験テストは、挿入損失が若干大きい（すなわち、6.0 dB）結果となったが、そのような結果は、恐らく、ファイバが長尺であること、および/または目標設計と比較して（例えば、図 11 を図 1 と比較して）表 1 に示されるように、実物のファイバのより低い RDS の結果によるものである。さらに、多経路干渉（Multipath Interference、MPI）測定は非常に低く（すなわち、設備の検知限界以下）、一般的にはシングルモードでのモジュールの動作を裏付ける。

【0038】

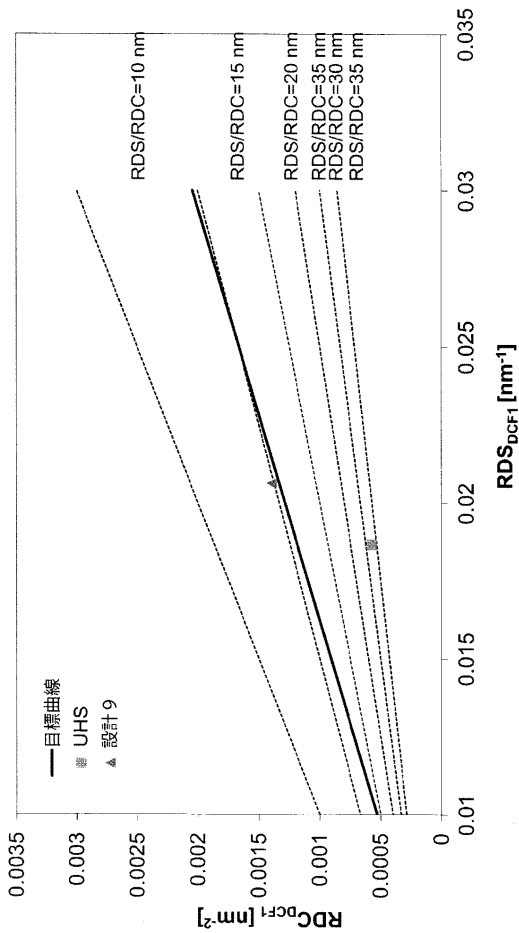
本発明の実施形態を通して、ファイバストレッチャモジュールを設計するために用いられる設計技術、かつ具体的には、その中の第一のファイバは、関連する用途のために同様に有効なファイバ組立体を開発するために通常の当業者達によって利用されてよいということが評価されるべきである。そういうものとして、本発明の実施形態は、当業者によって理解されるように、そのような変更を含むと見なされるべきである。

【0039】

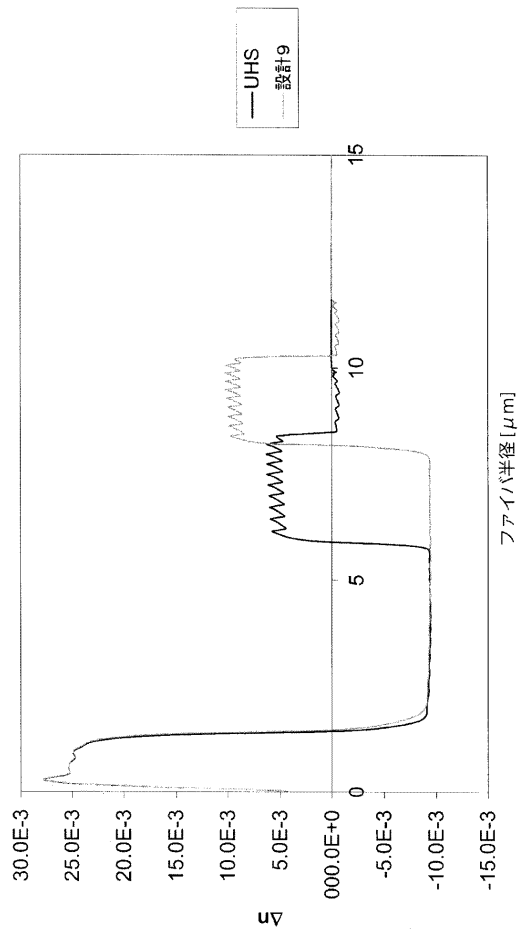
先に述べられたことは本発明の実施形態に向けられているが、本発明の他の、かつ更な

る実施形態が、その基本的な範囲から逸脱することなく考案されてよい。ここに述べられるいろいろな実施形態は、ここに包含される範囲から逸脱することなく、記述される他の任意の実施形態と組み合わせて利用されてよい、ということもまた理解される。さらに、本発明の実施形態は、特定の用途が必要とするかもしれないように、より拡張可能であってよい。

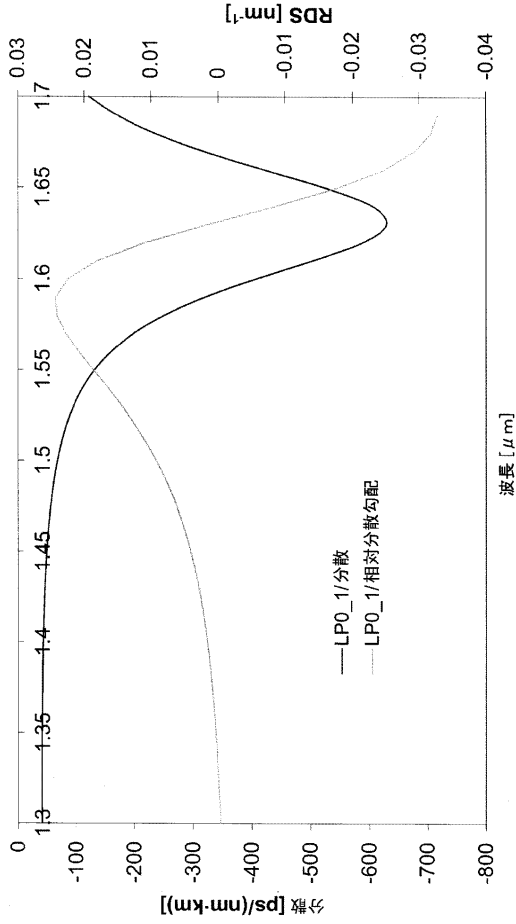
【 図 1 】



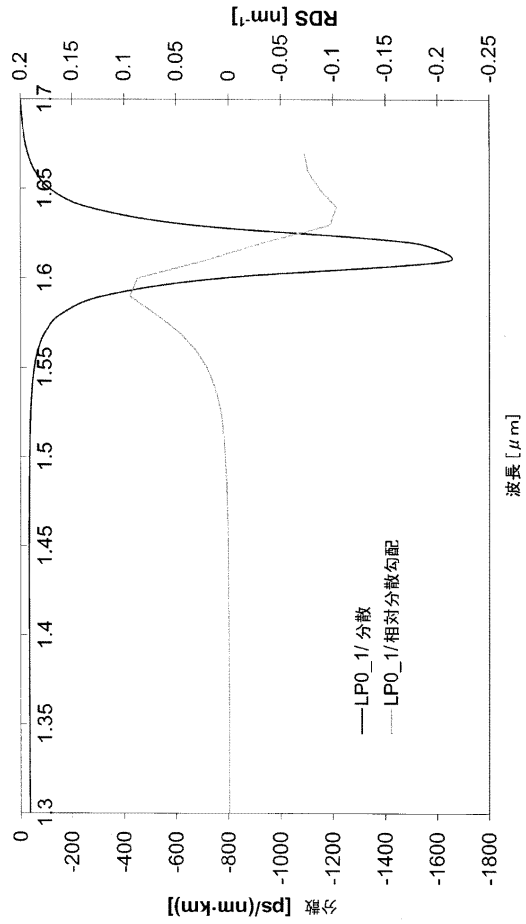
【 図 2 】



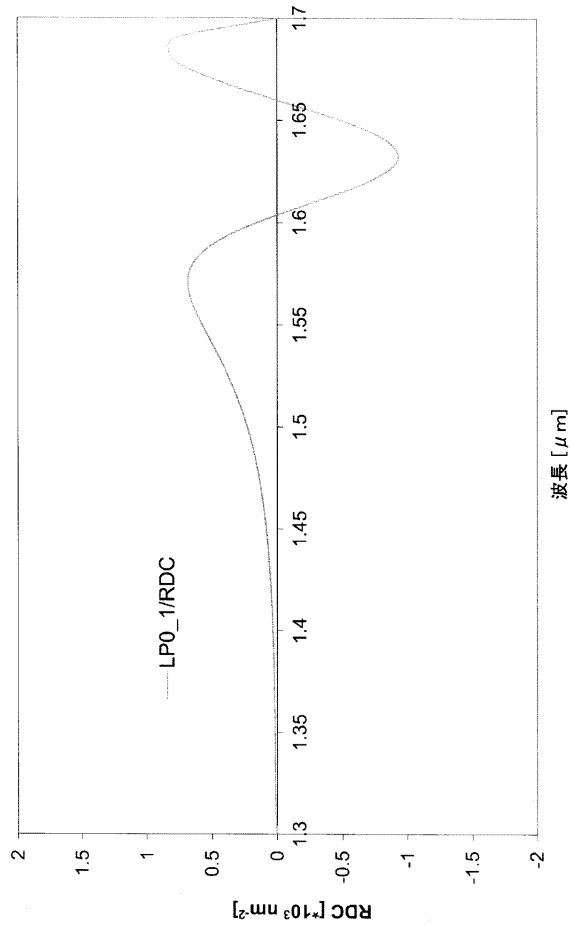
【 図 3 】



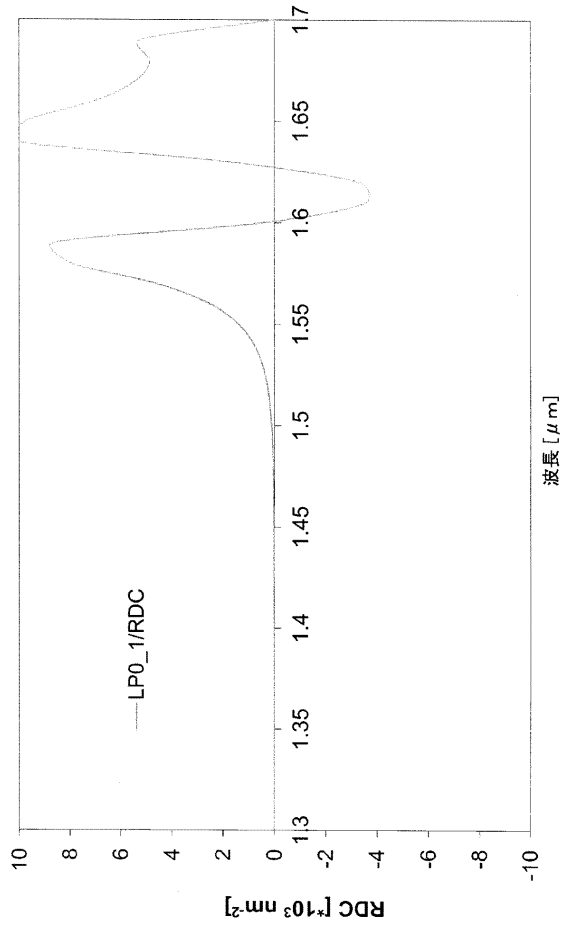
【 図 4 】



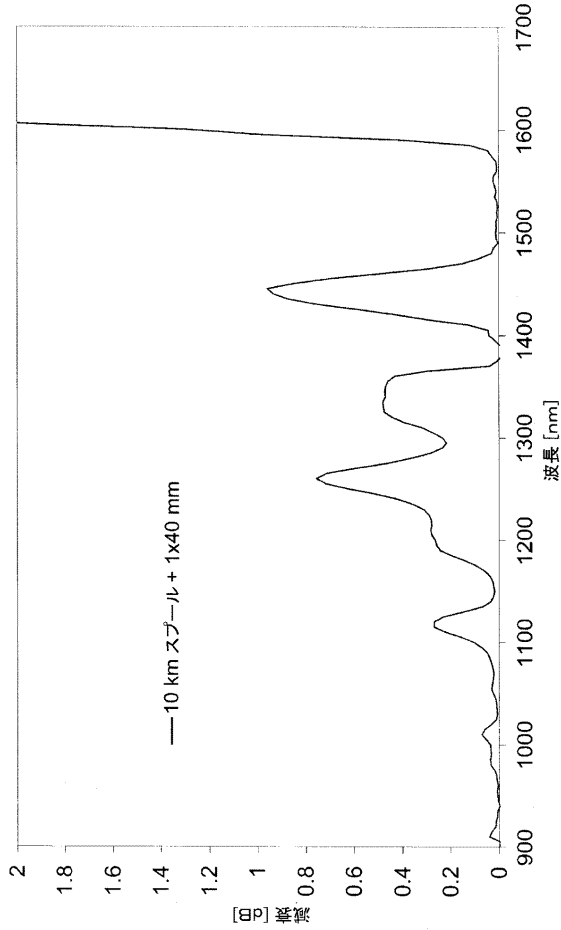
【 図 5 】



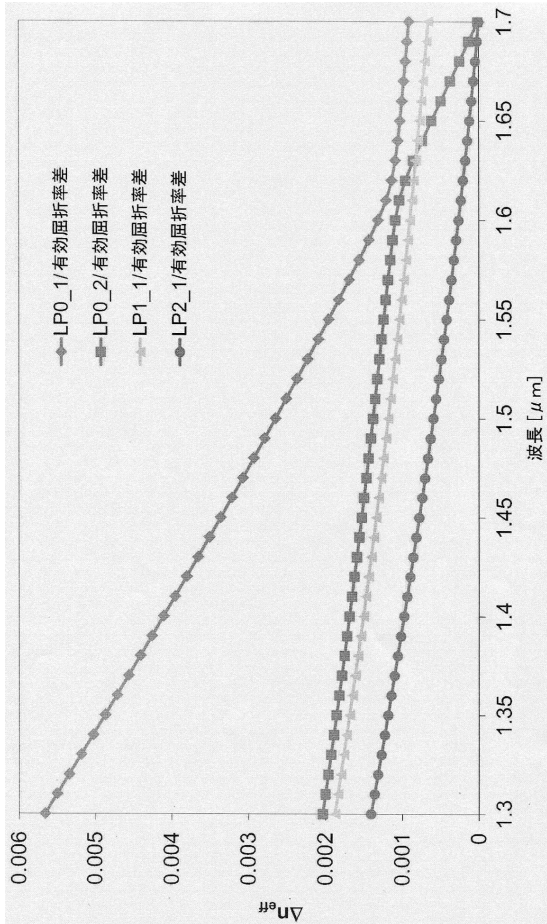
【 図 6 】



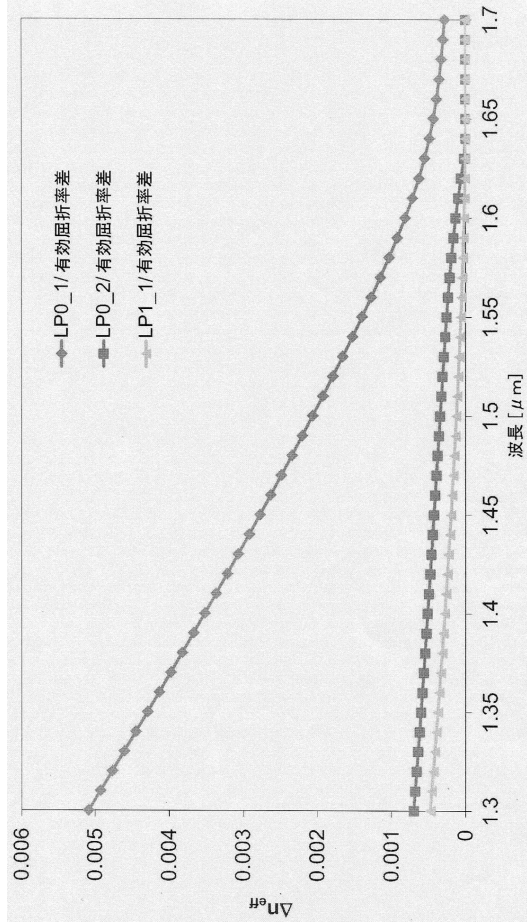
【図12】



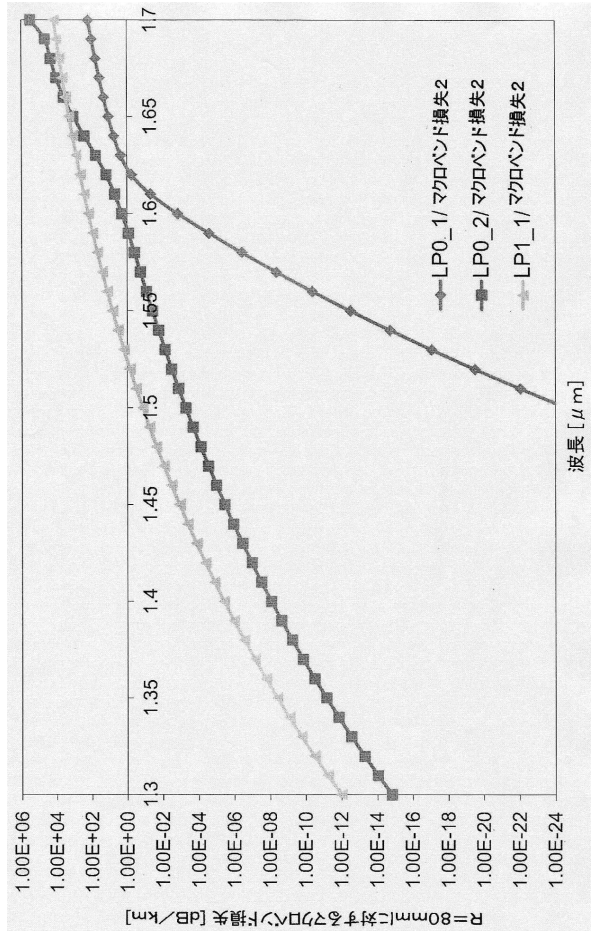
【図8】



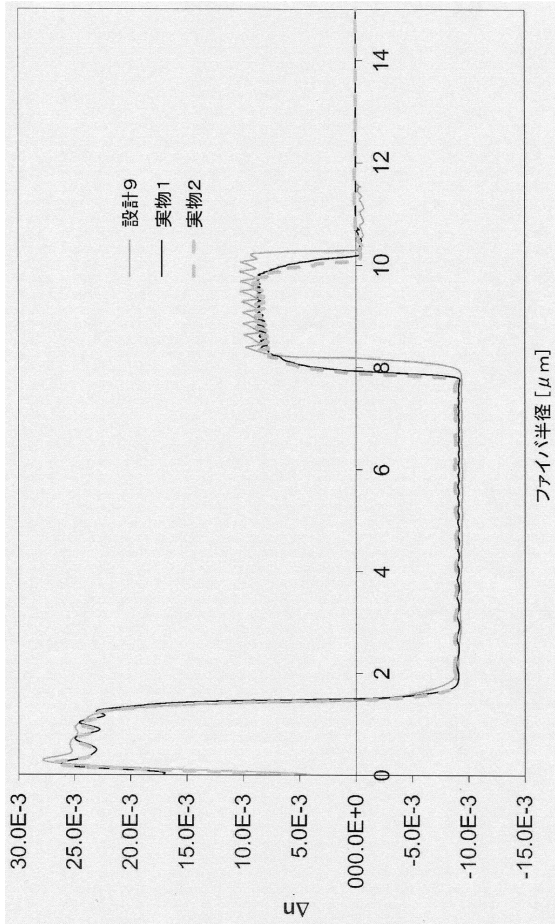
【図7】



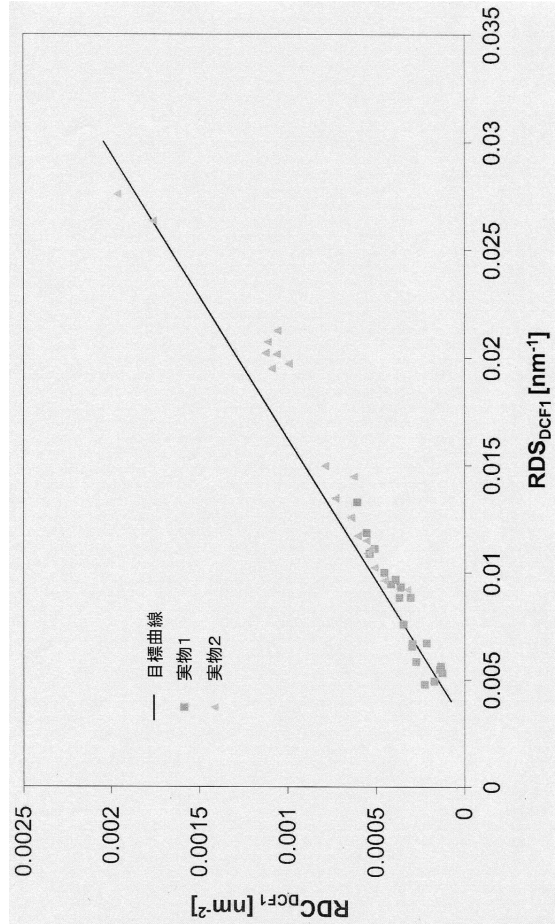
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-070552(JP,A)
特開2004-341525(JP,A)
特開2010-016386(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/00-6/10、6/44-6/54