

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5000137号
(P5000137)

(45) 発行日 平成24年8月15日 (2012. 8. 15)

(24) 登録日 平成24年5月25日 (2012. 5. 25)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 J 43/26 (2006. 01)	HO 1 J 43/26
HO 1 J 43/28 (2006. 01)	HO 1 J 43/28
HO 1 J 40/06 (2006. 01)	HO 1 J 40/06

請求項の数 13 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2005-518022 (P2005-518022)	(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/JP2005/002298		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	W02005/078760	(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】 光電子増倍管及びその製造方法

(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であって、少なくともその一部が、平坦部を有するガラス基板により構成された外囲器と、

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光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状態で前記ガラス基板における前記平坦部の所定領域上に配置された電子増倍部であって、前記光電面から放出された光電子をカスケード増倍する電子増倍部と、そして、

前記外囲器内に収納された状態で前記ガラス基板における前記平坦部のうち前記電子増倍部が配置された領域を除く領域上に配置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、

前記外囲器は、少なくとも、前記電子増倍部及び前記陽極を取り囲む形状を有する側壁フレームであって、前記電子増倍部及び前記陽極とともにシリコン材料からなる側壁フレームとを備え、

前記側壁フレームは、前記電子増倍部及び前記陽極から所定距離離間した状態で、前記ガラス基板における前記平坦部のうち前記電子増倍部及び前記陽極が配置された領域を除く領域上に配置されたことを特徴とする光電子増倍管。

【請求項 2】

前記外囲器は、前記ガラス基板である下側フレームと、該下側フレームに対向する上側フ

10

20

レーンと、これら上側フレーム及び下側フレームの間に設けられた前記側壁フレームとにより構成されたことを特徴とする請求項1記載の光電子増倍管。

【請求項3】

前記上側フレームは、ガラス材料及びシリコン材料のいずれかからなることを特徴とする請求項2記載の光電子増倍管。

【請求項4】

前記上側フレームは、ガラス材料からなり、

前記下側フレームとともに前記側壁フレームを挟むよう、前記上側フレームは陽極接続又は拡散接合により前記側壁フレームに接合されていることを特徴とする請求項2記載の光電子増倍管。

10

【請求項5】

前記上側フレームは、前記外囲器内に光を取り込むための透過窓を備えることを特徴とする請求項3記載の光電子増倍管。

【請求項6】

前記側壁フレームは、前記外囲器内に光を取り込むための透過窓を備えることを特徴とする請求項1記載の光電子増倍管。

【請求項7】

前記外囲器の一部を構成する、ガラス材料からなる下側フレームを用意し、

前記外囲器の一部を構成する側壁フレームであって、一つのシリコン基板をエッチング加工することにより前記電子増倍部及び前記陽極とともに形成された側壁フレームを用意し、

20

前記外囲器の一部を構成する上側フレームを用意し、そして、

前記側壁フレームを、前記電子増倍部及び前記陽極とともに、前記下側フレームに固定する請求項1記載の光電子増倍管を製造する方法。

【請求項8】

下側フレーム、側壁フレーム、及び上側フレームで構成されるとともに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とを備えた光電子増倍管を製造する方法であって、

前記外囲器の一部を構成する、ガラス材料からなる下側フレームを用意し、

30

前記外囲器の一部を構成する側壁フレームであって、一つのシリコン基板をエッチング加工することにより前記電子増倍部及び前記陽極とともに形成された側壁フレームを用意し、

前記外囲器の一部を構成する上側フレームを用意し、そして、

前記側壁フレームを、前記電子増倍部及び前記陽極とともに、前記下側フレームに固定する方法。

【請求項9】

前記上側フレームは、ガラス材料からなり、

前記下側フレームとともに前記側壁フレームを挟むよう、前記上側フレームは陽極接続又は拡散接合により前記側壁フレームに接合されていることを特徴とする請求項7又は8記載の方法。

40

【請求項10】

前記上側フレームは、シリコン材料からなり、前記下側フレームとともに前記側壁フレームを挟むよう、該側壁フレームに接合されていることを特徴とする請求項7又は8記載の方法。

【請求項11】

前記上側フレームには、前記外囲器内に光を取り込むための透過窓が形成されていることを特徴とする請求項7、8又は10記載の方法。

【請求項12】

前記側壁フレームには、前記外囲器内に光を取り込むための透過窓が形成されていること

50

を特徴とする請求項 7、8 又は 10 記載の方法。

【請求項 13】

前記下側フレームは平坦部を有し、

前記側壁フレーム、前記電子増倍部及び前記陽極は、互いに所定距離離間した状態になるように、前記下側フレームの前記平坦部上に二次元的に配置されることを特徴とする請求項 7 又は 8 記載の方法。

【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及びその製造方法に関するものである。

10

【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）。

20

【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。

30

【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、高い検出精度を維持した状態で従来よりも容易に小型化が可能になる構造であって、微細加工のし易い構造を備えた光電子増倍管及びその製造方法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。

40

【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、少なくともその一部が、平坦部を有するガラス基板により構成されている。また、上記光電面は、外囲器を介して取り込まれた光に応じて光電子を該外囲器の内部に放出する。上記電子増倍部は、上記ガラス基板における平坦部の所定領域上に配置され、光電面から放出された光電子をカスケード増

50

倍する。上記陽極は、ガラス基板における平坦部のうち電子増倍部が配置された領域を除く領域上に配置され、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電極として機能する。このように、上記電子増倍部及び上記陽極は、上記ガラス基板における平坦部上に二次元的に配置されており、装置全体の小型化が可能になる。

【0008】

また、上記外囲器は、ガラス基板である下側フレームと、該下側フレームに対向する上側フレームと、これら上側フレーム及び下側フレームの間に設けられ、上記電子増倍部及び陽極を取り囲む形状を有する側壁フレームとを備えるのが好ましい。特に、上記側壁フレームは、一つのシリコン基板をエッチング加工することにより電子増倍部及び陽極とともに一体的に形成されるのが好ましい。このような構造により、微細加工が容易に実現でき、より小型の光電子増倍管が得られる。この場合、側壁フレームと一体的に形成される電子増倍部及び陽極もシリコン材料からなることになる。なお、上記ガラス基板へのこれら電子増倍部及び陽極の固定は、溶接以外の方法で行うのが好ましい。例えば、ガラス基板に、シリコン材料からなる電子増倍部及び陽極を、陽極接合及び拡散接合のいずれかにより固定するのが好ましい。勿論、側壁フレームとガラス基板（下側フレーム）との接合も陽極接合及び拡散接合のいずれかにより接合される。このような陽極接合や拡散接合による固定で、溶接などの際に生じる異物の発生といった事態を極力回避できる。

10

【0009】

なお、上記電子増倍部は光電面が光電子を放出する方向と交わる方向に電子を走行させるように延びる複数の溝部を有する。電子増倍部の溝部は、光電面が光電子を放出する方向と交わる方向に沿って電子を走行させるように延びているので、光電面が光電子を放出する方向に沿って電子増倍部が形成された構造と比較して小型化を図ることが可能になる。

20

【0010】

この発明に係る光電子増倍管において、電子増倍部は、各溝部を規定する一对の側壁それぞれに電子を衝突させてカスケード増倍が行われる。各溝部を規定する一对の側壁それぞれに電子を衝突させることにより効率的なカスケード増倍が行われる。この発明に係る光電子増倍管において、各溝部を規定する側壁には凸部が設けられるのが好ましい。側壁に凸部が設けられることにより、所定の距離で電子が側壁に衝突することになるので、より効率的なカスケード増倍が可能になる。

30

【0011】

この発明に係る光電子増倍管において、上記電子増倍部及び陽極は、外囲器の一部を構成する側壁フレームから所定距離離間した状態で、ガラス基板における平坦部上にそれぞれ配置されるのが好ましい。この場合、電子増倍部及び陽極のそれぞれは、側壁フレームを介した外部雑音の影響を極力低減することができ、高い検出精度が得られる。

【0012】

この発明に係る光電子増倍管において、上記上側フレームは、ガラス材料及びシリコン材料のいずれかからなるのが好ましい。上記上側フレームがガラス材料からなる場合、上記ガラス基板（下側フレーム）と側壁フレームとの接合同様に、上側フレームも、下側フレームとともに側壁フレームを挟むよう、陽極接合又は拡散接合により側壁フレームに接合されるのが好ましい。このように、陽極接合及び拡散接合のいずれか（下側フレームと側壁フレームとの接合、及び、側壁フレームと上側フレームとの接合）により外囲器が真空封止されるので、当該外囲器を容易に加工することができる。また、ガラス材料からなる上側フレームは、それ自体が透過窓として機能し得る。

40

【0013】

なお、上記上側フレームは、シリコン材料からなってもよい。この場合、外囲器内に収納された光電面に向けて所定波長の光を通過させるため、該上側フレームには透過窓が形成される。この透過窓は、側壁フレームに設けられてもよい。

【0014】

50

上述のような構造を有する光電子増倍管を製造する方法（この発明に係る光電子増倍管の製造方法）では、まず、上記外囲器の一部を構成する、ガラス材料からなる下側フレーム、上記外囲器の一部を構成する側壁フレームであって、一つのシリコン基板をエッチング加工することにより電子増倍部及び陽極とともに形成された側壁フレーム、及び、上記外囲器の一部を構成する上側フレームのそれぞれが用意される。

【0015】

続いて、上記側壁フレームは、電子増倍部及び陽極とともに、陽極接合及び拡散接合のいずれかにより、一体的に上記下側フレームに固定される。

【0016】

なお、この発明に係る光電子増倍管の製造方法では、上述のような側壁フレームが電子増倍部及び陽極と一体的に形成されたシリコンフレームである必要はない。当該製造方法は、下側フレーム、側壁フレーム、及び上側フレームで構成されるとともに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とを備えた光電子増倍管の製造に適用可能である。この場合、まず、上記外囲器の一部を構成するガラス材料からなる下側フレーム、上記外囲器の一部を構成する、シリコン材料からなる側壁フレーム、上記外囲器の一部を構成する上側フレームのそれぞれが用意される。そして、この側壁フレームが、陽極接合及び拡散接合のいずれかにより下側フレームに固定される。

【0017】

ここで、上記上側フレームがガラス材料からなる場合、記下側フレームとともに側壁フレームを挟むよう、当該上側フレームは陽極接合及び拡散接合のいずれかにより側壁フレームに接合される。

【0018】

一方、上記上側フレームがシリコン材料からなる場合、該上側フレームには、透過窓が形成される。なお、透過窓が形成される場所は、上側フレームには限定されず、例えば、上記側壁フレームに透過窓が形成されてもよい。

【0019】

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るべきではない。

【0020】

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】

【0021】

この発明によれば、高い検出精度を維持した状態で、微細加工を容易に実現可能な構造を有する光電子増倍管が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】は、この発明に係る光電子増倍管の第1実施例（透過型）の構成を示す斜視図である。

【図2】は、図1に示された第1実施例に係る光電子増倍管の組立工程図である。

【図3】は、図1中のI-I線に沿った第1実施例に係る光電子増倍管の構造を示す断面図である。

【図4】は、第1実施例に係る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】は、第1実施例に係る光電子増倍管の製造方法を説明するための図である（その1）。

10

20

30

40

50

【図 6】は、第 1 実施例に係る光電子増倍管の製造方法を説明するための図である（その 2）。

【図 7】は、この発明に係る光電子増倍管の第 2 実施例（反射型）の構造を示す図である。

【図 8】は、この発明に係る光電子増倍管の第 3 実施例（反射型）の構造を示す断面図である。

【図 9】は、この発明に係る光電子増倍管の第 4 実施例の構造を示す図である。

【図 10】は、透過窓の形成方法を説明するための図である（その 1）。

【図 11】は、透過窓の形成方法を説明するための図である（その 2）。

【図 12】は、透過窓の形成方法を説明するための図である（その 3）。

【図 13】は、この発明に係る光電子増倍管の第 5 実施例の構造を示す図である。

【図 14】は、陽極接合及び拡散接合のそれぞれを説明するための図である。

【図 15】は、この発明に係る光電子増倍管の製造方法によって製造可能な光電子増倍管の他の構造を示す図である。

【図 16】は、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】

【0023】

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）、22…光電面、31…電子増倍部、32…陽極、42…陽極端子。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

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 16 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。

（第 1 実施例）

【0025】

図 1 は、この発明に係る光電子増倍管の第 1 実施例の構造を示す斜視図である。この第 1 実施例に係る光電子増倍管 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圍器を備える。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。

【0026】

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 20 を基材として構成されている。ガラス基板 20 の主面 20 a には矩形の凹部 201 が形成されており、凹部 201 の外周はガラス基板 20 の外周に沿うように形成されている。凹部 201 の底部には光電面 22 が形成されている。この光電面 22 は凹部 201 の長手方向の一端近傍に形成されている。ガラス基板 20 の主面 20 a と対向する面 20 b には孔 202 が設けられており、孔 202 は光電面 22 に達している。孔 202 内には光電面端子 21 が配置され、該光電面端子 21 は光電面 22 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。

【0027】

側壁フレーム 3 は、矩形平板状のシリコン基板 30 を基材として構成されている。シリコン基板 30 の主面 30 a からそれに対向する面 30 b に向かって、凹部 301 及び貫通部 302 が形成されている。凹部 301 及び貫通部 302 は共にその開口が矩形であって、凹部 301 及び貫通部 302 は互いに連結されており、その外周はシリコン基板 30 の

10

20

30

40

50

外周に沿うように形成されている。

【0028】

凹部301内には電子増倍部31が形成されている。電子増倍部31は、凹部301の底部301aから互いに沿うように立設している複数の壁部311を有する。このように、壁部311それぞれの間には溝部が構成されている。この壁部311の側壁（各溝部を規定する側壁）及び底部301a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311は凹部301の長手方向に沿って設けられており、その一端は凹部301の一端と所定の距離を開けて配置され、他端は貫通部302に臨む位置に配置されている。貫通部302内には陽極32が配置されている。陽極32は貫通部302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。

10

【0029】

下側フレーム4は、矩形平板状のガラス基板40を基材として構成されている。ガラス基板40の主面40aからそれに対向する面40bに向かって、孔401、孔402、及び孔403がそれぞれ設けられている。孔401には光電面側端子41が、孔402には陽極端子42が、孔403には陽極側端子43が、それぞれ挿入固定されている。また、陽極端子42は側壁フレーム3の陽極32に接触している。

【0030】

図3は、図1中のI-I線に沿った、第1実施例に係る光電子増倍管1aの構造を示す断面図である。既に説明されたように、上側フレーム2の凹部201の一端における底部分には光電面22が形成されている。光電面22には光電面端子21が接触しており、光電面端子21を介して光電面22に所定電圧が印加される。上側フレーム2の主面20a（図2参照）と側壁フレーム3の主面30a（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。

20

【0031】

上側フレーム2の凹部201に対応する位置には側壁フレーム3の凹部301及び貫通部302が配置されている。側壁フレーム3の凹部301には電子増倍部31が配置されており、凹部301の一端の壁と電子増倍部31との間には空隙部301bが形成されている。この場合、上側フレーム2の光電面22の直下に側壁フレーム3の電子増倍部31が位置することになる。側壁フレーム3の貫通部302内には陽極32が配置されている。陽極32は貫通部302の内壁と接しないように配置されているので、陽極32と貫通部302との間には空隙部302aが形成されている。また、陽極32は下側フレーム4の主面40a（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。

30

【0032】

側壁フレーム3の面30b（図2参照）と下側フレーム4の主面40a（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31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1a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）。

40

【0033】

下側フレーム4の光電面側端子401及び陽極側端子403はそれぞれ側壁フレーム3のシリコン基板30に接触しているので、光電面側端子401及び陽極側端子403にそれぞれ所定の電圧を印加することでシリコン基板30の長手方向（光電面22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31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402は側壁フレーム3の陽極32に接触しているので、陽極32に到達した電子を信号として取り出すことができ

50

る。

【0034】

図4には、側壁フレーム3の壁部311近傍の構造が示されている。シリコン基板30の凹部301内に配置されている壁部311の側壁には凸部311aが形成されている。凸部311aは対向する壁部311に互い違いになるように交互に配置されている。凸部311aは壁部311の上端から下端まで一様に形成されている。

【0035】

光電子増倍管1a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401には -2000 V が、陽極側端子403には 0 V がそれぞれ印加されている。なお、シリコン基板30の抵抗は約 $10\text{ M}\Omega$ である。また、シリコン基板30の抵抗値は、シリコン基板30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22に光が入射すると、光電面22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22の直下に位置する電子増倍部31に到達する。シリコン基板30の長手方向には電位差が生じているので、電子増倍部31に到達した光電子は陽極32側へ向かう。電子増倍部31は複数の壁部311で規定される溝が形成されている。したがって、光電面22から電子増倍部31に到達した光電子は壁部311の側壁及び互いに対向する側壁311間の底部301aに衝突し、複数の二次電子を放出する。電子増倍部31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32に到達し、陽極端子402から信号として取り出される。

【0036】

次に、この第1実施例に係る光電子増倍管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5及び図6を用いて説明する。

【0037】

まず、図5中の領域(a)に示されたように、厚さ 0.3 mm 、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5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。

【0038】

図5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5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5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、が形成されている。

）と、が形成される。

【0039】

図5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5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6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。

10

【0040】

続いて、図6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6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。

20

【0041】

図6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6中の領域(c)まで加工が進んだガラス基板90とが、図6中の領域(d)に示されたように、真空気密の状態では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6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。

30

(第2実施例)

【0042】

図7は、この発明に係る光電子増倍管の第2実施例の構造を示す図である。この第2実施例に係る光電子増倍管は、光電面の配置位置が異なる点を除き、第1実施例に係る光電子増倍管と同様の構造を備える、反射型光電面を有する光電子増倍管である。なお、図7中の領域(a)には、第1実施例の組み立て工程を示す図2中に示された側壁フレームに相当するシリコン基板30が示されている。

40

【0043】

この第2実施例において、シリコン基板30には、図7中の領域(a)に示されたように、電子増倍部31の端部のうち陽極32とは逆側に位置する端部に光電面22が形成されている。具体的には、図7中の領域(b)に示されたように、電子増倍部31の陽極32とは逆側の端部において、溝部を規定する壁部311の側面及び壁部間の溝部底部に光電面22が形成されている。

【0044】

この構成により、第2実施例に係る光電子増倍管では、上側フレーム2を構成するガラス基板20を透過窓として通過した光を受けた光電面22から光電子が、陽極32側に向かって放出される。光電面22からの光電子は、陽極32に向かって溝部を伝搬するが、その途中で壁部311の側面及び互いに対向する壁部311間の底部301aに衝突し、

50

二次電子が放出される。このように順次カスケード増倍された電子が陽極 3 2 に到達する（図 7 中の領域（c）参照）。なお、図 7 中の領域（c）には、第 1 実施例の断面構造を示す図 3 に相当する断面図が示されている。

（第 3 実施例）

【0045】

図 8 は、この発明に係る光電子増倍管の第 3 実施例の構造を示す図である。この第 3 実施例も、光電面 2 2 の配置構造が異なる点を除き、第 1 実施例に係る光電子増倍管と同様の構造を備える、反射型光電面を有する光電子増倍管である。

【0046】

この第 3 実施例に係る光電子増倍管では、図 8 に示されたように、光電面 2 2 が、電子増倍部 3 1 を挟んで陽極 3 2 とは逆側の側壁フレーム 3 の内側側面に設けられている。この内側側面は、透過窓として機能する上側フレーム 2 及び電子増倍部 3 1 のそれぞれに対して傾斜しており、この内側側面上に光電面 2 2 が形成されることにより反射型光電面を有する光電子増倍管が得られる。

【0047】

この構成により、第 3 実施例に係る光電子増倍管では、上側フレーム 2 を構成するガラス基板 2 0 を透過窓として通過した光を受けた光電面 2 2 から光電子が、電子増倍部 3 1 に向かって放出される。光電面 2 2 からの光電子は、陽極 3 2 に向かって電子増倍部 3 1 の溝部を伝搬するが、その途中で壁部 3 1 1 の側面及び互いに対向する壁部 3 1 1 間の底部 3 0 1 a に衝突し、二次電子が放出される。このように順次カスケード増倍された電子が陽極 3 2 に到達する。なお、図 8 には、第 1 実施例の断面構造を示す図 3 に相当する断面図が示されている。

（第 4 実施例）

【0048】

上述の第 1～第 3 実施例に係る透過型及び反射型の各光電子増倍管では、外圍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。

【0049】

そこで、第 4 実施例に係る光電子増倍管では、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 を、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）における平坦部上にそれぞれ配置されている。なお、図 9 中の領域（a）は、この第 4 実施例における側壁フレームの斜視図が示されており、図 9 中の領域（b）には、第 1 実施例の断面構造を示す図 3 に相当する断面図が示されている。この図 9 から判るように、この第 4 実施例に係る光電子増倍管は、側壁フレーム 2 から電子増倍部 3 1 及び陽極 3 2 がそれぞれ所定距離離間した下側フレーム 4 であるガラス基板 4 0 に固定されている点を除き、第 1 実施例に係る光電子増倍管と同様の構造を備える、透過型光電面を有する光電子増倍管である。

（第 5 実施例）

【0050】

上述の第 1～第 4 実施例に係る透過型及び反射型の各光電子増倍管において、上側フレーム 2 はガラス基板 2 0 で構成されており、このガラス基板 2 0 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。図 10 及び図 11 は、シリコン材料からなる上側フレーム 2 又は側壁フレーム 3 に設けられる透過窓の形成方法を説明するための図である。

【0051】

例えば、図 10 は、上側フレーム 2 として SOI（Silicon On Insulator）基板が適用される場合の透過窓生成工程を示す図である。この SOI 基板は、図 10 中の領域（a）に示

10

20

30

40

50

されたように、下地シリコン基板200上にスパッタガラス基板210が成膜された後、さらに該スパッタガラス基板210上に上側シリコン基板200を陽極接合により接合することで得られる。そして、図10中の領域(b)に示されたように、SOI基板の両面(スパッタガラス基板210の両面に位置するシリコン基板200)からスパッタガラス基板210に向かってエッチングにより凹部200a、200bが形成される。これら凹部200a、200bにより露出されたスパッタガラス基板210の一部が透過窓になる。透過型の光電子増倍管の場合、外圍器の内側になるスパッタガラス基板210の面上に光電面22が形成されることになる。

【0052】

上側フレーム2としてシリコン基板200のみが適用された場合、まず、用意されたシリコン基板200の一方の面に、図11中の領域(a)に示されたように、幅が数 μm 以下であって適当な深さの凹部が形成される。この溝部は、シリコン基板200の表面から見て柱状に形成されても、また、メッシュ状に形成されてもよい。そして、図11中の領域(b)に示されたように、シリコン基板200の一方の面のうち溝部が形成された領域を熱酸化させることにより該シリコン基板200の一部をガラス化させる。一方、シリコン基板200の他方の面は、図11中の領域(c)に示されたように、ガラス化された領域までエッチングすることで凹部200cが形成され、透過窓が得られる。透過型の光電子増倍管の場合、凹部200cを介して露出しているガラス化領域(透過窓)上に光電面22が形成されることになる。

【0053】

なお、シリコン基板200を熱酸化させて透過窓を形成するには、図11に示された形成方法以外の方法が適用されてもよい。すなわち、シリコン基板200の透過窓形成域を厚さ数 μm 程度になるようエッチングし、この透過窓形成域を熱酸化させることによってガラス化させてもよい。この場合、シリコン基板200の両面からエッチングしてもよいし、片面のみからエッチングしてもよい。具体的には、上側フレームとなるべきシリコン基板200を用意し(図12中の領域(a)参照)、シリコン基板200の両面からエッチングすることで、窪み200d、200eを形成する(図12中の領域(b)参照)。このとき、透過窓形成域の厚みは数 μm 程度になっており、このエッチングされた領域を熱酸化させることにより該シリコン基板200の一部をガラス化することで、透過窓240が得られる。透過型の光電子増倍管の場合、凹部200eを介して露出しているガラス化領域240(透過窓)上に光電面22が形成されることになる(図12中の領域(c)参照)。

【0054】

以上のように形成される透過窓は、シリコン材料からなる側壁フレーム3に設けられてもよい。図13は、この発明に係る光電子増倍管の第5実施例の構造を示す図である。なお、この図13は、第1実施例に係る光電子増倍管の断面構造を示す図3に対応した断面図である。

【0055】

第5実施例に係る光電子増倍管は、第1～第4実施例に係る光電子増倍管と比較して、上側フレーム2がシリコン基板200で構成されている点で異なる。また、この第5実施例では、透過窓が側壁フレーム3に設けられており、該透過窓の内側に光電面22が形成された透過型の光電子増倍管である点を除き、第1実施例に係る光電子増倍管と同様の構造を備える。

【0056】

上述の各実施例では、シリコン基板とガラス基板との接合が陽極接合又は拡散接合により行われる。このような陽極接合や拡散接合によれば、溶接などの際に生じる異物の発生といった事態を極力回避できる。

【0057】

具体的に、陽極接合は図14中の領域(a)に示されたような装置により行われる。すなわち、金属台座510上にシリコン基板200とガラス基板20が順次設置され、さら

にその上に金属重石 5 2 0 が置かれる。この状態で金属台座 5 1 0 及び金属重石 5 2 0 間に所定電圧が印加されることにより、シリコン基板 2 0 0 とガラス基板 2 0 とが密接に接合される。

【0058】

一方、シリコン基板 2 0 0 とガラス基板 2 0 の接合は、拡散接合によっても実現可能である。図 1 4 中の領域 (b) は、拡散接合を説明するための図である。この図 1 4 中の領域 (b) に示されたように、接合部分にそれぞれ Cu 膜が形成されたシリコン基板 2 0 0 とガラス基板 2 0 との間に、Au 膜、In 膜、及び Au 膜が順次積層された金属層を配置し、これらシリコン基板 2 0 0 とガラス基板 2 0 とを比較的低い温度で熱圧着することで、シリコン基板 2 0 0 とガラス基板 2 0 とが密接に接合される。なお、拡散接合とは、常温では混じりあわない複数の金属層を被接合部材間に設置し、該金属層に熱エネルギーを与えることで特定の金属層が互いに交じり合っ (拡散)、最終的に合金を形成することで被接合部材間を接合する技術をいう。

10

【0059】

なお、この発明に係る光電子増倍管の製造方法は、上述のような構造を有する光電子増倍管の他、種々の構造を有する光電子増倍管を製造することができる。

【0060】

図 1 5 は、この発明に係る製造方法により製造可能な光電子増倍管の他の構造を示す図である。この図 1 5 には、この発明に係る製造方法により製造可能な光電子増倍管 1 0 の断面構造が示されている。光電子増倍管 1 0 は、図 1 5 中の領域 (a) に示されたように、上側フレーム 1 1 と、側壁フレーム 1 2 (シリコン基板) と、第 1 下側フレーム 1 3 (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 1 1 はガラス材料からなり、その側壁フレーム 1 2 に対向する面には凹部 1 1 b が形成されている。この凹部 1 1 b の底部のほぼ全面に渡って光電面 1 1 2 が形成されている。光電面 1 1 2 に電位を与える光電面電極 1 1 3 と、後述される表面電極に接する表面電極端子 1 1 1 は、それぞれ凹部 1 1 b の一端及び他端にそれぞれ配置されている。

20

【0061】

側壁フレーム 1 2 は、シリコン基板 1 2 a に管軸方向と平行に多数の孔 1 2 1 が設けられている。この孔 1 2 1 の内面は二次電子放出面が形成されている。また、孔 1 2 1 それぞれの両端の開口部近傍には表面電極 1 2 2 及び裏面電極 1 2 3 が配置されている。図 1 5 中の領域 (b) には、孔 1 2 1 及び表面電極 1 2 2 の位置関係が示されている。この図 1 5 中の領域 (b) に示されたように、孔 1 2 1 に臨むように表面電極 1 2 2 が配置されている。なお、裏面電極 1 2 3 についても同様である。表面電極 1 2 2 は表面電極端子 1 1 1 に接触し、裏面電極 1 2 3 には裏面電極端子 1 4 3 が接触している。したがって、側壁フレーム 1 2 には孔 1 2 1 の軸方向に電位が発生し、光電面 1 1 2 から放出された光電子は孔 1 2 1 内を図中下方に進行する。

30

【0062】

第 1 下側フレーム 1 3 は、側壁フレーム 1 2 と第 2 下側フレーム 1 4 とを連結するための部材であって、側壁フレーム 1 2 と第 2 下側フレーム 1 4 との双方に陽極接合されている (拡散接合されてもよい)。

40

【0063】

第 2 下側フレーム 1 4 は、多数の孔 1 4 1 が設けられたシリコン基板 1 4 a で構成されている。この孔 1 4 1 それぞれに陽極 1 4 2 が挿入固定されている。

【0064】

図 1 5 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

50

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。

【0065】

次に、この発明に係る光電子増倍管の各実施例が適用される光モジュールについて説明する。なお、以下の説明では、簡単のため、第 1 実施例に係る光電子増倍管 1 a が適用された分析モジュールについて説明する。図 1 6 中の領域 (a) は、第 1 実施形態に係る光電子増倍管 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。

10

【0066】

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。

20

【0067】

検出部 8 5 5 の構成を、図 1 6 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う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。

30

【0068】

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。

【0069】

以上のようにこの発明によれば、電子増倍部 3 1 はシリコン基板 3 0 a に溝加工をすることで形成されており、また、シリコン基板 3 0 a はガラス基板 4 0 a 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。

40

【0070】

陽極 3 2 は、ガラス基板 4 0 a 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氣的な安定性や耐震性、耐衝撃性が向上している。陽極 3 2 は、その下面全体でガラス基板 4 0 a と陽極接合又は拡散接合されるため、衝撃、振動で陽極 3 2 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。

50

【0071】

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な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、電氣的、機械的な接合が不要である。

【0072】

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。

10

【0073】

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氣的な安定性や耐震性、耐衝撃性が向上している。

【0074】

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カ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。

【0075】

上述のような構造を有する各実施例に係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。

20

【0076】

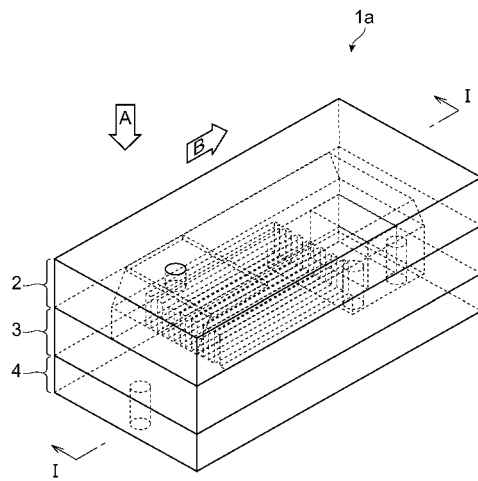
以上の本発明の説明から、本発明を様々に変形しうることは明らかである。そのような変形は、本発明の思想および範囲から逸脱するものとは認めることはできず、すべての当業者にとって自明である改良は、以下の請求の範囲に含まれるものである。

【産業上の利用可能性】

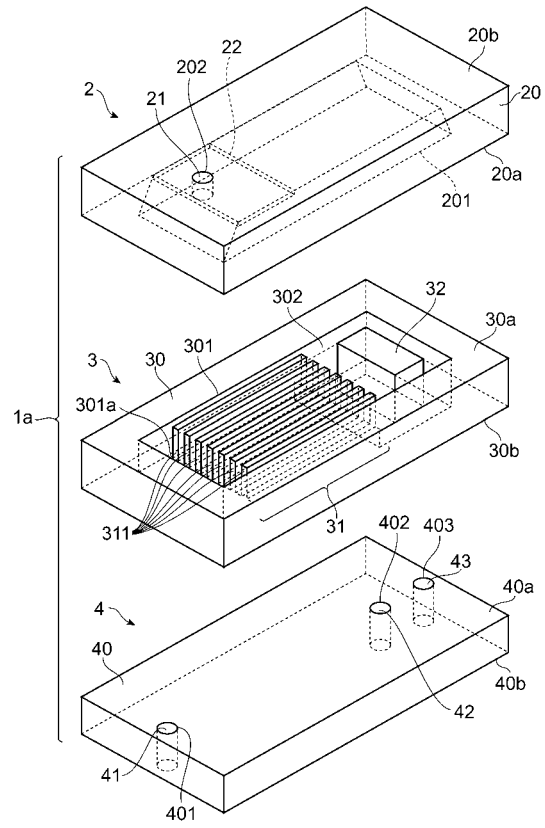
【0077】

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。

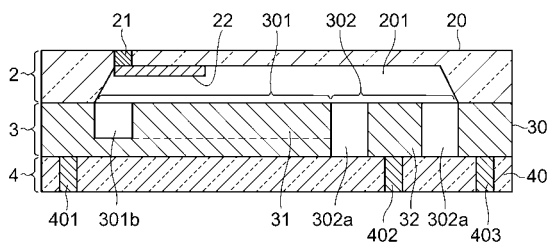
【図 1】



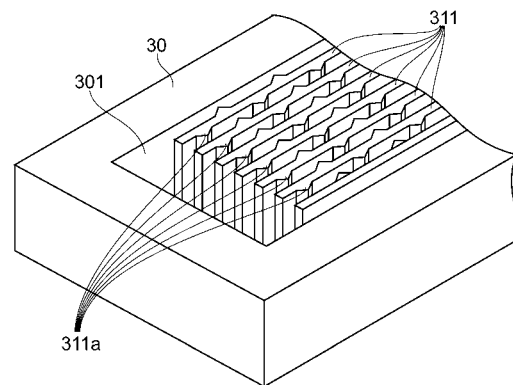
【図 2】



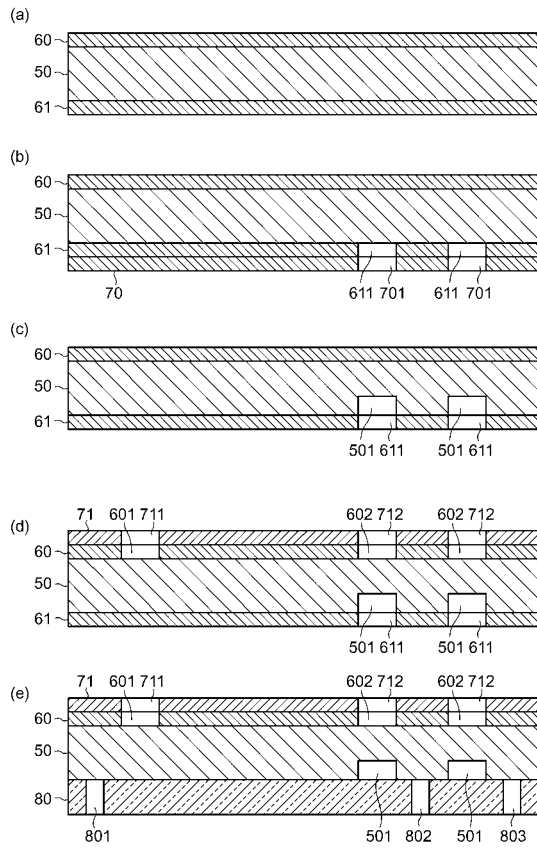
【図 3】



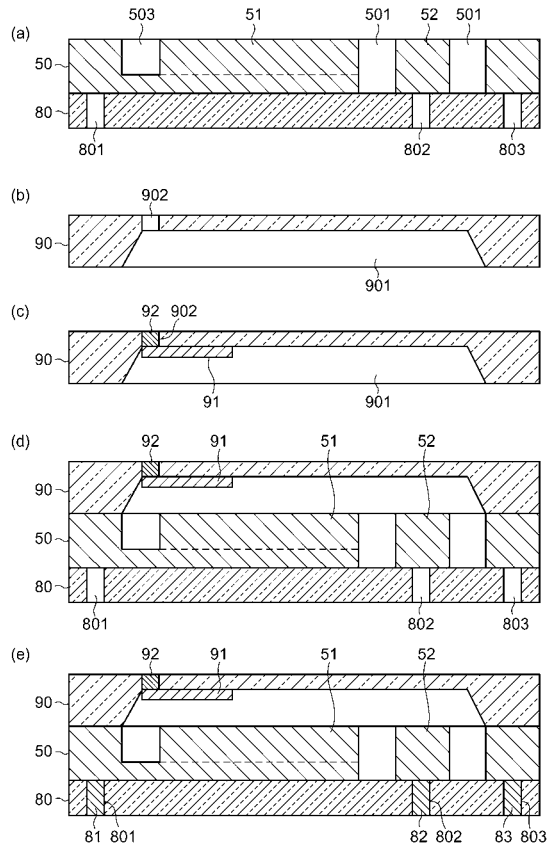
【図 4】



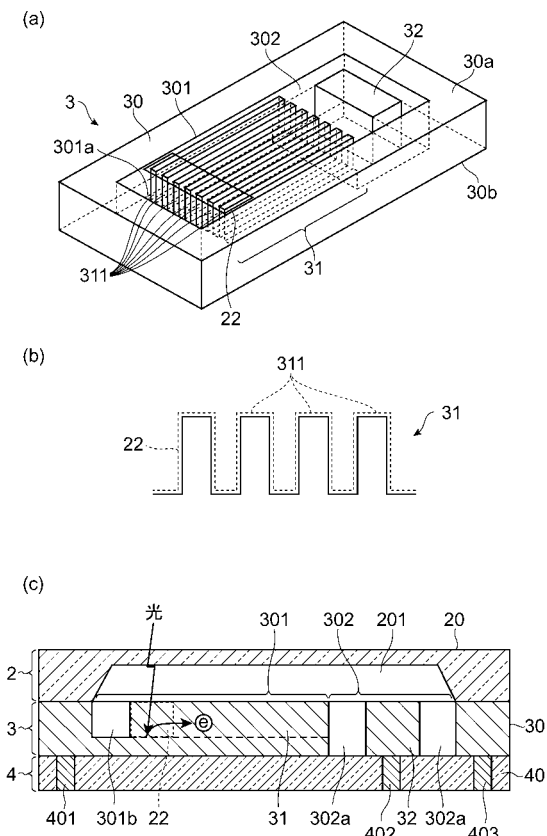
【図 5】



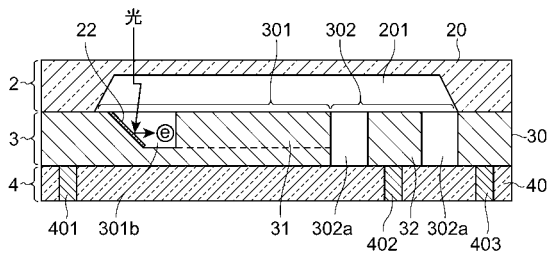
【図 6】



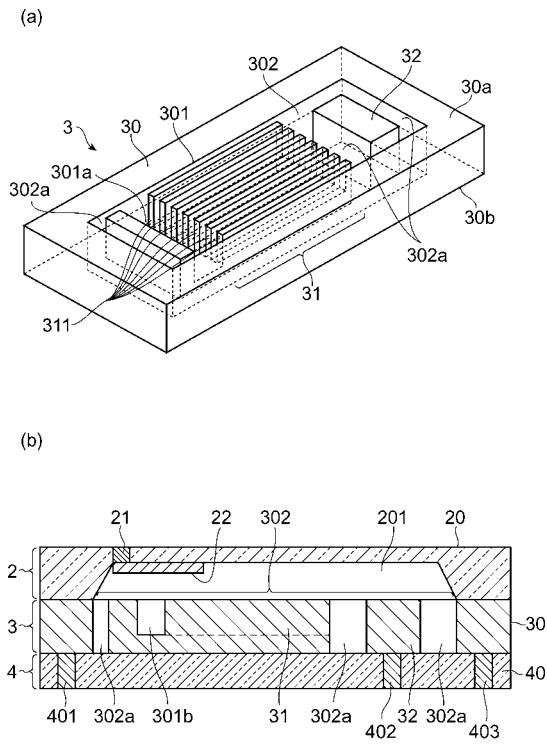
【図 7】



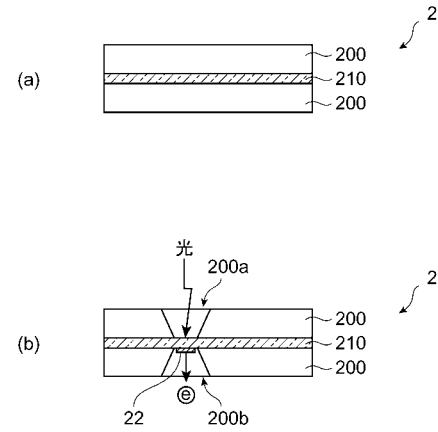
【図 8】



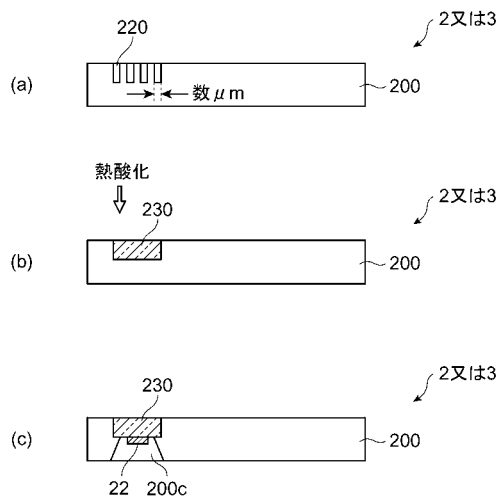
【図 9】



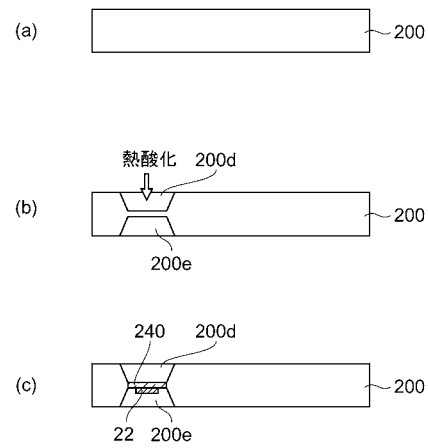
【図 10】



【図 11】



【図 12】



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1126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1126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1126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05568013 (US, A)
米国特許第03244922 (US, A)
特開2000-040487 (JP, A)
英国特許出願公開第00503211 (GB, A)
米国特許第03225239 (US, A)

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