

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6220780号
(P6220780)

(45) 発行日 平成29年10月25日 (2017.10.25)

(24) 登録日 平成29年10月6日 (2017.10.6)

(51) Int. Cl. F I
H O 1 J 43/24 (2006.01) H O 1 J 43/24

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2014-515599 (P2014-515599)	(73) 特許権者	000236436
(86) (22) 出願日	平成25年5月10日 (2013.5.10)		浜松ホトニクス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2013/063193		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	W02013/172274	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成25年11月21日 (2013.11.21)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成28年4月8日 (2016.4.8)	(74) 代理人	100113435
(31) 優先権主張番号	61/648764		弁理士 黒木 義樹
(32) 優先日	平成24年5月18日 (2012.5.18)	(74) 代理人	100140442
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 柴山 健一
		(72) 発明者	内山 利幸
			静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1
			浜松ホトニクス株式会社内
		(72) 発明者	早瀬 祐介
			静岡県浜松市東区市野町 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】 マイクロチャネルプレート、イメージインテンシファイヤ、荷電粒子検出器および検査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鉛ガラスからなる本体を備えたマイクロチャネルプレートにおいて、

前記本体は、

それぞれが所定方向に沿って伸びるとともにチャンネルを規定するための貫通孔を有する複数の第 1 クラッドガラスであって、所定の耐酸性を有する複数の第 1 クラッドガラスと

、
前記複数の第 1 クラッドガラスそれぞれの外周面に接触した状態で前記複数の第 1 クラッドガラスの外周面で挟まれた空間に少なくとも一部が位置する第 2 クラッドガラスであって、前記複数の第 1 クラッドガラスそれぞれよりも高い耐酸性を有する第 2 クラッドガラスと、を備え、

10

当該マイクロチャネルプレートの入射端面側において、前記複数の第 1 クラッドガラスそれぞれにおける貫通孔は、テーパ状の開口端を有し、そして、

前記所定方向に直交する当該マイクロチャネルプレートの断面において、前記複数の第 1 クラッドガラスそれぞれは、六角形の外周形状を有するとともに、前記第 2 クラッドガラスがハニカム構造を構成していることを特徴とするマイクロチャネルプレート。

【請求項 2】

鉛ガラスからなる本体を備えたマイクロチャネルプレートにおいて、

前記本体は、

それぞれが所定方向に沿って伸びるとともにチャンネルを規定するための貫通孔を有する

20

複数の第1クラッドガラスであって、所定の耐酸性を有する複数の第1クラッドガラスと、

前記複数の第1クラッドガラスそれぞれの外周面に接触した状態で前記複数の第1クラッドガラスの外周面で挟まれた空間に少なくとも一部が位置する第2クラッドガラスであって、前記複数の第1クラッドガラスそれぞれよりも高い耐酸性を有する第2クラッドガラスと、

当該マイクロチャンネルプレートの入射端面上に設けられた、高 δ 物質からなるコーティング材と、を備え、

当該マイクロチャンネルプレートの入射端面側において、前記複数の第1クラッドガラスそれぞれにおける貫通孔は、テーパ状の開口端を有し、

10

前記所定方向に直交する当該マイクロチャンネルプレートの断面において、前記複数の第1クラッドガラスそれぞれは、六角形の外周形状を有するとともに、前記第2クラッドガラスがハニカム構造を構成しており、そして、

当該マイクロチャンネルプレートの入射端面において、前記コーティング材は、前記第2クラッドガラスの端面全体を覆った状態で、前記複数の第1クラッドガラスそれぞれにおける貫通孔の少なくともテーパ開口の一部を覆っていることを特徴とするマイクロチャンネルプレート。

【請求項3】

前記高 δ 物質は、 MgO 、 MgF_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 CsI 、 KBr 、 SrO 、 Y_2O_3 、 B_2O_3 および $NaCl$ のうちのいずれかを含むことを特徴とする請求項2

20

【請求項4】

前記本体の入射端面に占める前記複数の第1クラッドガラスの面積比は、前記入射端面に占める前記第2クラッドガラスの面積比よりも大きいことを特徴とする請求項1～3の何れか一項に記載のマイクロチャンネルプレート。

【請求項5】

前記本体の入射端面に占める前記複数の第1クラッドガラスのテーパ加工処理前の面積比は、60%～90%であることを特徴とする請求項1～4の何れか一項に記載のマイクロチャンネルプレート。

【請求項6】

30

チャンネルを規定するための前記貫通孔の中心軸と該貫通孔の開口端に位置するテーパ面の角度で規定されるテーパ角は、 10° ～ 50° であることを特徴とする請求項1～5の何れか一項に記載のマイクロチャンネルプレート。

【請求項7】

請求項1～6の何れか一項に記載のマイクロチャンネルプレートを含むイメージインテンシファイヤ。

【請求項8】

請求項1～6の何れか一項に記載のマイクロチャンネルプレートを含む荷電粒子検出器。

【請求項9】

請求項8に記載の荷電粒子検出器を含む検査装置。

40

【請求項10】

当該検査装置は、質量分析装置、光電子分光装置、電子顕微鏡または光電子増倍管を含むことを特徴とする請求項9に記載の検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、イメージインテンシファイヤ、イオン検出器の他、該イオン検出器を含む検査装置、例えば質量分析装置、光電子分光装置、電子顕微鏡または光電子増倍管等に用いられるマイクロチャンネルプレート（以下、MCPという）に関するものである。

【背景技術】

50

【0002】

マイクロチャネルプレート（MCP）は板状の構造体（本体）を備え、複数のチャネルが規則正しく配列された電子増倍素子として知られている。図1（a）は、代表的なMCP（単クラッド構造）の構造を示す一部破断図であり、図1（b）は、MCPの使用例を説明するための図である。

【0003】

すなわち、従来のMCP6は、鉛ガラスを主成分とする薄型円盤状の構造体（本体）であり、環状の外周部61を除いて厚み方向に貫通する多数の小径の孔62が配置され、該構造体の両面には電極63が蒸着により形成されている。電極63は、MCP6の全面をカバーするのではなく、MCP6の外周部61を外周端から0.5mm～1.0mm露出

10

【0004】

MCP6は、図1（b）に示されたように、前面と背面側にそれぞれ入力側電極4（電極63）、出力側電極7（電極63）が配置されており、電源15により、所定の電圧が印加されることで、孔62に入射した電子、イオン等の荷電粒子16が孔62を規定する内壁（チャネル壁）に衝突した際に、二次電子を放出する。これにより、入射電子等が増倍される。なお、チャネルのアスペクトレシオ（ $=L/D$ ）は、チャネルとなる孔62の長さLと孔62の直径D（チャネル径）により与えられる。

【0005】

特に近年、上述のような構造を有するMCPには、検出効率の向上に関する要求が多く

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

発明者らは従来のマイクロチャネルプレート（MCP）について詳細に検討した結果、以下のような課題を発見した。

【0007】

すなわち、一般にMCPの検出効率は当該MCPにおけるチャネル開口率に比例するため、上述のような検出効率の向上要求には、MCPにおけるチャネル開口率を高くすることが最も効果的である。しかしながら、チャネル開口率を上げていくと、チャネルを仕切

30

【0008】

その解決策として、エッチングにより入射端面の近傍だけチャネル開口率を上げる（チャネル開口端をテーパ形状に加工する）ことが試みられてきた。この解決策によれば、当該MCPの入射端面近傍のみチャネル開口が広がるため、当該MCPの物理的強度を保ちつつ検出効率を向上させることが可能なように思えるが、未だ最適な技術は確立されてこなかった。

【0009】

例えば、単クラッド型MCPでは、エッチング方法やエッチング液を工夫することで、最適な開口部を形成することが試みられてきた。しかしながら、このような単クラッド型MCPでは、エッチングむらやチャネル欠陥を抑制することは難しく、特に大型MCPへの適用が困難であった。一方で、二重クラッド型MCPでは、耐酸性の異なるクラッドガラスを用いた構造が知られている。即ち、チャネルとなる貫通孔を有する内側クラッドガラスの耐酸性を外側クラッドガラスの耐酸性よりも低く設定することで、開口をエッチング加工し易くした構造が知られている。しかしながら、従来最適と考えられてきた内側クラッドガラスの形状では、外側クラッドガラスがエッチングされにくいため、十分な開口率を確保するのは難しく、従来の二重クラッド型MCPによっても、満足できる質のテーパ開口を備えたMCPを得ることは困難であった。

40

【0010】

50

本発明は、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、十分な物理的強度を確保しつつ高い検出効率を実現するMCPおよびその応用装置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】

【0011】

本発明に係るマイクロチャネルプレート（MCP）は、還元処理前に絶縁性を呈する一方、還元処理後に導電性を呈する鉛ガラスからなるセンシングデバイスである。当該MCPは、上述の目的を達成するため、異なる化学特性を有する2種類のクラッドガラスにより構成された二重クラッド構造を採用している。

【0012】

本発明の第1の態様として、当該MCPの本体は、それぞれが所定の耐酸性を有する複数の第1クラッドガラスと、第1クラッドガラスよりも高い耐酸性を有する第2クラッドガラスを備える。また、本発明の第2の態様として、当該MCPは、第1クラッドガラス、第2クラッドガラスの他、当該MCPの入射端面上に設けられた、高 δ 物質からなるコーティング材を更に備える。第1および第2の態様において、複数の第1クラッドガラスそれぞれは、所定方向に沿って伸びるとともにチャンネルを規定する貫通孔を有し、該貫通孔の内壁面がチャンネル壁（二次電子放出層）として機能する。また、第2クラッドガラスは、それぞれが所定距離だけ離間して配置される複数の第1クラッドガラスの隙間を埋める部材である。従って、第2クラッドガラスは、複数の第1クラッドガラスそれぞれの外周面に接触した状態で該複数の第1クラッドガラスの外周面で挟まれた空間に少なくとも一部が位置する。

【0013】

特に、第1および第2の態様として、当該MCPの入射端面側において、複数の第1クラッドガラスそれぞれにおける貫通孔の開口端はテーパ状に加工されている。この構造により、入射端面におけるチャンネル開口率を高くすること（検出効率の向上）が可能になる。また、第1および第2の態様として、入射端面近傍の電界を安定させることが可能になる。さらに、所定方向に直交する当該MCPの断面において、第1クラッドガラスの外周が六角形に変形することにより、第2クラッドガラスがハニカム構造を構成している。このように第1クラッドガラスにハニカム構造が採用されることにより、当該MCP自体の物理的強度を確保しつつ入射端面におけるチャンネル開口率を飛躍的に向上させ、高い検出効率を得ることが可能になる。なお、第2の態様として、当該MCPの入射端面において、コーティング材は、第2クラッドガラスの端面全体を覆った状態で、複数の第1クラッドガラスそれぞれにおける貫通孔のテーパ開口の少なくとも一部を覆っている。この構造により、検出効率を更に向上させることが可能になる。

【0014】

上記第1および第2の態様のうち少なくともいずれかに適用可能な第3の態様として、本体の入射端面に占める第1クラッドガラスの面積比は、該入射端面に占める第2クラッドガラスの面積比よりも大きい。より具体的には、上記第1～第3の態様のうち少なくともいずれかに適用可能な第4の態様として、本体の入射端面に占める第1クラッドガラスのテーパ加工処理前の面積比は、60%～90%である。なお、入射端面は、複数チャンネル開口が配置された、電子増倍に寄与するガラス本体の入射側有効面を意味し、入射端面に対する各部の面積比は、チャンネル開口に対するテーパ加工処理前の状態における面積比を意味する。さらに、入射端面に対する各部の面積比は、第1クラッドガラスの内壁で規定される空間に相当する領域を含まないガラス領域のみの面積比を意味する。

【0015】

また、上記第1～第4の態様のうち少なくともいずれかに適用可能な第5の態様として、チャンネルを規定するための貫通孔の中心軸と該貫通孔の開口端に位置するテーパ面の角度で規定されるテーパ角は、10°～50°であるのが好ましい。

【0016】

さらに、上記第1～第5の態様のうち少なくともいずれかに適用可能な第6の態様とし

て、高δ物質は、 MgO 、 MgF_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 CsI 、 KBr 、 SrO 、 Y_2O_3 、 B_2O_3 、および $NaCl$ のうちのいずれかを含むのが好ましい。特に、電子、イオンなどの検出には、 MgO 、 MgF_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、および $NaCl$ が適しており、また、紫外線、放射線、X線の検出には CsI 、 KBr 、 SrO 、 Y_2O_3 、および B_2O_3 が適している。

【0017】

なお、上記第1～第6の態様のうち少なくともいずれかに適用可能な第7の態様では、塩酸に対する耐性、硝酸に対する耐性、硫酸に対する耐性、リン酸に対する耐性、これら塩酸、硝酸、硫酸、リン酸のうち2以上の混合液に対する耐性、フッ化水素に対する耐性、およびフッ化水素の化合物に対する耐性のうちいずれかとして、第2クラッドガラスの還元処理前の耐酸性は、第1クラッドガラスの還元処理前の耐酸性よりも高いものとする。

10

【0018】

上述のような第1～第7の態様のうち少なくともいずれか、またはこれらの態様の組合せにより構成されるMCP（本発明に係るMCP）は、種々のセンシングデバイスへの適用が可能である。

【0019】

例えば、第8の態様として、上記第1～第7の態様のうち少なくともいずれか、またはこれらの態様の組合せにより構成されるMCPは、イメージインテンシファイヤに適用可能である。また、第9の態様として、上記第1～第7の態様のうち少なくともいずれか、これらの態様の組合せにより構成されるMCPは、イオン検出器に適用可能である。さらに、第10の態様として、第9の態様に係るイオン検出器は、種々の検査装置に適用可能である。第9および第10のうち少なくともいずれかの態様に適用可能な第11の態様として、第9の態様に係るイオン検出器が適用される検査装置には、例えば、質量分析装置、光電子分光装置、電子顕微鏡または光電子増倍管が含まれる。

20

【0020】

一例として、質量分析装置は、測定対象試料をイオン化するイオン化部と、イオン化部によりイオン化された試料を質量電荷比に応じて分離する分析部と、分析部を通過したイオンを検出するイオン検出部を備える。係るイオン検出部は、上記第11の態様に係るイオン検出器として、上記第1～第7の態様のうち少なくともいずれか、またはこれらの態様の組合せにより構成されるMCPを含む。

30

【0021】

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。

【0022】

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。

40

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、十分な物理的強度を確保しつつ高い検出効率を実現するMCPおよびその応用装置が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】は、代表的なMCPを示し、(a)は、代表的なMCP（単一クラッド構造）の構造を示す一部破断図、(b)は、MCPの使用例を説明するための図である。

【図2】は、MCPの構造を示し、(a)は、一般的な二重クラッド構造を有するMCPチャンネル近傍の構造を示す図、(b)は、本実施形態に係るMCPのチャンネル近傍の構造

50

を説明するための図である。

【図3】は、は、本実施形態に係るMCPの、入射端面近傍（チャンネル開口端近傍）の断面構造を示す図である。

【図4】は、図1（a）の矢印Aで示された方向から見たMCPの一部（矢印Cで示された領域）に相当する、本実施形態に係るMCPの平面構造を示す図である。

【図5】は、本実施形態に係るMCPにおける二重クラッド構造の製造方法を説明するための図である。

【図6】は、図5（a）に示された形成方法とは異なるチャンネルファイバの他の形成方法を説明するための図である。

【図7】は、MCPの断面構造を示し、（a）は、図5（g）に示されたチャンネル形成前のMCP28の断面構造を示す一部破断図（図1（a）に示された一部破断図に相当）、（b）は、チャンネルが形成されたMCP28Aの一部破断図（図1（a）に示された一部破断図に相当）である。

【図8】は、は、本実施形態に係る二重クラッドMCPにおけるチャンネル開口のテーパ加工方法を説明するための図である。

【図9】は、表面酸化による二次電子放出特性の変化を説明するためのグラフである。

【図10】は、MCPの応用例を示し、（a）は、本実施形態に係るMCPが適用可能なイメージインテンシファイアの断面構造を示す図、（b）は、本実施形態に係るMCPが適用可能な検査装置として、質量分析装置の構成を示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明に係るマイクロチャンネルプレート（MCP）の各実施形態を、添付の図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一部位、同一要素には同一符号を付して、重複する説明を省略する。

【0026】

図2（a）は、一般的な二重クラッド構造を有するMCPのチャンネル近傍の構造を示す図であり、図2（b）は、本実施形態に係るMCPのチャンネル近傍の構造を説明するための図である。また、図3（a）および図3（b）は、図1（a）の矢印Bで示された方向から見たMCPの断面構造（特に、各チャンネルの開口端近傍）を示す図である。また、図4（a）および図4（b）は、図1（a）の矢印Aで示された方向から見たMCPの一部（矢印Cで示された領域）に相当する、本実施形態に係るMCPの平面構造を示す図である。

【0027】

本実施形態に係るMCPは、還元処理前に絶縁性を呈する一方、還元処理後に導電性を呈する鉛ガラスからなる本体を備えた電子増倍素子であり、その基本的な構造は、図1（a）および図1（b）に示されたMCP6の構造に類似している。しかしながら、本実施形態に係るMCPは、それぞれがチャンネルを規定する複数の孔が形成された本体（構造体）の構造において、図1（a）および図1（b）に示されたMCP6と異なる。すなわち、MCP6の構造体が単一クラッド構造であるのに対し、本実施形態に係るMCPの本体は、二重クラッド構造を備える。

【0028】

さらに、一般的な二重クラッド構造を有するMCP100は、図2（a）に示されたように、その内壁110aがチャンネル壁として機能する第1クラッド110（第1クラッドガラス）と、第1クラッド110（クラッドガラス）の外周面上に直接設けられた第2クラッド120を備える。MCP100において、第1クラッド110は、エッチングにより各チャンネルの開口端をテーパ加工し易くするため、低い耐酸性を有する。また、第2クラッド120は、当該MCP100の物理的強度を維持するため、エッチング液によりエッチングされないよう高い耐酸性を有する。また、MCP100では、第1クラッド110が環状であるため、必然的にその周辺に位置する第2クラッド120の厚みは一定していない。そのため、MCP100の入射端面側において各チャンネルの開口端に対してテ

ーパー加工を施したとしても、チャンネル開口率の増加は必然的に制限される。

【0029】

一方、図2(b)に示された本実施形態に係るMCP200は、その内壁210aがチャンネル壁として機能する第1クラッド210(第1クラッドガラス)と、第1クラッド210の外周面上に直接設けられた第2クラッド220(第2クラッドガラス)を備える。MCP200では、MCP100と同様に、第1クラッド210は、エッチングにより各チャンネルの開口端をテーパ加工し易くするため、低い耐酸性を有する。また、第2クラッド220は、当該MCP200の物理的強度を維持するため、エッチング液によりエッチングされないよう高い耐酸性を有する。さらに、MCP200では、第1クラッド210の外周が六角形状に変形することにより、第2クラッド220がハニカム構造を構成している。

10

【0030】

図3(a)および図3(b)は、本実施形態に係るMCP200の、入射端面近傍(チャンネル開口端近傍)の断面構造を示す図(図1(a)の矢印Bから見た断面に相当)である。

【0031】

図3(a)に示されたように、MCP200の入射端面S近傍では、第1クラッド210の開口端(各チャンネルの開口端)がエッチングされ、該入射端面におけるチャンネル開口率が拡大されている。このとき、入射端面Sにおける各チャンネルの開口径D1は、他の部分のチャンネル径D2よりも大きくなる。そのため、MCP200自体の物理的な強度は維持しつつ検出効率が向上する。また、MCP200の入射端面S上には、第1クラッド210がテーパ状にエッチングされ、該入射端面Sに一致した第2クラッド220の端面と、該第1クラッド210におけるテーパ面の一部を覆うように、高δ物質からなるコーティング材300が設けられている。なお、高δ物質は、MgO、MgF₂、Al₂O₃、SiO₂、CsI、KBr、SrO、Y₂O₃、B₂O₃およびNaClのうちのいずれかを含むのが好ましい。特に、電子、イオンなどの検出には、MgO、MgF₂、Al₂O₃、SiO₂、およびNaClが適しており、また、紫外線、放射線、X線の検出にはCsI、KBr、SrO、Y₂O₃、およびB₂O₃が適している。

20

【0032】

エッチングされた、各チャンネルの開口端のテーパ角θは、10°~50°であるのが好ましい。なお、テーパ角θは、例えば図3(a)に示されたように、チャンネル中心軸AX(第1クラッド210に設けられた貫通孔の中心軸に一致)と該チャンネル開口端におけるテーパ面の角度で規定される。以下に説明するMCP200のサンプルでは、テーパ角θは30°である。

30

【0033】

図4(a)および図4(b)は、図1(a)の矢印Aで示された方向から見たMCPの一部(矢印Cで示された領域)に相当する、本実施形態に係るMCPの平面構造を示す図である。

【0034】

図4(a)に示された平面構造では、第1クラッド210の内壁210aで規定されるチャンネル径はD11である。一方、図4(b)に示された平面構造では、チャンネル径はD11よりも大きいD12である。このように、本実施形態に係るMCP200では、第2クラッド220がハニカム構造を構成しているため、チャンネル開口率を図2(a)に示された構造よりも格段に大きくすることが可能になる。

40

【0035】

加えて、図2(b)に示されたように、第1クラッド210と第2クラッド220の境界の形状を六角形にすることで、主たる導電部となる第2クラッド220の幅は一定になる。この場合、導電部において均等な電流密度になるため、MCP内のいずれの場所にも過不足なく電荷が供給され得る。また、図4(a)および図4(b)に示されたように、第2クラッド220でハニカム構造を構成するためには、第1クラッド210と第2クラ

50

ッド220それぞれの屈伏点(deformation point)で規定される粘性が同一か近いことが好ましい。

【0036】

なお、チャンネル開口率を拡大して検出効率を向上させるためには、当該MCP200の入射端面Sにおいて、該入射端面Sに占める第1クラッド210のエッチング前の面積比(チャンネル開口の占める領域を除いたガラス領域の面積比)は、該入射端面Sに占める第2クラッド220の面積比よりも大きいのが好ましい。具体的には、該入射端面Sに占める第1クラッド210のエッチング前の面積比は、60%~90%であるのが好ましい。

【0037】

次に、図5(a)~図5(i)に基づいて、本実施形態に係るMCP200における二重クラッド構造の製造方法について説明する。ここでは、円形断面のMCP200、正六角形断面を有するMF10、酸の溶剤(例えば、 HNO_3 或いは HCl)を用いた場合を例とする。

【0038】

なお、図6は、図5(a)に示された形成方法とは異なるチャンネルファイバの他の形成方法を説明するための図である。図7(a)は、図5(g)に示されたチャンネル形成前のMCP28の断面構造を示す一部破断図(図1(a)に示された一部破断図に相当)であり、図7(b)は、チャンネルが形成されたMCP28Aの一部破断図(図1(a)に示された一部破断図に相当)である。

【0039】

まず、MF10の製造方法を説明する。図5(a)は、芯抜処理によりチャンネルができるチャンネルファイバ(第1ファイバ)12の形成方法を示す図である。同図によると、チャンネルファイバ12は、酸に対する可溶性を有する第1ガラス材料より形成されたコア部(中心部分)14を、同一の酸に対する不溶性を有する第2ガラス材料により形成されたクラッド部(外周部分)16の中に挿入し、これらを加熱しながら管引し得られたものである。尚、二重クラッド構造にするためにクラッド部16の外周には更に同一の酸に不溶性を有する第3ガラス材料により形成されたクラッド部18が形成されている。このクラッド部18はクラッド部16をその内部に収容できる管であってもよいし、図6に示されたようにクラッド部16を包囲する多数のガラス棒18aであってもよい。このチャンネルファイバ12のクラッド部16が、最終的に得られるMCP200の第1クラッド210に相当し、クラッド部18または多数のガラス棒18aが第2クラッド220に相当する。

【0040】

続いて、図5(b)に示されたように、正六角形の中空断面を有する型枠20の中に、チャンネルファイバ12を所定のパターンで平行密接に積み重ね、整列させる。その後、型枠20の中に整列されたチャンネルファイバ12を加熱融着し、冷却した後に型枠20を取外す。これにより、正六角形の断面を有するMF母材22が得られる。次に、図5(c)に示されたように、MF母材22を加熱しながら、再度管引してMF10を作る。その際に、MF10の断面が正六角形になるように管引する。なお、さらにこの工程で得られたMFを型枠の中に積み重ね、整列させ、これを管引したものをMF10としてもよい。また、所望のチャンネル径が得られるまでこの工程を繰り返してもよい。

【0041】

次に、複数のMF10を用いたMCPロッドおよびMCP200の作製方法について説明する。

【0042】

まず、図5(d)に示されたように、ガラス管24の内部に、複数の得られたMF10を整列させる。

【0043】

続いて、ガラス管24の内部に整列された複数のMF10を加圧しながら、加熱融着し、MCP母材26が得られる(図5(e)参照)。その後、図5(f)と図5(g)に示

されたように、M C P 母材 2 6 を所定の厚さ及び所定の角度でスライスし表面研磨を行い、M C P 板材 2 8 となる。図 7 (a) は、M C P 板材 2 8 の断面構造を示す図である。この M C P 板材 2 8 には、チャンネルとなるべき位置にコア部 1 4 が残っている。

【 0 0 4 4 】

さらに、図 5 (h) に示されたように、M C P 板材 2 8 を酸溶液中に浸漬し、芯抜処理を行う。このとき、チャンネルファイバ 1 2 のコア部 1 4 は、酸に対する可溶性を有する第 1 ガラス材料により形成されたため溶出される。一方、クラッド部 1 6 およびクラッド部 1 8 は酸に対する不溶性を有する第 2 ガラス材料および第 3 ガラス材料により形成されたため溶出はしない。このため、コア部 1 4 の溶出によりチャンネル 6 が形成される。なお、この芯抜処理においてチャンネル 6 表面上に $S i O_2$ を主成分とする二次電子放出層が形成される。以上のような芯抜処理により、図 7 (b) に示された M C P 板材 2 8 A が得られる。

10

【 0 0 4 5 】

続いて、上述のように製造された二重クラッド構造を有する M C P 2 8 板材 A の各チャンネル開口に対してテーパ加工が行われる。図 8 (a) ~ 図 8 (c) は、本実施形態に係る二重クラッド M C P におけるチャンネル開口のテーパ加工方法を説明するための図である。

【 0 0 4 6 】

すなわち、上述のように製造された二重クラッド構造を有する M C P 板材 2 8 A は、図 8 (a) に示されたように、その入射端面側がエッチング液 3 1 0 に浸される。なお、エッチング液 3 1 0 としては、例えば、塩酸、硝酸、硫酸、リン酸、これらの混合液が好ましい。エッチング液 3 1 0 は、フッ化水素酸またはその化合物でもよい。さらに、エッチング液 3 1 0 は、アルカリ水溶液でもよい。上述のように入射端面近傍におけるチャンネルの開口がエッチングされることにより、例えば図 3 (b) に示されたように、該チャンネルの開口端がテーパ形状に加工された M C P 板材 2 8 B が得られる。因みに、チャンネル開口のテーパ加工は M C P 板材 2 8 の抜芯処理 (図 5 (h)) の前に行ってもよい。

20

【 0 0 4 7 】

芯抜処理およびチャンネル開口のテーパ加工をした M C P 板材 2 8 B を水素雰囲気中の電気炉中に入れて加熱することで、還元処理が行われる (図 5 (i) 参照) 。これにより、M C P 板材 2 8 B のチャンネル表面 (二次電子放出層の内側) の $P b O$ は $P b$ に還元され、M C P 2 8 C が得られる。

30

【 0 0 4 8 】

さらに、M C P 板材 2 8 C の入射端面には、図 8 (b) に示されたように、高 δ 物質 3 0 0 が蒸着されることで、各チャンネルにおける開口端近傍が、例えば図 3 (a) に示されたような断面形状を有する M C P 板材 2 8 D が得られる。また、原子層堆積法 (A L D) を用いて高 δ 物質 3 0 0 を、開口端近傍を含むチャンネル全体に形成することもできる。この場合、開口端近傍を含むチャンネル全体に高 δ 物質 3 0 0 が所望の膜厚で均一に成膜されるため、膜厚を制御することでチャージアップを容易に制御できる。なお、図 8 (c) に示されたガラス本体の有効面 (複数のチャンネルが形成された、電子増倍に寄与する面) が当該 M C P の入射端面 S である。最後に M C P 板材 2 8 D の両面に、電極用金属が蒸着され (図示せず) 、M C P 2 0 0 が得られる。

40

【 0 0 4 9 】

図 9 は、表面酸化による二次電子放出特性の変化を説明するためのグラフである。特に、グラフ 9 1 0 は、上述のように製造された本実施形態に係る M C P 2 0 0 の 2 種類のサンプルに関する二次電子放出特性を示し、グラフ G 9 2 0 は、M C P 2 0 0 の 2 種類のサンプルそれぞれを真空ベーキングにより酸化させたサンプルに関する二次電子放出特性を示している。この図 9 から判るように、表面酸化により、M C P の二次電子放出比は向上し、結果、検出効率も向上することが判る。

【 0 0 5 0 】

なお、上述のような構造を備えた本実施形態に係る M C P 2 0 0 は、種々の装置への適

50

用が可能である。例えば、図10(a)は、本実施形態に係るMCPが適用可能なイメージインテンシファイヤの断面構造を示す図ある。

【0051】

図10(a)に示されたように、イメージインテンシファイヤ400は、セラミック製の真空容器410と、真空容器410の一方の開口端に設置された入射面板420と、真空容器410の他方の開口端に設置されたファイバオプティックプレート(FOP)430と、入射面板420とFOP430の間に配置されたMCP200を備える。なお、入射面板420の内側(真空容器410の内部側)には、光を電子に変換する光電面420aが形成され、FOP430の入射面上には蛍光面430aが形成されている。特に、イメージインテンシファイヤ400では、MCP200と電子を光に変換する蛍光面430aを近接させることにより、周辺部に歪みのない画像を得るように設計されている。

10

【0052】

さらに、本実施形態に係るMCPは、上述のイメージインテンシファイヤ(図10(a))の他、質量分析装置、光電子分光装置、電子顕微鏡、光電子増倍管等の検査装置への適用も可能である。なお、検査装置の一例として、図10(b)には、質量分析装置の構成を示す概念図が示されている。

【0053】

質量分析計500は、図10(b)に示されたように、測定対象試料をイオン化するイオン化部510と、イオン化した試料を質量電荷比に応じて分離する分析部520と、分析部520を通過したイオンを検出するイオン検出部530で構成されている。イオン検出部530は、本実施形態に係るMCP200と、陽極531を備える。例えば、本実施形態に係るMCP200は、入射したイオンに応答して二次電子を放出する電子増倍素子として機能する。陽極531は、MCPから放出された二次電子を信号として取り出す。

20

【0054】

さらに、二重クラッドMCPにおいて、第1クラッドガラスは内周が円形(チャンネル開口の断面形状)で外周が六角形、第2クラッドガラスは内外周共に六角形とすることで、第2クラッドの面積を小さくしてチャンネル開口率を拡大させることができる。更に、第1クラッドガラスの外周と第2クラッドガラスの内外周が同一形状であるため、第2クラッドガラスの形状に沿って第1クラッドガラスのMCP入射端面側がきれいに斜めにエッチングされる。そのため、第1および第2クラッドガラスの界面におけるエッチング後の状態がチャンネルごとに均一になる。また、熱電子放出が抑制されることでノイズ低減の効果が期待でき、物理的強度の低下も抑制され得る。なお、図2(a)に示された構造では、第2クラッドガラスの第1クラッドガラスを覆う部分の厚みにむらがあり、第1および第2クラッドガラスの界面におけるエッチング後の状態が不揃いになってしまう。

30

【0055】

また、マイクロチャンネルプレートの入射面側のみならず出射面側を入射面と同様にテーパ状に加工してもよい。入射面および出射面をテーパ状に加工することで更に検出効率が向上する。

【0056】

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。

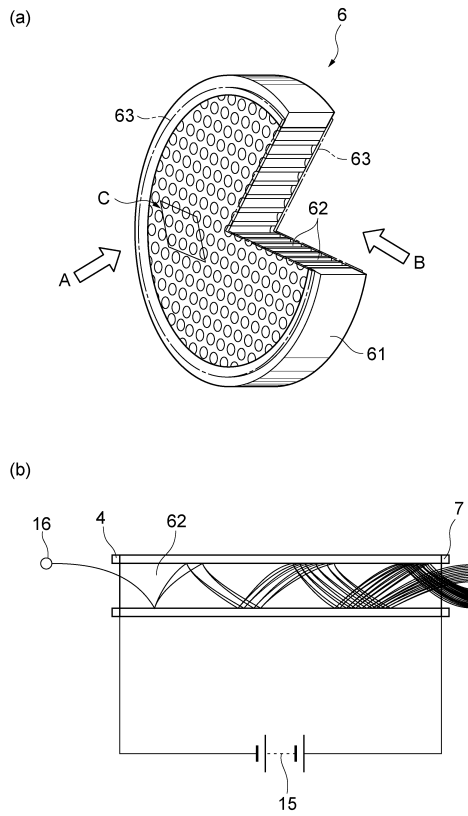
40

【符号の説明】

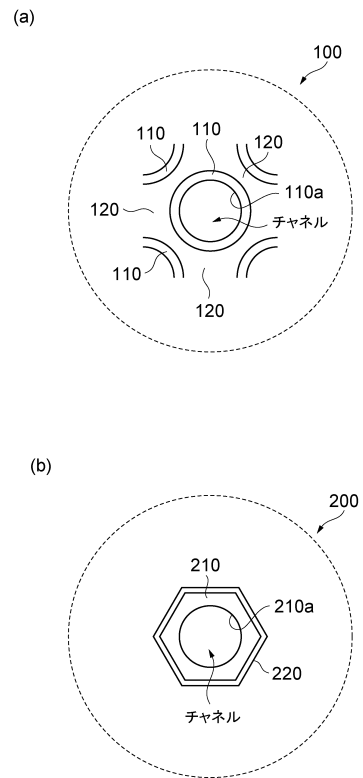
【0057】

200…MCP、210…第1クラッド(第1クラッドガラス)、220…第2クラッド(第2クラッドガラス)。

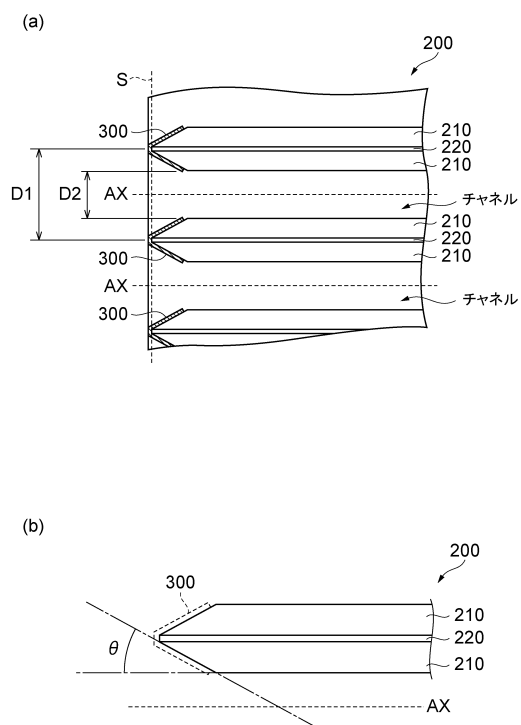
【図 1】



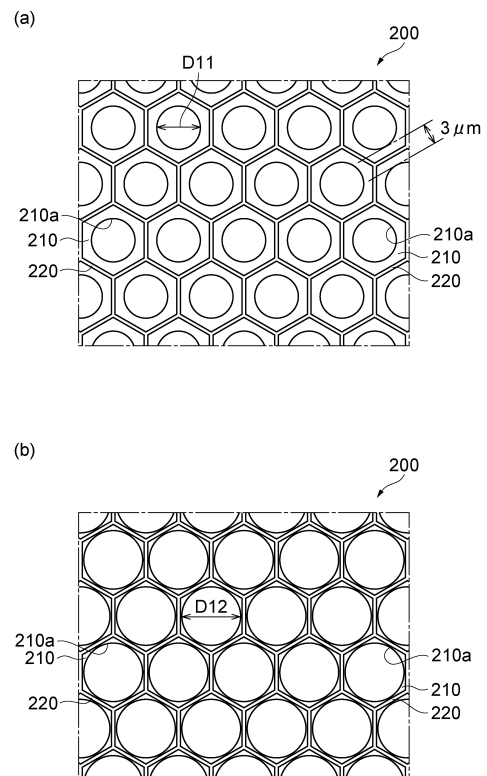
【図 2】



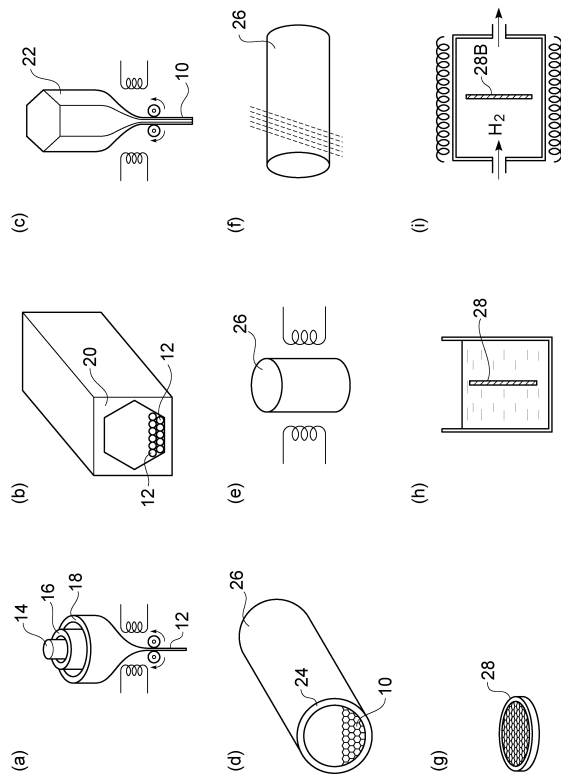
【図 3】



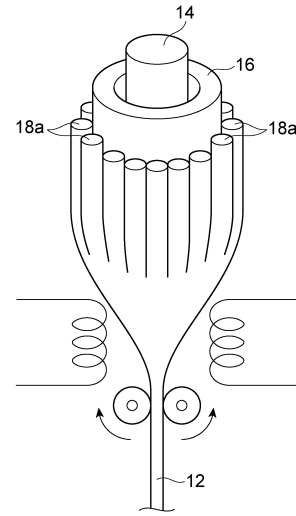
【図 4】



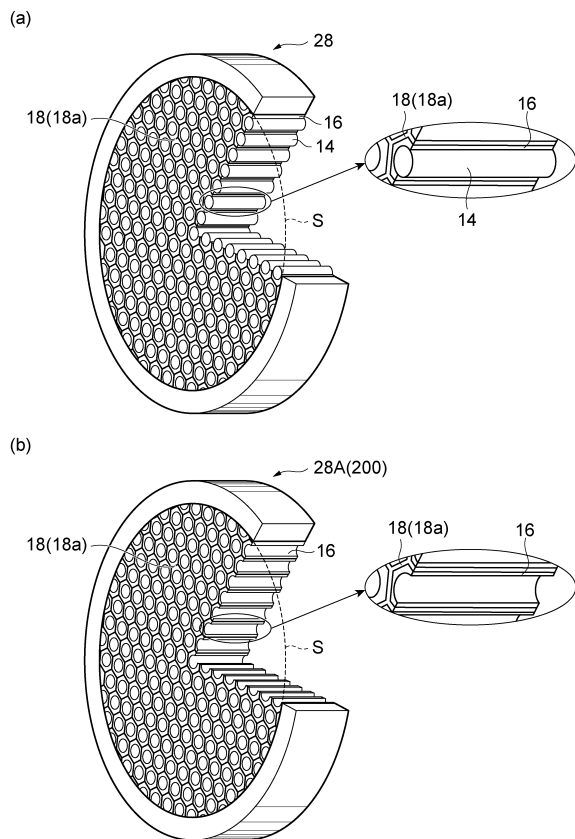
【図 5】



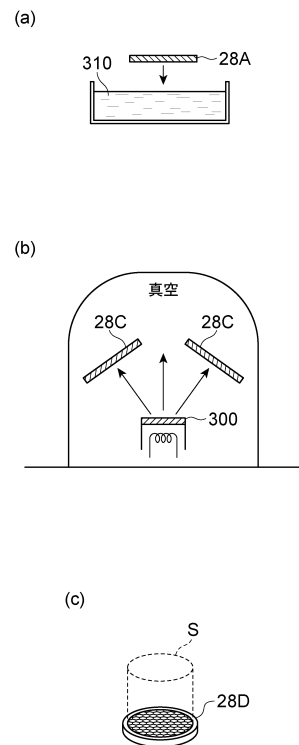
【図 6】



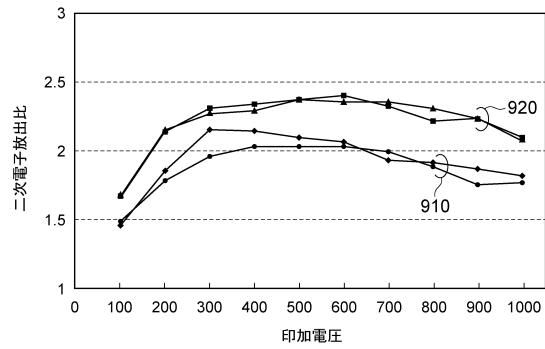
【図 7】



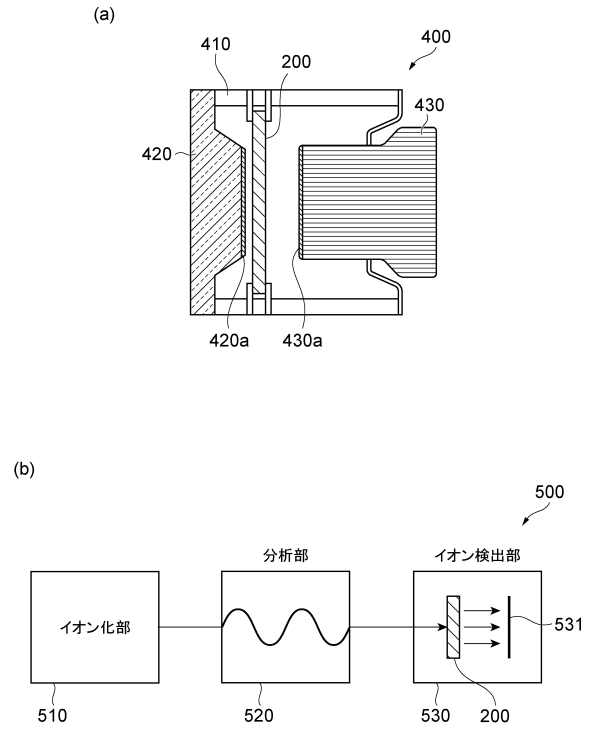
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 松下 徹也

静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特開昭63-128544 (JP, A)

特開2002-117801 (JP, A)

特開2011-129362 (JP, A)

特開2001-351509 (JP, A)

特表2005-536028 (JP, A)

特表2006-507646 (JP, A)

国際公開第2009/148643 (WO, A1)

国際公開第2010/036429 (WO, A1)

国際公開第2006/030820 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 9/12、43/24