

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年8月3日 (03.08.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/080496 A1(51) 国際特許分類:
G02F 1/09 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2006/301447

(22) 国際出願日: 2006年1月30日 (30.01.2006)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2005-023373 2005年1月31日 (31.01.2005) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): FDK
株式会社 (FDK CORPORATION) [JP/JP]; 〒1050004
東京都港区新橋5丁目3番11号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中村 輝久
(NAKAMURA, Teruhisa) [JP/JP]; 〒1050004 東京都

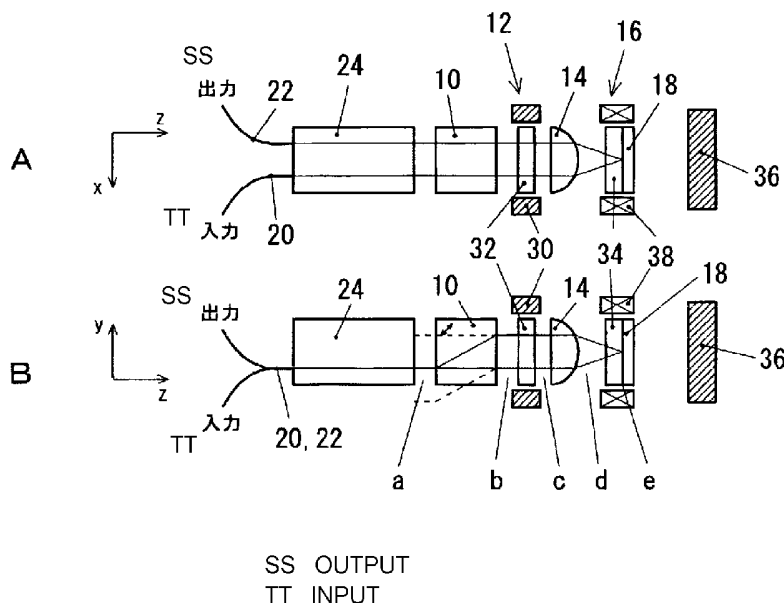
港区新橋5丁目3番11号 FDK株式会社内
Tokyo (JP). 中田 英則 (NAKATA, Hidenori) [JP/JP];
〒1050004 東京都港区新橋5丁目3番11号
FDK株式会社内 Tokyo (JP). 佐原 健司 (SAHARA,
Kenji) [JP/JP]; 〒1050004 東京都港区新橋5丁目
3番11号 FDK株式会社内 Tokyo (JP). 大田 猶
子 (OHTA, Yuko) [JP/JP]; 〒1050004 東京都港区新橋
5丁目3番11号 FDK株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 一色国際特許業務法人 (ISSHIKI & CO.); 〒
1050004 東京都港区新橋2丁目12番7号 労金新橋
ビル Tokyo (JP).(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,

/ 続葉有 /

(54) Title: VARIABLE OPTICAL ATTENUATOR

(54) 発明の名称: 可変光アッテネータ



(57) Abstract: A separation/composition birefringent element, a fixed polarized wave rotating means, a convex lens, a variable polarized wave rotating means, and a reflector are arranged in this order. The fixed polarized wave rotating means has such a structure that a compensation film Faraday element is arranged in a cylindrical permanent magnet. The variable polarized wave rotating means has such a structure that a basic film Faraday element is arranged on the outside of the cylindrical permanent magnet and applied with a variable magnetic field by an electromagnet. Consequently, both Faraday elements are magnetized in the different directions.

(57) 要約: 分離合成用複屈折素子、固定偏波回転手段、凸レンズ、可変偏波回転手段、反射鏡を、その順序で配列する。固定偏波回転手段は、円筒状永久磁石の内部

/ 続葉有 /



WO 2006/080496 A1



MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

に補償膜ファラデー素子を配置した構造であり、可変偏波回転手段は、円筒状永久磁石の外部に基本膜ファラデー素子を配置し電磁石で可変磁界を印加する構造である。これによって両ファラデー素子は互いに異なる方向に磁化される。

明 細 書

可変光アッテネータ

技術分野

[0001] 本発明は、反射型の可変光アッテネータに関するものである。

背景技術

[0002] <<関連出願の相互参照>>

この出願は、2005年1月31日に出願された日本特許出願、特願2005-23373に基づく優先権を主張し、その内容を本願に援用する。

[0003] 光通信システムあるいは光計測システムなどでは、透過光量を制御するための可変光アッテネータを必要とする。この種の可変光アッテネータの典型的な例は、可変偏波回転手段(ファラデー回転角可変装置)の光軸上の前後(入力側と出力側)に偏光子と検光子とを設置する対向型である。可変偏波回転手段は、ファラデー素子(ファラデー効果を有する磁性ガーネット単結晶膜など)に電磁石などにより外部磁界を印加し、その外部印加磁界を変化させることにより、ファラデー素子を透過する光のファラデー回転角を制御するものである。可変光アッテネータは、このファラデー回転角の制御によって、光の減衰量を可変制御する。

[0004] 近年、波長多重通信が実用化され始めたことにより、挿入損失の均等化のために各波長毎に光アッテネータを組み込むことが行われている。そのような使用形態では、特に安価に製作でき、小型化できることが重要である。従来の対向型の可変光アッテネータは、入出力を対向配置する場合以外では、ファイバ引き回しのために広いスペースが必要となり実装の自由度が低い。

[0005] このような問題を解決できる技術として、分離合成用複屈折素子と、レンズと、反射鏡を順に配列し、入力ポートと出力ポートを分離合成用複屈折素子の側に設定して、分離合成用複屈折素子と反射鏡との間に設置した可変偏波回転手段で偏波方向の回転角度を制御することにより入射光の減衰量を調整可能とした反射型の可変光アッテネータが提案されている(特許文献1参照)。更に、この特許文献1には、可変磁界に応じてファラデー回転角が変化する基本膜ファラデー素子と可変磁界によら

ずファラデー回転角が変化しない補償膜ファラデー素子を組み合わせて配置することにより、高減衰量を実現でき、減衰量の可変幅を大きくできる技術も開示されている。

- [0006] しかし、この可変光アッテネータでは、基本膜ファラデー素子と補償膜ファラデー素子は、それらのファラデー回転方向が互いに逆の関係でなければならない。従って、補償膜ファラデー素子と基本膜ファラデー素子とは異なる組成となり、製造条件の違いから別々に育成されることになる。そのため、基本膜ファラデー素子と補償膜ファラデー素子は、波長依存性損失や温度依存性損失などが異なり、波長・温度条件によってファラデー回転角に差異が生じて最大減衰ピークが駆動電流に対してシフトし、減衰レンジを低下させてしまうなど、可変光アッテネータとしての光学特性に悪影響を及ぼすことになる。そのため、使用温度範囲や使用波長範囲を広げることが困難である。

特許文献1:特開2003-107420公報

発明の開示

- [0007] 本発明が解決しようとする課題は、波長・温度条件によらず駆動電流に対する最大減衰ピーク位置がほぼ一致するようにし、それによって安価で且つ小型でありながら良好な光学特性が得られるようにする点である。
- [0008] 本発明の一の態様は、偏波方向が直交関係にある同じ光路の光を分離し異なる光路の光を合成する平行平面型の分離合成用複屈折素子と、光収束性のレンズと、前記光収束性のレンズに関して前記分離合成用複屈折素子の反対側であって該レンズの焦点位置に配置された反射鏡と、前記分離合成用複屈折素子と反射鏡の間の任意の位置に設置された可変偏波回転手段及び固定偏波回転手段と、前記分離合成用複屈折素子の端部側に設定された入力ポート及び出力ポートとを有し、前記可変偏波回転手段は、可変合成磁界に応じてファラデー回転角が変化する基本膜ファラデー素子と、該基本膜ファラデー素子に2方向以上から外部磁界を印加してそれらの合成磁界を可変する可変磁界印加手段を具備し、前記固定偏波回転手段は、ファラデー回転角が殆ど変化せず且つ前記基本膜ファラデー素子とファラデー回転方向が同じ補償膜ファラデー素子と、該補償膜ファラデー素子に外部磁界を印加す

る筒状永久磁石を具備し、前記補償膜ファラデー素子は筒状永久磁石の内部に配置され、前記基本膜ファラデー素子は筒状永久磁石の外部に配置されて、両ファラデー素子は互いに異なる方向に磁化されるように構成され、前記可変偏波回転手段で偏波方向の回転角度を制御することにより反射出力光量を制御する可変光アッテネータである。

[0009] ここで、固定偏波回転手段は分離合成用複屈折素子とレンズとの間に位置し、可変偏波回転手段は、レンズと反射鏡との間に位置し、反射鏡の背面側に、基本膜ファラデー素子を補償膜ファラデー素子とは逆方向に磁化する補助永久磁石が設置されている構成が好ましい。

[0010] 本発明では、例えば基本膜ファラデー素子と補償膜ファラデー素子は、その組成が同じBi置換希土類鉄ガーネットLPE膜であり、例えば基本膜ファラデー素子はアニール処理が施され、補償膜ファラデー素子はアニール処理が施されておらず前記基本膜ファラデー素子に比べて磁気異方性が大きい特性を呈するものとすることができる。

[0011] 固定偏波回転手段の補償膜ファラデー素子のファラデー回転角及び可変偏波回転手段の基本膜ファラデー素子の可変磁界を印加していない状態でのファラデー回転角は、その差が ± 2 度以内であることが好ましい。あるいは、固定偏波回転手段の補償膜ファラデー素子のファラデー回転角及び可変偏波回転手段の基本膜ファラデー素子のファラデー回転角は、往復で最大90度以上であることが好ましい。

[0012] 本発明では、入力ポートに入力ファイバが位置し、出力ポートに出力ファイバが位置するように、例えば2芯フェルルールを設置することができる。勿論、光ファイバに代えて光導波路などを用いてもよい。

[0013] 本発明の可変光アッテネータでは、基本膜ファラデー素子と補償膜ファラデー素子は、各々逆方向に磁化された状態でファラデー回転方向が逆であるため、同一磁界方向に対しては同じファラデー回転方向である。よって、同じ組成の材料で作製できることから、波長依存性損失や温度依存性損失などを等しく、波長・温度条件によらず駆動電流に対する最大減衰ピーク位置を一致させることができ、そのため高減衰域が得られ、良好な光学特性が得られる。

[0014] 本発明の上記以外の特徴及びその目的とするところは、添付図面を参照しつつ本明細書の記載を読むことにより明らかとなるであろう。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の一態様に係る可変光アッテネータの概略構成図。

[図2]図1の可変光アッテネータの光路説明図。

[図3]第1実施例における各光学部品間での偏波状況の説明図。

[図4]第1実施例の駆動電流－減衰量特性線図。

[図5]第2実施例における各光学部品間での偏波状況の説明図。

[図6]第2実施例の駆動電流－減衰量特性線図。

符号の説明

[0016] 10 分離合成用複屈折素子

12 固定偏波回転手段

14 凸レンズ

16 可変偏波回転手段

18 反射鏡

20 入力ファイバ

22 出力ファイバ

30 円筒状永久磁石

32 補償膜ファラデー素子

34 基本膜ファラデー素子

36 補助永久磁石

38 電磁石

発明の詳細な説明

[0017] 本明細書における説明及び添付図面の記載により、少なくとも次の事項が明らかにされる。

[0018] 本発明に係る可変光アッテネータの典型例の概略構成を図1に示す。また、その光路を図2に示す。説明を分かり易くするために、次のように座標軸を設定する。光学部品の配列方向(入射光が進む方向)をz方向(図面では右方向)とし、それに対して

直交する2方向をx方向(水平方向)、y方向(垂直方向)とする。従って、図2のAは平面を表しており、Bは正面を表しているということになる。

[0019] この可変光アッテネータでは、z方向に向かう偏波方向が直交関係にある同じ光路の光をy方向に分離し-z方向に向かう異なる光路の光を-y方向で合成する平行平面型の分離合成用複屈折素子10と、固定偏波回転手段12と、凸レンズ14と、可変偏波回転手段16と、前記凸レンズ12の焦点位置に配置した反射鏡18とが、その順序で配列されている。そして、前記分離合成用複屈折素子10の側面(図面では左端の側面)に入力ポートと出力ポートを設定する。この例では、z方向を見て下段右側光路の入力ポートに入力ファイバ20が位置し、下段左側光路の出力ポートに出力ファイバ22が位置するように、2芯フェルルール24を設置している。

[0020] 平行平面型の分離合成用複屈折素子10は、例えばルチル結晶からなる。なお、「平行平面型」とは、光の入射面と出射面が互いに平行となっている形状を意味しており、平行平板形状あるいは平行四辺形のブロック形状、直方体形状なども含まれる。

[0021] 固定偏波回転手段12は、円筒状永久磁石30の内部に補償膜ファラデー素子32を配置した構造である。円筒状永久磁石30は、その軸方向に着磁されたものである。可変偏波回転手段16は、前記円筒状永久磁石30の外部に位置する基本膜ファラデー素子34と、該基本膜ファラデー素子14に2方向から固定磁界と可変磁界による合成磁界を印加する構成である。固定磁界は、前記円筒状永久磁石30と、反射鏡の背後に配置した円板状の補助永久磁石36によって光が進む方向に印加される。可変磁界は、電磁石38によって光が進む方向に対して垂直な方向に印加される。これら2つの磁界の合成が、基本膜ファラデー素子34に印加され、その合成磁界に応じて該基本膜ファラデー素子34のファラデー回転角が変化する。それに対して補償膜ファラデー素子32は、ファラデー回転角がほぼ一定を保つ。

[0022] ここで、補償膜ファラデー素子32と基本膜ファラデー素子34としては、ファラデー回転方向が同じものを用いる。前記のように、補償膜ファラデー素子32は円筒状永久磁石30の内部に配置され、基本膜ファラデー素子34は円筒状永久磁石30の外部に配置されているので、可変磁界が0の場合には両ファラデー素子32, 34は互い

に180度異なる方向に磁化され、両ファラデー素子32, 34におけるファラデー回転方向は互いに逆向きとなる。

- [0023] 入射した光は、分離合成用複屈折素子10、レンズ14を通り反射鏡18に集光して反射され、反射戻り光は、再びレンズ14、分離合成用複屈折素子10を通して出射する。その過程で、光は、固定偏波回転手段12と可変偏波回転手段16(実際にはそれらのファラデー素子の部分、即ち補償膜ファラデー素子32と基本膜ファラデー素子34)を往復する。従って本発明では、1個の複屈折素子がそれぞれ偏光子と検光子の2つの機能を兼用する。本発明の可変光アッテネータでは、可変偏波回転手段34で偏波方向の回転角度を制御することにより、反射出力光量が制御されることになる。
- [0024] ここで基本膜ファラデー素子と補償膜ファラデー素子としては、組成が同じBi置換希土類鉄ガーネットLPE膜が使用できる。その場合、基本膜ファラデー素子は熱処理(アニール)が施され、補償膜ファラデー素子は熱処理が施されておらず前記基本膜ファラデー素子に比べて磁気異方性が大きい特性を呈するものとする。このようにすると、両ファラデー素子で、ファラデー回転角の温度依存性損失係数や波長依存性損失係数が全く同じであることから、同一ファラデー回転角のとき、それらの損失係数は完全に相殺される。
- [0025] ところで円筒状永久磁石の内側に配置された補償膜ファラデー素子は、磁石内側の磁化分布の影響を受け、磁化飽和する部分と磁化飽和しない部分とが生じる恐れがある。このような状態になると、ファラデー素子内に磁区が生じ、消光比劣化の原因となる。更に、補償膜ファラデー素子の磁化方向の面内分布によりファラデー回転角に差が生じ、基本膜ファラデー素子との回転角差を生じることになる。しかし、上記の例のように、補償膜ファラデー素子として磁気異方性の高い特性の材料を使用すると、これらの問題を回避できる。
- [0026] 固定偏波回転手段の補償膜ファラデー素子のファラデー回転角と可変偏波回転手段の基本膜ファラデー素子の可変磁界を印加していない状態でのファラデー回転角の差を ± 2 度以内に設定すると、減衰量減少型の可変光アッテネータが得られる。また、少なくとも可変偏波回転手段の基本膜ファラデー素子のファラデー回転角は、

往復で最大90度以上に設定する。そのようにすると、最大挿入損失及び最小挿入損失が得られる。

実施例

[0027] このような構造の可変光アッテネータ構成による第1実施例について、その動作を説明する。第1実施例は、減衰量減少型であり、

基本膜ファラデー素子の回転角： $+45^{\circ}$ ～ 0° 度（往復後の回転角： $+90^{\circ}$ ～ 0° 度）

補償膜ファラデー素子の回転角： -45° 度（往復後の回転角： -90° 度）

に設定している。図3は、そのときの各光学部品間での偏波状況の説明図であり、a～dで示す偏波状況は、図2のBのa～dで示す位置での光が進む方向に見た図である。

[0028] （基本膜ファラデー素子の回転角： $+45^{\circ}$ 度、即ち、合計ファラデー回転角： 0° 度）

まず、基本膜ファラデー素子34と補償膜ファラデー素子32とによる合計のファラデー回転角が 0° の場合を図3のAに示す。これは電磁石の駆動電流が0（即ち、可変磁界が0）で、そのため基本膜ファラデー素子34には固定磁界のみが印加され磁化方向が光の進行方向であり且つ補償膜ファラデー素子32の磁化方向と 180° 度異なる状態である。

[0029] 入力ファイバ20からz方向に入射する光は、分離合成用複屈折素子10で常光は直進し、異常光は屈折してy方向に光分離する。そして補償膜ファラデー素子32を通過し、凸レンズ14で集光し、その集光途中で基本膜ファラデー素子34を通過する。ファラデー回転角が合計で 0° であるので、レンズ焦点位置の反射鏡18では偏波方向は回転せず反射する。 $-z$ 方向に戻る反射光は、再び基本膜ファラデー素子34、凸レンズ14及び補償膜ファラデー素子32を通過するが、その際も偏波方向は回転しない。そして、分離合成用複屈折素子10で、上段光路の常光は直進し、下段光路の異常光は $-y$ 方向に屈折する。従って、入力ファイバ20からの入射光は、殆ど出力ファイバ22には結合しない。つまり、入力ファイバからの入射光量の殆ど全てが減衰することになる。

[0030] （基本膜ファラデー素子の回転角： 0° 度、即ち、合計ファラデー回転角： -45° 度）

次に、基本膜ファラデー素子34と補償膜ファラデー素子32とによる合計のファラデー

一回転角が -45 度の場合を図3のCに示す。これは電磁石の駆動電流が十分大きく、そのため基本膜ファラデー素子34は光が進む方向に直交する方向に磁化されている状態である。

[0031] 入力ファイバ20から z 方向に入射する光は、分離合成用複屈折素子10で常光は直進し、異常光は屈折して y 方向に光分離する。そして補償膜ファラデー素子32を通過し、凸レンズ14で集光して、その集光途中で基本膜ファラデー素子34を通過する。合計のファラデー回転角が -45 度に設定されているので、偏波方向が -45 度回転し、レンズ焦点位置の反射鏡18に達して反射する。 $-z$ 方向に戻る反射光は、再び基本膜ファラデー素子34、凸レンズ14及び補償膜ファラデー素子32を通過し、その際に偏波方向が更に -45 度(従って合計で -90 度)回転する。分離合成用複屈折素子10で下段光路の常光は直進し、上段光路の異常光は $-y$ 方向に屈折するため、すべての光が偏波合成され出力ファイバ22に結合する。このようにして、合計のファラデー回転角が -45 度の場合は、入力ファイバ20からの入射光量は、殆ど減衰することなくほぼ全光量が出力ファイバ22へと出射することになる。

[0032] (基本膜ファラデー素子の回転角: $+22.5$ 度、即ち、合計ファラデー回転角: -22.5 度)

基本膜ファラデー素子34と補償膜ファラデー素子32とによる合計のファラデー回転角が $-45 \sim 0$ 度の間の任意の角度の時は、次のようになる。これは電磁石の駆動電流により、基本膜ファラデー素子34は光が進む方向に対して駆動電流に応じた任意の方向に磁化されている状態である。例えば -22.5 度の時を図3のBに示す。

[0033] 入力ファイバ20から z 方向に入射する光は、分離合成用複屈折素子10で常光は直進し、異常光は屈折して y 方向に光分離する。そして補償膜ファラデー素子32を通過し、凸レンズ14で集光し、その集光途中で基本膜ファラデー素子34を通過する。偏波方向は、補償膜ファラデー素子32及び基本膜ファラデー素子34によって任意の角度(図3のBでは -22.5 度)回転し、レンズ焦点位置の反射鏡18に達して反射する。 $-z$ 方向に戻る反射光は、再び基本膜ファラデー素子34、凸レンズ14及び補償膜ファラデー素子32を通過し、その際にも偏波方向が更に同じ角度(ここでは -22.5 度:従って合計で -45 度)回転する。そして分離合成用複屈折素子10で下

段光路の常光成分は直進し、上段光路の異常光成分は $-y$ 方向に屈折するため、それらの成分は偏波合成されて出力ファイバ22に結合する。しかし、上段光路の常光成分は直進し、下段光路の異常光成分は $-y$ 方向に屈折するため、これらの成分は出力ファイバには結合しない。従って、入力ファイバ20からの入射光は減衰して(ファラデー回転角を22.5度に設定した場合は、入射光量がほぼ半減して)出力ファイバ22へと出射することになる。

[0034] このようにして、基本膜ファラデー素子34で偏波方向の回転角度を制御することによって、入射光の減衰量(言い換えれば反射出力光量)を自由に調整できることになる。

[0035] 波長1570nmの光を使用し、温度を -5°C 、 $+25^{\circ}\text{C}$ (室温)、 $+75^{\circ}\text{C}$ に設定して、電磁石の駆動電流(従って可変磁界の強さ)に対する減衰量の変化を測定した結果を図4に示す。可変磁界を印加していない状態で減衰量35dB以上が得られ、しかも減衰量ピーク位置が温度変化にもかかわらず一致していることが分かる。つまり、この可変光アッテネータを用いると、温度条件の変化に影響されずに高減衰に(減衰量35dB以上で)シャットダウンできることになる。

[0036] 次に、同じ構造の可変光アッテネータ構成による第2実施例について、その動作を説明する。第2実施例では、
基本膜ファラデー素子の回転角: $0\sim+50$ 度(往復後の回転角: $0\sim+100$ 度)
補償膜ファラデー素子の回転角: -5 度(往復後の回転角: -10 度)
に設定している。図5は、そのときの各光学部品間での偏波状況の説明図であり、a～dで示す偏波状況は、図2のBのa～dで示す位置での光が進む方向に見た図である。

[0037] (基本膜ファラデー素子の回転角: $+50$ 度、即ち、合計ファラデー回転角: $+45$ 度)
まず、基本膜ファラデー素子14と補償膜ファラデー素子16とによる合計のファラデー回転角が $+45$ 度の場合を図5のAに示す。これは電磁石の駆動電流が0(即ち、可変磁界が0)で、そのため基本膜ファラデー素子34には固定磁界のみが印加され磁化方向が光の進行方向である状態であり且つ補償膜ファラデー素子32の磁化方向と 180 度異なる状態である。

[0038] 入力ファイバ20からz方向に入射する光は、分離合成用複屈折素子10で常光は直進し、異常光は屈折してy方向に光分離する。そして補償膜ファラデー素子32を通過し、凸レンズ14で集光して、その集光途中で基本膜ファラデー素子34を通過する。合計のファラデー回転角が+45度に設定されているので、偏波方向が+45度回転し、レンズ焦点位置の反射鏡18に達して反射する。−z方向に戻る反射光は、再び基本膜ファラデー素子34、凸レンズ14及び補償膜ファラデー素子32を通過し、その際に偏波方向が更に+45度(従って合計で+90度)回転する。分離合成用複屈折素子10で下段光路の常光は直進し、上段光路の異常光は−y方向に屈折するため、すべての光が偏波合成され出力ファイバ22に結合する。このようにして、ファラデー回転角が45度の場合は、入力ファイバ20からの入射光量は、殆ど減衰することなくほぼ全光量が出力ファイバ22へと出射することになる。

[0039] (基本膜ファラデー素子の回転角: +5度、即ち、合計ファラデー回転角: 0度)

次に、基本膜ファラデー素子34と補償膜ファラデー素子32とによる合計のファラデー回転角が0度の場合を図5のCに示す。これは電磁石の駆動電流が十分大きく、そのため基本膜ファラデー素子34は光が進む方向に直交する方向に磁化されている状態である。

[0040] 入力ファイバ20からz方向に入射する光は、分離合成用複屈折素子10で常光は直進し、異常光は屈折してy方向に光分離する。そして補償膜ファラデー素子32を通過し、凸レンズ14で集光し、その集光途中で基本膜ファラデー素子34を通過する。ファラデー回転角が合計で0度に設定されているので、レンズ焦点位置の反射鏡18では偏波方向は回転せず反射する。−z方向に戻る反射光は、再び基本膜ファラデー素子34、凸レンズ14及び補償膜ファラデー素子32を通過するが、その際も偏波方向は回転しない。そして、分離合成用複屈折素子10で、上段光路の常光は直進し、下段光路の異常光は−y方向に屈折する。従って、入力ファイバ20からの入射光は、殆ど出力ファイバ22には結合しない。つまり、入力ファイバからの入射光量の殆ど全てが減衰することになる。

[0041] (基本膜ファラデー素子の回転角: +27.5度、即ち、合計ファラデー回転角: +22.5度)

基本膜ファラデー素子14と補償膜ファラデー素子16とによる合計のファラデー回転角が -5° ～ $+45^{\circ}$ の間の任意の角度の時は、次のようになる。これは電磁石の駆動電流により、基本膜ファラデー素子34は光が進む方向に対して駆動電流に応じた任意の方向に磁化されている状態である。例えば $+22.5^{\circ}$ の時を図5のBに示す。

[0042] 入力ファイバ20からz方向に入射する光は、分離合成用複屈折素子10で常光は直進し、異常光は屈折してy方向に光分離する。そして補償膜ファラデー素子32を通過し、凸レンズ14で集光し、その集光途中で基本膜ファラデー素子34を通過する。偏波方向は、補償膜ファラデー素子32及び基本膜ファラデー素子34によって任意の角度(図5のBでは $+22.5^{\circ}$)回転し、レンズ焦点位置の反射鏡18に達して反射する。 $-z$ 方向に戻る反射光は、再び基本膜ファラデー素子34、凸レンズ14及び補償膜ファラデー素子32を通過し、その際にも偏波方向が更に同じ角度(ここでは $+22.5^{\circ}$:従って合計で $+45^{\circ}$)回転する。そして分離合成用複屈折素子10で下段光路の常光成分は直進し、上段光路の異常光成分は $-y$ 方向に屈折するため、それらの成分は偏波合成されて出力ファイバ22に結合する。しかし、上段光路の常光成分は直進し、下段光路の異常光成分は $-y$ 方向に屈折するため、これらの成分は出力ファイバには結合しない。従って、入力ファイバ20からの入射光は減衰して(ファラデー回転角を 22.5° に設定した場合は、入射光量がほぼ半減して)出力ファイバ22へと出射することになる。

[0043] このようにして、基本膜ファラデー素子34で偏波方向の回転角度を制御することによって、入射光の減衰量(言い換えれば反射出力光量)を自由に調整できることになる。

[0044] 波長1570nmの光を使用し、温度を -5°C 、 $+25^{\circ}\text{C}$ (室温)、 $+75^{\circ}\text{C}$ に設定して、電磁石の駆動電流(従って可変磁界の強さ)に対する減衰量の変化を測定した結果を図6に示す。基本膜ファラデー素子のファラデー回転角が $+5^{\circ}$ になるような可変磁界を印加している状態で減衰量35dB以上が得られ、しかも減衰量ピーク位置が温度変化にもかかわらず一致していることが分かる。つまり、この可変光アッテネータを用いると、温度条件の変化に影響されずに高減衰に(減衰量35dB以上で)シャットダウンできることになる。

[0045] 本発明の好適な実施形態について詳細に記載してきたが、添付の請求の範囲により定義される発明の精神及び範囲から離れることなく、これらにおける種々の変更、置換、改造が可能であることが理解されるべきである。

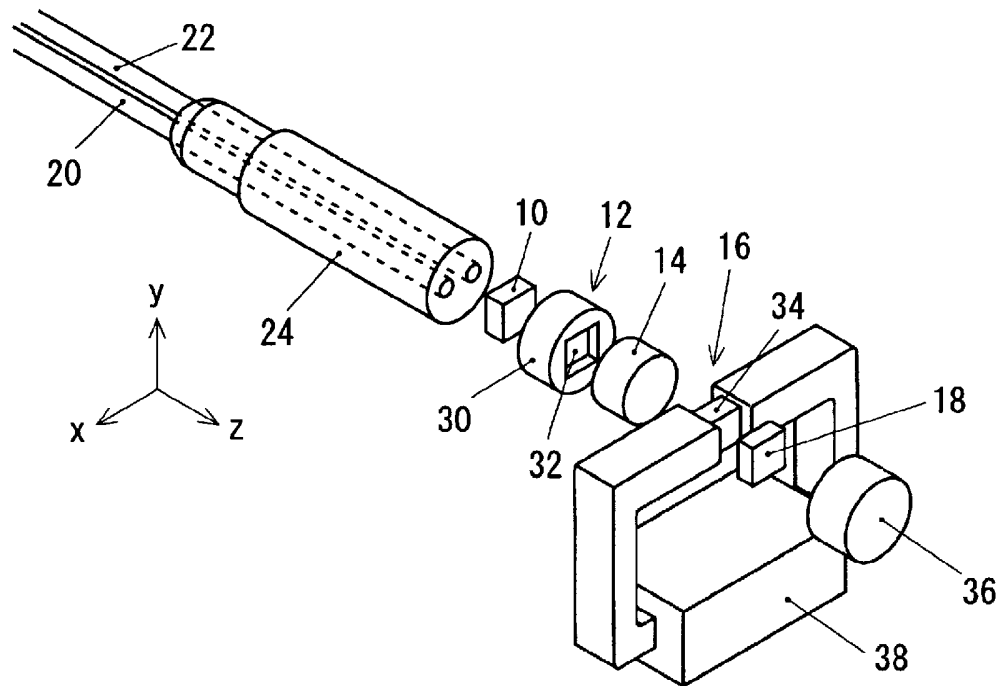
請求の範囲

- [1] 偏波方向が直交関係にある同じ光路の光を分離し異なる光路の光を合成する平行平面型の分離合成用複屈折素子と、
光収束性のレンズと、
前記光収束性のレンズに関して前記分離合成用複屈折素子の反対側であって該レンズの焦点位置に配置された反射鏡と、
前記分離合成用複屈折素子と反射鏡の間の任意の位置に設置された可変偏波回転手段及び固定偏波回転手段と、
前記分離合成用複屈折素子の端部側に設定された入力ポート及び出力ポートと、
を有し、
前記可変偏波回転手段は、可変合成磁界に応じてファラデー回転角が変化する基本膜ファラデー素子と、該基本膜ファラデー素子に2方向以上から外部磁界を印加してそれらの合成磁界を可変する可変磁界印加手段を具備し、
前記固定偏波回転手段は、ファラデー回転角が殆ど変化せず且つ前記基本膜ファラデー素子とファラデー回転方向が同じ補償膜ファラデー素子と、該補償膜ファラデー素子に外部磁界を印加する筒状永久磁石を具備し、
前記補償膜ファラデー素子は筒状永久磁石の内部に配置され、前記基本膜ファラデー素子は筒状永久磁石の外部に配置されて、両ファラデー素子は互いに異なる方向に磁化されるように構成され、前記可変偏波回転手段で偏波方向の回転角度を制御することにより反射出力光量を制御する
可変光アッテネータ。
- [2] 前記固定偏波回転手段は分離合成用複屈折素子とレンズとの間に位置し、前記可変偏波回転手段は、レンズと反射鏡との間に位置し、反射鏡の背面側に、基本膜ファラデー素子を補償膜ファラデー素子とは逆方向に磁化する補助永久磁石が設置されている、請求項1に記載の可変光アッテネータ。
- [3] 基本膜ファラデー素子と補償膜ファラデー素子は、その組成が同じBi置換希土類鉄ガーネットLPE膜であり、基本膜ファラデー素子はアニール処理が施され、補償膜ファラデー素子はアニール処理が施されておらず前記基本膜ファラデー素子に比べ

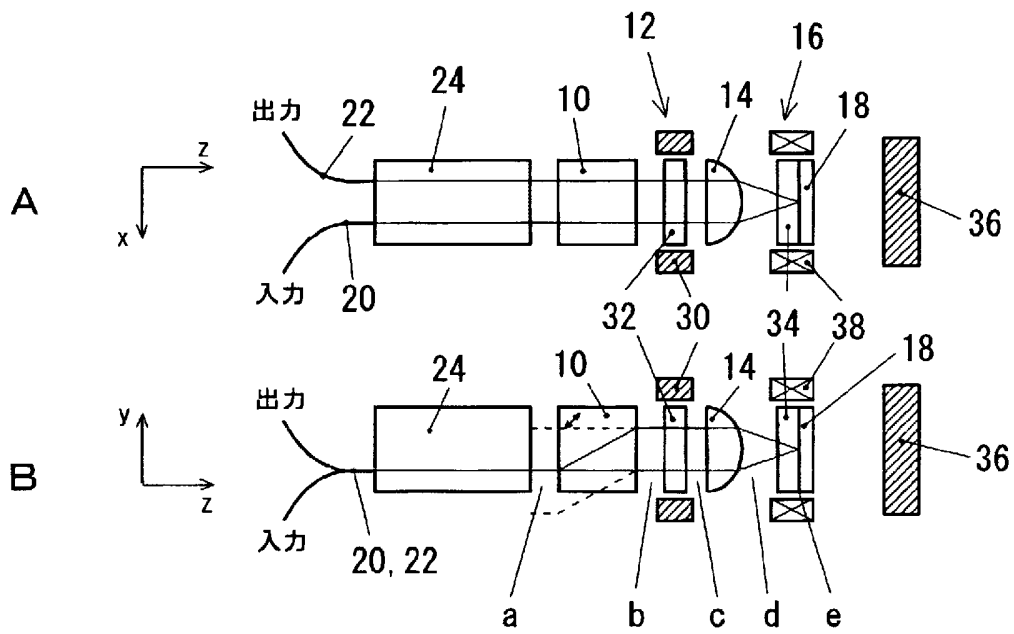
て磁気異方性が大きい特性を呈する請求項1に記載の可変光アッテネータ。

- [4] 前記固定偏波回転手段の補償膜ファラデー素子のファラデー回転角及び前記可変偏波回転手段の基本膜ファラデー素子の可変磁界を印加していない状態でのファラデー回転角は、その差が ± 2 度以内である、請求項3に記載の可変光アッテネータ。
- [5] 前記可変偏波回転手段の基本膜ファラデー素子のファラデー回転角は、少なくとも往復で最大90度以上である、請求項3に記載の可変光アッテネータ。
- [6] 前記入力ポートに入力ファイバが位置し、前記出力ポートに出力ファイバが位置するように、2芯フェルルールが設置されている、請求項1に記載の可変光アッテネータ。

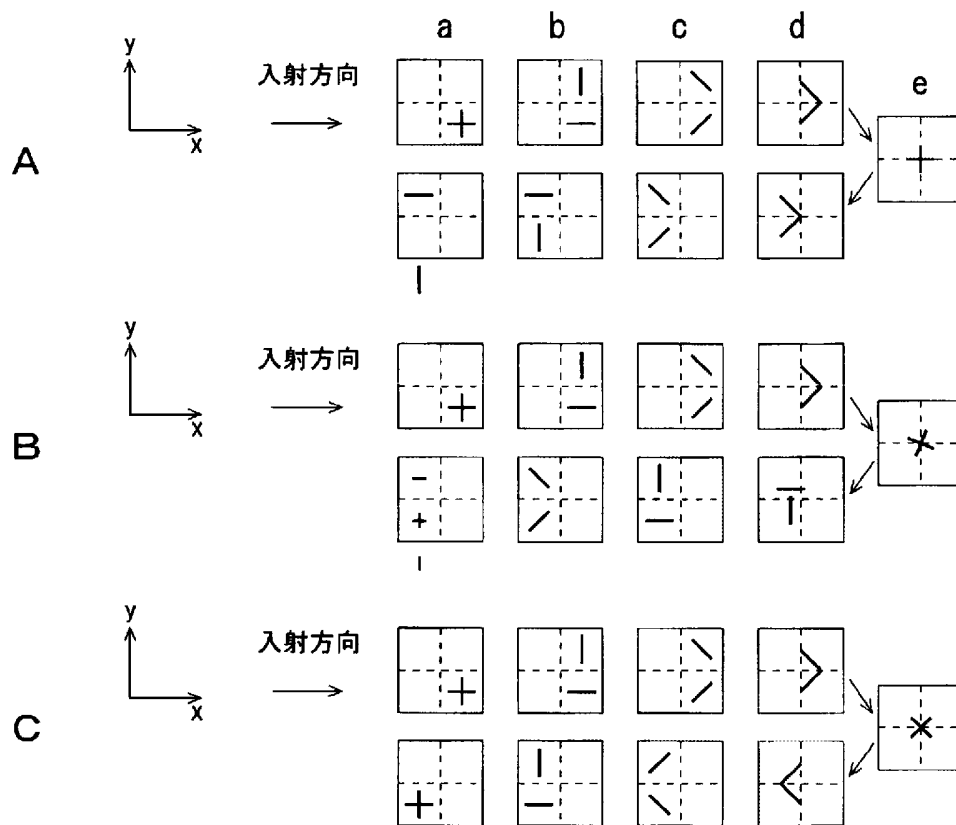
[図1]



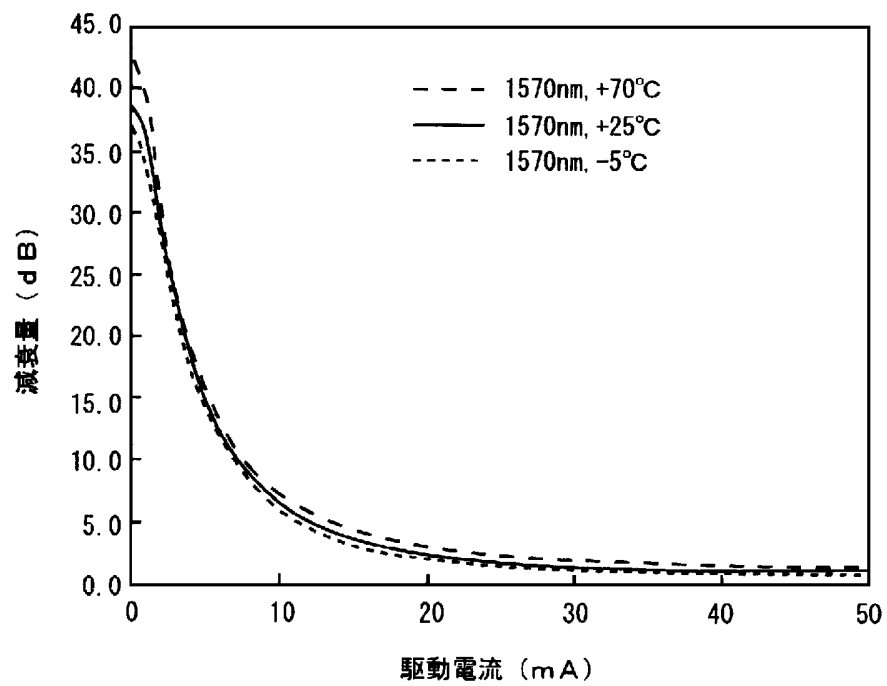
[図2]



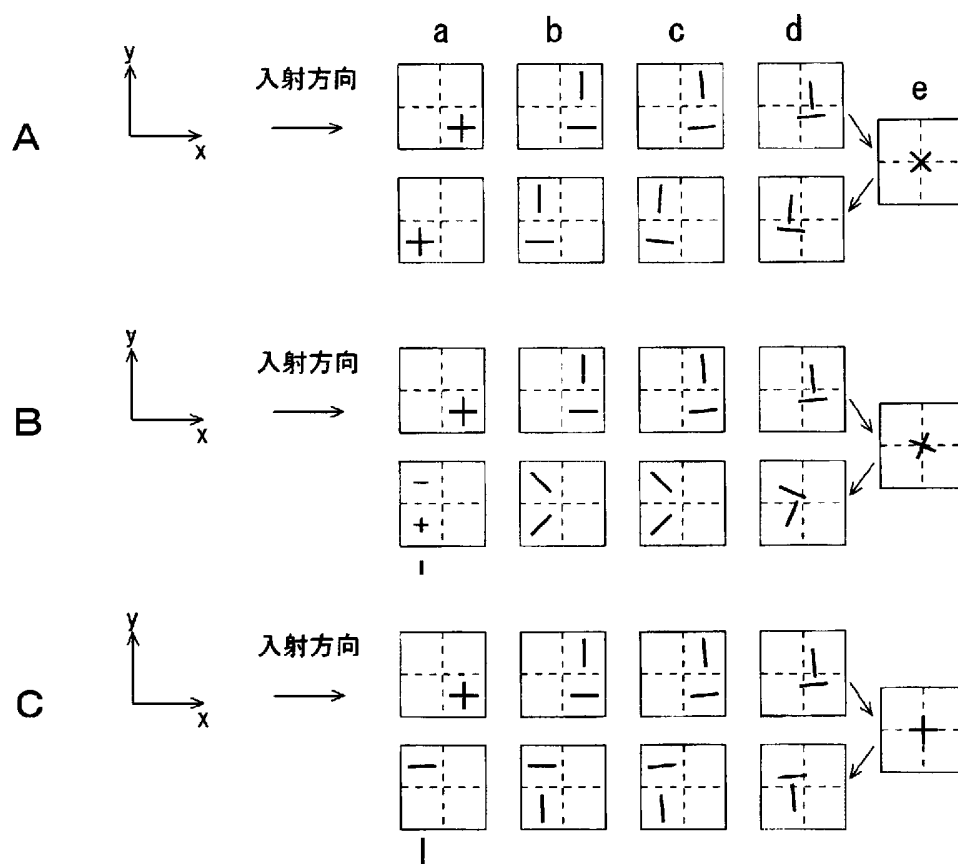
[図3]



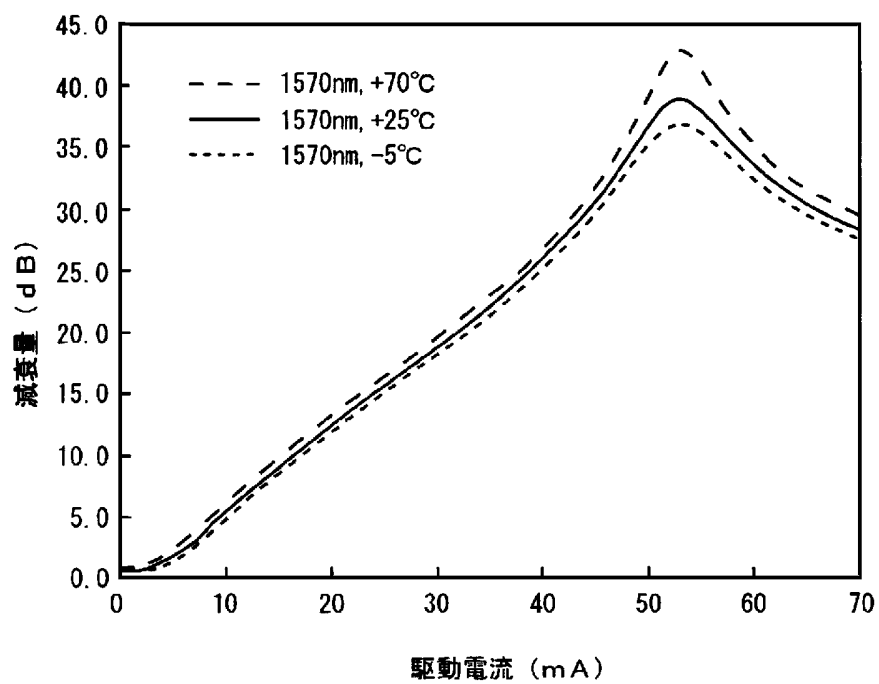
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/301447

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02F1/09 (2006.01)				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02F1/09 (2006.01)				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus (JOIS)				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
Y A	JP 2003-107420 A (FDK Corp.), 09 April, 2003 (09.04.03), Full text; Figs. 7B, C & US 2003/0058533 A1 Full text; Figs. 7B, 7C	1, 2, 4-6 3		
Y A	JP 2002-148578 A (FDK Corp.), 22 May, 2002 (22.05.02), Par. Nos. [0008] to [0014], [0026] & US 2004/0027637 A1 Par. Nos. [0018] to [0024], [0075] & US 2005/0141075 A & WO 02/014939 A1	1, 2, 4-6 3		
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.				
<table border="0"> <tr> <td> * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search 21 February, 2006 (21.02.06)		Date of mailing of the international search report 28 February, 2006 (28.02.06)		
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer		
Facsimile No.		Telephone No.		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/301447

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-157494 A (TDK Corp.), 03 June, 2004 (03.06.04), Full text & US 2003/0137718 A1 & US 2004/0193280 A1 & CN 001434327 A	3
A	JP 2002-258229 A (NEC Tokin Corp.), 11 September, 2002 (11.09.02), Par. Nos. [0015] to [0032]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/09(2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02F1/09(2006.01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus(JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 2003-107420 A (エフ・ディー・ケイ株式会社) 2003.04.09, 全文, 図 7B, C & US 2003/0058533 A1 全文, FIG. 7B, 7C	1, 2, 4-6 3
Y A	JP 2002-148578 A (エフ・ディー・ケイ株式会社) 2002.05.22, 第 8-14, 26 段落 & US 2004/0027637 A1 第 18-24, 75 段落 & US 2005/0141075 A & WO 02/014939 A1	1, 2, 4-6 3
A	JP 2004-157494 A (TDK株式会社) 2004.06.03, 全文 & US 2003/0137718 A1 & US 2004/0193280 A1 & CN 001434327 A	3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

21.02.2006

国際調査報告の発送日

28.02.2006

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

三橋 健二

2X

9412

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-258229 A (エヌイーシートーキン株式会社) 2002. 09. 11, 第 15-32 段落, 図 1-4 ファミリーなし	1-6