

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4762719号
(P4762719)

(45) 発行日 平成23年8月31日 (2011. 8. 31)

(24) 登録日 平成23年6月17日 (2011. 6. 17)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 J 43/24 (2006. 01)	HO 1 J 43/24
HO 1 J 43/26 (2006. 01)	HO 1 J 43/26
HO 1 J 40/06 (2006. 01)	HO 1 J 40/06

請求項の数 2 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-518024 (P2005-518024)	(73) 特許権者	000236436
(86) (22) 出願日	平成17年2月16日 (2005. 2. 16)		浜松ホトニクス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/002302		静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1
(87) 国際公開番号	W02005/078759	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成17年8月25日 (2005. 8. 25)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成20年2月5日 (2008. 2. 5)	(74) 代理人	100092657
(31) 優先権主張番号	特願2004-40405 (P2004-40405)		弁理士 寺崎 史朗
(32) 優先日	平成16年2月17日 (2004. 2. 17)	(74) 代理人	100124291
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 石田 悟
		(72) 発明者	久嶋 浩之
			静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜
			松ホトニクス株式会社内
		(72) 発明者	下井 英樹
			静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜
			松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光電子増倍管

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部が真空状態に維持された外囲器と、

前記外囲器内に収納された光電面であって、該外囲器を介して取り込まれた光に応じて電子を該外囲器の内部に放出する光電面と、

前記外囲器内に収納された電子増倍部であって、電子の進行方向に沿って伸びた溝部を有する電子増倍管と、そして、

前記外囲器内に収納された陽極であって、前記電子増倍部でカスケード増倍された電子のうち到達した電子を信号として取り出すための陽極とを備えた光電子増倍管であって、

前記溝部を規定する一対の壁部それぞれの表面であって前記電子の進行方向に対して並行に配置された平坦な表面上には、前記光電面からの光電子をカスケード増倍するための二次電子放出面が表面に形成された 1 又はそれ以上の凸部が、前記電子の進行方向に沿って設けられており、

前記二次電子放出面が形成される前記凸部それぞれの表面は、前記電子の進行方向に対して直交することなく前記電子の進行方向に対して傾斜した斜面により構成され、

前記一対の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた凸部と、他方の壁部の表面に設けられた凸部は、前記電子の進行方向に沿って交互に配置され、

前記一対の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた前記凸部の高さ B は、該一対の壁部の間隔 A に対して、

$$B \geq A / 2$$

10

20

なる関係を満たしている光電子増倍管。

【請求項 2】

内部が真空状態に維持された外囲器と、

前記外囲器内に収納された光電面であって、該外囲器を介して取り込まれた光に応じて電子を該外囲器の内部に放出する光電面と、

前記外囲器内に収納された電子増倍部であって、電子の進行方向に沿って伸びた貫通孔を有する電子増倍管と、そして、

前記外囲器内に収納された陽極であって、前記電子増倍部でカスケード増倍された電子のうち到達した電子を信号として取り出すための陽極とを備えた光電子増倍管であって、

前記貫通孔を規定する壁部の表面には、前記光電面からの光電子をカスケード増倍するための二次電子放出面が表面に形成された 1 又はそれ以上の凸部が設けられており、

前記二次電子放出面が形成される前記凸部それぞれの表面は、前記電子の進行方向に対して直交することなく前記電子の進行方向に対して傾斜した斜面により構成され、

前記貫通孔を規定する壁部の表面に設けられた凸部は、前記電子の進行方向に沿って交互に配置され、

前記壁部の表面に設けられた前記凸部の高さ B は、前記貫通孔の開口径に相当する間隔 A に対して、

$$\frac{B}{A} < \frac{1}{2}$$

なる関係を満たしている光電子増倍管。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、光電面によって生成された光電子をカスケード増倍する電子増倍部を有する光電子増倍管に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から光センサとして光電子増倍管 (PMT: Photo-Multiplier Tube) が知られている。光電子増倍管は、光を電子に変換する光電面 (Photocathode)、集束電極、電子増倍部、及び陽極を備え、それらを真空容器に収めて構成される。光電子増倍管では、光が光電面に入射すると、光電面から真空容器中に光電子が放出される。その光電子は集束電極によって電子増倍部に導かれ、該電子増倍部によってカスケード増倍される。陽極は増倍された電子のうち到達した電子を信号として出力する (例えば、下記特許文献 1 及び特許文献 2 参照)。

【特許文献 1】特許第 3078905 号公報

【特許文献 2】特開平 4 - 359855 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

発明者らは、従来の光電子増倍管について検討した結果、以下のような課題を発見した。

【0004】

すなわち、光センサの用途が多様化するにつれ、より小型の光電子増倍管が求められている。一方、このような光電子増倍管の小型化に伴い、当該光電子増倍管を構成する部品に高精度の加工技術が要求されるようになってきた。特に、部材自体の微細化が進めば、該部品間における精密な配置が実現し難くなってくるため、高い検出精度は得られず、また、製造された光電子増倍管ごとに検出精度のバラツキが大きくなってしまふ。

【0005】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、より高い増倍効率が得られる微細構造の光電子増倍管を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明に係る光電子増倍管は、光電面によって生成された光電子をカスケード増倍する電子増倍部を有する光センサであって、該光電面の配置位置により、光の入射方向と同じ方向に光電子を放出する透過型光電面を有する光電子増倍管と、光の入射方向と異なる方向に光電子を放出する反射型光電面を有する光電子増倍管がある。

【0007】

具体的に当該光電子増倍管は、光電子増倍管内部が真空状態に維持された外囲器と、該外囲器内に収納された光電面と、該外囲器内に収納された電子増倍部と、少なくとも一部が該外囲器内に収納された陽極を備える。上記外囲器は、ガラス材料からなる下側フレームと、電子増倍部と陽極とが一体的にエッチング加工された側壁フレームと、ガラス材料又はシリコン材料からなる上側フレームとで構成されている。

10

【0008】

上記電子増倍部は、電子の進行方向に沿って伸びた溝部又は貫通孔を有する。溝部はエッチング技術により微細加工された一对の壁部により規定される。特に、該溝部を規定する一对の壁部それぞれの表面には、光電面からの光電子をカスケード増倍するための二次電子放出面が表面に形成された1又はそれ以上の凸部が、該電子の進行方向に沿って設けられている。このように二次電子放出面が形成された壁部表面に凸部が設けられることにより、陽極に向かう電子が該壁部に衝突する可能性が飛躍的に高くなるため、微細構造においても十分な電子増倍率が得られる。なお、現実的には、二次電子放出面は、凸部表面のみならず、該凸部表面を含む壁部の表面全体に形成される。

20

【0009】

この発明に係る光電子増倍管において、上記一对の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた凸部と、他方の壁部の表面に設けられた凸部は、光電面からの電子の進行方向に沿って交互に配置されるのが好ましい。この構成により、光電面からの電子は、少なくともいずれか一方の壁部に衝突する可能性が高まる。

【0010】

より具体的には、上記一对の壁部のうち一方の壁部の表面に設けられた凸部の高さBは、該一对の壁部の間隔Aに対して、 $B = A / 2$ なる関係を満たすのがより好ましい。一对の壁部表面にそれぞれ設けられた凸部がこの関係を満たすことにより、陽極に向かって溝部を進行する電子は、直線軌道を取りえなくなるため、陽極に向かう該電子は少なくとも一回は一对の壁部のいずれかに衝突することにより、確実に二次電子増倍率の向上に寄与しえるからである。

30

【0011】

一方、上記電子増倍が貫通孔を有する場合、該貫通孔はエッチング技術により微細加工された壁部により規定される。この貫通孔を規定する壁部それぞれの表面にも、光電面からの光電子をカスケード増倍するための二次電子放出面が表面に形成された1又はそれ以上の凸部が設けられている。このように二次電子放出面が形成された壁部表面に凸部が設けられることにより、陽極に向かう電子が該壁部に衝突する可能性が飛躍的に高くなるため、微細構造においても十分な電子増倍率が得られる。なお、現実的には、二次電子放出面は、凸部表面のみならず、該凸部表面を含む壁部の表面全体に形成される。

40

【0012】

なお、この発明に係る各実施例は、以下の詳細な説明及び添付図面によりさらに十分に理解可能となる。これら実施例は単に例示のために示されるものであって、この発明を限定するものと考えべきではない。

【0013】

また、この発明のさらなる応用範囲は、以下の詳細な説明から明らかになる。しかしながら、詳細な説明及び特定の事例はこの発明の好適な実施例を示すものではあるが、例示のためにのみ示されているものであって、この発明の思想及び範囲における様々な変形および改良はこの詳細な説明から当業者には自明であることは明らかである。

【発明の効果】

50

【 0 0 1 4 】

この発明によれば、光電面から放出された光電子が陽極に向かう間に走行する溝部において、該溝部を規定する一对の壁部それぞれの表面に 1 又はそれ以上の凸部が設けられることにより、該一对の壁部に電子が衝突する確率が飛躍的に高まり、該壁部表面に形成された二次電子放出面における二次電子の増倍効率が飛躍的に向上する。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 5 】

以下、この発明に係る光電子増倍管及びその製造方法を、図 1 ～ 図 1 0 を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一部分には同一符号を付して、重複する説明を省略する。

10

【 0 0 1 6 】

図 1 は、この発明に係る光電子増倍管の一実施例の構造を示す斜視図である。この図 1 に示された光電子増倍管 1 a は、透過型の電子増倍管であって、上側フレーム 2 (ガラス基板) と、側壁フレーム 3 (シリコン基板) と、下側フレーム 4 (ガラス基板) により構成された外囲器を備える。この光電子増倍管 1 a は光電面への光の入射方向と、電子増倍部での電子の走行方向が交差する、つまり図 1 中の矢印 A で示された方向から光が入射されると、光電面から放出された光電子が電子増倍部に入射し、矢印 B で示された方向に該光電子が走行して行くことにより二次電子をカスケード増倍する光電子増倍管である。引き続き各構成要素について説明する。

【 0 0 1 7 】

20

図 2 は、図 1 に示された光電子増倍管 1 a を上側フレーム 2、側壁フレーム 3、及び下側フレーム 4 に分解して示す斜視図である。上側フレーム 2 は、矩形平板状のガラス基板 2 0 を基材として構成されている。ガラス基板 2 0 の主面 2 0 a には矩形の凹部 2 0 1 が形成されており、凹部 2 0 1 の外周はガラス基板 2 0 の外周に沿うように形成されている。凹部 2 0 1 の底部には光電面 2 2 が形成されている。この光電面 2 2 は凹部 2 0 1 の長手方向の一端近傍に形成されている。ガラス基板 2 0 の主面 2 0 a と対向する面 2 0 b には孔 2 0 2 が設けられており、孔 2 0 2 は光電面 2 2 に達している。孔 2 0 2 内には光電面端子 2 1 が配置され、該光電面端子 2 1 は光電面 2 2 に接触している。なお、この第 1 実施例では、ガラス材料からなる上側フレーム 2 自体が透過窓として機能する。

【 0 0 1 8 】

30

側壁フレーム 3 は、矩形平板状のシリコン基板 3 0 を基材として構成されている。シリコン基板 3 0 の主面 3 0 a からそれに対向する面 3 0 b に向かって、凹部 3 0 1 及び貫通部 3 0 2 が形成されている。凹部 3 0 1 及び貫通部 3 0 2 は共にその開口が矩形であって、凹部 3 0 1 及び貫通部 3 0 2 は互いに連結されており、その外周はシリコン基板 3 0 の外周に沿うように形成されている。

【 0 0 1 9 】

凹部 3 0 1 内には電子増倍部 3 1 が形成されている。電子増倍部 3 1 は、凹部 3 0 1 の底部 3 0 1 a から互いに沿うように立設している複数の壁部 3 1 1 を有する。このように、壁部 3 1 1 それぞれの間には溝部が構成されている。この壁部 3 1 1 の側壁 (各溝部を規定する側壁) 及び底部 3 0 1 a には二次電子放出材料からなる二次電子放出面が形成されている。壁部 3 1 1 は凹部 3 0 1 の長手方向に沿って設けられており、その一端は凹部 3 0 1 の一端と所定の距離を開けて配置され、他端は貫通部 3 0 2 に臨む位置に配置されている。貫通部 3 0 2 内には陽極 3 2 が配置されている。陽極 3 2 は貫通部 3 0 2 の内壁との間に空隙部を設けて配置されており、下側フレーム 4 に陽極接合又は拡散接合によって固定されている。

40

【 0 0 2 0 】

下側フレーム 4 は、矩形平板状のガラス基板 4 0 を基材として構成されている。ガラス基板 4 0 の主面 4 0 a からそれに対向する面 4 0 b に向かって、孔 4 0 1、孔 4 0 2、及び孔 4 0 3 がそれぞれ設けられている。孔 4 0 1 には光電面側端子 4 1 が、孔 4 0 2 には陽極端子 4 2 が、孔 4 0 3 には陽極側端子 4 3 が、それぞれ挿入固定されている。また、

50

陽極端子 4 2 は側壁フレーム 3 の陽極 3 2 に接触している。

【 0 0 2 1 】

図 3 は、図 1 中の I - I 線に沿った光電子増倍管 1 a の構造示す断面図である。既に説明されたように、上側フレーム 2 の凹部 2 0 1 の一端における底部分には光電面 2 2 が形成されている。光電面 2 2 には光電面端子 2 1 が接触しており、光電面端子 2 1 を介して光電面 2 2 に所定電圧が印加される。上側フレーム 2 の主面 2 0 a (図 2 参照) と側壁フレーム 3 の主面 3 0 a (図 2 参照) とが陽極接合又は拡散接合により接合されることにより、上側フレーム 2 が側壁フレーム 3 に固定される。

【 0 0 2 2 】

上側フレーム 2 の凹部 2 0 1 に対応する位置には側壁フレーム 3 の凹部 3 0 1 及び貫通部 3 0 2 が配置されている。側壁フレーム 3 の凹部 3 0 1 には電子増倍部 3 1 が配置されており、凹部 3 0 1 の一端の壁と電子増倍部 3 1 との間には空隙部 3 0 1 b が形成されている。この場合、上側フレーム 2 の光電面 2 2 の直下に側壁フレーム 3 の電子増倍部 3 1 が位置することになる。側壁フレーム 3 の貫通部 3 0 2 内には陽極 3 2 が配置されている。陽極 3 2 は貫通部 3 0 2 の内壁と接しないように配置されているので、陽極 3 2 と貫通部 3 0 2 との間には空隙部 3 0 2 a が形成されている。また、陽極 3 2 は下側フレーム 4 の主面 4 0 a (図 2 参照) に陽極接合又は拡散接合により固定されている。

【 0 0 2 3 】

側壁フレーム 3 の面 3 0 b (図 2 参照) と下側フレーム 4 の主面 4 0 a (図 2 参照) とが陽極接合又は拡散接合されることにより、下側フレーム 4 が側壁フレーム 3 に固定される。このとき、側壁フレーム 3 の電子増倍部 3 1 も下側フレーム 4 に陽極接合又は拡散接合により固定される。それぞれガラス材料からなる上側フレーム 2 及び下側フレーム 4 が側壁フレーム 3 を挟み込んだ状態で、それぞれ該側壁フレームに接合されることにより、当該電子増倍管 1 a の外囲器が得られる。なお、この外囲器内部には空間が形成されており、これら上側フレーム 2、側壁フレーム 3、及び下側フレーム 4 からなる外囲器を組み立てる際に真空気密の処理がなされて該外囲器の内部が真空状態に維持される (詳細は後述する) 。

【 0 0 2 4 】

下側フレーム 4 の光電面側端子 4 0 1 及び陽極側端子 4 0 3 はそれぞれ側壁フレーム 3 のシリコン基板 3 0 に接触しているので、光電面側端子 4 0 1 及び陽極側端子 4 0 3 にそれぞれ所定の電圧を印加することでシリコン基板 3 0 の長手方向 (光電面 2 2 から光電子が放出される方向と交差する方向、電子増倍部 3 1 を二次電子が走行する方向) に電位差を生じさせることができる。また、下側フレーム 4 の陽極端子 4 0 2 は側壁フレーム 3 の陽極 3 2 に接触しているので、陽極 3 2 に到達した電子を信号として取り出すことができる。

【 0 0 2 5 】

図 4 には、側壁フレーム 3 の壁部 3 1 1 近傍の構造が示されている。シリコン基板 3 0 の凹部 3 0 1 内に配置されている壁部 3 1 1 の側壁には凸部 3 1 1 a が形成されている。凸部 3 1 1 a は対向する壁部 3 1 1 に互い違いになるように交互に配置されている。凸部 3 1 1 a は壁部 3 1 1 の上端から下端まで一様に形成されている。

【 0 0 2 6 】

光電子増倍管 1 a は、以下のように動作をする。すなわち、下側フレーム 4 の光電面側端子 4 0 1 には - 2 0 0 0 V が、陽極側端子 4 0 3 には 0 V がそれぞれ印加されている。なお、シリコン基板 3 0 の抵抗は約 1 0 M Ω である。また、シリコン基板 3 0 の抵抗値は、シリコン基板 3 0 のボリューム、例えば厚さを変えることによって調整することができる。例えば、シリコン基板の厚さを薄くすることによって、抵抗値を上げることができる。ここで、ガラス材料からなる上側フレーム 2 を介して光電面 2 2 に光が入射すると、光電面 2 2 から側壁フレーム 3 に向けて光電子が放出される。この放出された光電子は、光電面 2 2 の直下に位置する電子増倍部 3 1 に到達する。シリコン基板 3 0 の長手方向には電位差が生じているので、電子増倍部 3 1 に到達した光電子は陽極 3 2 側へ向かう。電子

10

20

30

40

50

増倍部 3 1 は複数の壁部 3 1 1 で規定される溝が形成されている。したがって、光電面 2 2 から電子増倍部 3 1 に到達した光電子は壁部 3 1 1 の側壁及び互いに対向する側壁 3 1 1 間の底部 3 0 1 a に衝突し、複数の二次電子を放出する。電子増倍部 3 1 では次々に二次電子のカスケード増倍が行われ、光電面から電子増倍部への到達する電子 1 個当たり $10^5 \sim 10^7$ 個の二次電子が生成される。この生成された二次電子は陽極 3 2 に到達し、陽極端子 4 0 2 から信号として取り出される。

【 0 0 2 7 】

次に、溝部を規定する壁部 3 1 1 の表面に設けられる凸部 3 1 1 a の機能について図 5 を用いて説明する。

【 0 0 2 8 】

まず、図 5 中の領域 (a) には、比較例として、表面に凸部が設けられていない壁部 3 1 1 によって規定された電子増倍部 3 1 の溝部が示されている。図 5 中の領域 (a) に示されたような構造の場合、溝部を進行する電子が壁部 3 1 1 に衝突することなく陽極に到達する可能性が高くなるため、該壁部表面に形成された二次電子放出面への衝突回数の減少により電子増倍率が著しく低下する可能性がある。また、呼応電子増倍管 1 a 内部のガスに電子が衝突することにより発生する正イオンが、例えば溝部の陽極側端部近傍で発生した場合には、最大で溝部の陽極側端部から光電面側端部までの電位差 D に相当するエネルギーを有して、電子の走行方向とは逆の方向に走行する。そのため、光電面 2 2 に入射してしまったり、あるいは電位差に相当するエネルギーをもって壁部 3 1 1 に衝突することで、擬似二次電子が放出され、出力電流特性が悪化してしまう可能性がある。

【 0 0 2 9 】

一方、図 5 中の領域 (b) に示されたように、電子増倍部 3 1 の溝部を規定する壁部 3 1 1 の表面に凸部 3 1 1 a が設けられた構造では、上述のような課題は解決され、飛躍的に電子増倍効率を向上させることが可能になる。

【 0 0 3 0 】

すなわち、1つの溝部を規定する一方の壁部の表面に設けられた凸部と、他方の壁部の表面に設けられた凸部とが、光電面側から陽極側へ向かう電子の進行方向に沿って交互に配置された構成では、壁部に衝突することなく陽極 3 2 に到達する確率が飛躍的に低下していく。このため、光電面 2 2 からの電子は、少なくともいずれか一方の壁部 (二次電子放出面) に衝突する可能性が高まり、十分な電子増倍効率を得られることになる。

【 0 0 3 1 】

なお、凸部 3 1 1 a の高さ B は、互いに隣接する壁部 3 1 1 の間隔 A に対して、 $B = A / 2$ なる関係を満たすのがより好ましい (図 6 参照) 。この場合、陽極 3 2 に向かって溝部を進行する電子は、直線軌道を取りえなくなるため、該電子は少なくとも一回は一方の壁部のいずれかに衝突することにより、確実に二次電子増倍率の向上に寄与しえるからである。

【 0 0 3 2 】

なお、上述の実施例では、透過型の光電子電子増倍管について説明したが、この発明に係る光電子増倍管は、反射型であってもよい。例えば、電子増倍部 3 1 の陽極側端とは逆側の端部に光電面を形成することにより、反射型の光電子増倍管が得られる。また、電子増倍部 3 1 の陽極側とは逆の端部側に傾斜面を形成し、この傾斜面上に光電面を形成することによっても反射型の光電子増倍管が得られる。いずれの構造でも、他の構造は上述の電子増倍管 1 a と同様の構造を有した状態で、反射型の光電子増倍管が得られる。

【 0 0 3 3 】

また、上述の実施例では、外囲器内に配置される電子増倍部 3 1 が側壁フレーム 3 を構成するシリコン基板 3 0 と接触した状態で一体形成されている。しかしながら、このように側壁フレーム 3 と電子増倍部 3 1 とが接触した状態では、該電子増倍部 3 1 が側壁フレーム 3 を介した外部雑音の影響を受けてしまい、検出精度が低下する可能性がある。そこで、側壁フレーム 3 と一体的に形成される電子増倍部 3 1 及び陽極 3 2 は、該側壁フレーム 3 から所定距離離間した状態で、ガラス基板 4 0 (下側フレーム 4) にそれぞれ配置さ

10

20

30

40

50

れてもよい。

【0034】

さらに、上述の実施例では、外囲器の一部を構成する上側フレーム2がガラス基板20で構成されており、このガラス基板20自体が透過窓と機能している。しかしながら、上側フレーム2はシリコン基板で構成されてもよい。この場合、該上側フレーム2又は側壁フレーム3の何れかに、透過窓が形成される。透過窓の形成方法は、例えば、スパッタガラス基板の両面がシリコン基板で挟まれたSOI (Silicon On Insulator) 基板の両面をエッチングし、露出したスパッタガラス基板の一部を透過窓として利用することができる。また、シリコン基板に数 μm で柱状又はメッシュ状のパターンを形成し、この部分を熱酸化させることでガラス化してもよい。また、透過窓形成域のシリコン基板を厚さ数 μm 程度になるようエッチングし、熱酸化させることでガラス化させてもよい。この場合、シリコン基板の両面からエッチングしてもよいし、片側のみからエッチングしてもよい。

10

【0035】

次に、図1に示された光電子増倍管1aの製造方法について説明する。当該光電子増倍管を製造する場合には、直径4インチのシリコン基板(図2の側壁フレーム3の構成材料)と、同形状の2枚のガラス基板(図2の上側フレーム2及び下側フレーム4の構成材料)とが準備される。それらには、微小な領域(例えば、数ミリ四方)ごとに以下に説明する加工が施される。以下に説明する加工が終了すると領域ごとに分割して光電子増倍管が完成する。引き続いて、その加工方法について、図7及び図8を用いて説明する。

【0036】

20

まず、図7中の領域(a)に示されたように、厚さ0.3mm、比抵抗 $30\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ のシリコン基板50(側壁フレーム3に相当)が準備される。このシリコン基板50の両面にそれぞれシリコン熱酸化膜60及びシリコン熱酸化膜61が形成される。シリコン熱酸化膜60及びシリコン熱酸化膜61は、DEEP-RIE(Reactive Ion Etching)加工時のマスクとして機能する。続いて、図7中の領域(b)に示されたように、レジスト膜70がシリコン基板50の裏面側に形成される。レジスト膜70には、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する除去部701が形成されている。この状態でシリコン熱酸化膜61がエッチングされると、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙部に対応する除去部611が形成される。

【0037】

30

図7中の領域(b)に示された状態からレジスト膜70が除去された後、DEEP-RIE加工が行われる。図7中の領域(c)に示されたように、シリコン基板50には、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する空隙部501が形成される。続いて、図7中の領域(d)に示されたように、レジスト膜71がシリコン基板50の表面側に形成される。レジスト膜71には、図2の壁部311と凹部301との間の空隙に対応する除去部711と、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する除去部712と、図2の壁部311相互の間の溝に対応する除去部(図示せず)と、が形成されている。この状態でシリコン熱酸化膜60がエッチングされると、図2の壁部311と凹部301との間の空隙に対応する除去部601と、図2の貫通部302と陽極32との間の空隙に対応する除去部602と、図2の壁部311相互の間の溝に対応する除去部(図示せず)と、が形成される。

40

【0038】

図7中の領域(d)の状態からシリコン熱酸化膜61が除去された後、シリコン基板50の裏面側にガラス基板80(下側フレーム4に相当)が陽極接合される(図7中の領域(e)参照)。このガラス基板80には、図2の孔401に相当する孔801、図2の孔402に対応する孔802、図2の孔403に対応する孔803がそれぞれ予め加工されている。続いて、シリコン基板50の表面側では、DEEP-RIE加工が行われる。レジスト膜71はDEEP-RIE加工時のマスク材として機能し、アスペクト比の高い加工を可能にする。DEEP-RIE加工後、レジスト膜71及びシリコン熱酸化膜61が除去される。図8中の領域(a)に示されたように、予め裏面から空隙部501の加工が

50

なされていた部分についてはガラス基板 80 に到達する貫通部が形成されることにより、図 2 の陽極 32 に相当する島状部 52 が形成される。この陽極 32 に相当する島状部 52 はガラス基板 80 に陽極接合により固定される。また、この DEEP - RIE 加工の際に、図 2 の壁部 311 間の溝に相当する溝部 51 と、図 2 の壁部 311 と凹部 301 との空隙に相当する凹部 503 とも形成される。ここで、溝部 51 の側壁及び底部 301a には二次電子放出面が形成される。

【0039】

続いて、図 8 中の領域 (b) に示されたように、上側フレーム 2 に相当するガラス基板 90 が準備される。ガラス基板 90 には座ぐり加工で凹部 901 (図 2 の凹部 201 に相当) が形成されており、ガラス基板 90 の表面から凹部 901 に至るように孔 902 (図 2 の孔 202 に相当) が設けられている。図 8 中の領域 (c) に示されたように、図 2 の光電面端子 21 に相当する光電面端子 92 が孔 902 に挿入固定されるとともに、凹部 901 には光電面 91 が形成される。

【0040】

図 8 中の領域 (a) まで加工が進んだシリコン基板 50 及びガラス基板 80 と、図 8 中の領域 (c) まで加工が進んだガラス基板 90 とが、図 8 中の領域 (d) に示されたように、真空気密の状態での陽極接合又は拡散接合により接合される。その後、図 2 の光電面側端子 41 に相当する光電面側端子 81 が孔 801 に、図 2 の陽極端子 42 に相当する陽極端子 82 が孔 802 に、図 2 の陽極側端子 43 に相当する陽極側端子 83 が孔 803 に、それぞれ挿入固定されることで、図 8 中の領域 (e) に示された状態となる。この後、チップ単位で切り出されることにより、図 1 及び図 2 に示されたような構造を有する光電子増倍管が得られる。

【0041】

図 9 は、この発明に係る光電子増倍管の他の構造を示す図である。この図 9 には、光電子増倍管 10 の断面構造が示されている。光電子増倍管 10 は、図 9 中の領域 (a) に示されたように、上側フレーム 11 と、側壁フレーム 12 (シリコン基板) と、第 1 下側フレーム 13 (ガラス部材) と、第 2 下側フレーム (基板) とがそれぞれ陽極接合されて構成されている。上側フレーム 11 はガラス材料からなり、その側壁フレーム 12 に対向する面には凹部 11b が形成されている。この凹部 11b の底部のほぼ全面に渡って光電面 112 が形成されている。光電面 112 に電位を与える光電面電極 113 と、後述される表面電極に接する表面電極端子 111 は、それぞれ凹部 11b の一端及び他端にそれぞれ配置されている。

【0042】

側壁フレーム 12 は、シリコン基板 12a に管軸方向と平行に多数の孔 121 が設けられている。この孔 121 の内面は電子を衝突させるための凸部 121a が設けられており、この凸部 121a を含めて該穴 21 の内面には二次電子放出面が形成されている。また、孔 121 それぞれの両端の開口部近傍には表面電極 122 及び裏面電極 123 が配置されている。図 9 中の領域 (b) には、孔 121 及び表面電極 122 の位置関係が示されている。この図 9 中の領域 (b) に示されたように、孔 121 に臨むように表面電極 122 が配置されている。なお、裏面電極 123 についても同様である。表面電極 122 は表面電極端子 111 に接触し、裏面電極 123 には裏面電極端子 143 が接触している。したがって、側壁フレーム 12 には孔 121 の軸方向に電位が発生し、光電面 112 から放出された光電子は孔 121 内を図中下方に進行する。

【0043】

第 1 下側フレーム 13 は、側壁フレーム 12 と第 2 下側フレーム 14 とを連結するための部材であって、側壁フレーム 12 と第 2 下側フレーム 14 との双方に陽極接合されている (拡散接合されてもよい)。

【0044】

第 2 下側フレーム 14 は、多数の孔 141 が設けられたシリコン基板 14a で構成されている。この孔 141 それぞれに陽極 142 が挿入固定されている。

【 0 0 4 5 】

図 9 に示された光電子増倍管 1 0 では、図中上方から入射した光は、上側フレーム 1 1 のガラス基板を透過して光電面 1 1 2 に入射する。この入射光に応じて光電面 1 1 2 から側壁フレーム 1 2 に向かって光電子が放出される。放出された光電子は第 1 下側フレーム 1 3 の孔 1 2 1 に入る。孔 1 2 1 に入った光電子は孔 1 2 1 の内壁に衝突しながら二次電子を生成し、生成された二次電子が第 2 下側フレーム 1 4 に向かって放出される。この放出された二次電子を陽極 1 4 2 が信号として取り出す。

【 0 0 4 6 】

次に、上述のような構造を有する光電子増倍管 1 a が適用される光モジュールについて説明する。図 1 0 中の領域 (a) は、光電子増倍管 1 a が適用された分析モジュールの構造を示す図である。分析モジュール 8 5 は、ガラスプレート 8 5 0 と、ガス導入管 8 5 1 と、ガス排気管 8 5 2 と、溶媒導入管 8 5 3 と、試薬混合反応路 8 5 4 と、検出部 8 5 5 と、廃液溜 8 5 6 と、試薬路 8 5 7 を備える。ガス導入管 8 5 1 及びガス排気管 8 5 2 は、分析対象となるガスを分析モジュール 8 5 に導入又は排気するために設けられている。ガス導入管 8 5 1 から導入されたガスは、ガラスプレート 8 5 0 上に形成された抽出路 8 5 3 a を通り、ガス排気管 8 5 2 から外部に排出される。したがって、溶媒導入管 8 5 3 から導入された溶媒を抽出路 8 5 3 a を通すことによって、導入されたガス中に特定の関心物質 (例えば、環境ホルモンや微粒子) が存在した場合、それらを溶媒中に抽出することができる。

【 0 0 4 7 】

抽出路 8 5 3 a を通った溶媒は、抽出した関心物質を含んで試薬混合反応路 8 5 4 に導入される。試薬混合反応路 8 5 4 は複数あり、試薬路 8 5 7 からそれぞれに対応する試薬が導入されることで、試薬が溶媒に混合される。試薬が混合された溶媒は反応を行いながら試薬混合反応路 8 5 4 を検出部 8 5 5 に向かって進行する。検出部 8 5 5 において関心物質の検出が終了した溶媒は廃液溜 8 5 6 に廃棄される。

【 0 0 4 8 】

検出部 8 5 5 の構成を、図 1 0 中の領域 (b) を参照しながら説明する。検出部 8 5 5 は、発光ダイオードアレイ 8 5 5 a と、光電子増倍管 1 a と、電源 8 5 5 c と、出力回路 8 5 5 b を備える。発光ダイオードアレイ 8 5 5 a は、ガラスプレート 8 5 0 の試薬混合反応路 8 5 4 それぞれに対応して複数の発光ダイオードが設けられている。発光ダイオードアレイ 8 5 5 a から出射された励起光 (図中実線矢印) は、試薬混合反応路 8 5 4 に導かれる。試薬混合反応路 8 5 4 には関心物質が含まれる溶媒が流れており、試薬混合反応路 8 5 4 内において関心物質が試薬と反応した後、検出部 8 5 5 に対応する試薬混合反応路 8 5 4 に励起光が照射され、蛍光又は透過光 (図中破線矢印) が光電子増倍管 1 a に到達する。この蛍光又は透過光は光電子増倍管 1 a の光電面 2 2 に照射される。

【 0 0 4 9 】

既に説明したように光電子増倍管 1 a には複数の溝 (例えば 2 0 チャンネル相当分) を有する電子増倍部が設けられているので、どの位置の (どの試薬混合反応路 8 5 4 の) 蛍光又は透過光が変化したのかを検出できる。この検出結果は出力回路 8 5 5 b から出力される。また、電源 8 5 5 c は光電子増倍管 1 a を駆動するための電源である。なお、ガラスプレート 8 5 0 上にはガラス薄板 (図示しない) が配置されていて、ガス導入管 8 5 1、ガス排気管 8 5 2、溶媒導入管 8 5 3 とガラスプレート 8 5 0 との接点部及び廃液溜 8 5 6 と試薬路 8 5 7 の試料注入部を除き、抽出路 8 5 3 a、試薬混合反応路 8 5 4、試薬路 8 5 7 (試料注入部を除く) 等を覆っている。

【 0 0 5 0 】

以上のようにこの発明によれば、電子増倍部 3 1 の溝部を規定する壁部 3 1 1 の表面に所望の高さを有する凸部 3 1 1 a が設けられることにより、電子増倍効率を飛躍的に向上させる。

【 0 0 5 1 】

また、電子増倍部 3 1 にはシリコン基板 3 0 a を微細加工することにより溝が形成され

10

20

30

40

50

ており、また、シリコン基板 30a はガラス基板 40a に陽極接合又は拡散接合されているため、振動する部分がない。したがって、各実施形態に係る光電子増倍管は耐震性、耐衝撃性に優れている。

【0052】

陽極 32 は、ガラス基板 40a に陽極接合又は拡散接合されているため、溶接時の金属飛沫がない。このため、各実施例に係る光電子増倍管は電気的な安定性や耐震性、耐衝撃性が向上している。陽極 32 は、その下面全体でガラス基板 40a と陽極接合又は拡散接合されるため、衝撃、振動で陽極 32 が振動しない。このため、当該光電子増倍管は耐震性、耐衝撃性が向上している。

【0053】

また、当該電子増倍管の製造では、内部構造を組み立てる必要がなく、ハンドリングが簡単のため作業時間が短い。上側フレーム 2、側壁フレーム 3、及び下側フレーム 4 によって構成される外囲器（真空容器）と内部構造が一体的に構成されているので容易に小型化できる。内部には個々の部品がないため、電気的、機械的な接合が不要である。

【0054】

上側フレーム 2、側壁フレーム 3、及び下側フレーム 4 によって構成される外囲器の封止には特別な部材を必要としないため、この発明に係る光電子増倍管のようにウェハーサイズでの封止が可能である。封止後にダイシングして複数の光電子増倍管を得るため、作業が容易であって安価に製作できる。

【0055】

陽極接合又は拡散接合による封止のため異物が発生しない。このため、当該光電子増倍管は電気的な安定性や耐震性、耐衝撃性が向上している。

【0056】

電子増倍部 31 では、壁部 311 で構成される複数の溝の側壁に電子が衝突しながらスケード増倍していく。このため、構造が簡単で多くの部品を必要としないため容易に小型化可能である。

【0057】

上述のような構造を有する光電子増倍管が適用された分析モジュール 85 によれば、微小な粒子の検出が可能となる。また、抽出から反応、検出までを連続して行うことができる。

【0058】

以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想および範囲から逸脱するものとは認めことはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

【産業上の利用可能性】

【0059】

この発明に係る光電子増倍管は、微弱光の検出を必要とする種々の検出分野への適用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図 1】この発明に係る光電子増倍管の一実施例の構成を示す斜視図である。

【図 2】図 1 に示された光電子増倍管の組立工程図である。

【図 3】図 1 中の I - I 線に沿った光電子増倍管の構造を示す断面図である。

【図 4】図 1 に示された光電子増倍管における電子増倍部の構造を示す斜視図である。

【図 5】電子増倍部における溝部に設けられた凸部の機能について説明するための図である。

【図 6】電子増倍部における溝部に設けられた凸部と、該溝部を規定する壁部との関係を説明するための図である。

【図 7】図 1 に示された光電子増倍管の製造工程を説明するための図である（その 1）。

【図 8】図 1 に示された光電子増倍管の製造工程を説明するための図である（その 2）。

10

20

30

40

50

【図 9】この発明に係る光電子増倍管他の構造を示す図である。

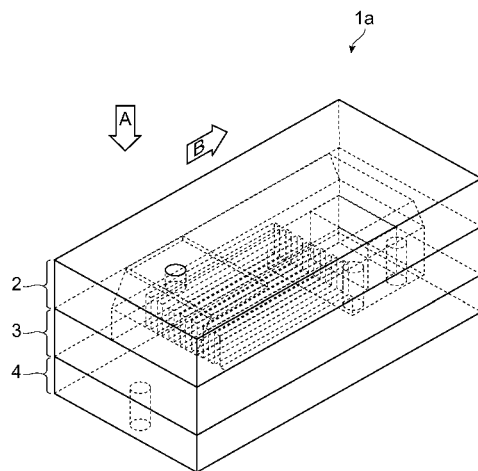
【図 10】この発明に係る光電子増倍管が適用された検出モジュールの構成を示す図である。

【符号の説明】

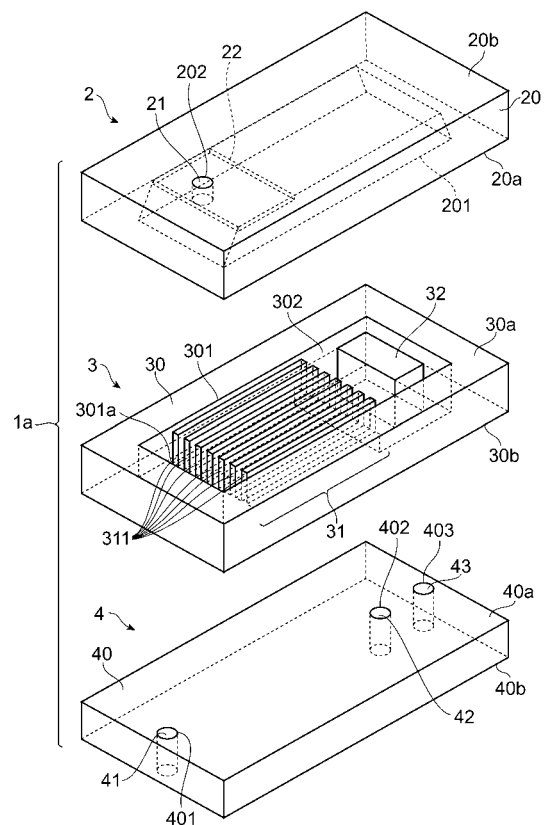
【 0 0 6 1 】

1 a ... 光電子増倍管、2 ... 上側フレーム、3 ... 側壁フレーム、4 ... 下側フレーム（ガラス基板）、2 2 ... 光電面、3 1 ... 電子増倍部、3 2 ... 陽極、4 2 ... 陽極端子。

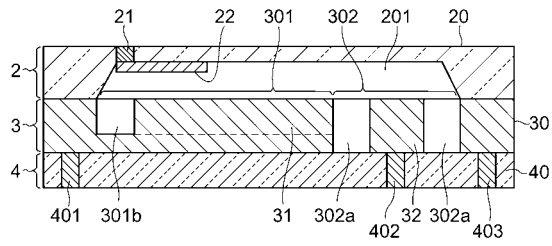
【図 1】



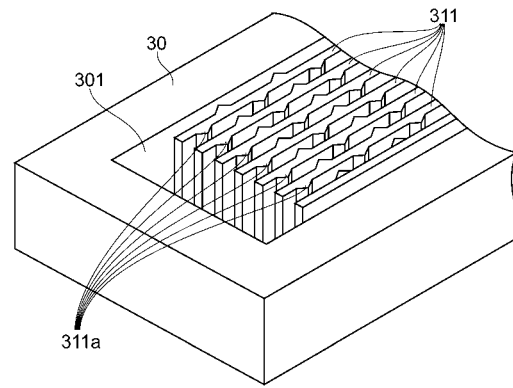
【図 2】



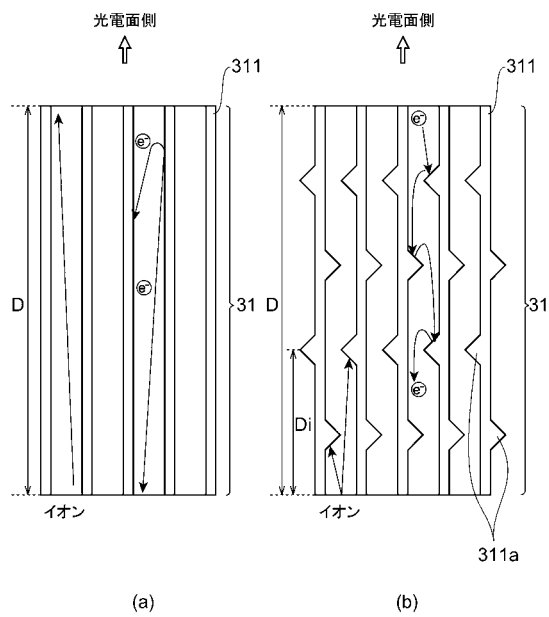
【図 3】



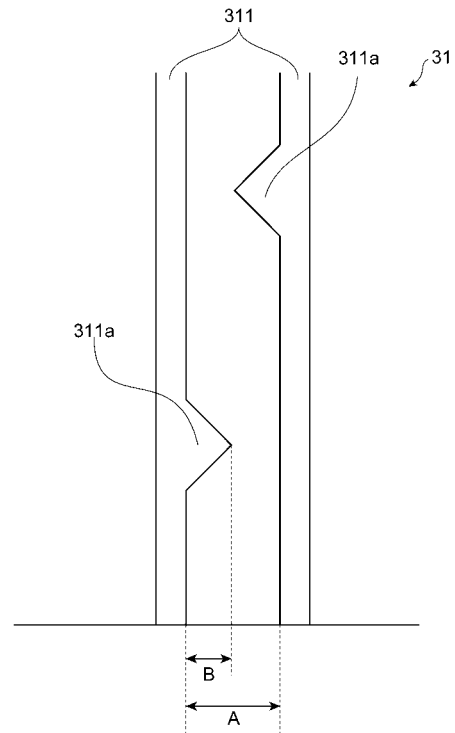
【図 4】



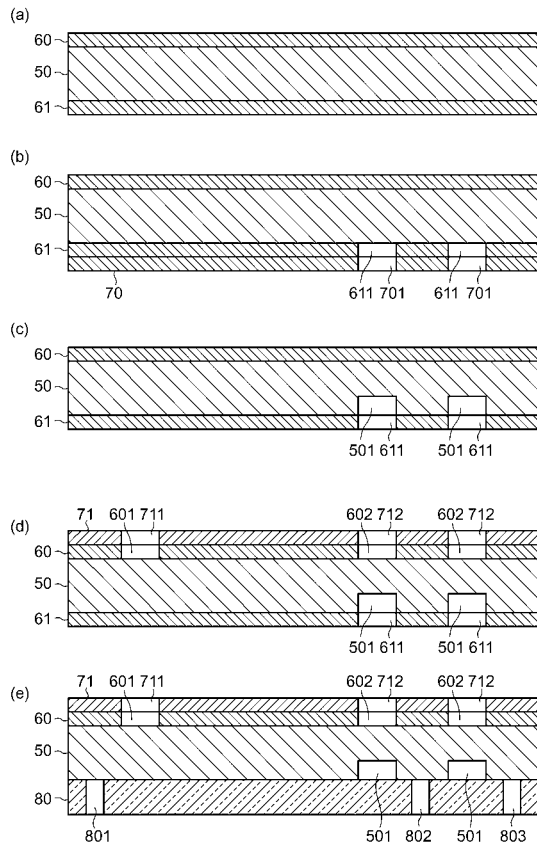
【図 5】



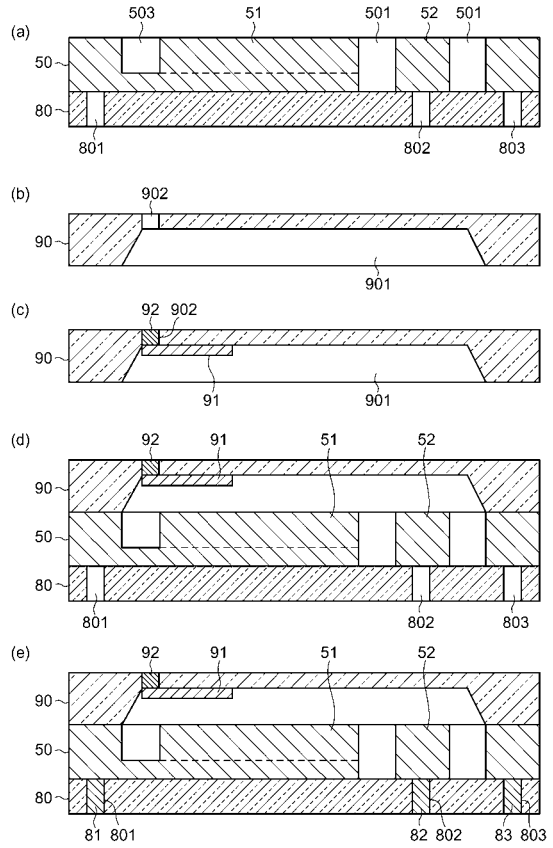
【図 6】



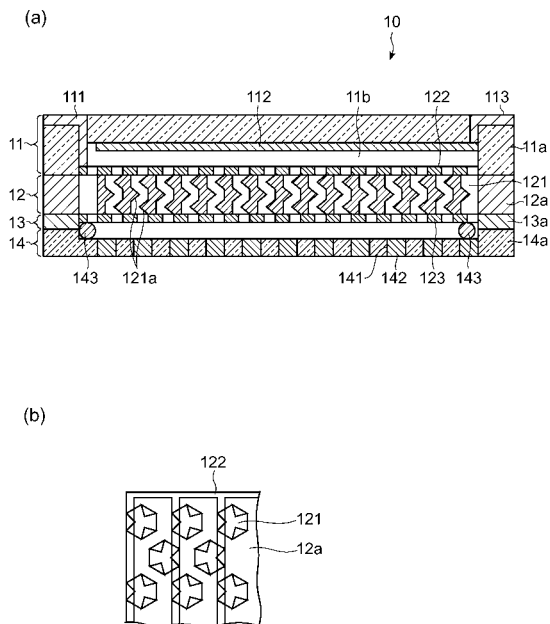
【図 7】



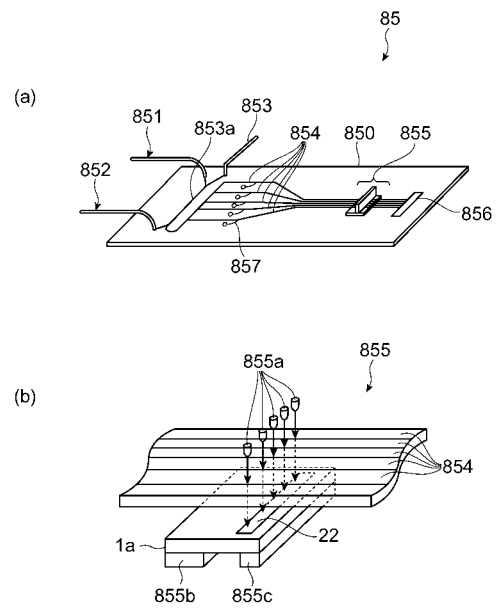
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 影山 明広
静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 井上 圭祐
静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 伊藤 益保
静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 堀部 修平

- (56)参考文献 米国特許第 0 5 5 6 8 0 1 3 (U S , A)
米国特許第 0 3 2 4 4 9 2 2 (U S , A)
特開平 0 5 - 1 4 4 4 1 0 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 1 3 8 5 1 (J P , A)
米国特許第 0 3 3 7 4 3 8 0 (U S , A)
特公昭 5 0 - 0 1 6 1 4 5 (J P , B 1)
米国特許第 0 3 3 7 5 1 8 4 (U S , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H01J 43/00-43/30