

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4382317号
(P4382317)

(45) 発行日 平成21年12月9日(2009.12.9)

(24) 登録日 平成21年10月2日(2009.10.2)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 2 F 1/13 (2006.01) G 0 2 F 1/13 5 0 5

請求項の数 8 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2001-372449 (P2001-372449)</p> <p>(22) 出願日 平成13年12月6日(2001.12.6)</p> <p>(65) 公開番号 特開2003-172912 (P2003-172912A)</p> <p>(43) 公開日 平成15年6月20日(2003.6.20)</p> <p>審査請求日 平成16年10月22日(2004.10.22)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000001960 シチズンホールディングス株式会社 東京都西東京市田無町六丁目1番12号</p> <p>(74) 代理人 100126583 弁理士 官島 明</p> <p>(72) 発明者 クラウス ヴェルナー 東京都東久留米市上の原2-4-62-45</p> <p>(72) 発明者 井出 昌史 東京都西東京市田無町六丁目1番12号 シチズン時計株式会社内</p> <p>審査官 山口 裕之</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 液晶可変波長フィルタ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

液晶を用いて入射光の所定の波長を選択できる液晶可変波長フィルタ装置において、
 第1の透明基板と第2の透明基板との間に液晶層を備え、正負の所定角度範囲内で、前記液晶層に対する出射角を可変とする液晶ビーム偏向器と、

当該液晶ビーム偏向器の出射光側に配置したバンドパスフィルタとを有し、

前記バンドパスフィルタは、前記液晶層の法線方向に対して、前記バンドパスフィルタの面法線の傾き角度を、前記出射角の最大値を θ_{max} としたとき、 θ_{max} の関係を満たす様に配置されており、

前記バンドパスフィルタに対する入射角を制御して、選択波長を可変とし、

前記第1の透明基板には、平行ストライプ状に配した透明導電体からなる複数の個別電極が形成されており、前記第2の透明基板には、透明導電体からなる共通電極が形成されており、前記第1の透明基板上に形成された各個別電極に所定の電圧を印加することにより、前記液晶層に屈折率の変調を生じさせ、

前記複数の個別電極は、複数の群に分けられて、各群内における複数の個別電極が共通の集電極で束ねられ、その集電極の両端に一对の信号電極が接続され、

前記一对の信号電極の内一方の信号電極に交番電圧を出力し、他方の信号電極を0[V]とする期間と、前記他方の信号電極に交番電圧を出力し、前記一方の信号電極を0[V]とする期間を交互に設ける駆動装置を備えたことを特徴とする液晶可変波長フィルタ装置。

10

20

【請求項 2】

前記バンドパスフィルタは、高屈折率層と低屈折率層を交互に積層した誘電体多層膜であることを特徴とする請求項 1 に記載の液晶可変波長フィルタ装置。

【請求項 3】

前記液晶ビーム偏向器を 2 つ有し、その 2 つの液晶ビーム偏向器の間に前記バンドパスフィルタを備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の液晶可変波長フィルタ装置。

【請求項 4】

前記 2 つの液晶ビーム偏向器は、前記液晶層の法線方向と前記入射光の方向とが平行となる様にとともに配置されて、

前記 2 つの液晶ビーム偏向器は、その一方の液晶ビーム偏向器へ入射した特定の偏光成分の光を所定の角度 変化させるとともに、他方の液晶ビーム偏向器で角度 - 変化させて、前記液晶可変波長フィルタ装置への入射光と出射光を平行光に保つ様に制御されることを特徴とする請求項 3 に記載の液晶可変波長フィルタ装置。

【請求項 5】

前記バンドパスフィルタを、2 つのウェッジ型プリズムで挟持することで、前記所定の角度を が決定されることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の液晶可変波長フィルタ装置。

【請求項 6】

前記集電極は、前記複数の個別電極と同じ材料で形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の液晶可変波長フィルタ装置。

【請求項 7】

前記交番電圧が、パルス幅変調した電圧であることを特徴とする請求項 1 に記載の液晶可変波長フィルタ装置。

【請求項 8】

前記共通電極側から前記液晶層に交流バイアスを印加する期間を別途設けることを特徴とする請求項 1 に記載の液晶可変波長フィルタ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、液晶を用いた可変波長フィルタ装置に関し、さらに詳しくは光ファイバを用いた波長多重(WDM)通信方式・光化ネットワークに用いる液晶を用いた可変波長フィルタ装置およびその駆動方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

今日の光ファイバを用いた波長多重(WDM)通信方式は、電気 光のハイブリッドシステムであり、さらに信号を光のまま処理する全光化ネットワークに向けて技術が進歩している。波長選択を可能とする可変波長フィルタは、この光化ネットワークにおいて重要な役割を担うと考えられている。可変波長フィルタの用途としては、例えば動的なアド/ドロップマルチプレクサや波長ルータが挙げられる。

【0003】

従来、可変波長フィルタとして、光路長を機械的に制御する方式(MEMSを含む)や光導波路と熱 光学効果を組み合わせたマッハ・ツェンダー型あるいは音響光学効果を用いたフィルタなど様々な方式が提案されている。これらの方式が記述されている参考文献として例えば、V. M. Bright "Selected Papers On Optical MEMS", Vol. MS153, SPIE, 1999. や H. T. Mouftah and J. M. H. Elmirghani, "Photonic Switching Technology", IEEE, 1999. がある。様々な方式の中でも液晶を用いたチューナブルフィルタは、機械的な可動部を持たないことや電力消費が少ないことから光化ネットワークに適用可能なチューナブルフィルタとして期待されている。その代表例として、液晶層をキャビティに用いたファブリ ペロー型フィルタについて説明する。

10

20

30

40

50

【0004】

前記液晶ファブリ ペローフィルタの参考文献として例えば、K. Hirabayashi, H. Tsuda, and T. Kurokawa, J. Lightwave Technol., vol. 11, No. 12, pp.2033- 2043, 1993.

がある。図21にその基本的な液晶ファブリ ペローフィルタの断面図を示す。液晶ファブリ ペローフィルタ1000は第1の誘電体多層膜ミラー1017と第2の誘電体多層膜ミラー1019とに挟まれたネマティック液晶材料1001を満たしたキャビティ層1003から構成される。ネマティック液晶材料1001は図21の断面図に平行に並ぶように第1の配向膜1013と第2の配向膜1015で配向する。このとき、第1の配向膜1013と第2の配向膜1015の表面はラビング処理により異方性を付与している。さらに、前記キャビティ層1003が所定のギャップを保つようにスペーサ1021で第1のフィルタ基板1005と第2のフィルタ基板1007とを固定している。そして、ネマティック液晶材料1001に電場を印加するように第1の透明導電膜1009と第2の透明導電膜1011が形成される。

10

【0005】

この液晶ファブリ - ペローフィルタ1000は、共振器を形成する前記キャビティ層1003の屈折率を変化させ、光路長となる屈折率とキャビティ層との積を変化させることで共振波長を変化させるものである。その液晶ファブリ ペローフィルタ1000の共振波長 m は、

$$m = 2 n_{\text{eff}}(V) \cdot d / m \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 $n_{\text{eff}}(V)$ はキャビティ層1003の実効的な異常光屈折率であり印加電圧 V の関数であることを示す。 d はキャビティギャップ、そして、 m は整数である。図21において、上方から垂直入射した断面図に平行な入射直線偏光1031の光のうち式(1)の共振波長 m に相当する波長の光だけが出射直線偏光1033となって液晶ファブリ ペローフィルタ1000を透過する。ネマティック液晶材料1001に電場を印加しないときの実効的な異常光屈折率 $n_{\text{eff}}(0)$ は、液晶ダイレクタ1041のプレティルト角を θ_0 としたとき、キャビティ層1003では一定値を取り、

$$n_{\text{eff}}(0) = (\sin^2 \theta_0 / n_0^2 + \cos^2 \theta_0 / n_e^2)^{-1/2} \quad (2)$$

となる。 n_0 は常光屈折率、 n_e は異常光屈折率を示す。

【0006】

電場をネマティック液晶材料1001に印加した場合は、印加電圧に応じてキャビティ層1003の厚み方向の中央部ではプレティルト角 θ は大きな値となり、第1の配向膜1013と第2の配向膜1015に近づくにしたがい θ は θ_0 に近づく。したがって、電場 V をネマティック液晶材料1001に印加したとき、キャビティ層1003の実効的な異常光屈折率 $n_{\text{eff}}(V)$ の厚み方向の平均値は、電場無印加時と比較し小さな値をとり、同一次数 m の共振波長 m で比較したとき共振波長 m の値は、式(1)でわかるように短波長側にシフトする。このように所定の波長を選択的に透過させることができる液晶ファブリ ペローフィルタ1000をチューナブルフィルタに用いることができる。

30

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図21に代表される液晶ファブリ ペローフィルタ1000の場合、キャビティ層1003を液晶セルとして構成するため、構造上キャビティ層が単層となる。したがって、液晶ファブリ - ペローフィルタの透過率と波長との関係は、図22の特性2201となってしまう、透過帯域に近いストップバンドのアイソレーション特性が低く、しかも鋭いピークの透過帯域特性となってしまう。これに対し、チューナブルフィルタを用いる場合の理想特性2203(1.6nm間隔(200GHz)のフィルタ特性の一例)は、透過帯域に近いストップバンドの高アイソレーション特性が実現されており、平坦な透過帯域特性(フラットトップ)を持つフィルタであることがわかる。このように、特性2201においては、この理想特性2203からかけ離れた特性しか得られておらず、これが液晶ファブリ - ペローフィルターを用いたチューナブルフィルタが高密度波長多重(WDM)通信システムには適用できない原因となっている。

40

50

【0008】

さらに、図21においては、ネマティック液晶材料1001でキャビティ層1003を形成するため、液晶セル内部に誘電体多層膜ミラー1017、1019を形成する必要が生じる。誘電体多層膜ミラー1017、1019は、例えば高屈折率材料として五酸化タンタル(Ta_2O_5)、低屈折率材料として二酸化シリコン(SiO_2)を用いた光学的1/4波長膜の積層膜で構成する。光通信に用いられる $1.55\mu m$ 帯用では、誘電体多層膜ミラー1017、1019の厚みはそれぞれ数ミクロン程度必要となり、液晶ファブリ-

【0009】

本発明の目的は上記のような課題を解決し、液晶セルを単純な構造にできる高品位な光ファイバ通信用途に適する液晶を用いた可変波長フィルタ装置およびその駆動方法を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記目的を達成するため、基本的には、以下に記載されたような技術構成を採用するものである。

【0011】

すなわち、本発明において上記課題を解決するための第1の手段は、液晶を用いて入射光の所定の波長を選択できる液晶可変波長フィルタ装置において、透過光の出射角を可変とする、第1の透明基板と第2の透明基板との間に液晶層を備えた液晶ビーム偏向器と、当該液晶ビーム偏向器の出射光側に配したバンドパスフィルタとを有し、このバンドパスフィルタは、液晶層の法線方向に対して、バンドパスフィルタの面法線の傾き角度を、出射角の最大値を θ_{max} としたとき、 θ_{max} の関係を満たす様に配置されており、バンドパスフィルタに対する入射角を制御して、選択波長を可変とし、第1の透明基板には、平行ストライプ状に配した透明導電体からなる複数の個別電極が形成されており、前記第2の透明基板には、透明導電体からなる共通電極が形成されており、第1の透明基板上に形成された各個別電極に所定の電圧を印加することにより、液晶層に屈折率の変調を生じさせ、複数の個別電極は、複数の群に分けられて、各群内における複数の個別電極が共通の集電極で束ねられ、その集電極の両端に一对の信号電極が接続され、この一对の信号電極の内の一方の信号電極に交番電圧を出力し、他方の信号電極を0[V]とする期間と、他方の信号電極に交番電圧を出力し、一方の信号電極を0[V]とする期間を交互に設ける駆動装置を備えたことを特徴とする。

【0012】

また、第2の手段は、バンドパスフィルタを、高屈折率層と低屈折率層を交互に積層した誘電体多層膜としたことである。また、その他の手段は、第1から第4の手段のいずれかの前記液晶ビーム偏向器を2つ有し、その2つの液晶ビーム偏向器の間に前記バンドパスフィルタを備えることである。また、その他の手段は、前記2つの液晶ビーム偏向器が、前記液晶層の法線方向と前記入射光の方向とが平行となる様にも配置されて、前記2つの液晶ビーム偏向器が、その一方の液晶ビーム偏向器へ入射した特定の偏光成分の光を所定の角度変化させるとともに、他方の液晶ビーム偏向器で角度変化させて、前記液晶可変波長フィルタ装置への入射光と出射光を平行光に保つ様に制御される構成としたことである。また、その他の手段は、前記集電極が、前記複数の個別電極と同じ材料で形成された構成とすることである。

【0013】

さらに、前記交番電圧を、パルス幅変調した電圧としたことである。また、前記共通電極側から前記液晶層に交流バイアスを印加する期間を別途設けることである。

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、図面を用いて本発明を実施するための最良な形態における液晶可変波長フィルタ装置およびその駆動方法を説明する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

はじめに本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置の構成を、図 1 を用いて説明する。図 1 は本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置 1 3 0 の構成を説明するための断面図である。

【 0 0 1 6 】

図 1 に示すように、本発明の液晶可変波長フィルタ装置 1 3 0 は、互いに平行に配置した第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 と第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 との間に、所定の角度だけ傾けて誘電体多層膜からなるバンドパスフィルタ 1 1 1 をくさび状の第 1 のウェッジプリズム 1 2 1 と第 2 のウェッジプリズム 1 2 3 とで挟持することにより構成している。第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 には第 1 の駆動装置 1 4 1 を接続し、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 には第 2 の駆動装置 1 4 3 を接続する。

10

【 0 0 1 7 】

この第 1、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 , 1 0 3 はともに、平行ストライプ状の透明導電膜からなる複数の個別電極と共通電極とで液晶層を挟んだ構成であり、複数の個別電極に所定の電圧を印加することで、液晶層に空間的な屈折率変調領域を誘起して、ブレード型回折格子を実現させることができる。

【 0 0 1 8 】

その第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 は、バンドパスフィルタ 1 1 1 に入射する特定の偏光成分の入射角を制御し、そのバンドパスフィルタ 1 1 1 への入射角制御で液晶可変波長フィルタ装置 1 3 0 の透過帯域特性を変えることができる。さらに、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 は、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 と逆方向に特定の偏光成分のビームを偏向する作用をする。したがって、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 への入射光と第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 からの出射光とを平行に保つことが出来る。

20

【 0 0 1 9 】

次に、本発明の液晶可変フィルタ装置 1 3 0 への特定の偏光成分の入射光 1 5 1 の導光経路をさらに詳細に説明する。図 1 に示すように、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 に入射する図 1 の紙面に平行な振動面を持つ入射光 1 5 1 は、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 で偏向しない場合は、その第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 からの出射角 θ_1 が 0 度となり、バンドパスフィルタ 1 1 1 で波長選択された成分だけが第 1 の経路 1 6 1 に沿って第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 に入射する。このとき、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 も第 1 の経路 1 6 1 の光を偏向しないで第 1 の出射光 1 5 3 として出力する。

30

【 0 0 2 0 】

また、入射光 1 5 1 が正方向に $+$ だけ、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 で偏向された場合、バンドパスフィルタ 1 1 1 を透過する波長成分は、第 2 の経路 1 6 3 を通り、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 に入射する。第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 は負方向に $-$ だけ第 2 の経路を通過した光を偏向して、第 2 の出射光 1 5 5 として出力する。

【 0 0 2 1 】

さらに、入射光 1 5 1 が負方向に $-$ だけ、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 で偏向された場合、バンドパスフィルタ 1 1 1 を透過する波長成分は、第 3 の経路 1 6 5 を通り、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 に入射する。第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 は正方向に $+$ だけ第 3 の経路 1 6 5 を通過した光を偏向して、第 3 の出射光 1 5 7 として出力する。入射光 1 5 1 と第 1、第 2 および第 3 の出射光 1 5 3 , 1 5 5 , 1 5 7 は平行光である。

40

【 0 0 2 2 】

このように、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 は入射光 1 5 1 を図 1 に示すように所定の角度 θ_1 だけ偏向する作用をおこなう。ここで、図 1 で θ_1 を反時計方向に大きくする場合をプラス方向として、 θ_1 の可変範囲の最大値を θ_{1max} と置くと、 θ_1 の可変範囲を最大限有効活用することを考慮して $\theta_1 = \theta_{1max}$ となるように第 1、第 2 のウェッジプリズム 1 2 1 , 1 2 3 の角度 θ を決める必要がある。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、図 1 における第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 とバンドパスフィルタ 1 1 1 付近の

50

要部拡大図である。第1の液晶ビーム偏向器101の第2の透明基板203のネマティック液晶層501に接する面を基準とした出射角 θ_2 とバンドパスフィルタ111の入射角 θ_1 との関係は、

$$\begin{aligned} &= + \text{ のとき、 } \theta_2 = - \\ &= 0 \text{ のとき、 } \theta_2 = \\ &= - \text{ のとき、 } \theta_2 = + \end{aligned}$$

となる。ただし、 θ_2 は θ_2^{\max} である。

【0024】

このように、バンドパスフィルタ111を2つの液晶ビーム偏向器に対して角度 θ_1 だけ傾けることで、第1の液晶ビーム偏向器101により角度 θ_1 だけ入射直線偏光を偏向させてバンドパスフィルタ111に対する所定の正の入射角 θ_1 の光に変換することができる。

10

【0025】

次に前記バンドパスフィルタの具体的な構成の一例を示す。前記バンドパスフィルタ111は、以下に記すように仕様に応じて誘電体多層膜からなる所定の光学フィルタを選択できる。光ファイバ通信では、1300nm帯や1550nm帯の光信号が多用されるので、以下中心波長を1550nmとした場合について説明する。例えば入射角 θ_1 が0度のとき中心波長1550nmとなる4キャビティ構成の誘電体多層膜とした場合を次に示す。バンドパスフィルタ111の構成は、例えば高屈折率膜Hを五酸化タンタル、低屈折率膜Lを二酸化シリコンを選び、それぞれを交互に積層して構成した。このとき、一つの膜設計例としてHを高屈折率膜の1550nmで光路長が四分の一波長となる膜と表し、Lを

20

低屈折率膜の1550nmで光路長が四分の一波長となる膜と表すと、
ガラス / 1.3H / L / (HL)⁶ / H / 1.0L / H / (LH)⁶ / L / (HL)⁷ / H / 1.0L / H / (LH)⁷ / L / (HL)⁷ / H / 8L / H / (LH)⁷ / L / (HL)⁷ / H / 4L / H / (LH)⁷ / ガラス

といった構成を用いることができる。このように、波長多重通信に適する特性のフィルタが実現できれば他の構成であっても構わない。

【0026】

次に第1の液晶ビーム偏向器101によりバンドパスフィルタ111の入射角 θ_1 を変化させたときの液晶可変波長フィルタ装置130の透過率特性グラフを図3に示す。前記入射角 θ_1 が0度のときバンドパスフィルタ111の第1の透過曲線301は、1550nm近傍でフラットトップ特性313となる。また、バンドパスフィルタ111への入射角 θ_1 を基準に考えると、入射角 θ_1 が4度のときは第2の透過曲線303となり、入射角 θ_1 が6度のときは第3の透過曲線305となる。このように、前記フラットトップ特性とともに、従来技術における液晶ファブリ-ペローフィルタ1000(図21)では実現できなかったストップバンドの高アイソレーションを理想特性に近づけることができることを確認した。

30

【0027】

次に、図3で説明したバンドパスフィルタ111の入射角 θ_1 と本発明の液晶可変波長フィルタ装置130の中心波長との関係を図4に示す。入射角 θ_1 が大きくなるにしたがって、入射角依存特性401に示すように液晶可変波長フィルタ装置130の中心波長は短波長側にシフトすることがわかる。このとき第1の液晶ビーム偏向器101の出射角 θ_2 とバンドパスフィルタ111への入射角 θ_1 との関係は、例えば、第1のウェッジプリズム121の角度 α を3度、 θ_2^{\max} も3度としたとき、

40

$$\begin{aligned} &= 0 \text{ 度のとき、 } \theta_2 = 3 \text{ 度} \\ &= 3 \text{ 度のとき、 } \theta_2 = 0 \text{ 度} \\ &= 4 \text{ 度のとき、 } \theta_2 = -1 \text{ 度} \\ &= 6 \text{ 度のとき、 } \theta_2 = -3 \text{ 度} \end{aligned}$$

となる。つまり、第1の液晶ビーム偏向器101の出射角 θ_2 を3度から-3度まで変化させれば、バンドパスフィルタ111への入射角が0から6度となり、図3における中心波長を1546.5nmから1550nm帯域内で任意に選択することができるのである。

50

なお、図3および図4に示した特性は、特定の偏光成分の光としてP偏光(TM波)を用いた場合を示したが、入射角が、10度以下程度の場合は、S偏光(TE波)でもほぼ同じ特性となる。

【0028】

続けて、第1の液晶ビーム偏向器101の構造を図5を用いて説明する。なお、第2の液晶ビーム偏向器103の構造は第1の液晶ビーム偏向器101と同じであるため、第1の液晶ビーム偏向器101だけを本実施例では説明する。

【0029】

ネマティック液晶層501は、第1の液晶ビーム偏向器101の第1の透明基板201の複合電極211の上と第2の透明基板203の共通電極213の上とに形成した配向層217によって電場印加時のp型(ポジ型)液晶分子のダイレクタ207のティルト角209が5度以下となるようにホモジニアス配向させる。図5で示す第1の液晶ビーム偏向器101の場合、入射直線偏光511は、紙面に対して平行な成分となるようにする。この入射直線偏光511は後段のバンドパスフィルタ111からみるとP偏光となる。

【0030】

第1の液晶ビーム偏向器101では入射光成分の内、ネマティック液晶層501のダイレクタ207に平行な成分である前記P偏光だけが位相変調可能な光となる。したがって、図1で示した入射光151の特定の偏光成分も図1の構成で示した第1の液晶ビーム偏向器101を用いた場合は、P偏光となる。

【0031】

図5には明示しないがネマティック液晶層501が数 μm から数十 μm の所定の一定厚みを保持するように第1の透明基板201と第2の透明基板203をスペーサを介して固定する。また、図5には示していないが複合電極211と共通電極213が短絡するのを防ぐために複合電極211の上か共通電極213の上または両方に五酸化タンタル(Ta_2O_5)や二酸化シリコン(SiO_2)などの透明絶縁膜を形成しても良い。また、透明絶縁膜を高屈折率膜と低屈折率膜からなる誘電体多層膜として透過率を向上することも望ましい。第2の透明基板203上に形成する共通電極213は透明導電膜からなる全面電極で良い。なお、複合電極211の構造は後述する。

【0032】

前記複合電極211の光路部分および共通電極213を形成する透明導電膜に酸化インジウムスズ(ITO)を用いるときは、膜厚を50nm以下として、さらに、 $1.3\mu\text{m} \sim 1.6\mu\text{m}$ の近赤外域での透過率を向上するために、成膜時に酸素濃度を多くしたシート抵抗数百から1k程度の膜を使用することが望ましい。

【0033】

ITOのほかに透明導電膜としては、酸化インジウム(In_2O_3)、酸化スズ(SnO_2)、酸化亜鉛(ZnO)などの薄膜が使用可能である。この場合も、膜厚は50nm以下として、シート抵抗は数百から1k程度の膜を使うことが望ましい。

【0034】

また、ガラスからなる第1の透明基板201または第2の透明基板203のネマティック液晶層501と反対の面のうち空気層と接触する面には空気と透明基板界面での反射を防止するため必要に応じて無反射コート215を形成する。無反射コート215は例えば五酸化タンタル(Ta_2O_5)と二酸化シリコン(SiO_2)の誘電体多層膜からなるコーティング層を用いることができる。

【0035】

図1で示した入射光151または図5の入射直線偏光511は後段のバンドパスフィルタ111からみてP偏光となる場合の構成を代表して示したが、入射直線偏光511が後段のバンドパスフィルタ111からみてS偏光となる場合の液晶ビーム偏向器101の構成を図6に示す。ネマティック液晶層501のダイレクタ207の向きを入射直線偏光511のS偏光と平行にすること以外は、図5と同様の構造である。そのP偏光、S偏光における液晶ビーム偏向器の使い分けは、その仕様と用途によって構成を決めればよい。

10

20

30

40

50

【0036】

次に第1の液晶ビーム偏向器101のブレード型回折格子を形成するための第1の複合電極の構造について図7を用いて詳細に説明する。第1の複合電極211aは、第1の要素格子751と第2の要素格子761の2つの回折格子領域を第1の活性領域671に配した電極の平面図である。図7において第1の要素格子751は第1の個別電極721から第Nの個別電極730を有する。また、第2の要素格子761は第N+1の個別電極731から第2Nの個別電極740を有する。この第1の複合電極211aでは、説明を容易とするために便宜上 $N=10$ とした。また、第1の個別電極721から第2Nの個別電極740は前述の膜厚と抵抗値を有するITOなどの透明導電膜により形成する。

【0037】

また、第1の個別電極721から第2Nの個別電極740は、第1の活性領域671の外部で複数の群(図7では2つの群)にまとめられ、各群内における各個別電極を、個別電極と同じ材料であるITO等の共通の集電極で接続する。図7においては、第1の個別電極721から第Nの個別電極730を第1の活性領域671の外部で第1の集電極701で接続し、第N+1の個別電極731から第2Nの個別電極740は、同じように第2の集電極703で接続する。さらに、第1の集電極701の両端に、MoやAg合金などの低抵抗金属材料からなる第1の信号電極711と第2の信号電極713をそれぞれ接続し、第2の集電極703に、第3の信号電極715と第4の信号電極717をそれぞれ接続している。なお、前記集電極をシート抵抗数百~1kの膜だけでなく、膜厚を更に薄くしたり、その電極幅を狭くして電極の長辺方向に線形の抵抗を有するように構成しても構

【0038】

図7では便宜上、第1の要素格子751と第2の要素格子761の2つの回折格子領域だけを示したが、実際の第1の液晶ビーム偏向器101においては、第1の活性領域671に入射ビーム径に応じた所定の数の要素格子を形成する必要がある。一例として、入射光として1550nm帯を用いるときの具体的な設計例として、第1の活性領域671にシングルモード光ファイバからの光をコリメータにより平行光として入射する場合を仮定して説明する。このとき平行光のガウシアンビーム径を300 μm とした場合、第1の活性領域の幅Lを400 μm から1.5mmとする。また、各要素格子の複数の個別電極は、入射光の波長を考慮して2 μm 以下のラインアンドスペースが望ましく、要素格子のピッチP0を50 μm から100 μm としたとき第1の複合電極211aの幅Wは、800 μm から2mm程度が望ましい。したがって、ピッチP0を50 μm としたとき要素格子の数は、16個から40個となり、ピッチP0を100 μm としたときは、要素格子の数は、8個から20個となる。ここで、第1の複合電極211aの幅Wは、図1で示したように、出射光がビーム偏向角が+ のときDuだけ、また、ビーム偏向角が- のときDdだけビームを偏向しない場合(が0度の時)からずれるため、このビームのずれ分に応じてその幅を決める必要がある。

【0039】

前述の説明で明らかなように、ブレード型回折格子を形成する第1の液晶ビーム偏向器101においては一つの回折格子領域がN本の個別電極からなる場合にも、駆動回路からの制御信号に接続する信号電極の数は、集電極の両端にそれぞれ一对の信号電極を接続することにより、要素格子の数(M個)に対し2M本で済む。この構成は、特に個別電極の数が増えた場合に信号電極の数を大幅に削減することが可能となるという利点を有する。

【0040】

次に第1の液晶ビーム偏向器101の動作原理について図11を用いて説明する。x-z面内に平行な方向にダイレクタ207がホモジニアス配向した状態で外部電場を印加した場合、ダイレクタの長軸方向が電場方向に平行になるように配向するp型(ポジ型)ネマティック液晶を用いた液晶ビーム偏向器101に、x軸に平行な方向に振動する直線偏光1110がz軸方向に入射することを考える。液晶ビーム偏向器101に入射する前の入射波面1113は平面である。液晶ビーム偏向器101に電界を印加し所定の屈折率分布

10

20

30

40

50

となるようにダイレクタの面内分布を制御すると、入射波面 1 1 1 3 を所定の角度 だけ偏向した平面波の出射波面 1 1 2 3 に変換させることができる。

【 0 0 4 1 】

この現象を更に詳細に図 1 2 を用いて説明する。液晶ビーム偏向器 1 0 1 のネマティック液晶層 5 0 1 の出射側の平面を $x - y$ 平面とし、液晶は、 $x - z$ 平面に平行となるように配向させる。このとき、入射直線偏光 1 2 0 1 がネマティック液晶層 5 0 1 に垂直に入射される。このネマティック液晶層 5 0 1 内には位置 x の関数である異常光屈折率 $n_e(x)$ の分布 1 2 1 1 が要素格子のピッチ P における $a - b$ 間で直線的に変化するように予め動作点を決めておく。また、ネマティック液晶層 5 0 1 の厚み d は一定であるが、屈折率 $n_e(x)$ がピッチ P で直線的に変化しているため、ネマティック液晶層 5 0 1 中を伝搬する入射直線偏光 1 2 0 1 は、場所によって異なるリターデーション $n(x) \cdot d$ の変調を受けることになる。ここで、 n_0 を液晶の常光屈折率とおくと、

$$n(x) = n_e(x) - n_0 \quad (3)$$

である。

【 0 0 4 2 】

前記入射直線偏光 1 2 0 1 は前記ネマティック液晶中、つまり誘電体媒質中を伝搬する場合、リターデーションが大きいところでは遅く、逆にリターデーションが小さい個所では速く伝搬する。このため、ネマティック液晶層 5 0 1 を出射した出射直線偏光 1 2 0 3 は、波面が

$$\tan = n \cdot d / P \quad (4)$$

だけ傾くことになる。ここで、 n は、 a 点と b 点でのリターデーション $n(x)$ の差を次式のように計算した値である。

$$n = n(a) - n(b) \quad (5)$$

このように、液晶ビーム偏向器のネマティック液晶層 5 0 1 における異常光屈折率 $n_e(x)$ の分布 1 2 1 1 が直線的であれば、入射直線偏光 1 2 0 1 と同様に、出射直線偏光 1 2 0 3 の波面も平面となり、結果的に入射直線偏光 1 2 0 1 に対して出射直線偏光 1 2 0 3 は だけ偏向させることができる。

【 0 0 4 3 】

次に本発明に用いるネマティック液晶層 5 0 1 の異常光屈折率 $n_e(x)$ が直線近似できる条件について考察した。入射直線偏光は図 1 3 に示すような印加電圧 - 実効複屈折率特性によって決まる変調を受ける。図 1 3 において横軸はネマティック液晶層 5 0 1 への印加電圧の実効値、縦軸は実効複屈折率 n を示す。電気光学応答曲線の形状は、使用する液晶の弾性定数、誘電率異方性特性や電場無印加時の配向膜層によって決まるプレティルト角などのパラメータから決まる。この印加電圧 - 実効複屈折率特性はメルク社のネマティック液晶材料 BL 0 0 7 (商品名) のものである。またこの特性は $n_{\max} = 0.287$ 、液晶層の厚さを $20 \mu\text{m}$ として求めた理論曲線である。図 1 3 において横軸は、ホモジニアス配向セルへの印加電圧 1 5 0 1 を示し、縦軸は液晶分子の実効複屈折率 n_{1503} を示す。図 1 3 には、プレティルト角が 0.5 度、 2 度、 5 度および 10 度の場合の特性を示した。前記第 1 の複合電極 2 1 1 a を持つ液晶ビーム偏向器 1 0 1 として用いる場合は、図 1 2 で説明した作用を得るために 1 次曲線を近似できる直線領域 1 5 2 0 近傍を用いる必要がある。よって、前記ネマティック液晶のプレティルト角は直線領域 1 5 2 0 を広く取るため 5 度以下、さらに好ましくは 2 度以下が望ましいことがわかる。

【 0 0 4 4 】

次に前記第 1 の複合電極 2 1 1 a を持った液晶ビーム偏向器 1 0 1 の駆動方法および集電極の電位勾配の発生現象について説明する。初めに、第 1 の要素格子 7 5 1 の部分を取り出して説明する。図 1 4 に駆動波形を示す。第 1 の駆動波形 1 6 0 1 を第 1 の信号電極 7 1 1 に印加し、第 2 の駆動波形 1 6 0 3 を第 2 の信号電極 7 1 3 に印加する。第 1 の駆動波形 1 6 0 1 と第 2 の駆動波形 1 6 0 3 は互いに周波数と位相が等しく電圧のみが異なっており、第 2 の駆動波形 1 6 0 3 の方が第 1 の駆動波形 1 6 0 1 より電圧を大きくする。また、期間 t_1 においては第 1 の駆動波形 1 6 0 1 は $+V_1 [V]$ であり、第 2 の駆動波形

10

20

30

40

50

1603は+V2[V]である。ここで、共通電極213を0[V]とする。したがって、透明導電膜など線形の抵抗材料で形成した第1の集電極701によって電位が分割されるため第1の活性領域671に形成した第1の要素格子751の複数の個別電極には、それぞれ第1の信号電極711と第2の信号電極713に印加した電圧が配置位置によって直線的に分割されることとなる。ここで、個別電極の長手方向については個別電極がネマティック液晶層501のインピーダンスと比較して低抵抗材料で形成されるためほぼ同電位とすることができる。さらに、必要に応じて共通電極にバイアス交流電圧を印加する期間を期間1および期間2と別に設けても良い。

【0045】

続けて前記第1の複合電極211a(図7)における集電極701上の電位勾配と、各個別電極の電位との関係を更に詳細に説明する。図14に示す期間t1においては第1の信号電極711と第2の信号電極713とを接続する第1の集電極701の電位分布は、前述の説明の如く、図15の第1の電位分布1801で示す直線状の電位分布となる。図14に示す期間t2においては第1の集電極701の電位分布は、図15の第2の電位分布1803となる。ここで、図15の点aは、第1の信号電極711に接続される個別電極の位置に対応し、点bは、第2の信号電極713に接続される個別電極の位置に対応している。図14に示した駆動波形が50%デューティの矩形波の場合は図15で示す2つの第1および第2の電位分布1801、1803を交互に時間的に繰り返すことになる。したがって、0[V]に維持した共通電極213を介してネマティック液晶層501に印加される電圧は、どの個別電極の位置においても交番電圧化され、ネマティック液晶層501に直流成分が加わることはない。また、ネマティック液晶は実効値応答のため第1の信号電極711側には、実効値で常時V1[V]が印加され、第2の信号電極713には、V2[V]の電圧が印加され、さらに第1の集電極701で分割された電位が各個別電極に印加されると考えれば良い。

【0046】

次に前記集電極に発生する位相分布について説明する。図16に液晶にBL007(メルク・ジャパン社製:商品名)を使用してプレティルト角を1度に設定したときの液晶に印加する電圧[Vrms]と相対位相差との関係のグラフを示す。特性曲線1711は1.5~2[V]近傍で直線近似領域1701を持つことがわかる。液晶層の厚さdを30[μm]とし、波長を1550[nm]とした時を考える。なお、相対位相差は、実効複屈折率をnとおいて、

$$= n \cdot d / \quad (6)$$

で定義する。図16の相対位相差の直線近似領域1701から、 $= 1550 \text{ nm}$ において直線可変調範囲1705が波長で2波長以上、つまり位相で4程度取れることがわかる。このように、プレティルト角によって異常光屈折率の直線近似ができると同時にそのプレティルト角の範囲内における、直線近似領域1701内で動作する動作電圧範囲1703以内の電圧印加すれば、第1の複合電極211aの第1の活性領域671に、各個別電極の位置に比例する位相分布を実現することができる。

【0047】

次に、先の駆動方法を用いて、前記第1の複合電極211aを持つ液晶ビーム偏向器101で任意の偏向角を実現する具体的な方法を図17を用いて説明する。この場合、要素格子のピッチをP0とし、最大偏向角maxを

$$\tan \max = / P0 \quad (7)$$

と定義する。このときのmaxの位相変調曲線2001のときの最大位相変調量は、要素格子のピッチP0の距離で一波長つまり2となる。前記第1の複合電極211aの場合、第1、第2の信号電極の位置が予め決められているので、位相を変えるために任意の電極位置で、2だけのリセットを掛けることが不可能である。そこで、所定の位置でリセットを掛けるために、まずmaxより少し小さい角度pを高次光の発生無く振るために、pの位相変調曲線2003においては、~2の間でリセットを掛ける必要がある。このように、第1の複合電極211aを用いて特定の偏光成分の光を所定の偏向角に制

10

20

30

40

50

御するためには、所定の要素格子の内、位相変調量が 以上2 未満に入る要素格子毎にリセットを掛ける駆動方法を用いてなくてはならない。

【0048】

次に前記第1の複合電極211aを持った液晶ビーム偏向器101の別の駆動方法について説明する。図18は、一つの要素格子に配置した信号電極端子への波形印加期間を示した図である。この駆動方法においては、1フレームを期間1と期間2に分けて駆動する。具体的には、ネマティック液晶層501の劣化を防ぐため、平均値が0となるような交番電圧の駆動信号2101を第1の信号電極711に印加し、第2の信号電極713を共通電極213と同電位となるように0[V]とする期間1と、第2の信号電極713に交番電圧の駆動信号2101を印加し、第1の信号電極711を共通電極213と同電位となるように0[V]とする期間2を交互に設けた駆動方法である。このような駆動方法を用いることで、期間1と期間2を足した1フレームの要素格子に生じる液晶電位分布は、それぞれの期間の実効値の和となる。期間1および期間2の印加波形は、任意で良く、例えば電圧の異なる2つの波形を印加できる。また、パルス幅変調により、実効値を制御した波形でも良い。さらに、必要に応じて共通電極にバイアス交流電圧を印加する期間を期間1および期間2と別に設けても良い。

10

【0049】

次にブレード型回折格子を形成するための複合電極211の他の構造について図8を用いて詳細に説明する。先に説明した第1の複合電極211a(図7)の構造に加えて第2の複合電極211bは、第1の活性領域671の外部で複数の個別電極の群の両端に集電極を配する構成を採用する。図8においては、第1の活性領域671の外部で第1の集電極の個別電極を介して対向する位置に第3の集電極801を、第2の集電極703と個別電極を介して対向する位置に第4の集電極803を配する。さらに、第3の集電極801はMoやAg合金などの低抵抗金属材料からなる第5の信号電極811と第6の信号電極813に接続し、第4の集電極803は第7の信号電極815と第8の信号電極817に接続している。

20

【0050】

この第2の複合電極構造では第1の信号電極711と第5の信号電極811、第2の信号電極713と第6の信号電極813、第3の信号電極715と第7の信号電極815、および第4の信号電極717と第8の信号電極817のペアは外部で短絡して駆動する。なお、第2の複合電極211bを用いた液晶ビーム偏向器の駆動方法は、先に説明した駆動方法をそのまま適用することができる。

30

【0051】

図8に示した液晶ビーム偏向器を形成するための第2の複合電極211bの構造は、個別電極が細くまた長くした場合などに、ネマティック液晶層の駆動周波数でのインピーダンスに比較して個別電極のインピーダンスが、無視できなくなる程大きくなる場合に特に有効である。

【0052】

次に高速応答が必要な応用の場合に特に有効である他の構成の第3の複合電極について説明する。図9はブレード型回折格子を実現するための第1の活性領域671と第3の複合電極211cの関係を示す平面図である。図9において第3の複合電極211cは、複合電極を構成するITOなどの透明導電膜により形成した第1のストライプ電極621から第Nの個別電極640(便宜上N=20としている)により形成している。

40

【0053】

ビーム偏向を行なうためのブレード型回折格子を第1の活性領域671に実現するために第3の複合電極211cには所定の電圧をそれぞれの個別電極621~640に印加する必要がある。電圧パターンへの印加手段は、第1の個別電極621から第Nの個別電極640を図9に示すように別々に形成して各個別電極を独立にICなどの駆動回路で駆動して、各個別電極に段階的な電位差を生じさせる。

【0054】

50

その第3の複合電極211cを用いた液晶ビーム偏向器101を用いて任意の偏向角を実現する方法を図19を用いて説明する。第3の複合電極211cにおいては、それぞれの個別電極は独立に直接駆動回路により任意の電圧を印加できる。したがって、可変調量が最小で2（一波長）まで取れる場合、任意の偏向角を実現することが可能となる。例えば、第1の位相変調波形1901を、第1の活性領域671に実現するような電圧を各個別電極に印加したとき、偏向角 θ_1 は、

$$\tan \theta_1 = \frac{\Delta \phi_1}{P_1} \quad (8)$$

で与えられる値を取る。ここで、 $\Delta \phi_1$ は一波長分の相対位相差を示す。また、x軸方向を個別電極に直交する方向とした。本構成を用いることで、所定の個別電極を束ねたピッチP1において、位相を一波長分リセットすることにより、回折効率を100パーセントに近づけることが可能となる。次に、第2の位相変調波形1903を、第1の活性領域671に実現するような電圧を各個別電極に印加したとき、偏向角 θ_2 は、

$$\tan \theta_2 = \frac{\Delta \phi_2}{P_2} \quad (9)$$

で与えられる値を取る。このように、位相をリセットする所定のピッチP1を変更することで、任意の偏向角 θ を容易に実現することが可能となる。

【0055】

さらに、第3の複合電極211cを用いた液晶ビーム偏向器101の場合、例えば、図16に示す直線近似領域1701だけでなく、特性曲線1711の全域を利用することが可能となり、液晶セルの厚みを薄くして高速応答化をする上で有利である。これは、それぞれの個別電極に任意の電圧を印加できるため特性曲線1711の非線形性を印加電圧の重み付けにより吸収することが可能なためである。

【0056】

最後に本発明の液晶可変波長フィルタ装置130を実際の光ファイバ通信でよく用いられるコリメータ間に配置した場合のモジュール構成320を図20を用いて説明する。図20では基本構成を示した図1の側面部から見た様子を示す。本発明の液晶可変波長フィルタ装置130は、第1の液晶ビーム偏向器101と第2の液晶ビーム偏向器103との間に所定の角度 α だけ傾けて誘電体多層膜からなるバンドパスフィルタ111を第1のウェッジプリズム121と第2のウェッジプリズム123とで挟持することにより構成している。第1の液晶ビーム偏向器101には第1の駆動装置141を接続し、第2の液晶ビーム偏向器103には第2の駆動装置143を接続する。

【0057】

まず、入力Aに入力光171を入射することを考える。図20には明示しないが入力光171は、光ファイバから出射した光をコリメータで平行光とした光とする。入力光171は、第1の偏光分離器131に対するP偏光となる第1の直線偏光104と第1の偏光分離器131に対するS偏光となる第2の直線偏光105とに分けて考える。以降は、第1の偏光分離器131に対するP偏光を図面上、垂直の矢印で示し、第1の偏光分離器131に対するS偏光を図面上、黒丸で示すことにする。

【0058】

第1の偏光分離器131に入射した第1の直線偏光104は、P偏光のため第1の偏光分離器131を透過する。次に第1の半波長板181によって方位角が90°回転し、第1の偏光分離器131に対するS偏光と同一方向に振動する偏光に変換される。さらに、第1の液晶ビーム偏向器101の第1の活性領域145を通りバンドパスフィルタ111に達する。ここで、第1の液晶ビーム偏向器101および第2の液晶ビーム偏向器103の配向膜のラビング方向を、入射偏光と平行になるように配向処理しておく。つぎに第1の直線偏光104の内、第1の液晶ビーム偏向器101で入射角が選択されバンドパスフィルタ111を透過する成分は、第2の液晶ビーム偏向器103で、バンドパスフィルタ111への入射偏向角と逆方向に偏向される。つまり、第1の液晶ビーム偏向器101が+ θ だけ偏向した場合、第2の液晶ビーム偏向器103では、- θ だけ偏向する。第2の液晶ビーム偏向器103を出射した光は、第2の半波長板183によって方位角を90°回転し第2の偏光分離器133に対するP偏光に変換され第3の直線偏光113として出力

B から出射する。

【 0 0 5 9 】

一方、入力 A に入った第 2 の直線偏光 1 0 5 は、S 偏光のため第 1 の偏光分離器 1 3 1 で直角に向きを変えて、第 1 の全反射ミラー 1 2 5 に入射し、更に、直角に向きを変えて S 偏光のまま、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 の第 2 の活性領域 1 4 7 を通りバンドパスフィルタ 1 1 1 に達する。ここで、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 および第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 の配向膜のラビング方向を、入射偏光と平行になるように配向処理しておく。つぎに第 2 の直線偏光 1 0 5 の内、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 で入射角を選択されバンドパスフィルタ 1 1 1 を透過する成分は、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 で、バンドパスフィルタ 1 1 1 への入射偏向角と逆方向に偏向される。

10

【 0 0 6 0 】

つまり、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 が + だけ偏向した場合、第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 では、- だけ偏向する。第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 を出射した光は、第 2 の全反射ミラー 1 2 7 で直角に向きを変え、さらに第 2 の偏光分離機 1 3 3 でもう一度直角に向きを変えて第 4 の直線偏光 1 1 5 として出力 B から出射する。2 つの直線偏光 1 1 3、1 1 5 が合成された出力光 1 7 3 は、図示しないが必要に応じてコリメータレンズを介して光ファイバと結合する。

【 0 0 6 1 】

このように、第 1 の活性領域 1 4 5 と第 2 の活性領域 1 4 7 を通る光がバンドパスフィルタ 1 1 1 と交差する点は、バンドパスフィルタ 1 1 1 上で異なった点となる。そこで、バンドパスフィルタ 1 1 1 の反射および透過特性は、面内ではばらつくことが多いため、第 1 の液晶ビーム偏向器 1 0 1 および第 2 の液晶ビーム偏向器 1 0 3 の複合電極は、例えば、図 1 0 に示す第 4 の複合電極のように、2 領域に分割し、駆動回路により独立に制御する機能を付加することが望ましい。

20

【 0 0 6 2 】

図 1 0 は、第 1 の活性領域 6 7 1 と第 2 の活性領域 6 7 3 を有する第 4 の複合電極 2 1 1 d の平面図である。第 1 の活性領域 6 7 1 と第 2 の活性領域 6 7 3 とを、独立に制御するため、この第 4 の複合電極 2 1 1 d においては、図 7 で示した第 1 の複合電極 2 1 1 a を 2 つ平面内に配置した構造としている。第 1 の活性領域 6 7 1 は、前記第 1 の複合電極 2 1 1 a の通りであり、第 4 の複合電極構造は、第 2 の活性領域 6 7 3 に、第 3 の要素格子 9 5 1 と第 4 の要素格子 9 6 1 を有する。その第 3 の要素格子 9 5 1 は駆動波形を印加するための第 9 の信号電極 9 1 1 と第 1 0 の信号電極 9 1 3 を、さらに第 4 の要素格子 9 6 1 は第 1 1 の信号電極 9 1 5 と第 1 2 の信号電極 9 1 7 を有する。なお、第 4 の複合電極 2 1 1 d では、説明を簡単にするため第 1 および第 2 の活性領域 6 7 1、6 7 3 を構成する要素格子はそれぞれ 2 つとして説明したが、仕様に応じて要素格子の数を増やしても構わない。以上の説明の如く、本構成の第 4 の複合電極 2 1 1 d は、液晶可変波長フィルタ装置への入力を分割して制御したい場合に有効な構造である。

30

【 0 0 6 3 】

以上、液晶ビーム偏向器へ入射した特定の偏光成分の光を直線偏光成分とし、その成分の光の利用効率を高くした場合について説明したが、他の成分の光であっても本発明の構成を適用できることは云うまでもない。

40

【 0 0 6 4 】

【 発明の効果 】

以上の説明から明らかなように、本発明の液晶可変波長フィルタ装置において、従来の液晶を用いたチューナブルフィルタで実現できなかった透過帯域に近いストップバンドの高アイソレーション特性と平坦な透過帯域特性を有し、仕様に応じた理想特性を有する任意のフィルタを透過および反射特性を実現するために用いることが可能となり、しかも単純な構造で、駆動においても単純に制御可能な光ファイバ通信に適する可変波長フィルタ装置を実現することができる。

【 0 0 6 5 】

50

また、本発明の液晶可変波長フィルタ装置への入射直線偏光と出射直線偏光とを平行に保つことは、入射光および出射光が光ファイバとコリメータとで構成される微小光学系への光結合係数を大きく保ち、結合損失を最小に押えることができるため有効である。

【 0 0 6 6 】

なお、本発明の範囲はここに述べる装置により限定されないで、自由空間光通信やその他の光信号処理システムに適用するための液晶可変波長フィルタ装置への応用も可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置を示す模式断面図である。

【図 2】本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置の第 1 の液晶ビーム偏向器とバンドパスフィルタ付近の要部拡大である。

10

【図 3】本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置の透過特性を示すグラフである。

【図 4】本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置の中心波長とバンドパスフィルタの入射角の関係を示す特性図である。

【図 5】本発明の実施形態におけるバンドパスフィルタからみて P 偏光となる場合の液晶ビーム偏向器の断面図である。

【図 6】本発明の実施形態におけるバンドパスフィルタからみて S 偏光となる場合の液晶ビーム偏向器の断面図である。

【図 7】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の第 1 の複合電極の構造を示す模式平面図である。

20

【図 8】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の第 2 の複合電極の構造を示す模式平面図である。

【図 9】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の第 3 の複合電極の構造を示す模式平面図である。

【図 10】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の第 4 の複合電極の構造を示す模式平面図である。

【図 11】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の基本原理を示す模式図である。

【図 12】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の動作原理を示す断面図である。

【図 13】本発明の実施形態における液晶素子の電圧 - 実効複屈折特性の関係を示すグラフである。

30

【図 14】本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置の駆動波形を説明する模式図である。

【図 15】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の電位分布を示す図である。

【図 16】本発明の実施形態における液晶素子の電圧 - 相対位相差特性の関係を示すグラフである。

【図 17】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の複合電極位置と位相分布の関係を示す模式図である。

【図 18】本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置の他の駆動波形を示す模式図である。

40

【図 19】本発明の実施形態における液晶ビーム偏向器の第 3 の複合電極における位相分布を説明する模式図である。

【図 20】本発明の実施形態における液晶可変波長フィルタ装置のモジュール構成を示す模式断面図である。

【図 21】従来例における液晶可変波長フィルタ装置の基本構造を示す模式断面図である。

【図 22】従来例における液晶可変波長フィルタ装置の透過率特性と理想特性を比較するための特性図である。

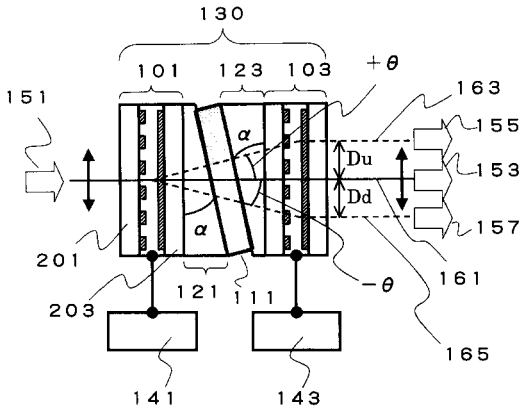
【符号の説明】

1 0 1 第 1 の液晶ビーム偏向器

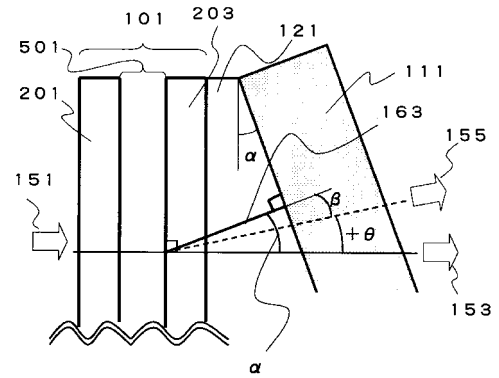
50

1 0 3	第 2 の液晶ビーム偏向器	
1 1 1	バンドパスフィルタ	
1 2 1	第 1 のウェッジプリズム	
1 2 3	第 2 のウェッジプリズム	
1 3 0	液晶可変波長フィルタ装置	
1 4 1	第 1 の駆動装置	
1 4 3	第 2 の駆動装置	
1 5 1	入射光	
1 5 3	第 1 の出射光	
1 5 5	第 2 の出射光	10
1 5 7	第 3 の出射光	
1 6 1	第 1 の経路	
1 6 3	第 2 の経路	
1 6 5	第 3 の経路	
2 0 1	第 1 の透明基板	
2 0 3	第 2 の透明基板	
2 0 7	ダイレクタ	
2 0 9	ティルト角	
2 1 1	複合電極	
2 1 3	共通電極	20
5 0 1	ネマティック液晶層	
6 2 1 . . . 6 4 0	個別電極	
7 2 1 . . . 7 4 0	個別電極	
7 5 1	第 1 の要素格子	
7 6 1	第 2 の要素格子	
9 5 1	第 3 の要素格子	
9 6 1	第 4 の要素格子	

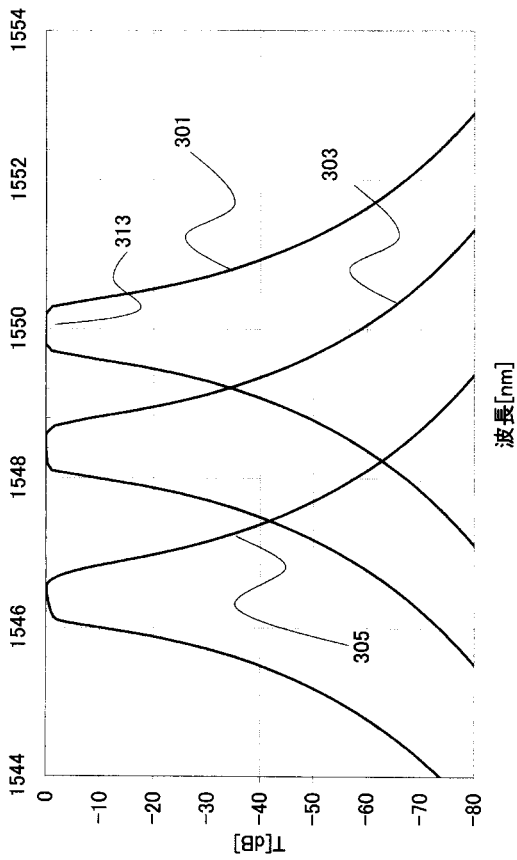
【図1】



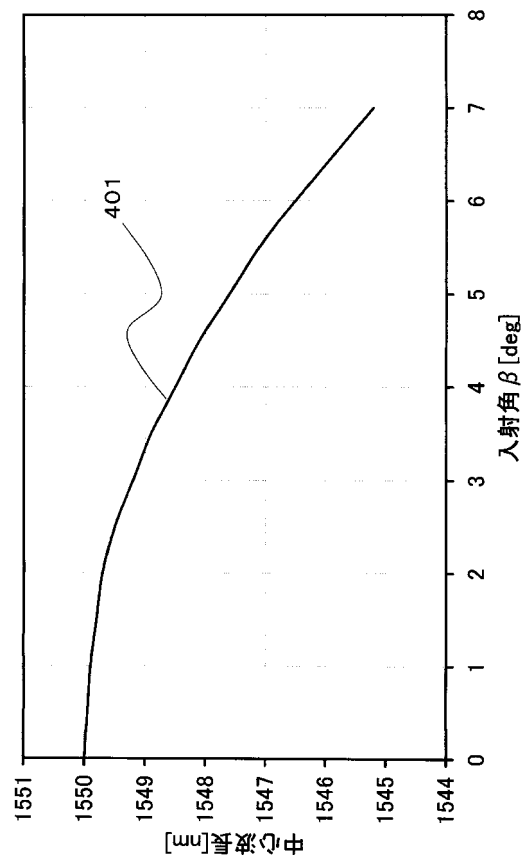
【図2】



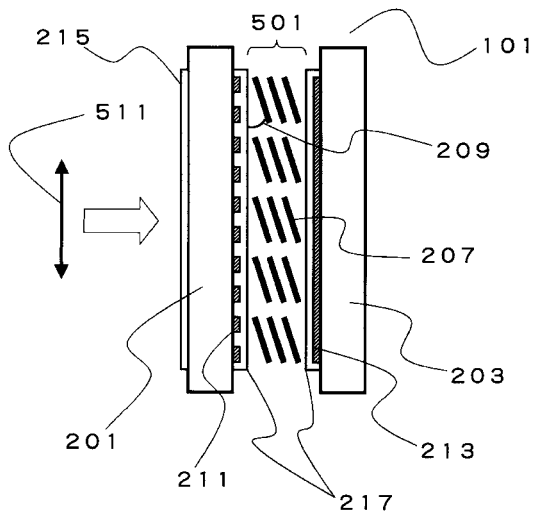
【図3】



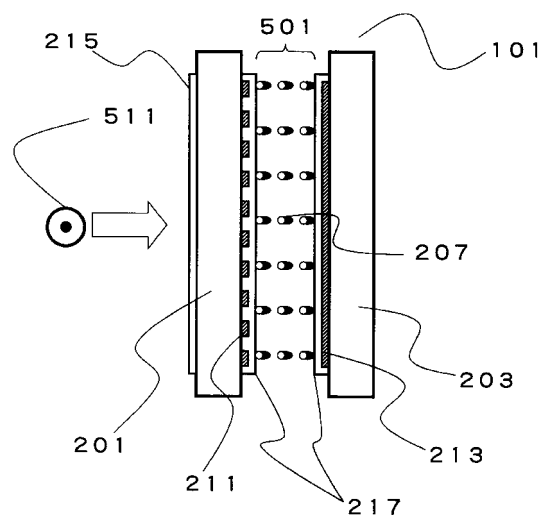
【図4】



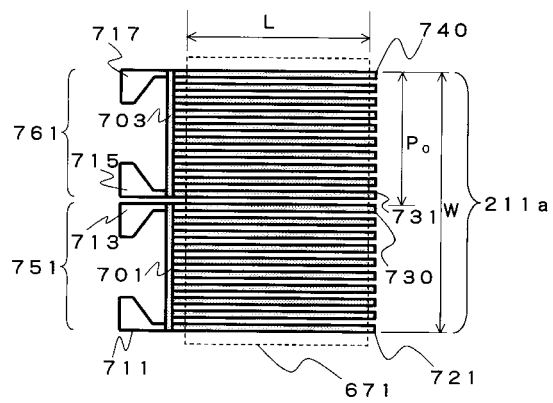
【図5】



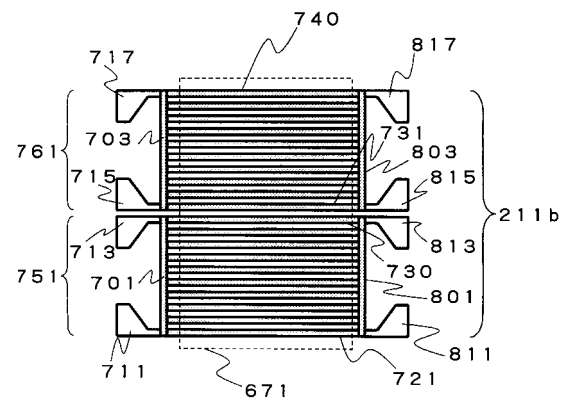
【図6】



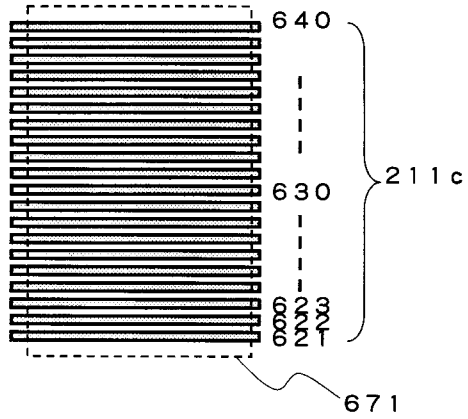
【図7】



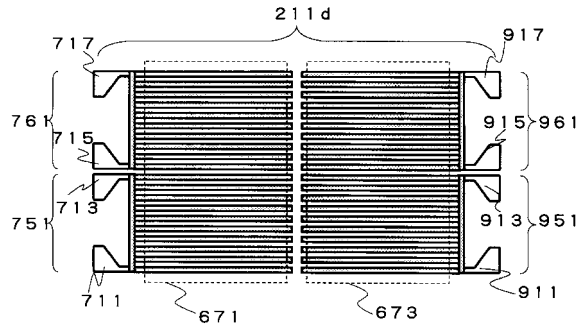
【図8】



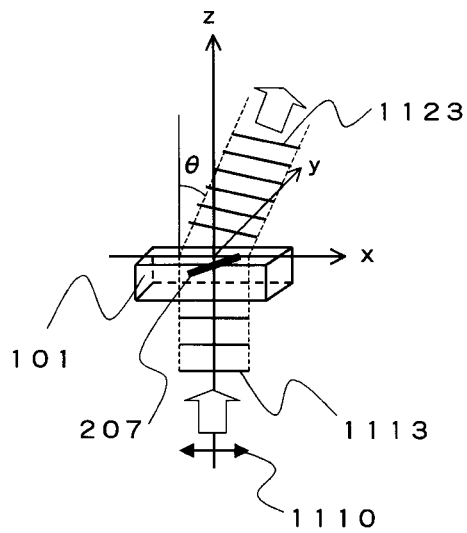
【図9】



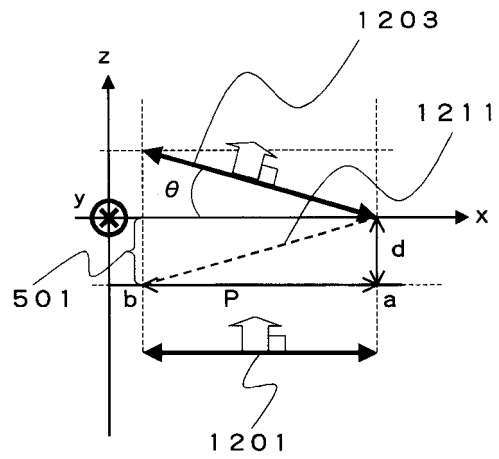
【図10】



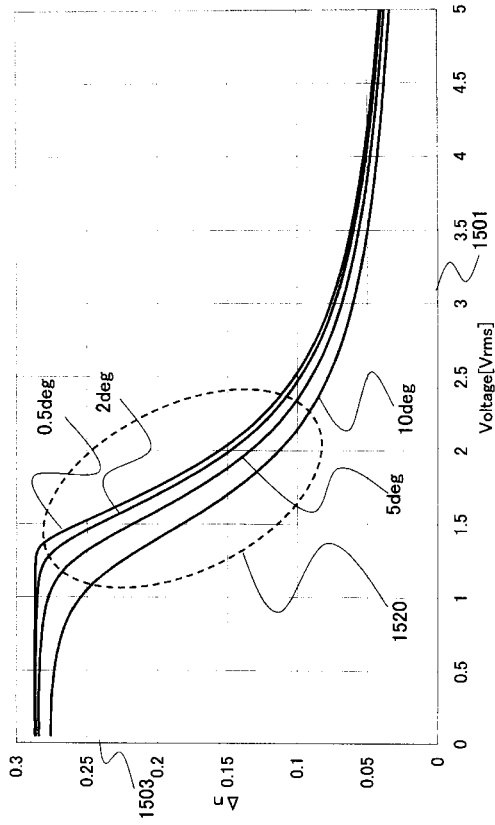
【図11】



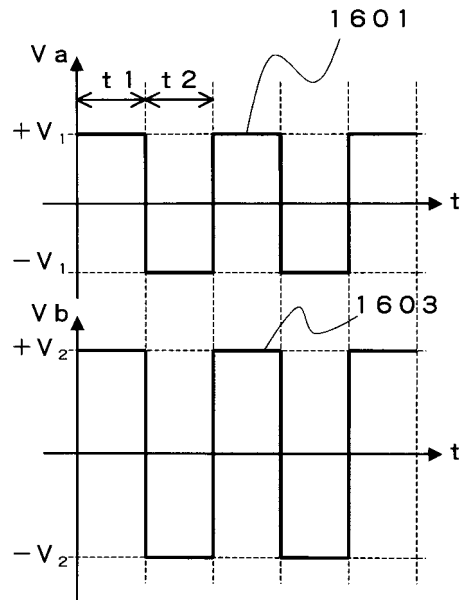
【図12】



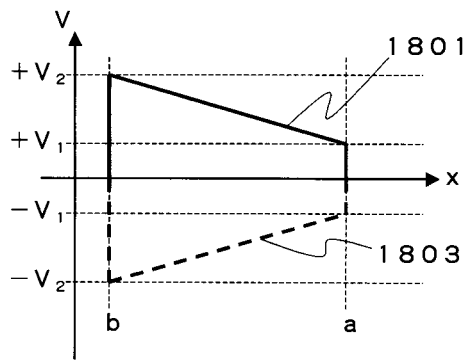
【図13】



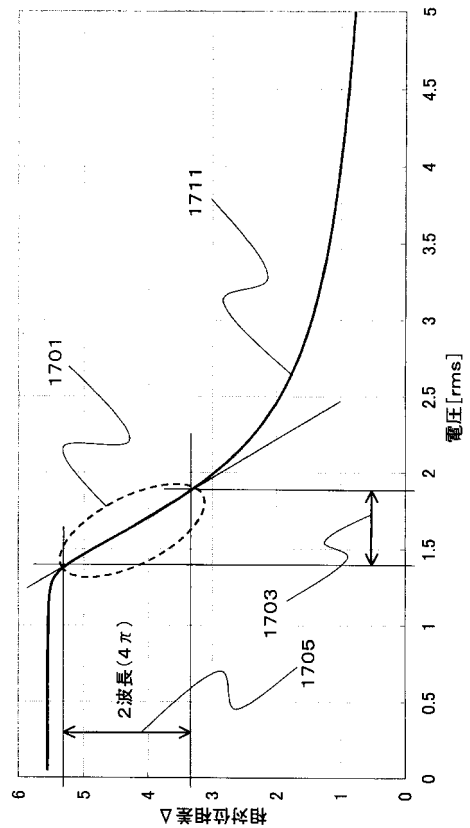
【図14】



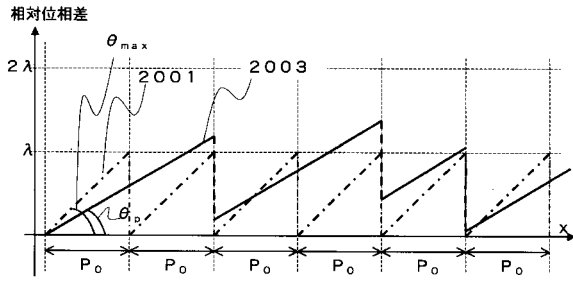
【図15】



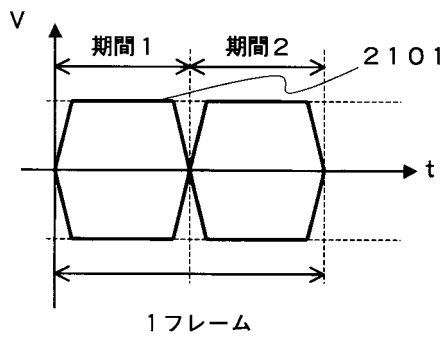
【図16】



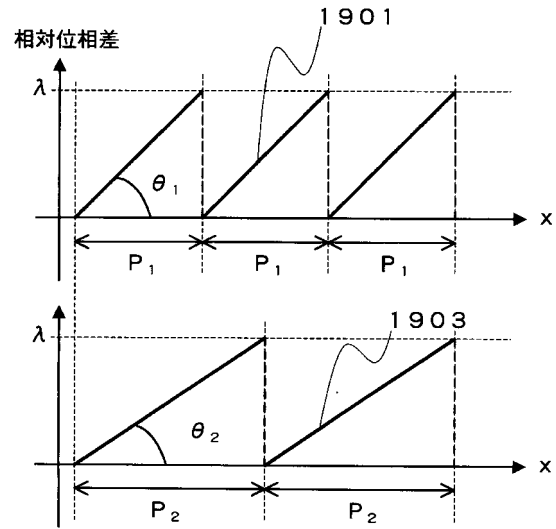
【図17】



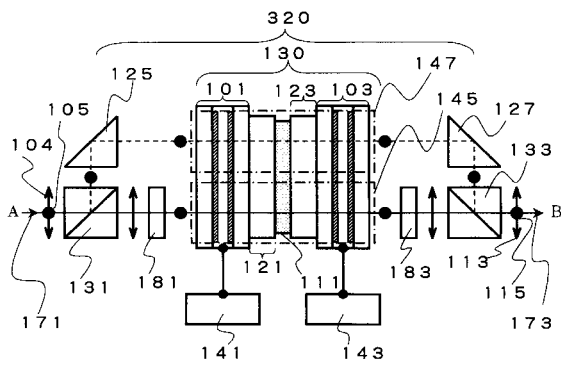
【図18】



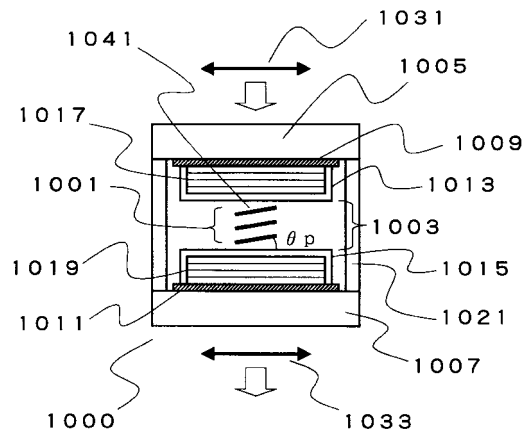
【図19】



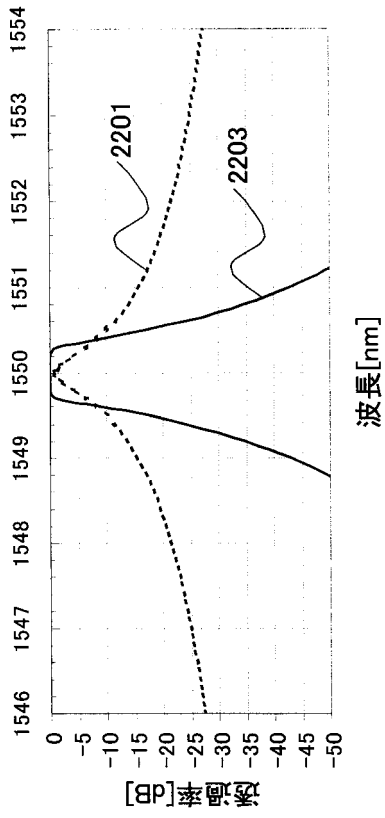
【図20】



【図21】



【図 22】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09-127361(JP,A)
特開平05-188343(JP,A)
特開平07-064123(JP,A)
特開平10-221703(JP,A)
特開平09-090247(JP,A)
特開平05-216075(JP,A)
特開平06-051113(JP,A)
特開昭63-311319(JP,A)
特開2000-214429(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02F 1/13