

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6614492号  
(P6614492)

(45) 発行日 令和1年12月4日(2019.12.4)

(24) 登録日 令和1年11月15日(2019.11.15)

(51) Int. Cl. F I  
 HO 1 J 37/295 (2006.01) HO 1 J 37/295  
 HO 1 J 37/26 (2006.01) HO 1 J 37/26

請求項の数 17 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-251027 (P2015-251027)	(73) 特許権者	503359821
(22) 出願日	平成27年12月24日 (2015.12.24)		国立研究開発法人理化学研究所
(65) 公開番号	特開2017-117612 (P2017-117612A)		埼玉県和光市広沢2番1号
(43) 公開日	平成29年6月29日 (2017.6.29)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成30年11月12日 (2018.11.12)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	原田 研
			埼玉県和光市広沢2番1号 国立研究開発 法人理化学研究所内
		(72) 発明者	畠田 恵子
			埼玉県和光市広沢2番1号 国立研究開発 法人理化学研究所内
		(72) 発明者	新津 甲大
			埼玉県和光市広沢2番1号 国立研究開発 法人理化学研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 バイプリズム装置、及び荷電粒子線装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

バイプリズム装置であって、  
 荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、  
 前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、  
 前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第1の座電極と第2の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、  
 電源に接続される第1の接触電極と、  
 第2の接触電極と、を備え、  
 前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第1の座電極と前記第2の座電極の少なくともどちらか1つが前記第1の接触電極と接触する状態、或いは前記第1の座電極が前記第1の接触電極と接触し、前記第2の座電極が前記第2の接触電極と接触する状態を取りえ、  
前記第1の接触電極と前記第2の接触電極が前記フィラメントの midpoint となす小なる側の角度は、前記第1の座電極と前記第2の座電極の間の2つの前記絶縁部が前記フィラメントの midpoint となす小なる側の角度よりも大きい、  
 ことを特徴とするバイプリズム装置。

【請求項2】

前記光軸に対して垂直な方向から前記平行平板電極を見たときに前記絶縁部が裏側に位置する、

ことを特徴とする請求項 1 に記載のバイプリズム装置。

【請求項 3】

バイプリズム装置であって、

荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、

前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、

前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第 1 の座電極と第 2 の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、

電源に接続される第 1 の接触電極と、

第 2 の接触電極と、を備え、

前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第 1 の座電極と前記第 2 の座電極の少なくともどちらか 1 つが前記第 1 の接触電極と接触する状態、或いは前記第 1 の座電極が前記第 1 の接触電極と接触し、前記第 2 の座電極が前記第 2 の接触電極と接触する状態を取りえ、

前記光軸に対して垂直な方向から前記平行平板電極を見たときに前記絶縁部が裏側に位置する、

ことを特徴とするバイプリズム装置。

【請求項 4】

前記フィラメントホルダーと前記平行平板電極が一体として前記回転を行う、ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のバイプリズム装置。

【請求項 5】

バイプリズム装置であって、

荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、

前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、

前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第 1 の座電極と第 2 の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、

電源に接続される第 1 の接触電極と、

第 2 の接触電極と、を備え、

前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第 1 の座電極と前記第 2 の座電極の少なくともどちらか 1 つが前記第 1 の接触電極と接触する状態、或いは前記第 1 の座電極が前記第 1 の接触電極と接触し、前記第 2 の座電極が前記第 2 の接触電極と接触する状態を取りえ、

前記第 1 の接触電極が枝状構造を有し、前記第 1 の座電極と前記第 2 の座電極の両方が、枝状構造を有する前記第 1 の接触電極に接触する前記回転の回転角度を有する、

ことを特徴とするバイプリズム装置。

【請求項 6】

前記第 2 の座電極は、前記第 1、第 2 の接触電極の何れかに接触可能な突起部を有する、ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれかに 1 項に記載のバイプリズム装置。

【請求項 7】

バイプリズム装置であって、

荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、

前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、

前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第 1 の座電極と第 2 の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダー

10

20

30

40

50

と、

電源に接続される第1の接触電極と、

第2の接触電極と、を備え、

前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第1の座電極と前記第2の座電極の少なくともどちらか1つが前記第1の接触電極と接触する状態、或いは前記第1の座電極が前記第1の接触電極と接触し、前記第2の座電極が前記第2の接触電極と接触する状態を取りえ、

前記第1の座電極が前記第1の接触電極に接触し、かつ、前記第2の座電極が前記第2の接触電極に接触する前記回転の回転角度範囲が90度以下である、  
ことを特徴とする記載のバイプリズム装置。

10

**【請求項8】**

前記第1の接触電極が枝状構造を有し、前記第1の座電極と前記第2の座電極の両方が、枝状構造を有する前記第1の接触電極に接触する前記回転の回転角度を有する、  
ことを特徴とする請求項1もしくは3に記載のバイプリズム装置。

**【請求項9】**

前記第1の座電極が前記第1の接触電極に接触し、かつ、前記第2の座電極が前記第2の接触電極に接触する前記回転の回転角度範囲が90度以下である、  
ことを特徴とする請求項1、3もしくは5のいずれか1項に記載のバイプリズム装置。

**【請求項10】**

前記フィラメントホルダーと前記平行平板電極が一体として前記回転を行う、  
ことを特徴とする請求項5もしくは7に記載のバイプリズム装置。

20

**【請求項11】**

前記フィラメントが、導電体もしくは導電体をコートされることによって導電性が保持される、

ことを特徴とする請求項1から10のいずれか1項に記載のバイプリズム装置。

**【請求項12】**

前記第1の座電極が前記第1の接触電極に接触し、かつ、前記第2の座電極が前記第2の接触電極に接触する前記回転の回転角度範囲において、前記フィラメントに前記電源を用いて電流を流す、

ことを特徴とする請求項1から11のいずれか1項に記載のバイプリズム装置。

30

**【請求項13】**

前記電源を用いて流された電流により前記フィラメントが熱せられる、

ことを特徴とする請求項12に記載のバイプリズム装置。

**【請求項14】**

荷電粒子線装置であって、

前記荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、

前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、

前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第1の座電極と第2の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、

40

電源に接続される第1の接触電極と、

第2の接触電極と、を備え、

前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第1の座電極と前記第2の座電極の少なくともどちらか1つが前記第1の接触電極と接触する、或いは前記第1の座電極が前記第1の接触電極と接触し、前記第2の座電極が前記第2の接触電極と接触するバイプリズム装置、を備え、

前記第1の接触電極と前記第2の接触電極が前記フィラメントの midpoint となす小なる側の角度は、前記第1の座電極と前記第2の座電極の間の2つの前記絶縁部が前記フィラメントの midpoint となす小なる側の角度よりも大きい、

50

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 15】

荷電粒子線装置であって、

前記荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、

前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、

前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第1の座電極と第2の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、

電源に接続される第1の接触電極と、

第2の接触電極と、を備え、

前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第1の座電極と前記第2の座電極の少なくともどちらか1つが前記第1の接触電極と接触する、或いは前記第1の座電極が前記第1の接触電極と接触し、前記第2の座電極が前記第2の接触電極と接触するバイブリズム装置、を備え、

前記光軸に対して垂直な方向から前記平行平板電極を見たときに前記絶縁部が裏側に位置する、

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 16】

荷電粒子線装置であって、

前記荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、

前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、

前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第1の座電極と第2の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、

電源に接続される第1の接触電極と、

第2の接触電極と、を備え、

前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第1の座電極と前記第2の座電極の少なくともどちらか1つが前記第1の接触電極と接触する、或いは前記第1の座電極が前記第1の接触電極と接触し、前記第2の座電極が前記第2の接触電極と接触するバイブリズム装置、を備え、

前記第1の接触電極が枝状構造を有し、前記第1の座電極と前記第2の座電極の両方が、枝状構造を有する前記第1の接触電極に接触する前記回転の回転角度を有する、

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 17】

荷電粒子線装置であって、

前記荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、

前記光軸と前記フィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、前記フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、

前記フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第1の座電極と第2の座電極を有し、前記光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、

電源に接続される第1の接触電極と、

第2の接触電極と、を備え、

前記フィラメントホルダーの前記回転により、前記第1の座電極と前記第2の座電極の少なくともどちらか1つが前記第1の接触電極と接触する、或いは前記第1の座電極が前記第1の接触電極と接触し、前記第2の座電極が前記第2の接触電極と接触するバイブリズム装置、を備え、

前記第1の座電極が前記第1の接触電極に接触し、かつ、前記第2の座電極が前記第2の

10

20

30

40

50

接触電極に接触する前記回転の回転角度範囲が90度以下である、  
ことを特徴とする荷電粒子線装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は荷電粒子線技術に係り、特に荷電粒子線装置を用いた干渉技術に関する。

【背景技術】

【0002】

荷電粒子線は、電磁場を用いて収束・発散・偏向などの制御が容易であるだけでなく、物質との相互作用が大きく、物質を透過、あるいは反射させた際に受ける散乱の具合を用いて、物質の内部や表面の情報を知る計測装置として実用化されている。例えば、電子線では電子顕微鏡やその付属装置に代表される観察装置や分析装置であり、イオンビームでは収束イオンビーム装置に代表される加工装置である。さらに、近年では荷電粒子の波動性を用いた干渉計測法も一般化している。イオンビームによる干渉計測については、電子線と比較するとまだ一般化の程度は低い、ヘリウムイオン顕微鏡では観察像に干渉効果が明瞭に記録されており、干渉計測が可能な技術レベルに達している（非特許文献1参照）。

10

【0003】

その中で、バイプリズム装置は荷電粒子線を分割・分離させる、あるいは重畳させる目的に用いられる偏向装置である。光学における偏向・干渉装置の一つであるフレネルの複プリズム（プリズムを二つ合わせた形状のプリズム）と同じ作用を持つことから、バイプリズムの名称が与えられている。バイプリズム装置は、電子線干渉の分野では必須の干渉装置となっており、干渉型電子顕微鏡では、結像光学系に複数のバイプリズム装置を備えたり、さらに、照射光学系にもバイプリズム装置を備える装置が実用化され始めている。バイプリズム装置に関連する先行技術文献として下記のものがある。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-197165号公報

【特許文献2】特開2006-313069号公報

【特許文献3】特開2013-229190号公報

【特許文献4】特開2013-246911号公報

【特許文献5】特開平9-80199号公報

30

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】J. Notte et al., *Microrosc. Microanal.* 16 (2010) 599.

【非特許文献2】A. Tonomura: *Electron Holography*, 2nd ed. (Springer, Heidelberg, Germany, 1999) Chapter 5.

【非特許文献3】原田研, *電子顕微鏡* 24 (1990) 230. (K. Harada et al., *J. Electron Microsc.* 37 (1988) 199. )

40

【非特許文献4】G. Mollenstedt and H. Duker, *Naturwiss.* 42 (1955) 41.

【非特許文献5】H. Tomita et al., *J. Appl. Phys.* 9 (1970) 719.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述のように、バイプリズム装置は光学におけるフレネルの複プリズムと同じ作用をする荷電粒子線における光学装置で、電界型と磁界型の二種類がある。本願発明が対象とするのは、広く普及している電界型バイプリズムで、中央部のフィラメント電極とその電極を挟む形で保持される平行平板接地電極から構成される。

フィラメント電極には、主にガラス線フィラメントが用いられ表面を金属コーティング

50

(主に金、白金、あるいは白金パラジウム合金など)することによって導電性を与えている。このフィラメント電極は干渉光学系で使用する場合には、干渉性の要請により細いほど都合が良く、現状は線径0.5 μm程度のものが用いられている。このフィラメント電極は、肉眼での目視ではほとんど見えないほど細いため、機械的な破損とホコリの付着などが無き様、取扱いには細心の注意を要する。

【0007】

フィラメント電極は荷電粒子線装置の光軸をまたぐように配置されるため、まさに荷電粒子線に照射される。そのため、荷電粒子線装置の真空中に残存する不純物(主にカーボン系、または有機物系のコンタミネーション)が付着しやすく、それが付着したときにはその付着物により局所チャージアップが発生し、干渉現象を乱す要因となっている。

10

【0008】

また、照射光学系に配置した場合には、多大なドーズ量の荷電粒子線に曝されることになり、金属コーティングのはがれなど損傷が発生する。これは、荷電粒子線の加速電圧が高いほど、また用いる荷電粒子が質量の大きな粒子であるほど発生頻度が高くなる傾向があるが、この金属コーティングのはがれなども、ガラス製フィラメント電極の局所チャージアップの発生の原因となっている。

【0009】

上記課題に対する具体的な対策としては、チャージアップが発生した後にフィラメント電極を金属コーティングし直すか、新しいフィラメント電極に交換することで対応しているのが現状である。しかし、上述のごとく、フィラメント電極はその作製にも細心の注意を要するため、熟練者による対応を必要とする難しい作業である。また、過去にはフィラメント電極を通電加熱し、付着したコンタミネーションを除去する、あるいは使用中に加熱を継続しコンタミネーションを付着させない工夫がされた例はあるが、普及には至っていない。

20

【0010】

本発明の目的は、上記の課題を解決し、コンタミネーションが付着した部分での局所チャージアップを防止することが可能なバイプリズム装置、及び荷電粒子線装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記目的を達成するために、本発明においては、バイプリズム装置であって、荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、光軸とフィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第1の座電極と第2の座電極を有し、光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、電源に接続される第1の接触電極と、第2の接触電極と、を備え、フィラメントホルダーの回転により、第1の座電極と第2の座電極の少なくともどちらか1つが第1の接触電極と接触する状態、或いは第1の座電極が第1の接触電極と接触し、第2の座電極が第2の接触電極と接触する状態を取りうるバイプリズム装置、及びそれを用いた荷電粒子線装置を提供する。

30

【発明の効果】

40

【0012】

本発明によれば、コンタミネーションの付着による局所チャージアップを消失することができる。また、局所チャージアップにより使用が不可となったフィラメントの再利用が可能となる。さらに、金属性フィラメントを用いた場合には、荷電粒子線の照射によるはがれなどの損傷もないため、バイプリズム装置の稼働期間を著しく延長することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】バイプリズム装置とバイプリズム装置による荷電粒子線の偏向を示す模式図である。

50

【図 2】バイプリズム装置を用いた干渉光学系の一例を示す模式図である。

【図 3】回転型バイプリズム装置の模式図である。

【図 4】実施例 1 に係るバイプリズム装置の構成を示す模式図である。

【図 5】実施例 1 に係るバイプリズム装置で、通電可能な方位角の範囲を示す模式図である。

【図 6】実施例 2 に係るバイプリズム装置で、通電時と同じ方位角の範囲で偏向作用可能を示す模式図である。

【図 7】実施例 3 に係る、絶縁部によるフィラメント電極の使用不可状況を回避する方法を示す模式図である。

【図 8】実施例 4 に係る、電子線干渉装置のシステム全体の一例を示す模式図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、本発明を実施するための形態を説明するが、それに先立ちバイプリズム装置、及びこれを用いた荷電粒子線装置を図面に従い概説する。なお、本明細書において、フィラメント電極を単にフィラメントと呼ぶ場合がある。

【0015】

<バイプリズム装置>

広く普及している電界型バイプリズム装置による偏向の作用は、電子線に限るものではなく、荷電粒子線には共通のものである。電荷の正負はフィラメント電極への印加電位の正負で簡単に制御できるが、以後の説明では主に電子線バイプリズム、あるいはそれを備えた電子顕微鏡を用いて説明する。しかし、本発明は電子線バイプリズム、あるいは電子顕微鏡に限定するものではない。

20

【0016】

図 1 の点線枠で示したように、電界型バイプリズム 9 は、中央部のフィラメント電極 9 1 とその電極を挟む形で保持される平行平板接地電極 9 9 から構成される。例えば電子線装置においては、フィラメント電極 9 1 に正電位を印加すると、図 1 中に示したごとく、フィラメント電極 9 1 の近傍を通過する電子線 2 7 は、フィラメント電極 9 1 の電位により互いに向き合う方向に偏向される。図 1 中の電子軌道 2 7 に垂直に平面 2 2 が描かれているが、これは電子線を波として表現するときの等位相面であり、通常は電子軌道と垂直を成す面で、一般的には波面と呼ばれる。互いに向き合う方向に偏向を受けた 2 枚の波面 2 2 は、フィラメント電極 9 1 の後方で重なり合い、干渉縞 8 を形成する。

30

【0017】

フィラメント電極 9 1 から離れるほど電子線に作用する電位は小さくなるが作用している空間範囲が長くなるため、結果的に電子線の偏向角度は入射位置に依らずフィラメント電極 9 1 への印加電位に比例する。すなわち、 $\theta$  をバイプリズム装置による電子線の偏向角度とすると、フィラメント電極への印加電圧  $V_f$  と偏向係数  $k$  を用いて  $\theta = k V_f$  で表わされる簡単な関係を持つ。電子線の偏向角度  $\theta$  が入射位置に依らないことは電子光学装置としては重要な特徴で、平面波は平面波のまま伝播方向のみが偏向されて、バイプリズム装置を射出することになる。これは光学ではちょうど 2 つのプリズムを合わせた複プリズムの効果に対応することから、バイプリズム、特に電子線装置で用いられる場合には電子線バイプリズムと呼ばれている。

40

<干渉顕微鏡像の作成>

図 2 に、バイプリズム装置を用いた応用例として、電子線ホログラフィーによる干渉顕微鏡像を作成する最も一般的な光学系を示す（非特許文献 2 参照）。図 2 では、バイプリズム装置 9 を対物レンズ 5 と試料の像面 7 1 との間に配置し、フィラメント電極 9 1 に正の電位を印加することによって、試料 3 を透過した電子線である物体波 2 1（図 2 ではフィラメント電極の左側を通過する電子線でハッチングを付けて示した）と、試料の無い側を透過した電子線である参照波 2 3（図 2 ではフィラメント電極の右側を通過する電子線）を重畳させて干渉顕微鏡像である、試料像 3 1 に干渉縞 8 の重畳された画像を得ている。すなわち、試料 3 が物体波 2 1 の波面に与える位相変化が、重畳された干渉縞 8 の変調と

50

して記録される。

【0018】

< バイブリズムの方位回転 >

荷電粒子線装置はほとんどの場合、装置の光軸を中心に軸対称の構造に構成されている。しかし、バイブリズム装置は光軸に直交する方向に挿入され、かつバイブリズム装置による荷電粒子線の偏向方向は、光軸とフィラメント電極の両方に垂直な方向である。従って、バイブリズム装置を備える光学系には光軸を回転中心とした方位依存性が生じることになる。このため、実験における実用性を高めるためには、試料とフィラメント電極の位置関係に光軸を回転中心とした方位回転の自由度のあることが望ましい。そこで、現在実用化されているバイブリズム装置は、ほとんどの場合、フィラメント電極を含む平面内の方位の回転機構を備える構造となっている（非特許文献2参照）。

10

【0019】

< 1電極回転型バイブリズム装置 >

図3は1電極の回転型バイブリズム装置本体80である（非特許文献2）。同図の(a)は鳥瞰模式図、(b)は実用されている装置の外観模式図である。フィラメント電極91が固定されるフィラメントホルダー93は環状になっており、ホルダー外周と接触電極81が接触し電氣的に接続されている。接触電極81は電源95と接続されており、その電源を通じてフィラメント電極91に電位が印加される。フィラメント電極91と環状のフィラメントホルダー93は、フィラメント固定後に全体が金属コートされる場合には、真空に耐える接着剤92であれば、非導電性の接着剤、例えばエポキシ系樹脂などでも構わない。環状フィラメントホルダー93の場合にはフィラメント電極91と環状フィラメントホルダー93の間に平行平板接地電極99が配置される。そのため、フィラメント電極91の方位回転は、平行平板接地電極99とともに回転する。この平行平板接地電極が無い場合には、フィラメント電極91と環状フィラメントホルダー93の間の空間にも電位が存在するため、荷電粒子線の偏向角度は小さくなる。

20

【0020】

図3の(b)において、装置全体が図中X方向（装置の軸垂直方向）とY方向（軸方向）に微動して、フィラメント電極91の位置を調整できる。また、バイブリズム装置を使用しない場合は、Y軸方向に大きく移動しバイブリズムの機構部が荷電粒子線から外れる構造となっている。この時の荷電粒子線装置の光軸を符号20で示した。接触電極81は片持ち梁の構造としてバネ性を持たせ、フィラメントホルダー93の方位回転に依らず接点の確保が図られている。

30

【0021】

なお、図3の(b)に記載のバイブリズム装置は、装置全体として軸構造をしているため、装置に固有の振動モードが軸方向と軸垂直方向とでは異なっている。軸方向の振動振幅は小さく、軸垂直方向の振動振幅は大きい。さらにフィラメント電極91も、フィラメントの軸方向には振動の影響は小さく、フィラメントに垂直方向には振動の影響が大きい。そのため、結果としてフィラメント電極の方位角に応じて振動の影響の現れ方が異なる。すなわち、フィラメント電極の軸がバイブリズム装置の軸に垂直の場合が振動の影響が最も小さく、振動に対して最も安定になる。図3の(a)は、この安定な方位角で描かれている。このフィラメント電極91の方位角による安定性の違いは重要な実施要件であり、フィラメント電極がバイブリズム装置の軸に垂直となる方位角で操作できれば、バイブリズム装置の利便性は高い。

40

【0022】

そこで、本発明のバイブリズム装置の好適な態様においては、荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、光軸とフィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極とから構成され、フィラメントが設置されるフィラメントホルダーは絶縁部を挟んで第1の座電極と第2の座電極とを備えるとともに、荷電粒子線装置の光軸と平行な軸を回転軸として回転し、フィラメントの両端はフィラメントホルダーの第1と第2の座電極にそれぞれ固定され、フィラメントホ

50



ルダーと接触する第1の接触電極と第2の接触電極が備えられ、第1の接触電極は電源に接続され、第2の接触電極はバイプリズム装置に接続され、フィラメントホルダーの回転角度により、第1の座電極と第2の座電極の少なくともどちらか1つが第1の接触電極と接触する状態、或いは、第1の座電極が第1の接触電極と接触し、且つ、第2の座電極が第2の接触電極と接触する状態を取りうる構成を備える。

【0023】

この好適な態様によって、フィラメント電極の回転機構を持つ1電極のバイプリズム装置であって、1電極のままの構成で、フィラメント電極に電流を流すことが可能となる。その結果、フィラメント電極の通電による加熱が可能となり、フィラメント電極に付着したコンタミネーションが除去される。これにより、コンタミネーションの付着による局所チャージアップが消失する。すなわち、現在普及している1電極の回転型バイプリズム装置に、通電によるフィラメント電極の加熱清浄化機能を併設付加することが可能となり、局所チャージアップにより使用が不可となったフィラメント電極の再利用が可能となる。さらに、金属性フィラメント電極を用いた場合には、荷電粒子線の照射によるはがれなどの損傷もないため、バイプリズム装置の稼働期間を著しく延長することが可能となる。

【実施例1】

【0024】

実施例1は、フィラメント電極の方位回転可能の利点を失うことなく、更にフィラメント電極への通電を可能としてフィラメント電極に付着したコンタミネーションを除去することを可能とする状態を取りうる1電極の方位回転型バイプリズム装置の実施例である。すなわち、バイプリズム装置であって、荷電粒子線装置の光軸に直交するフィラメントと、光軸とフィラメントの両方に直交する軸を法線とする平面を持ち、フィラメントを挟んで配置される一対の平行平板電極と、フィラメントの両端がそれぞれ固定され、互いに絶縁部で絶縁された第1の座電極と第2の座電極を有し、光軸と平行な軸を回転軸として回転するフィラメントホルダーと、電源に接続される第1の接触電極と、第2の接触電極と、を備え、フィラメントホルダーの回転により、第1の座電極と第2の座電極の少なくともどちらか1つが第1の接触電極と接触する状態、或いは第1の座電極が第1の接触電極と接触し、第2の座電極が第2の接触電極と接触する状態を取りうるバイプリズム装置の実施例である。

【0025】

図4に実施例1のバイプリズム装置の一構成例の鳥瞰模式図を示す。本実施例のバイプリズム装置は、図3に示した1電極回転型バイプリズム装置の基本的な構造に加え、新たに以下の4つの特有の構成を備える。

【0026】

(1) フィラメント電極91が固定されるフィラメントホルダーが絶縁体を挟んだ2つの座電極83、84から構成される。

【0027】

(2) 第2の座電極84には突起部86が設けられる。

【0028】

(3) フィラメントホルダーが方位回転した際に、突起部86と接触する第2の接触電極82が備えられる。

【0029】

(4) フィラメント91の2つの座電極83、84への固定は導電性接着剤92が用いられる。

【0030】

図4において、フィラメントホルダーは、2つの座電極83、84を絶縁体からなる絶縁部85で接続した構造で、ホルダー全体で環状の形状を持ち、パネ性を持った2つの第1、第2の接触電極81、82と接触しても変形しないだけの十分な剛性を持っている。第2の座電極84の突起部86は、第1、第2の接触電極81、82の何れかに接触可能な構成を備える。

10

20

30

40

50

## 【0031】

荷電粒子線の軌道経路中に存在する絶縁体は荷電粒子線装置にとってはチャージアップの原因となるため、フィラメントホルダーの座電極83、84を接続する2つの絶縁部85は、平行平板接地電極99の裏側に位置し、荷電粒子線から直接見込むことが無い構造となっている。すなわち、絶縁部が平行平板電極の光軸から見た裏側に位置することとなる。

## 【0032】

さらにこの構造を維持するため、フィラメントホルダーと平行平板接地電極99は一体となって方位回転する構造となっている。なお、平行平板電極を接地させず、片側の電極だけ、または両電極共に別電源等に接続し、荷電粒子線への片偏向を加える機能を有して

10

## 【0033】

また図4では、2つの接触電極81、82は、図3の回転型バイプリズム装置の接触電極81と同様に、片持ち梁型の板バネ形状を想定して描いているが、この形状に限るものではなく、電極の裏側からコイル型バネで押し付ける形状でも、その他の形状でも構わない。第1の接触電極81と第2の接触電極82は、第2の座電極84に備えられた突起部86と接触しても塑性変形しないだけのバネ性を保持していれば良い。この条件を満たすバネ性は、第2の座電極の突起部86の大きさである突起量にも依存するので、接触電極の形状、サイズ、素材とともに第2の座電極の突起部86の大きさなどを考慮して定めればよい。

20

## 【0034】

フィラメント電極91に電位を印加する電源95に接続された第1の接触電極81と、バイプリズム装置に直接接続されて接地される第2の接触電極82が、フィラメント電極91の midpoint (理想的な配置では荷電粒子線の光軸が通る点) となす方位角  $\theta$  は、フィラメントホルダーの第1の座電極83と第2の座電極84の間の2つの絶縁部85がフィラメント電極91の midpoint となす方位角  $\theta_0$  よりも大きくなければならない ( $\theta > \theta_0$ )。この条件は、第2の座電極84が単独で第1の接触電極81と第2の接触電極82とに接続しないという構成要件から導かれる。すなわち、突起部86を備えた第2の座電極84が単独で両方の接触電極に接続して電源をショートさせないための条件である。但し、ここで述べた角度  $\theta_0$  も角度  $\theta_1$  も、図4に示す通り、それぞれ小さい方の方位角である。すなわち、第1の接触電極と第2の接触電極がフィラメントの midpoint となす小なる側の角度は、第1の座電極と第2の座電極の間の2つの絶縁部がフィラメント電極の midpoint となす小なる側の角度よりも大きいことになる。

30

## 【0035】

図5に本実施例のバイプリズム装置のフィラメントホルダーを方位回転させて、第2の座電極84を第2の接触電極82に接続可能な範囲を示す。すなわち、図5の(a)と(b)に示す方位角の範囲において、フィラメント電極91への通電が可能である。なお、作図の都合上、図5とそれ以降の図においては、第1の接触電極81と第2の接触電極82がフィラメント電極91の midpoint となす方位角  $\theta$ 、および第1の座電極83と第2の座電極84の間の2つの絶縁部85がフィラメント電極91の midpoint となす方位角  $\theta_0$  のいずれもが直角を成すように描いているが、この角度に限定するものではない。

40

## 【0036】

フィラメント電極91は、導電体もしくは導電体をコートされることによって導電性が保持されているため、第1の座電極83が第1の接触電極81に接触し、かつ、第2の座電極84が第2の接触電極82に接触する回転の回転角度範囲、すなわち方位角の角度範囲において、電源95を用いて通電することによりフィラメント電極91を加熱できる。この時の加熱の程度は流す電流量や通電時間だけでなく、フィラメント電極の素材、断面積、長さにも依存する。例えば、非特許文献3によると、フィラメント線径が約0.6  $\mu\text{m}$  の白金線の時、約300  $\mu\text{A}$  の通電量で600、4分間の加熱が基準とされている。今までに開発された荷電粒子線のバイプリズム装置では、フィラメント電極の大きさに大差はない

50

ので、上記の数値は今後も一つの操作指標になる。

【0037】

また、ガラス線に金属コーティングを施すフィラメント電極の場合であっても、フィラメント電極のコーティング厚さはフィラメント線径の1/10の程度であり、その結果、金属コーティングの断面積は、ガラス線断面積の5%程度となる。すなわち、金属製フィラメントへの通電加熱が制御可能な電源システムであれば、十分に制御可能なレベルであり、本願におけるフィラメント電極は金属線に限らず、従来のフィラメント電極と同様のガラス線に金属コーティングを施したものであっても実施可能である。

【0038】

本実施例のバイプリズム装置においてはフィラメント電極91の線径が小さいため、通電時に電源から印加される電圧も1V以下と推定されており、通常の電子線ホログラフィーにおけるバイプリズム装置への印加電位が数10Vから100V程度であることと比較するとかなり小さい。すなわち、本実施例のバイプリズム装置では通電状態のまま、バイプリズムとして使用する可能性は小さい。

【0039】

フィラメント電極91に通電できる回転の角度範囲、すなわち、図5の(a)と(b)の方位角の範囲は、第2の接触電極82の大きさと形状に依存する。この範囲では、バイプリズムとして利用するための電位(数10Vから100V程度)を印加すると、フィラメントが焼損する。しかし、600程度に加熱する電流量の場合には、上述のとおり、所定の電位を印加できずバイプリズムとして利用することは不可能である。そのため、フィラメント電極91に通電できる角度範囲が大きい場合には、本来のバイプリズムとして機能しない角度範囲が大きくなる。そのため、フィラメント電極91に通電できる回転の回転角度範囲、すなわち方位角の角度範囲は、90°以下とするのが妥当である。

【0040】

以上の様に、本実施例に示した構成によれば、フィラメント電極の回転機構を持つ1電極のバイプリズム装置であっても、1電極のままの構成で、フィラメント電極に電流を流すことが可能となる。その結果、フィラメント電極の通電による加熱が可能となり、フィラメント電極に付着したコンタミネーションが除去される。これにより、コンタミネーションの付着による局所チャージアップが消失する。すなわち、フィラメント電極の再利用が可能となり、バイプリズム装置の稼働寿命を延長することが可能となる。

【実施例2】

【0041】

図6に実施例2のバイプリズム装置の一構成例を示す。図6は図5と対を成す図で、図6の(a)、(b)ともに、フィラメント電極91の方位角は図5の(a)、(b)と一致させて描画している。図6は実施例1でフィラメント電極91への通電のため、バイプリズム装置として使用不可と判断されたフィラメント電極の方位角で、バイプリズム装置を使用する方法、及び構成を例示したものである。すなわち、通電のための方位角については、フィラメント電極91を180°回転させた方位角(回転対称位置)を用いることによってバイプリズムとしての使用が可能である。

【0042】

これにより、本実施例2に示した方法、構成によれば、通電機能を持たせた場合においても、フィラメント電極は全方位に渡ってバイプリズム装置として操作が可能となる。

【実施例3】

【0043】

図7に実施例3のバイプリズム装置の一構成例を示す。本実施例は、第1の接触電極が枝状構造を有し、第1の座電極と第2の座電極の両方が、枝状構造を有する第1の接触電極に接触する回転角度、すなわち方位角の角度範囲を有する構造のバイプリズム装置の実施例である。図7の(a)に電氣的に浮いた課題の状態、同図の(b)に枝状電極から電位を印加する状態、及び同図の(c)に両座電極が接触電極に接続された状態を示す。

【0044】

10

20

30

40

50

図7の(a)はフィラメントホルダーの絶縁部85が第1の接触電極81と接触する方位角の場合を示している。フィラメントホルダーの絶縁部85が第1の接触電極81に接触する場合には、フィラメント電極91は電氣的に浮いた状態となり、フィラメント電極91への通電ができないだけでなくバイプリズム装置9として電位を印加することもできなくなる。このフィラメント電極91が電氣的に浮いてしまう状況は、フィラメントホルダーに絶縁部85が設けられているために、その方位角で特異的に発生する。この課題に対しては、図7に示したごとく、第2の接触電極82に備えられる突起部86を絶縁部85の近傍に備えることで、一方については回避できる。これまでに示した図4、図5、図6もすべてこの状況を考慮して描画されている。残った他方の絶縁部85が第1の接触電極81に接触してフィラメント電極91が電氣的に浮いた状態となる状況を示した図が、図7の(a)である。

10

**【0045】**

上記残存する課題については、本実施例においては、図7の(b)に示すように第1の接触電極81に枝状構造を設けることにより回避できる。すなわち、絶縁部85が第1の接触電極81に接触する状況の前後の方位角において、第2の座電極84に備えられた突起部86が枝状電極88に接続する構造である。枝状電極88の幅をある程度広く構成しておけば、絶縁部85の環状フィラメントホルダーの外周幅よりも、枝状電極88と突起部86が接触している外周幅の方を大きくすることが可能で、本課題は完全に解決される。

**【0046】**

さらに、図7の(c)は第2の座電極84に備えられて突起部86が第1の接触電極81

20

**【0047】**

なお、図示は省略するが、第2の座電極をフィラメント電極の端部近傍にだけに小さく作りその部分に突起部を設ければ、1つの突起部のみで両方の絶縁部が第1の接触電極と接触することを回避できる。ただし、この場合には絶縁部を平行平板接地電極の裏側に位置させることが困難となり、絶縁部のチャージアップ防止策が別途に必要となる。先述のとおりフィラメント電極は大変に細く機械的強度が小さいため、チャージアップ防止策にはより繊細な設計・取り扱い作業が求められる。

30

**【0048】**

以上により、実施例3に示した方法によれば、フィラメントホルダーの絶縁部が発生させるフィラメント電極が電氣的に浮いた状況を回避できるだけでなく、より安定的にフィラメント電極への電位の印加が可能となる。これにより、完全に全方位角に渡ってフィラメント電極への電位印加が可能となり、1電極の回転型バイプリズム装置であっても、1電極のままの構成で、フィラメント電極への通電が可能で、かつ、バイプリズム装置として支障なく全方位での使用が可能となる。

**【実施例4】****【0049】**

図8に、実施例4に係る電子線干渉装置のシステム全体の一構成例の模式図を示す。図8は300kV程度の加速電圧を持つ汎用型の電子顕微鏡を想定し、電子線干渉光学系の場合のシステム全体を模式的に描いているが、この構成を持つ電子顕微鏡に限定するものではない。

40

**【0050】**

電子源としての電子銃1が電子線の流れる方向の最上流部に位置し、電子線は加速管40にて所定の速度にされた後、照射光学系であるコンデンサーレンズ41、42を経て所定の強度、照射領域に調整されて試料3に照射される。試料3を透過した電子線は、対物レンズ5にて結像される。この結像作用は、対物レンズ5よりも後段の結像レンズ系61、62、63、64に引き継がれ、最終的に電子線装置の観察記録面75に結像される。

50

その像はCCDカメラなど記録媒体79とコントローラ78を経て、例えば画像データモニタ76画面上で観察したり、記録装置77に画像データとして格納される。

【0051】

バイプリズム装置9は、対物レンズ5による光源1の像面と対物レンズ5による試料3の像面の間に配置され、電子線をフィラメント91の下側で重畳するように操作される。このバイプリズムによる電子線の重畳部は、試料の像とともに対物レンズ後段の結像レンズ系61、62、63、64で拡大され、観察記録面75に結像される。

【0052】

これら装置は、全体としてシステム化されており、オペレータはモニタ52画面上で装置の制御状態を確認するとともに、インターフェース53を介して、各種プログラムが実行されるシステム制御コンピュータ51を用いて、試料の制御ユニット39、第2照射レンズの制御ユニット47、第1照射レンズの制御ユニット48、加速管の制御ユニット49、対物レンズの制御ユニット59、第4結像レンズの制御ユニット66、第3結像レンズの制御ユニット67、第2結像レンズの制御ユニット68、第1結像レンズの制御ユニット69、画像記録媒体の制御ユニット78、バイプリズム装置の制御ユニット98等の制御ユニットを制御することにより、電子源1、加速管40、各レンズ41、42、5、61、62、63、64、試料3、バイプリズム装置9、検出器79等などを制御できる。

【0053】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、第2の接触電極は、バイプリズム装置本体に接続する場合を示したが、第2の接触電極を接地させることができれば良く、荷電粒子線装置本体であっても良い。また、上記の実施例は、透過型の電子顕微鏡に基づいて説明したが、本発明は走査型の電子顕微鏡に用いてもよいし、イオン顕微鏡に用いてもよい。その際に、それぞれの装置に基づいて光学系の構成が変更されるのは、言うまでもない。なお、想定される荷電粒子線装置は、どのような装置であっても、荷電粒子線の偏向系や真空排気系などを備えているが、本願と直接の関係が無いため、図示、および説明は省略した。

【0054】

また、上記した各実施例は本発明のより良い理解のために詳細に説明したのであり、必ずしも説明の全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることが可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

【0055】

更に、上述した各構成、機能、制御部等は、それらの一部又は全部を実現するプログラムが作動作する制御ユニット、制御系コンピュータの使用する例を説明したが、それらの一部又は全部を例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現しても良いことは言うまでもない。すなわち、制御部の全部または一部の機能は、プログラムに代え、例えば、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array) などの集積回路などにより実現してもよい。

【符号の説明】

【0056】

- 1 電子源もしくは電子銃
- 11 対物レンズにより結像された光源の像(クロスオーバー)
- 18 真空容器
- 19 電子源の制御ユニット
- 2 光軸
- 20 バイプリズム装置を使用しない場合の光軸
- 21 物体波

10

20

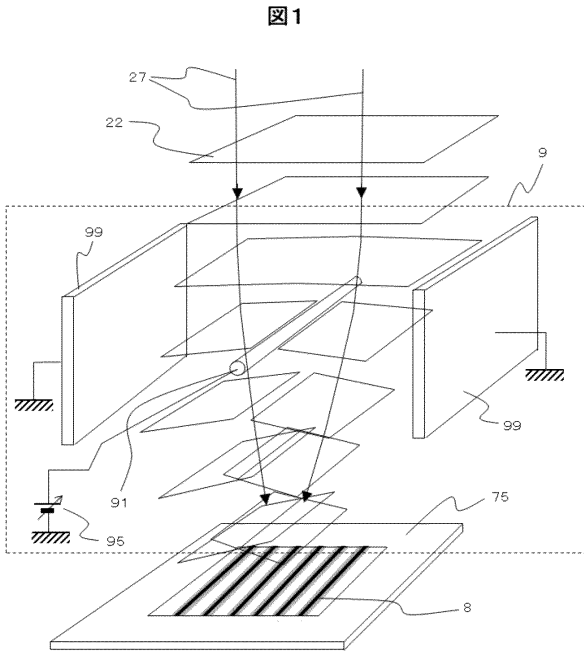
30

40

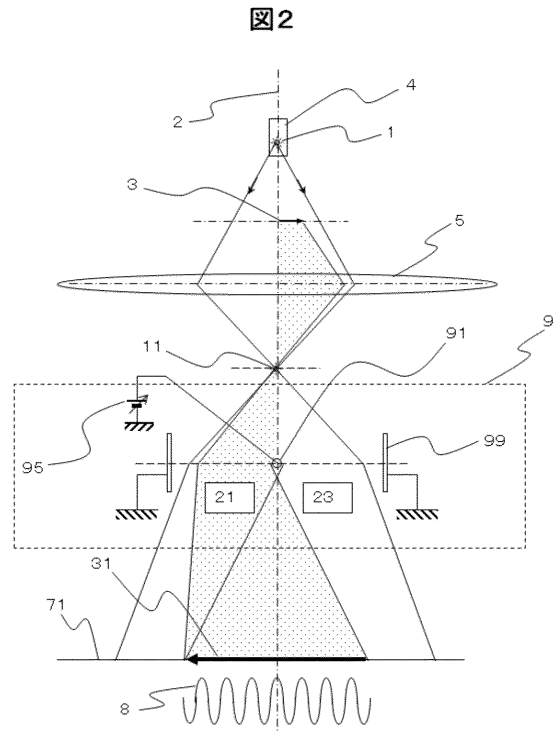
50

2 2	電子線の波面	
2 3	参照波	
2 7	電子線の軌道	
3	試料	
3 1	対物レンズにより結像された試料の像	
3 9	試料の制御ユニット	
4	照射光学系	
4 0	加速管	
4 1	第 1 照射 (コンデンサ) レンズ	
4 2	第 2 照射 (コンデンサ) レンズ	10
4 7	第 2 照射レンズの制御ユニット	
4 8	第 1 照射レンズの制御ユニット	
4 9	加速管の制御ユニット	
5	対物レンズ	
5 1	制御系コンピュータ	
5 2	制御系コンピュータのモニタ	
5 3	制御系コンピュータのインターフェース	
5 9	対物レンズの制御ユニット	
6 1	第 1 結像レンズ	
6 2	第 2 結像レンズ	20
6 3	第 3 結像レンズ	
6 4	第 4 結像レンズ	
6 6	第 4 結像レンズの制御ユニット	
6 7	第 3 結像レンズの制御ユニット	
6 8	第 2 結像レンズの制御ユニット	
6 9	第 1 結像レンズの制御ユニット	
7 1	対物レンズによる試料の像面	
7 5	観察記録面	
7 6	画像データ用モニタ	
7 7	画像記録装置	30
7 8	画像記録媒体の制御ユニット	
7 9	画像観察・記録媒体	
8	干渉縞	
8 0	バイプリズム装置本体	
8 1	接触電極もしくは第 1 の接触電極	
8 2	第 2 の接触電極	
8 3	第 1 の座電極	
8 4	第 2 の座電極	
8 5	絶縁部	
8 6	突起部	40
8 7	第 1 の接触電極と枝状電極の支点	
8 8	枝状電極	
9	バイプリズム装置	
9 1	フィラメント電極	
9 2	接着剤	
9 3	フィラメントホルダー	
9 5	フィラメント電極への電位印加電源	
9 8	バイプリズム装置の制御ユニット	
9 9	平行平板接地電極	

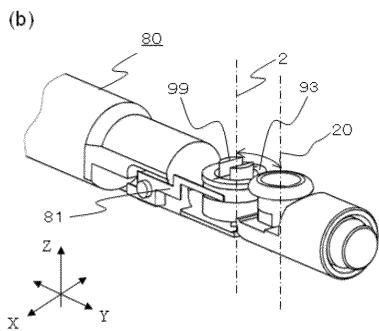
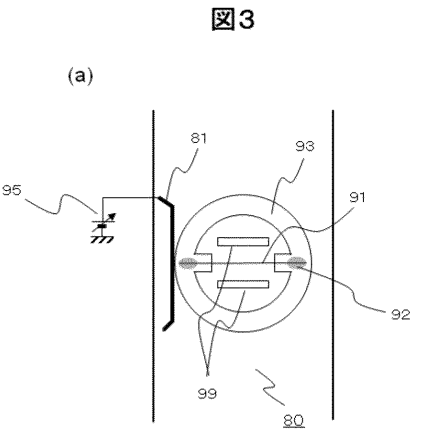
【 図 1 】



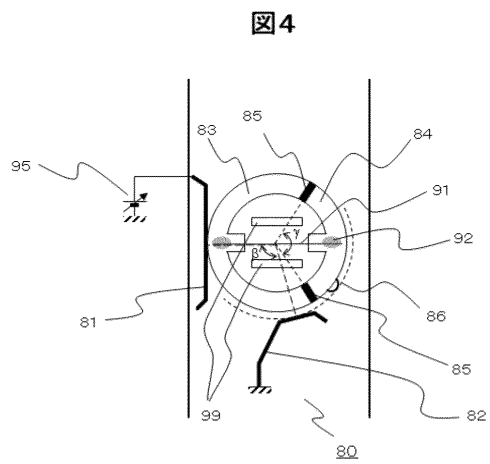
【 図 2 】



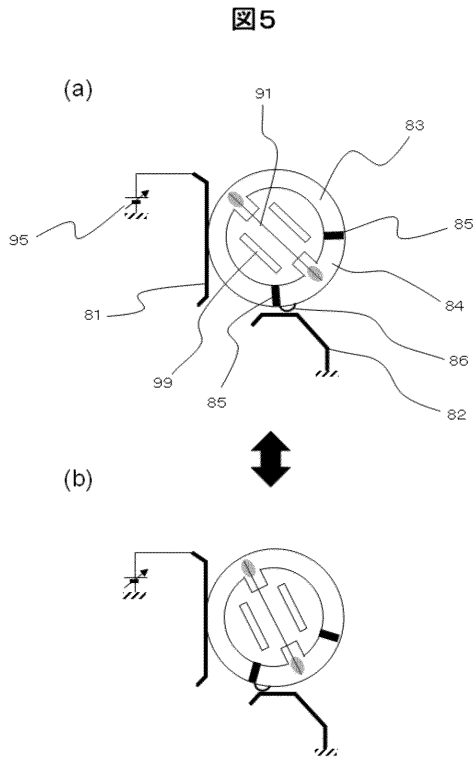
【 図 3 】



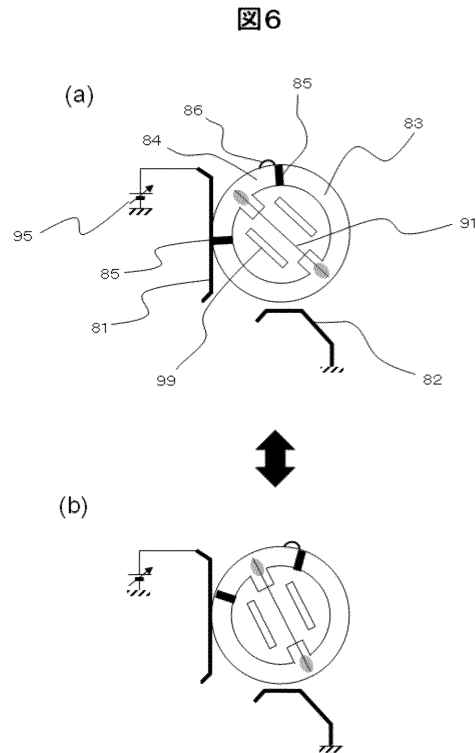
【 図 4 】



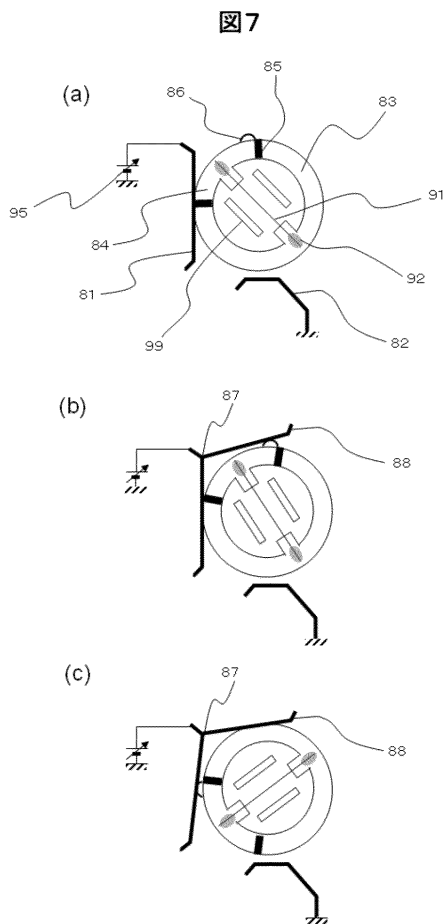
【 図 5 】



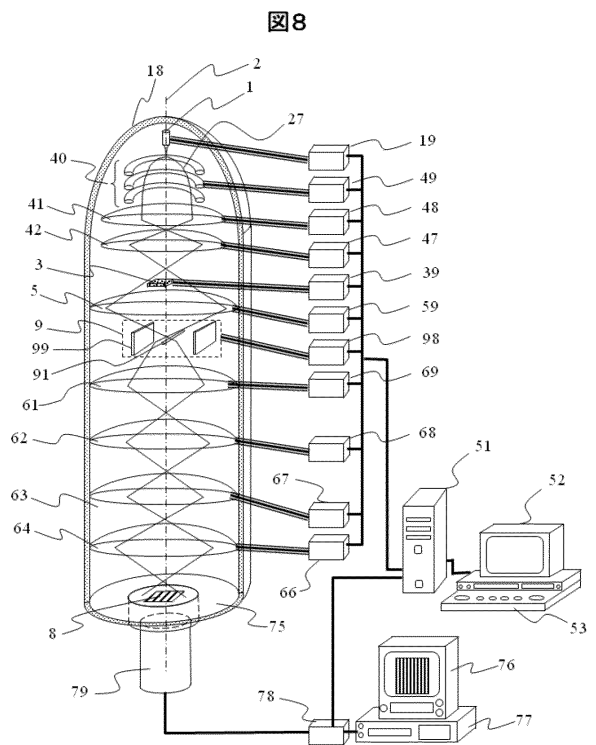
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】





---

フロントページの続き

審査官 小林 直暉

(56)参考文献 米国特許第05811806 (US, A)  
特開2001-325913 (JP, A)  
特開平11-040097 (JP, A)  
特開平04-014744 (JP, A)  
特開2011-253654 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J37/00 - 37/02  
37/05  
37/09 - 37/18  
37/21  
37/24 - 37/244  
37/252 - 37/295