

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4111288号  
(P4111288)

(45) 発行日 平成20年7月2日(2008.7.2)

(24) 登録日 平成20年4月18日(2008.4.18)

(51) Int.Cl. F I  
H O 1 L 31/0232 (2006.01) H O 1 L 31/02 D

請求項の数 10 (全 14 頁)

|           |                            |           |                                    |
|-----------|----------------------------|-----------|------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願平10-210325               | (73) 特許権者 | 000003067                          |
| (22) 出願日  | 平成10年7月9日(1998.7.9)        |           | T D K株式会社                          |
| (65) 公開番号 | 特開2000-31510(P2000-31510A) |           | 東京都中央区日本橋一丁目13番1号                  |
| (43) 公開日  | 平成12年1月28日(2000.1.28)      | (74) 代理人  | 100079290                          |
| 審査請求日     | 平成17年6月21日(2005.6.21)      |           | 弁理士 村井 隆                           |
|           |                            | (72) 発明者  | 年吉 洋                               |
|           |                            |           | 神奈川県中郡二宮町中里2-16-36-105             |
|           |                            | (72) 発明者  | 藤田 博之                              |
|           |                            |           | 東京都豊島区千川1-9-14                     |
|           |                            | (72) 発明者  | 宮内 大助                              |
|           |                            |           | 東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティ<br>ーディーケイ株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長選択型光検出器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリコン基板に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラッグ反射器により構成されるファブリ-ペロー干渉計と、前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器を隔てる距離を可変制御する駆動手段とを備え、

前記駆動手段が、光を透過する材質で電圧の印加により膜厚を変える圧電膜を有し、該圧電膜が前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器間に中間層として設けられていることを特徴とする波長選択型光検出器。

【請求項2】

前記フォトダイオードと、前記ファブリ-ペロー干渉計とを、前記シリコン基板上にそれぞれ複数配列した請求項1記載の波長選択型光検出器。

10

【請求項3】

1つの前記フォトダイオードに1つの前記ファブリ-ペロー干渉計が対応して形成されており、1つの前記フォトダイオードとこれに対応する1つの前記ファブリ-ペロー干渉計の組が、それぞれ独立して検出波長を選択する構成である請求項2記載の波長選択型光検出器。

【請求項4】

各々のファブリ-ペロー干渉計を構成する前記第1及び第2の分布型ブラッグ反射器は、前記中間層を介して隔てられており、各々のファブリ-ペロー干渉計毎に前記中間層は選択波長に対応した異なる層厚を有している請求項2又は3記載の波長選択型光検出器。

20

## 【請求項 5】

前記フォトダイオードと、前記ファブリ-ペロー干渉計との組を、前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を隔てる前記中間層の層厚を変えて前記シリコン基板に複数配列して複数の波長を検出するセルを構成し、該セルを前記シリコン基板に複数配列した請求項 1 記載の波長選択型光検出器。

## 【請求項 6】

前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器が、屈折率の異なる 2 種類の膜のペアを少なくとも 4 ペア以上積み重ねた多層膜でそれぞれ構成されている請求項 1, 2, 3, 4 又は 5 記載の波長選択型光検出器。

## 【請求項 7】

前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器は可視領域の光を透過させる材質であり、波長選択された前記可視領域の光を前記フォトダイオードで受光する請求項 1, 2, 3, 4, 5 又は 6 記載の波長選択型光検出器。

## 【請求項 8】

前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を構成する各膜の膜厚が、各々の膜の屈折率  $n$ 、選択する光の波長  $\lambda$  に対して  $(1 + 2m) / 4n$  (但し、 $m$ : 0 又は自然数) であり、前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を隔てる距離が  $\lambda / 2n_0$  (但し、 $n_0$ : 前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を隔てる媒質の屈折率) である請求項 6 又は 7 記載の波長選択型光検出器。

## 【請求項 9】

前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器が、高屈折率のシリコンナイトライド膜と低屈折率のシリコンオキサイド又はシリコンオキシナイトライド膜からなる請求項 6, 7 又は 8 記載の波長選択型光検出器。

## 【請求項 10】

前記フォトダイオードが、前記シリコン基板に PN 接合、又は PIN 接合を形成したものである請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の波長選択型光検出器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、画像認識、光スペクトルアナライザ等に用いられる波長フィルタを有する波長選択型光検出器に係り、特にシリコンマイクロマシニングにより作製可能な、感度が優れた波長フィルタを集積化した波長選択型光検出器に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、光応用の多くのシステムの高度化、高機能化に伴い、その主要部品である光検出器にも高感度化、高集積化が要求されるようになってきている。

## 【0003】

光情報システムに用いられる典型的な受光素子として、フォトダイオードがよく知られている。フォトダイオードには単純な PN 接合を持つフォトダイオード、PIN フォトダイオード、アバランシュ・フォトダイオードがある。いずれも光吸収により生じた電子とホールから光電流を取り出すが、それぞれで応答速度が異なる。可視光領域ではシリコン (Si) が用いられる。これと波長フィルタを組み合わせることにより、波長敏感な光検出器が得られると期待される。

## 【0004】

波長フィルタは近年の波長多重通信技術の進展に伴い、非常に注目されている。例えば、米国特許第 5,629,951 号 (以下、従来技術 1) には、検出波長を連続的にチューニングするための、静電駆動型カンチレバーによる波長フィルタが開示されている。ここでは、ファブリ-ペロー干渉計を構成する 2 つの分布型ブラグ反射器の上側がカンチレバーとなっていて、静電駆動により分布型ブラグ反射器の間隔をコントロールして検出波長を変えている。

10

20

30

40

50

## 【0005】

米国特許第5,291,502号(以下、従来技術2)には、カンチレバーではなく、メンブレンによって構成されている同様のファブリ-ペロー干渉計が開示されている。

## 【0006】

また、“A FABRY-PEROT MICROINTERFEROMETER FOR VISIBLE WAVELENGTH”, I E E E , M E M S ' 9 2 , 1 9 9 2 , P P 1 7 0 - 1 7 3 (以下、従来技術3)には、可視領域の光に対する、マイクロマシニングによって作製されたファブリ-ペロー干渉計が示されている。ここではファブリ-ペロー干渉計は、シリコンナイトライド(SiN)メンブレンによって支持された2枚のミラーからなっており、それら各ミラーは、屈折率が1.44のSiO<sub>2</sub>膜と屈折率が1.80のHfO<sub>2</sub>膜の多層膜からなっている。

10

## 【0007】

ファブリ-ペロー干渉計を用いた変調器も多く検討されている。例えば、“PROCESS AND DESIGN CONSIDERATIONS FOR SURFACE MICROMACHINED BEAMS FOR A TUNABLE INTERFEROMETER ARRAY IN SILICON”, I E E E , M E M S ' 9 3 , 1 9 9 3 , P P 2 3 0 - 2 3 5 (以下、従来技術4)には、フォトダイオード上にファブリ-ペロー干渉計を集積した高速の光変調器が示されている。ここでは、ファブリ-ペロー干渉計は、基板上のシリコンオキサイド(SiO<sub>2</sub>) / ポリシリコン(poly-Si)と、poly-Si/SiN/poly-Siからなるメンブレン、及び中間のエアギャップから構成されている。

20

## 【0008】

“MHz OPTO-MECHANICAL MODULATOR”, TRANSDUCERS'95. EUROSENSORS IX, 1995, P P 2 8 9 - 2 9 2 (以下、従来技術5)にも変調器が示されている。ここでは、2.8 Mbit/sec.の変調速度が得られている。ファブリ-ペロー干渉計は平行な2層のpoly-Siからなっている。

## 【0009】

ところで、光検出機能を必要とするシステムには、例えば光スペクトルアナライザや、固体撮像素子がある。光スペクトルアナライザとしては、フォトダイオードアレイと回折格子を組み合わせたものが一般的である。

## 【0010】

また、固体撮像素子には数十万個から100万個を超す画素が並んでいて、画素毎にフォトダイオードが設けられている。カラー画面は赤、緑、青の3原色に分解され、それぞれの明るさの信号として取り込まれる。

30

## 【0011】

## 【発明が解決しようとする課題】

ところで、受光素子としてフォトダイオードはよく用いられていて、また、波長フィルタも多くのもが検討されているが、フォトダイオードと波長フィルタが集積化されていて、しかも波長分解能が良く、広い波長領域をカバーする光検出器は実現されていない。例えば、前記した従来技術1, 2は検出波長可変の波長フィルタの構成のみを開示しているだけである。

## 【0012】

波長多重通信用に検討されている波長フィルタは、GaAs基板上に集積したAl<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>AsとAl<sub>0.09</sub>Ga<sub>0.91</sub>Asの多層膜を分布型プラグ反射器として用いているため、波長分解能は良いが、可視領域の光を選択して透過させることができない。

40

## 【0013】

前記した従来技術3の如きSiO<sub>2</sub>とHfO<sub>2</sub>の多層膜から構成しているファブリ-ペロー干渉計は、フォトダイオードと集積化されておらず、また、屈折率差が小さいため、波長分解能を上げるためには、積層数をかなり多くする必要がある。

## 【0014】

また、前記した従来技術4, 5の如き光変調器は、単色光に対して、その波長の光を変調するものであって、白色光に対して、波長のバンドパスフィルタリングを実現するもので

50

はない。

【 0 0 1 5 】

ところで、光検出機能を必要とする光スペクトルアナライザの従来形態では、波長分解能を向上させるためには光路長を大きくとる必要があるためシステム全体を大きくする必要があった。また、固体撮像素子では、光を赤、緑、青の3原色に分解して認識しているので、必ずしも全ての色、すなわち絶対波長を確かに表現しているわけではない。

【 0 0 1 6 】

本発明は、上記の点に鑑み、フォトダイオードと、分布型ブラグ反射器からなるファブリ-ペロー干渉計を波長フィルタとして集積した構造で、小型で集積度が高く、しかも波長分解能に優れた波長選択型光検出器を提供することを目的とし、ひいては、この光検出器の利用により光システムの特性向上を実現しようとするものである。

10

【 0 0 1 7 】

本発明のその他の目的や新規な特徴は後述の実施の形態において明らかにする。

【 0 0 1 8 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明の請求項1の波長選択型光検出器は、シリコン基板に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された第1及び第2の分布型ブラグ反射器により構成されるファブリ-ペロー干渉計と、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる距離を可変制御する駆動手段とを備え、

前記駆動手段が、光を透過する材質で電圧の印加により膜厚を変える圧電膜を有し、該圧電膜が前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器間に中間層として設けられていることを特徴としている。

20

【 0 0 2 1 】

本発明の請求項2の波長選択型光検出器は、前記請求項1の構成において、前記フォトダイオードと、前記ファブリ-ペロー干渉計とを、前記シリコン基板上にそれぞれ複数配列した構成である。

【 0 0 2 2 】

本発明の請求項3の波長選択型光検出器は、前記請求項2の構成において、1つの前記フォトダイオードに1つの前記ファブリ-ペロー干渉計が対応して形成されており、1つの前記フォトダイオードとこれに対応する1つの前記ファブリ-ペロー干渉計の組が、それぞれ独立して検出波長を選択するようにしている。

30

【 0 0 2 3 】

本発明の請求項4の波長選択型光検出器は、前記請求項2又は3の構成において、各々のファブリ-ペロー干渉計を構成する前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器は、前記中間層を介して隔てられており、各々のファブリ-ペロー干渉計毎に前記中間層は選択波長に対応した異なる層厚を有しているものである。

【 0 0 2 4 】

本発明の請求項5の波長選択型光検出器は、前記請求項1の構成において、前記フォトダイオードと、前記ファブリ-ペロー干渉計との組を、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器を隔てる前記中間層の層厚を変えて前記シリコン基板に複数配列して複数の波長を検出するセルを構成し、該セルを前記シリコン基板に複数配列した構成としている。

40

【 0 0 2 5 】

本発明の請求項6の波長選択型光検出器は、前記請求項1, 2, 3, 4又は5の構成において、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器が、屈折率の異なる2種類の膜のペアを少なくとも4ペア以上積み重ねた多層膜でそれぞれ構成されているものである。

【 0 0 2 6 】

本発明の請求項7の波長選択型光検出器は、前記請求項1, 2, 3, 4, 5又は6の構成において、前記第1及び第2の分布型ブラグ反射器が可視領域の光を透過させる材質であり、波長選択された前記可視領域の光を前記フォトダイオードで受光するものである。

【 0 0 2 7 】

50

本発明の請求項 8 の波長選択型光検出器は、前記請求項 6 又は 7 の構成において、前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を構成する各膜の膜厚を、各々の膜の屈折率  $n$ 、選択する光の波長  $\lambda$  に対して  $(1 + 2m)\lambda / 4n$  (但し、 $m: 0$  又は自然数) とし、前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を隔てる距離を  $\lambda / 2n_0$  (但し、 $n_0$ : 前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を隔てる媒質の屈折率) としている。

【0028】

本発明の請求項 9 の波長選択型光検出器は、前記請求項 6, 7 又は 8 の構成において、前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器が、高屈折率のシリコンナイトライド膜と低屈折率のシリコンオキサイド又はシリコンオキシナイトライド膜からなっている。

【0029】

本発明の請求項 10 の波長選択型光検出器は、前記請求項 1 ~ 9 のいずれかの構成において、前記フォトダイオードが、前記シリコン基板に PN 接合、又は PIN 接合を形成したものである。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る波長選択型光検出器の実施の形態を図面に従って説明する。

【0031】

図 1 は本発明に係る波長選択型光検出器の第 1 の実施の形態であって、概略斜視図であり、図 2 (E) はその断面図である。シリコン (Si) 基板 1 にまずフォトダイオード 5 を形成し、この上に下部分布型ブラグ反射器 (下部 DBR) 11 と、エアギャップ 13 を介して上部分布型ブラグ反射器 (上部 DBR) 12 とを順次集積してファブリ-ペロー干渉計 10 を構成している。ここで、上部分布型ブラグ反射器 12 は、基板 1 上に形成された 4 箇所のアンカー 14 から伸びた可撓性アーム 15 で支持されたメンブレン構造となっており、上部分布型ブラグ反射器 12 上面には可動側駆動用電極 16 が形成されている。また、下部分布型ブラグ反射器 11 の下側には固定側駆動用電極 17 が前記可動側駆動用電極 16 に対向して設けられる。上部分布型ブラグ反射器 12 の上面中央部は、ファブリ-ペロー干渉計 10 に垂直な入射光を透過させるために可動側駆動用電極 16 の形成されていない透過光窓 18 となっている (固定側駆動用電極 17 にも同様に透過光窓を形成してある。 )。

【0032】

なお、前記可動側駆動用電極 16 の延長部分は 1 個のアンカー 14 の上面に引き出されている。また、前記フォトダイオード 5 は例えば Si 基板 1 に PN 接合を形成したものであり、フォトダイオード 5 に接続する光電流検出用電極 19 が基板上面に引き出されている。

【0033】

前記上部分布型ブラグ反射器 12 に設けられた可動側駆動用電極 16 と、下部分布型ブラグ反射器 11 に設けられた固定側駆動用電極 17 とは、下部分布型ブラグ反射器 11 と上部分布型ブラグ反射器 12 を隔てる距離を可変制御する駆動手段としての静電アクチュエータを構成しており、可動側及び固定側駆動用電極 16, 17 間への電圧の印加により上部分布型ブラグ反射器 12 を静電力で基板側に引き寄せて、エアギャップ 13 を調整できる。ここで、透過光の波長  $\lambda$  とエアギャップ間隔  $t$  は、ギャップ間の媒質 (この場合空気) の屈折率を  $n_0$  として  $t = \lambda / 2n_0$  の関係を持ち、これよりギャップの調整で透過光の波長を選択することができる。

【0034】

次に、図 2 を用いて第 1 の実施の形態である波長選択型光検出器の製造方法について記述する。

【0035】

まず、図 2 (A) のように n 型 Si (100) 基板 1 を熱酸化し、100 nm のシリコンオキサイド (SiO<sub>2</sub>) 層 21 を熱酸化膜として表面に形成する。この SiO<sub>2</sub> 層は、後のプロセスでアライメントを可能とするパターンになる。続いて、同図 (B) の如くフォト

10

20

30

40

50

レジスト22を塗布した後、露光、現像して後のイオン注入工程のためのパターンを形成する。そして、所定パターンのフォトレジスト22をマスクとして、ホウ素(B)を注入し、フォトダイオードとなるべきPN接合23を形成する。注入条件は、 $BF^{2+}$ イオンを55keVで、ドーズ量は、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ とした。この後イオン拡散のために通常であれば熱処理を行うが、本実施の形態では後に高温での長時間の成膜があるので、熱処理工程は省略できる。なお、固定側駆動用電極17として、フォトダイオードとなる部分の上面にイオンのドーズ量を過大として導電性を持たせた部分を形成しておく。

#### 【0036】

本実施の形態では、フォトダイオード自体の特性は特に考慮していないので、前述のように単純なPN接合フォトダイオードとしているが、もちろんフォトダイオード自体の応答速度を良くするため、PINフォトダイオードを形成して用いることもできる。

10

#### 【0037】

続いて、図2(C)のように、マスクのフォトレジストを除去した後、下部分布型ブラグ反射器11及び上部分布型ブラグ反射器12をLPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition)により順次成膜して集積する。これらの分布型ブラグ反射器11,12は同図(C)の断面拡大図に示すように屈折率が2.0のシリコンナイトライド(SiN)膜24と屈折率が1.5のシリコンオキサイドナイトライド(SiON)膜25とをそれぞれ複数ペア成膜した多層膜からなっている。同図では6ペアとしている。また、下部分布型ブラグ反射器11と基板1間には低屈折率のバッファ層28がSiON膜で形成されている。これらの分布型ブラグ反射器11,12を構成する各膜の膜厚は、透過させる光の中心波長 $\lambda$ に対して、 $(1 + 2m) / 4n$ から導いている(但し、 $n$ :各々の膜の屈折率、 $m$ :0又は自然数)。ここでは638nmを電圧をかけていないときの波長中心としているので、 $\lambda / 4n$ よりSiN膜24を79.8nm、SiON膜25を106.3nm成膜している。LPCVDの成膜条件は、850℃、0.5Torrで、SiN膜は $SiH_4$ 、 $NH_3$ を原料ガスとして、SiON膜は $SiH_4$ 、 $NH_3$ 、 $N_2O$ を原料ガスとしてそれぞれ成膜する。中間層26には、後にエアギャップ(図1の符号13)を形成するため、 $\lambda / 2n_0$ (エアギャップにするため $n_0 = 1$ )より算出した膜厚のpoly-Si膜を犠牲層として成膜する。成膜はやはりLPCVDで行う。成膜条件は、600℃、1.0Torrで、 $SiH_4$ を原料ガスとして成膜する。このpoly-Si膜は後に、図2(D)の如く上側の分布型ブラグ反射器12をメンブレンにパターンニングした後に、TM

20

30

#### 【0038】

そして、光検出の電極用スルーホール27を、フォトレジストをマスクとして図2(E)の如くRIEにより形成する。さらに、光電流検出用電極19と可動側駆動用電極16としてAuをスパッタにより成膜する。ここで、上部分布型ブラグ反射器12のAuは、光が透過する部分(窓18)からは除去するようにパターンニングとエッチングを行う。なお、フォトダイオード表面の固定側駆動用電極17も同様に光の透過する部分には形成されないようにしている。

40

#### 【0039】

次に、第1の実施の形態でフォトダイオード5上に集積一体化したファブリ-ペロー干渉計10の波長特性について記述する。

#### 【0040】

図3は透過光スペクトルのペア数依存性を示すものであり、ファブリ-ペロー干渉計10のミラー(下部分布型ブラグ反射器11及び上部分布型ブラグ反射器12)の屈折率が高い膜(SiN膜24)と低い膜(SiON膜25)のペアを積み重ねた効果について示している。つまり、多層膜の積層数が増すに従って、波長分解能が向上することが確認される。

50

## 【 0 0 4 1 】

図 4 はエアギャップ 1 3 を調整したときの透過光強度と波長との関係であり、可視光領域においてエアギャップを変化させたときのスペクトルの移動を示している。なおここでは、各分布型ブラグ反射器は 1 0 ペアの多層膜としている。波長 6 1 4 n m から 6 3 7 n m までの間 8 点を、ギャップを 2 8 3 . 5 n m から 3 2 7 . 6 n m 迄変えることによって調整している。図 4 からまず、半値幅 1 n m の波長分解能に優れた波長フィルタであることが確認される。透過光をフォトダイオードで検出することにより、波長選択して光信号を電気信号として検出することができる。

## 【 0 0 4 2 】

この第 1 の実施の形態によれば、次の通りの効果を得ることができる。

10

## 【 0 0 4 3 】

(1) S i 基板 1 に形成されたフォトダイオード 5 と、該フォトダイオード上に集積された下部及び上部の分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 により構成されるファブリ-ペロー干渉計 1 0 と、分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 を隔てる距離を可変制御する駆動手段 ( 可動側駆動用電極 1 6 、固定側駆動用電極 1 7 ) とを備えており、可動側駆動用電極 1 6 、固定側駆動用電極 1 7 間に電圧を印加して静電力を発生させ、下部及び上部の分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 を隔てる距離を制御することにより、検出する光の波長選択が可能である。

## 【 0 0 4 4 】

(2) 下部及び上部の分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 は、屈折率の異なる 2 種類の膜、つまり、屈折率が 2 . 0 のシリコンナイトライド ( S i N ) 膜 2 4 と屈折率が 1 . 5 のシリコンオキサイドナイトライド ( S i O N ) 膜 2 5 をそれぞれ複数ペア成膜した多層膜で構成されており、成膜ペア数を変えることにより、波長分解能を変えることができる。また、図 3 から判るように少なくとも 4 ペア以上積み重ねた多層膜でそれぞれ構成することで、適切な波長分解能を得ることができる。

20

## 【 0 0 4 5 】

(3) 分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 は S i N 膜 2 4 と S i O N 膜 2 5 との積層構造で、可視領域の光を透過させる材質であり、波長選択された可視領域の光をフォトダイオード 5 で受光することができる。

## 【 0 0 4 6 】

(4) 分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 を構成する各膜 2 4 , 2 5 の膜厚が、各々の膜の屈折率  $n$ 、選択する光の波長  $\lambda$  に対して  $(1 + 2m) / 4n$  (但し、 $m : 0$  又は自然数) であり、分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 を隔てる距離  $d = \lambda / 2n_0$  (但し、 $n_0$  : 前記第 1 及び第 2 の分布型ブラグ反射器を隔てる媒質の屈折率) となる波長を選択してフォトダイオード 5 で受光する。従って、分布型ブラグ反射器 1 1 , 1 2 間のエアギャップ 1 3 を、静電力による駆動手段、つまり可動側駆動用電極 1 6 及び固定側駆動用電極 1 7 間に電圧を印加することにより任意に制御でき、上部分布型ブラグ反射器 1 2 を基板側に引き寄せて選択波長を連続的に変化させることができる。

30

## 【 0 0 4 7 】

上記第 1 の実施の形態では、駆動用電極 1 6 , 1 7 間に電圧を印加してエアギャップ 1 3 を調整し、透過する波長を選択しているが、エアギャップ 1 3 を可視領域の光を透過する透明な圧電膜に置き換え、圧電膜を下部分布型ブラグ反射器 1 1 及び上部分布型ブラグ反射器 1 2 間の中間層として設け、該圧電膜に電圧を印加し、膜厚あるいは屈折率を調整することで透過する波長を選択する構成としてもよい。

40

## 【 0 0 4 8 】

図 5 は、本発明の第 2 の実施の形態であって、下部及び上部分布型ブラグ反射器 4 1 , 4 2 からなるファブリ-ペロー干渉計 4 0 を、S i 基板 3 1 に形成した複数のフォトダイオード 3 5 上にそれぞれ集積した、小型光スペクトルアナライザの概略を示している。

## 【 0 0 4 9 】

ここでは、1 つのフォトダイオード 3 5 に下部分布型ブラグ反射器 4 1 及び上部分布型

50

ラグ反射器 4 2 の組からなる 1 つのファブリ-ペロー干渉計 4 0 が対応して形成されており、ファブリ-ペロー干渉計 4 0 を 8 個のアレイにし、個々のファブリ-ペロー干渉計で、各々の透過光窓 4 8 を通してそれぞれ異なる波長  $\lambda_1 \sim \lambda_8$  の光を個々独立に選択し、対応するフォトダイオード 3 5 で検出するようにしている。下部分布型ブラグ反射器 4 1、上部分布型ブラグ反射器 4 2 間はエアギャップではなく、固定層厚の中間層 4 3 としており、各ファブリ-ペロー干渉計毎に中間層厚を変えて透過光波長を調整している。これにより光スペクトルアナライザとして機能する。もちろんアレイ数が多い方が、分解能は良くなる。

#### 【 0 0 5 0 】

なお、下部分布型ブラグ反射器 4 1 及び上部分布型ブラグ反射器 4 2 の構成は、前述した第 1 の実施の形態と同様であり、屈折率の大きな SiN 膜と屈折率の小さな SiON 膜をそれぞれ複数ペア成膜した多層膜で構成されている。

#### 【 0 0 5 1 】

図 6 に白色光を図 5 の光スペクトルアナライザ (中心波長 630 nm) に入射したときの、中間層厚と透過光波長の関係を示す。なおここで、中間層は低屈折率層の SiON 層 (屈折率  $n: 1.50$ ) であり、その層厚を 189.0 nm から 218.4 nm 迄変えて 610 nm から 640 nm 迄の波長をカバーしている。半値幅 1 nm の波長分解能に優れた波長フィルタである。但し、本実施の形態の 8 個のアレイでは、カバーできる波長領域が狭いので、アレイ数を増やし、より広範囲な波長をカバーできるように膜構成を設計することが望ましい。

#### 【 0 0 5 2 】

次に、図 7 を用いて、第 2 の実施の形態の光スペクトルアナライザの中間層を、ファブリ-ペロー干渉計毎に変える方法について説明する。まず、図 7 (A) の如くフォトダイオード 3 5 を形成した Si 基板 3 1 に下部分布型ブラグ反射器 4 1 を形成し、その下部分布型ブラグ反射器 4 1 上に SiON 中間層 4 3 を、検出する波長領域の最長波長に対応する厚さで成膜しておく。これを同図 (B) 乃至 (E) に示す如くステップ状にエッチングしていく。エッチングは 1/20 に薄めた BHF で行い、エッチングマスク 4 5 はレジストとした。ある膜厚の領域をそれぞれ 2 分割していくと、エッチング回数  $N$  に対して  $2^N$  のステップが形成される。ここでは 3 回のエッチングにより図示したように 8 ステップを製作し、8 個の異なる中間層厚を持つファブリ-ペロー干渉計のアレイを形成している。

#### 【 0 0 5 3 】

この第 2 の実施の形態によれば、1 つのフォトダイオード 3 5 に 1 組の分布型ブラグ反射器 4 1, 4 2 が対応して形成され、これらがアレイとして構成されていることにより、個々独立して検出波長を選択でき、かつ複数の波長を同時検出可能である。

#### 【 0 0 5 4 】

図 8 に、本発明の第 3 の実施の形態として、シリコン基板 5 1 に形成されたフォトダイオードと、該フォトダイオード上に集積された下部及び上部分布型ブラグ反射器により構成されるファブリ-ペロー干渉計との組からなる光検出部 5 2 を、前記下部及び上部分布型ブラグ反射器を隔てる中間層の層厚を変えてシリコン基板 5 1 に複数配列して複数の波長を検出するセル (画素) 5 3 を構成し、該セル 5 3 をシリコン基板 5 1 に多数平面的に配列した絶対波長検出型 CCD 撮像素子の概略を示す。ここで、個々のファブリ-ペロー干渉計を構成する分布型ブラグ反射器は、第 1 の実施の形態で示した如く屈折率の大きな SiN 膜と屈折率の小さな SiON 膜をそれぞれ複数ペア成膜した多層膜で構成され、下部及び上部分布型ブラグ反射器間は第 2 の実施の形態と同様に固定層厚の SiON 中間層としている。ここでは、中間層厚が互いに異なったファブリ-ペロー干渉計を集積してなる光検出部 5 2 を 16 個並べて 1 つのセル 5 3 を形成し、更にこれを多数配列して平面的アレイにしている。従って、通常の固体撮像素子が光を赤、緑、青の 3 原色に分解して取り込んでいたのに対し、本実施の形態では、1 つのセル 5 3 内で下部及び上部分布型ブラグ反射器を隔てる中間層厚に対応する 16 の波長に分解してカラー画面を取り込むことができる。これにより、認識するカラー画面の確度が向上する。もちろん、1 つのセル内の、

中間層厚の異なる光検出部 5 2 を増やすことで、さらに多くの波長に分解することも可能である。

【 0 0 5 5 】

前記中間層厚は、可視領域の光をカバーするように 4 0 0 n m ~ 7 0 0 n m までの波長領域を 2 0 n m 間隔に分割し、計 1 6 点の波長を 1 画素内で検出できるようにしている。但し、同じ膜厚構成の分布型ブラグ反射器の組を用いたファブリ-ペロー干渉計で中間層厚のみを変えても、全ての波長領域をカバーすることはできないので、下部及び上部分布型ブラグ反射器の膜構成を 4 通りとし（膜厚を 4 種類とする）、各膜構成について中間層厚を 4 種類として計 1 6 の波長の光を検出している。

【 0 0 5 6 】

図 8 にはまた、C C D のアドレッシング用の周辺回路 5 4 と、アンプ、A / D コンバータ、マルチプレクサ等のデータ読み出しのための周辺回路 5 5 も示してある。各セル 5 3 で検出した光により生じた電荷は、通常の C C D と同様にデータとして図示した方向に流れ、周辺回路で処理される。

【 0 0 5 7 】

図 9 に検出波長を 1 6 チャンネルとしたときのスペクトルを示す。なお、ここでは全ての波長の可視光に対して感度を持たせるため、敢えて分解能を下げ、分布型ブラグ反射器におけるペア数は 4 ペアとしている。

【 0 0 5 8 】

この第 3 の実施の形態によれば、各セル 5 3 は複数設けられた光検出部 5 2 の下部及び上部分布型ブラグ反射器を隔てる中間層厚に対応する波長にそれぞれ分解してカラー画面を取り込むことができ、認識するカラー画面の確度を向上させることが可能であり、1 つのセル内の、中間層厚の異なる光検出部 5 2 の個数を増やすことで、さらに多くの波長に分解することも可能である。

【 0 0 5 9 】

図 1 0 には、本発明の第 4 の実施の形態として、第 3 の実施の形態の C C D 撮像素子の固定中間層をエアギャップに置き換えた絶対波長検出型 C C D 撮像素子の概略を示している。この場合は、可変エアギャップとなっている 1 つのファブリ-ペロー干渉計とフォトダイオードとからなる波長選択型光検出部が 1 つのセル（画素）6 3 に対応し、セル 6 3 が S i 基板 6 1 上に多数平面的に配列されている。各セル 6 3 は第 1 の実施の形態と同様の構成であればよい。また、周辺回路として、図 8 の第 3 の実施の形態と同様に、C C D のアドレッシング用の周辺回路 6 4 と、アンプ、A / D コンバータ、マルチプレクサ等のデータ読み出しのための周辺回路 6 5 が設けられている。但し、各セル 6 3 にエアギャップを変化させるための交流電圧を印加し、下部及び上部分布型ブラグ反射器間を 1 k H z 程度の周波数で振動させて光を検出するために、C C D のアドレッシング用の周辺回路 6 4 にエアギャップ調整駆動電圧を発生する回路を付加する必要がある。

【 0 0 6 0 】

この場合、周辺回路 6 4 より各セル 6 3 に交流電圧を印加することにより下部及び上部分布型ブラグ反射器間を 1 k H z 程度の周波数で振動させて光を検出する。つまり、各瞬間が波長に対応することになり、その時間をモニターすることにより、検出した光と、その光の波長そのものを対応させることができる。これにより、認識するカラー画面の確度が向上する。

【 0 0 6 1 】

なお、各セル 6 3 で検出した光により生じた電荷は、通常の C C D と同様にデータとして図示した方向に流れ、周辺回路で処理される。

【 0 0 6 2 】

上記した各実施の形態の分布型ブラグ反射器において、高屈折率膜として S i N 膜、低屈折率膜として S i O N 膜を例示したが、低屈折率膜として S i O<sub>2</sub> 膜を用いてもよいし、他の膜構成とすることも可能である。

【 0 0 6 3 】

10

20

30

40

50

以上本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明はこれに限定されることなく請求項の記載の範囲内において各種の変形、変更が可能なのは当業者には自明である。

【0064】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、マイクロマシニングによりSi基板上に作製した、2つの分布型ブラグ反射器をミラーとするファブリ-ペロー干渉計をフォトダイオードと集積化することにより、波長分解能に優れた小型の波長フィルタを持つ波長選択型光検出器を実現できる。

また、ファブリ-ペロー干渉計アレイとフォトダイオードアレイを集積化することにより、波長分解能に優れた小型のスペクトルアナライザ、あるいは絶対波長を検出できるCCD撮像素子を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る波長選択型光検出器の第1の実施の形態を示す概略斜視図である。

【図2】第1の実施の形態の波長選択型光検出器の作製方法を示す説明図である。

【図3】第1の実施の形態の波長選択型光検出器の波長分解能と積層数の関係を示すグラフである。

【図4】第1の実施の形態の波長選択型光検出器のエアギャップを変化させたときの波長と透過光強度の関係を示すグラフである。

【図5】本発明の第2の実施の形態であって、小型光スペクトルアナライザを示す概略斜視図である。

【図6】第2の実施の形態に示した小型光スペクトルアナライザの中間層厚と透過光強度の関係を示すグラフである。

【図7】第2の実施の形態に示した小型光スペクトルアナライザの中間層をステップ状にする方法を示す説明図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態であって、中間層固定のファブリ-ペロー干渉計をアレイにした絶対波長検出型のCCD撮像素子を示す概略斜視図である。

【図9】第3の実施の形態による絶対波長検出型のCCD撮像素子のスペクトルを示すグラフである。

【図10】本発明の第4の実施の形態であって、中間層がエアギャップのファブリ-ペロー干渉計をアレイにした絶対波長検出型のCCD撮像素子を示す概略斜視図である。

【符号の説明】

1, 31, 51, 61 シリコン基板

5, 35 フォトダイオード

10, 40 ファブリ-ペロー干渉計

11, 41 下部分布型ブラグ反射器

12, 42 上部分布型ブラグ反射器

13 エアギャップ

14 アンカー

15 可撓性アーム

16 可動側駆動用電極

17 固定側駆動用電極

18 透過光窓

19 光電流検出用電極

21 シリコンオキシド層

22 フォトレジスト

23 PN接合

24 シリコンナイトライド膜

25 シリコンオキシドナイトライド膜

26, 43 中間層

27 電極用スルーホール

10

20

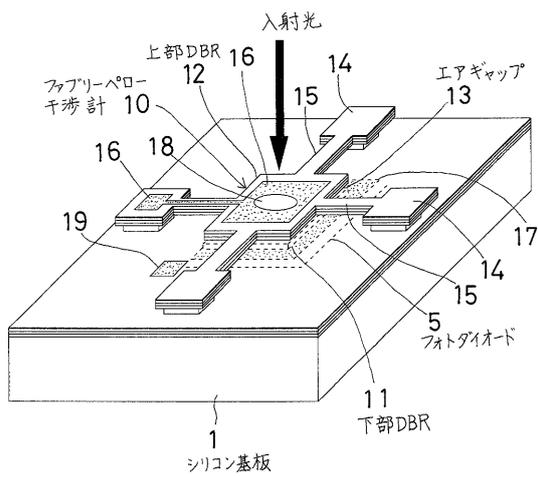
30

40

50

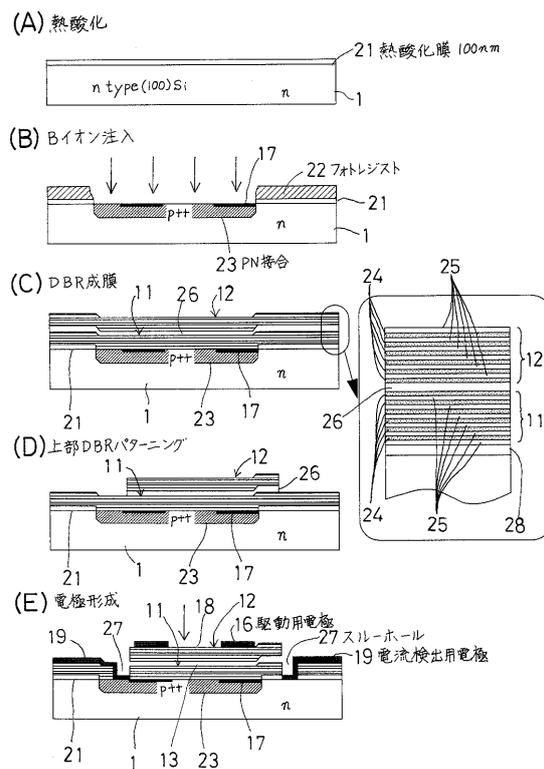
- 2 8 バッファ層
- 4 5 エッチングマスク
- 5 2 光検出部
- 5 3 , 6 3 セル
- 5 4 , 5 5 , 6 4 , 6 5 周辺回路

【図1】

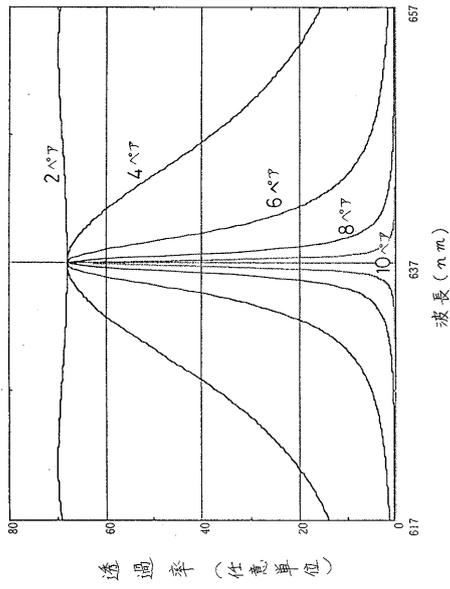


16,17: 駆動用電極

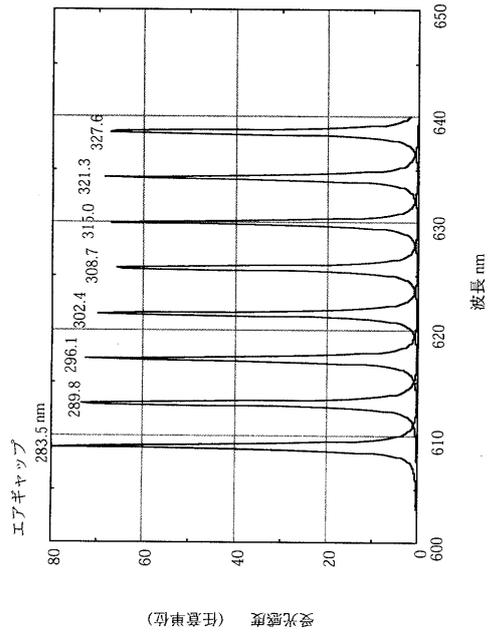
【図2】



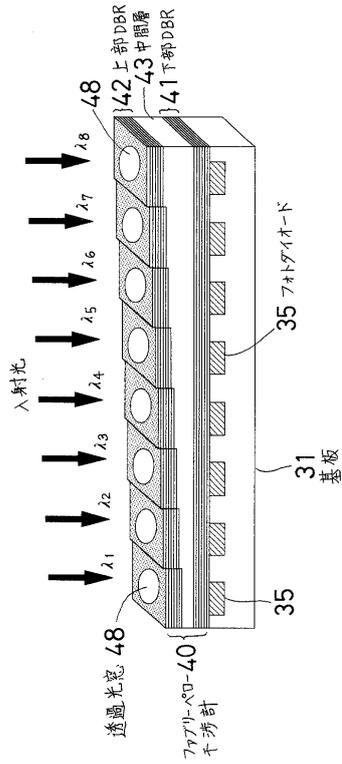
【図3】



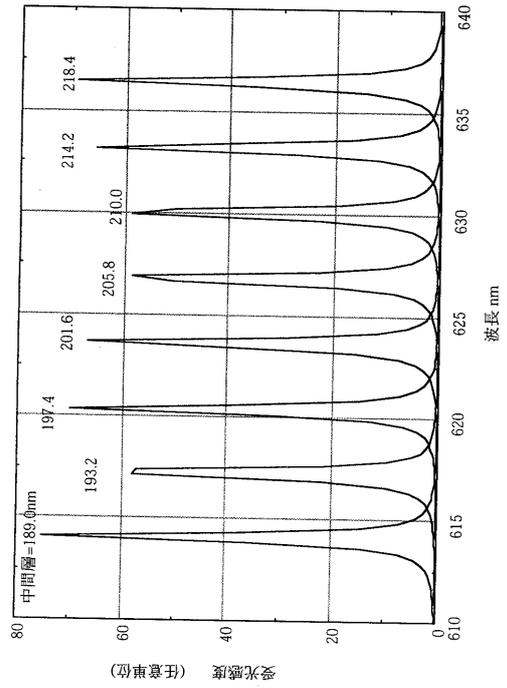
【図4】



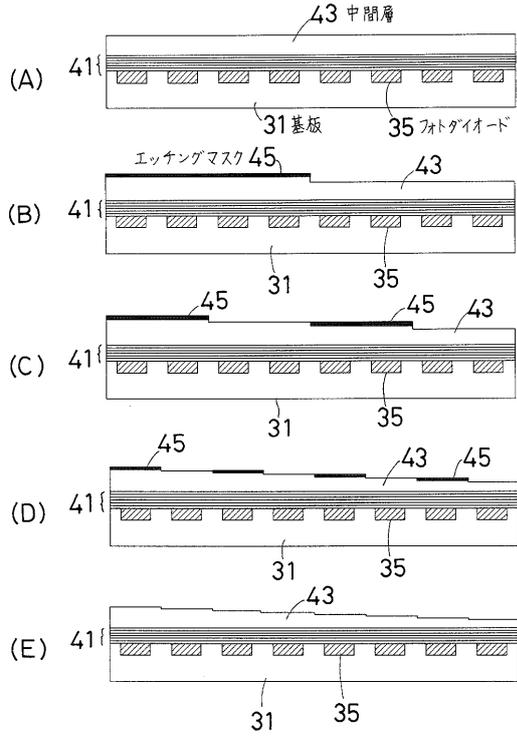
【図5】



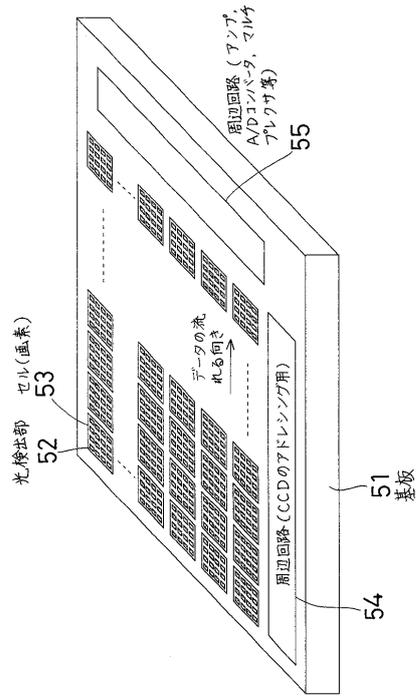
【図6】



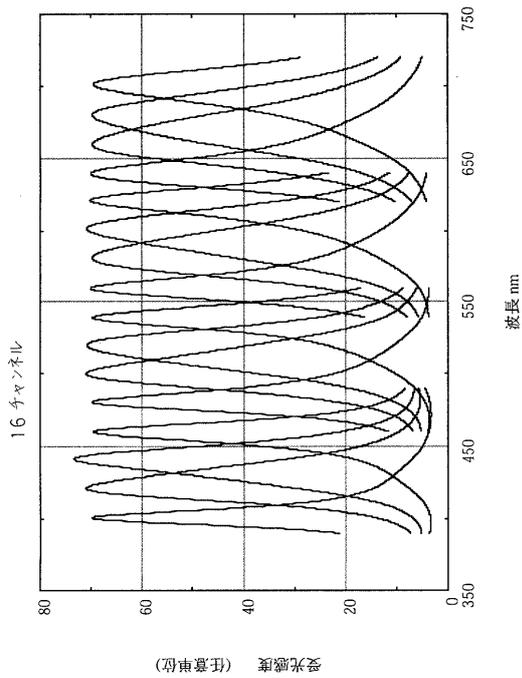
【図7】



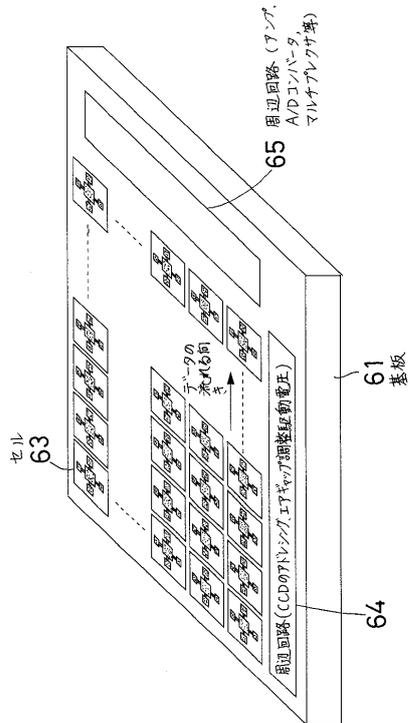
【図8】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 篠浦 治  
東京都中央区日本橋一丁目13番1号ティーディーケイ株式会社内

審査官 古田 敦浩

(56)参考文献 特開平02-257676(JP,A)  
特開昭62-257032(JP,A)  
特開平06-323900(JP,A)  
特開平05-149788(JP,A)  
特開平04-261081(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L 31/00-31/18