

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02016/174891

発行日 平成29年10月26日 (2017.10.26)

(43) 国際公開日 平成28年11月3日 (2016.11.3)

| | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------|
| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード (参考) |
| HO 1 J 37/153 (2006.01) | HO 1 J 37/153 A | 5 C 0 3 3 |
| | HO 1 J 37/153 B | |

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 16 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|------------|---|
| 出願番号 | 特願2017-515399 (P2017-515399) | (71) 出願人 | 504139662 国立大学法人名古屋大学 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 |
| (21) 国際出願番号 | PCT/JP2016/053691 | (74) 代理人 | 110000110 特許業務法人快友国際特許事務所 |
| (22) 国際出願日 | 平成28年2月8日 (2016.2.8) | (72) 発明者 | 川▲崎▼ 忠寛 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 国立大 学法人名古屋大学内 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2015-90241 (P2015-90241) | (72) 発明者 | 丹司 敬義 愛知県名古屋市千種区不老町 1 番 国立大 学法人名古屋大学内 |
| (32) 優先日 | 平成27年4月27日 (2015.4.27) | (72) 発明者 | 生田 孝 大阪府寝屋川市初町 1 8 番 8 号 学校法人 大阪電気通信大学内 |
| (33) 優先権主張国 | 日本国 (JP) | F ターム (参考) | 5C033 HH05 HH08 JJ07 |

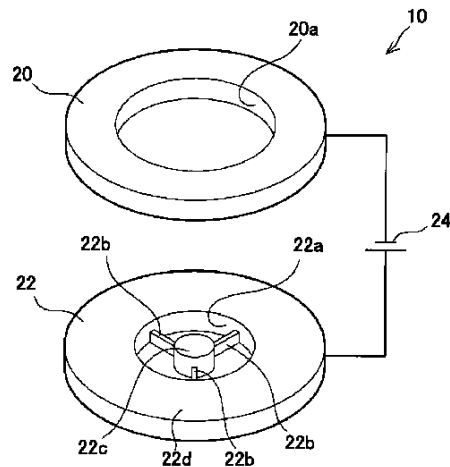
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビーム用電磁レンズの球面収差補正装置

(57) 【要約】

【課題】 荷電粒子ビーム用の電磁レンズは正の球面収差をもたらす。その球面収差を補正するには複雑な電磁レンズの組み合わせが必要であった。

【解決手段】 荷電粒子ビームの入射側に配置する入射プレートに円形開孔または円環開孔の一方を形成し、射出側に配置するプレートに円形開孔または円環開孔の他方を形成し、入射プレートと射出プレートの間に電圧を加える。すると円環開孔に形成される電場が、正の球面収差を解消する発散をもたらす。極めて単純であって容易に実施できる構造によって球面収差を補正することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子ビーム用の電磁レンズと組み合わせて使用し、前記電磁レンズによる球面収差を補正する装置であり、

前記荷電粒子ビームの入射側に配置する入射プレートと、

前記荷電粒子ビームの射出側に配置する射出プレートを備えており、

前記入射プレートに円形開孔と円環開孔の一方が形成されており、

前記射出プレートに前記円形開孔と前記円環開孔の他方が形成されており、

(1) 前記円形開孔と前記円環開孔の中心が前記荷電粒子ビームの中心線上にあり、

(2) 前記入射プレートと前記射出プレートが前記中心線に直交しており、

(3) 前記円形開孔の径を r_3 とし、前記円環開孔の外径を r_2 とし、前記円環開孔の内径を r_1 としたときに $r_3 > r_2 > r_1$ であり、

(4) 前記荷電粒子が負電荷である場合は「円環開孔が形成されているプレートの電位 > 円形開孔が形成されているプレートの電位」の関係であり、前記荷電粒子が正電荷である場合は「円環開孔が形成されているプレートの電位 < 円形開孔が形成されているプレートの電位」の関係であり、

円環開孔の内側部材と外側部材が導通している補正装置。

【請求項 2】

試料側のプレートが接地されていることを特徴とする請求項 1 の補正装置。

【請求項 3】

試料側のプレートに前記円環開孔が形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 の補正装置。

【請求項 4】

絶縁シートの一方の面に前記入射プレートが密着し、前記絶縁シートの他方の面に前記射出プレートが密着しており、前記絶縁シートに前記円形開孔を包含する開孔が形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかの 1 項に記載の補正装置。

【請求項 5】

前記入射プレートと前記絶縁シートと前記射出プレートが、絶縁性の筒内に收容されていることを特徴とする請求項 4 に記載の補正装置。

【請求項 6】

前記円環開孔が形成されているプレートに前記円環開孔の外側と内側を接続するブリッジが形成されており、前記外側と前記ブリッジと前記内側が一体物となっていることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかの 1 項に記載の補正装置。

【請求項 7】

前記ブリッジの入射側端面が、前記外側と前記内側を形成する前記プレートの入射側端面より、射出側にシフトしていることを特徴とする請求項 6 に記載の補正装置。

【請求項 8】

円環開孔の内側円板の中心に貫通孔が形成されていることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれかの 1 項に記載の補正装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれかの 1 項に記載の補正装置が、前記荷電粒子ビームが通過する鏡筒に形成されている貫通孔に対して脱着される部材に固定されていることを特徴とする補正装置。

【請求項 10】

前記貫通孔に対して脱着可能な前記部材が、複数位置で前記鏡筒に固定可能であり、

前記複数位置に対応して、請求項 1 ~ 8 のいずれかの 1 項に記載の補正装置の複数個が前記部材に固定されていることを特徴とする請求項 9 に記載の補正装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本明細書では、荷電粒子ビームを電磁レンズで収束した場合に生じる球面収差の補正装置を開示する。

【背景技術】

【0002】

例えば、走査電子顕微鏡では、電子ビームを対物レンズによって集束し、集束した電子ビームを試料に照射する。透過電子顕微鏡では、試料を透過した電子ビームを対物レンズによって結像させて試料を観察する。イオン等の荷電粒子のビームを試料に照射する装置でも、荷電粒子ビームを電磁レンズによって集束し、収束した荷電粒子ビームを試料に照射する。

荷電粒子ビームを集束するレンズは正の球面収差をもたらす。分解能を向上させるためには、球面収差を補正する必要がある。

10

【0003】

本明細書でいう球面収差は、荷電粒子ビームを集束する電磁レンズによってもたらされるものをいう。荷電粒子ビームを集束する電磁レンズには、対物レンズ、コンデンサレンズ、投影レンズ、ならびに前記レンズの組み合わせが例示される。本明細書に記載の補正装置は、例えば、対物レンズの球面収差が問題となる場合には対物レンズの球面収差を補正するのに用いることができ、コンデンサレンズと対物レンズの組み合わせによる球面収差が問題となる場合にはその組み合わせによって生じる球面収差を補正するのに用いることができ、対物レンズと投影レンズの組み合わせによる球面収差が問題となる場合にはその組み合わせによって生じる球面収差を補正するのに用いることができる。本明細書で開示する補正装置と組み合わせる電磁レンズは特に制約されるものでなく、荷電粒子ビームを集束する際に球面収差をもたらす電磁レンズまたは電磁レンズの組み合わせをいう。

20

特許文献1～4と非特許文献1に、上記の球面収差補正装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特表2002-510431号公報

【特許文献2】特開2009-54565号公報

【特許文献3】米国特許3566176号公報

【特許文献4】特開2012-227160号公報

30

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】Electron Optical Systems with Annular Apertures and with Corrected Spherical Aberration, F. Lenz et. al. DK621.385.833:537.533 Optik '24 Heft 5, 1966/1967

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献1と特許文献2に記載されている球面収差補正装置は、複雑な構造を備えており、大型で高価である。例えば電子顕微鏡に適用する場合、電子顕微鏡自体の改造を必要とすることもある。

40

非特許文献1の球面収差装置は、図13(1)に模式的に示すように、円形開孔を持つ電極の円形開孔に、円柱形状の電極を挿入し、両者の間に電位差を加える。非特許文献1は、上記構成によって球面収差を補正できるとする計算結果を示している。特許文献4にも、図13(1)に示す装置が開示されており、円柱電極(以下では内側電極という)と円形開孔を持つ電極(以下では外側電極という)の間に電位差を加える。

非特許文献1と特許文献4の技術では、円形開孔の中心と円柱の中心を一致させる必要があり、両者間を絶縁する必要があり、両者間に電位差を加える必要がある。実際に制作することは難しい。

50

例えば図 1 3 (2) は、外側電極と内側電極を同軸に維持するために、両者間にブリッジを形成した仮想構造を例示している。この場合、外側電極と内側電極とブリッジの全部が一体物であれば、微細な切削加工等によって実際に製造することができる。しかしながら、それでは外側電極と内側電極間に電位差を加えることができない。外側電極と内側電極を絶縁しながら両者を同軸に維持する構造を実際に製造することは難しい。特許文献 4 では、予め制作しておいた支持体に内側電極と外側電極を固定し、内側電極に達する配線を巡らせることによって電位差を加える構造を採用しているが、精度よく製造することが困難であり、製造精度を高めるためには多額のコストが必要となる。本発明では、同軸に維持された状態で絶縁されている外側電極と内側電極の間に電位差を加えるという発想から飛躍し、安価に製造できる球面収差補正装置を提案する。

10

【 0 0 0 7 】

特許文献 3 の球面収差補正装置では、円環開孔が形成されている 2 個の電極を、電子ビームの中心線上に同軸に配置する。特許文献 3 の技術でも、円環開孔の外側と内側の間に電位差を加える。特許文献 3 の技術では、円環開孔を形成するために、円環開孔の外側と内側の間をブリッジ状の接続具で接続する構造を開示している。特許文献 3 の技術では、外側と内側の間を絶縁しながら接続する必要があるところ、いかにして絶縁するのかの詳細が開示されていない。実施化する場合には、非特許文献 1 と特許文献 4 と同じ問題に遭遇する。

【 0 0 0 8 】

非特許文献 1 と特許文献 3 と特許文献 4 には、一見すると簡単な構造が図示されているが、いずれも、円環開孔の外側と内側の間に電位差を印加することで形成される電場を利用するものであり、実際に制作することが難しい。実用化するためには、円環開孔の外側と内側の間に電位差を加えるという発想から一段の飛躍を必要とする。

20

【 0 0 0 9 】

本明細書では、円環開孔の外側と内側の間に電位差を加えずに（換言すれば円環開孔の外側と内側が同電位である状態で）球面収差を補正する装置を開示する。円環開孔の外側と内側が同電位でよくても構わなければ、後記する集束イオンビーム法等によって、円環開孔をもつ電極を制作することが可能となる。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

本明細書で開示する球面収差補正装置は、荷電粒子ビーム用の電磁レンズと組み合わせて使用するものであり、電磁レンズによってもたらされる球面収差を補正する。この補正装置は、荷電粒子ビームの入射側に配置する入射プレートと、荷電粒子ビームの射出側に配置する射出プレートを備えている。入射プレートに円形開孔と円環開孔の一方が形成されており、射出プレートに円形開孔と円環開孔の他方が形成されている。すなわち、この補正装置は、円形開孔と円環開孔の組み合わせを利用する。円形開孔と円環開孔の配置順序は制約されず、円形開孔が上流側（入射側）にあってもよいし、円環開孔が上流側にあってもよい。

30

2 枚のプレートは下記の間係を満たしている。

- (1) 円形開孔と円環開孔の中心が荷電粒子ビームの中心線上にあり、
- (2) 入射プレートと射出プレートが荷電粒子ビームの中心線に直交しており、
- (3) 円形開孔の径を r_1 とし、円環開孔の外径を r_2 とし、円環開孔の内径を r_3 としたときに $r_3 > r_2 > r_1$ であり、
- (4) 荷電粒子が負電荷である場合は「円環開孔が形成されているプレートの電位 $>$ 円形開孔が形成されているプレートの電位」の間係であり、荷電粒子が正電荷である場合は「円環開孔が形成されているプレートの電位 $<$ 円形開孔が形成されているプレートの電位」の間係におく。円環開孔の内側部材と外側部材は導通しており、同電位におく。

40

走査電子顕微鏡の場合、偏向コイルによって電子ビームの進行方向を走査する。ただしその走査範囲は微小であり、偏向角も微小である。前記 (1) でいう「中心線上にある」と前記 (2) でいう「直交する」は、微小な偏向角まで加味したものでなく、機械部品の

50

配置作業の際の精度レベルにおけるものである。

【 0 0 1 1 】

上記の補正装置の場合、円環開孔の内側と外側の間に電位差を加えない。代わりに、円環開孔が形成されているプレート（以下では円環プレートという）と、円形開孔が形成されているプレート（以下では円孔プレートという）の間に電位差を加える。円環開孔の内側と外側は同電位である。上記の関係にあると、円環開孔の周囲に形成される電場が荷電粒子ビームに対して負の球面収差をもたらす。電磁レンズによる正の球面収差が補正装置による負の球面収差で補正される関係を得ることができる。円環開孔の内側と外側が同電位であっても構わないとすると、円環プレートを実際に制作することが可能となる。一枚の導電性プレートを加工することによって、円環開孔の内側と外側がブリッジによって同軸に維持されている円環プレートを制作することが可能となる。また、円環開孔の内側と外側の間に電位差を加えるのが困難であるのに対し、2枚のプレート間に電位差を加えるのは容易である。円環プレートと円孔プレートを組み合わせて用い、2枚のプレート間に電位差を加えるという発想が得られたことから、簡単な構造で球面収差を補正する装置の実用化が可能となった。

10

【 0 0 1 2 】

試料側に配置するプレートを接地した状態で、入射プレートと射出プレートの間に電位差を加えるのが好ましい。これによって、球面収差補正装置が試料に与える影響を低減することができる。

また試料側に円環プレートを配置することが好ましい。これによっても、球面収差補正装置が試料に与える影響を低減することができる。

20

【 0 0 1 3 】

絶縁シートの一方の面に入射プレートが密着し、絶縁シートの他方の面に射出プレートが密着している積層構造を利用することが好ましい。その絶縁シートに円形開孔を包含する開孔が形成されていれば、入射プレートと射出プレートの間に電位差を加えることができ、円環開孔と円形開孔を通過するビームパスを確保することができる。

また上記の積層体を絶縁性の筒内に収容しておくことが好ましい。円環開孔と円形開孔を同軸の位置関係に調節して維持する作業が容易化される。

【 0 0 1 4 】

円環開孔が形成されているプレートに、円環開孔の外側と内側を接続するブリッジが形成されていることが好ましい。ブリッジの本数には特に制約されない。外側とブリッジと内側が一体物となっていると、後記するようにして円環プレートを制作することが可能となる。

30

【 0 0 1 5 】

ブリッジの円孔プレート側の端面が、円環開孔の外側と内側を形成する円環プレートの円孔プレート側の端面よりも、円孔プレートから遠ざかる向きにシフトしていることが好ましい。これによると、球面収差の補正精度が向上する。

【 0 0 1 6 】

上記した補正装置は、荷電粒子ビームが通過する鏡筒に形成されている貫通孔に対して脱着される部材に固定しておくことが好ましい。電子顕微鏡等の鏡筒には、試料を鏡筒に出し入れするための貫通孔、あるいは測定治具や絞り等を鏡筒に出し入れするための貫通孔が形成されている。その貫通孔を利用して球面収差補正装置を鏡筒内に位置決めして固定しておく構造によると、既存の装置の球面収差を補正することも可能となる。

40

【 0 0 1 7 】

前記貫通孔に対して脱着可能な部材の中には、2個（または2つ）以上の位置で鏡筒に固定可能なものがある。この場合、複数個の補正装置を前記部材に固定しておくこと、実際に使用する球面収差補正装置を選択することが可能となる。

円環開孔を形成する内側の部材の中心に貫通孔を設けることができる。中心に貫通孔を設けると、円形開孔の中心と円環開孔の中心が荷電粒子ビームの中心線上に位置する位置関係に調整しやすい。

50

本明細書が開示する技術の詳細とさらなる改良は以下の「発明を実施するための形態」にて説明する。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】実施例の球面収差補正装置を組み込んだ走査透過電子顕微鏡の構成を示す。

【図2】実施例の球面収差補正装置の構成を模式的に示す。

【図3】球面収差とその補正の関係を説明する。

【図4】球面収差補正装置と電磁レンズの配置の一例を示す。

【図5】球面収差補正装置と電磁レンズの配置の他の例を示す。

【図6】球面収差補正装置と電磁レンズの配置関係を示す。

10

【図7】球面収差補正装置による電場と電子線の進行方向の関係の一例を示す。

【図8】球面収差補正装置と電子線の進行方向の関係の他の例を示す。

【図9】球面収差補正装置による電場とブリッジの関係を示す。

【図10】実施例の球面収差補正装置の分解斜視図を示す。

【図11】走査透過電子顕微鏡による観測結果を示す。

【図12】走査透過電子顕微鏡による観測結果を示す。

【図13】従来の球面収差補正装置の構成を模式的に示す。

【図14】球面収差補正装置の変形例の構成を模式的に示す。

【図15】位置関係の調整過程が容易化される様子を説明する。

【発明を実施するための形態】

20

【0019】

下記に説明する実施例の主要な特徴を列記しておく。

(特徴1) 金属板に集束イオンビームを照射して円環開孔を形成する。

(特徴2) モリブデンの板に集束イオンビームを照射して円環開孔を形成する。

(特徴3) 電子顕微鏡の鏡筒に貫通孔が形成されており、その貫通孔に脱着可能な絞りホルダを流用し、そのホルダに球面収差補正装置を取り付けておく。

(特徴4) 球面収差補正装置に印加する電圧は、増減調整可能である。

【実施例】

【0020】

図1は、球面収差補正装置10を組み込んだ走査透過電子顕微鏡(STEM)の構成を模式的に示している。参照番号2は鏡筒、4は電子銃、6は1段目のコンデンサレンズ、8は2段目のコンデンサレンズ、10は球面収差補正装置、12は対物レンズ、14は試料、16は検出器である。電子ビームを偏向して走査する走査コイルの図示は省略されている。コンデンサレンズ8、10と、対物レンズ12は、いずれも電磁レンズである。

30

【0021】

球面収差補正装置10が挿入されていないと、対物レンズ12による収束点に球面収差が生じ、試料14上におけるビーム径を細く絞ることができない。球面収差補正装置10は、対物レンズ12の収束点に生じる球面収差を低減し、試料14を照射するビーム径を細く絞ることを可能とする。

本実施例は、コンデンサレンズ6、8による球面収差は無視でき、専ら対物レンズ12による球面収差が測定分解能を下げるケースにも適用することができるし、コンデンサレンズ6、8と対物レンズ12の組み合わせによって生じる球面収差が測定分解能を下げるケースにも適用することができる。前者の場合は、対物レンズ12に対して球面収差補正装置10を設計すればよく、後者の場合は、コンデンサレンズ6、8と対物レンズ12の組み合わせに対して球面収差補正装置10を設計すればよい。後記するように、球面収差補正装置10に印加する電圧は調整可能であり、その電圧の大きさによって球面収差を補正する強度が変わってくる。最も鮮明な画像が得られる電圧を印加すれば、観測の質を低下させる球面収差が補正される。実施例の球面収差補正装置10によると、観測の質を低下させる球面収差がどの電磁レンズによるものかを知る必要はない。また、観測の質を低下させる球面収差をもたらす電磁レンズの種類によって制約を受けることなく、実施例の

40

50

球面収差補正装置 10 を適用することができる。

【0022】

図2は、球面収差補正装置10の一例の斜視図を示している。参照番号20は、円形開孔20aが形成されている電極板（導電性の円孔プレート）であり、22は円環開孔22aが形成されている電極板（導電性の円環プレート）を示している。22bはブリッジであり、円環開孔22aを形成する内側の円板22cと外側のリング板22dを接続している。内側円板22cと外側リング板22dは同電位でよく（従来の技術とは相違し、内側円板22cと外側リング板22dの間に電位差を加える必要はない）、内側円板22cと外側リング板22dとブリッジ22bは、導電性の金属板を加工することで製造することができる。

10

【0023】

図2に示す球面収差補正装置10は、負の電荷を帯びている電子ビームのためのものであり、この場合は「円環プレート22の電位 > 円孔プレート20の電位」の関係とする。正のイオンを照射する場合のように、正の電荷を帯びている過電粒子ビームの球面収差を補正する場合は「円環プレート22の電位 < 円孔プレート20の電位」の関係とする。

【0024】

図3の(1)は、光学ガラスによって形成した凸レンズによって生じる球面収差を示している。凸レンズによると正の球面収差が生じる。図3の(2)は、光学ガラスによって形成した凹レンズによって生じる球面収差を示している。凹レンズによると、負の球面収差が生じる。図3の(3)と(4)は、凸レンズと凹レンズの組み合わせによって球面収差を補正する光学系の例を示している。

20

【0025】

荷電粒子の進行方向を変える電磁レンズは、図3の(1)に示した正の球面収差をもたらす。電磁レンズでは、図3の(2)に示した負の球面収差を得ることができない。

【0026】

図4は、円形開孔20aを持つ円孔プレート20と円環開孔22aを持つ円環プレート22と両者間に電圧を加える定電圧電源24で構成される球面収差補正装置10を、対物レンズ12の上流側に配置した例を示している。円形開孔20aと円環開孔22aの中心は、荷電粒子ビームの中心線50上にあり、プレート20, 22は、中心線50に直交している。プレート20, 22は、同軸に配置されている。

30

【0027】

図7(1)は、「円環プレート22の電位 > 円孔プレート20の電位」の関係としたときに、円孔プレート20と円環プレート22の間に生じる電場を示している。具体的には等電位線を示している。図7(2)は、円環開孔22aの近傍における等電位線の形状を拡大して示している。図7(2)に示すように、円環開孔22aの近傍では等電位線が屈曲する。この電場を電子ビームが通過すると、電子ビームに負の球面収差が生じる。正確にいうと、円孔プレート20の近傍の電界は、凸レンズと同様に作動する。円環プレート22の近傍の電界は、凹レンズと同様に作動する。両者が複合する結果、球面収差補正装置10は、負の球面収差をもたらす。

【0028】

図8(1)は、球面収差補正装置10を通過する電子ビームの進行方向を示し、負の球面収差が生じることを図示している。

40

図4の場合、電子ビームは、球面収差補正装置10を通過する際に負の球面収差をとなるように屈折する。電子ビーム用の電磁レンズ12は正の球面収差をもたらす。図4の場合、球面収差補正装置10による負の球面収差が、対物レンズ12による正の球面収差を補正する関係にあることがわかる。図3(4)の関係によって球面収差を補正することができる。

図3(3)からも明らかに、電磁レンズが上流側に配置されて球面収差補正装置が下流側に配置されていてもよい。図5がその例を示す。図5は、試料14を透過した電子線を対物レンズ12で結像させる透過電子顕微鏡の場合に相当する。

50

図4と図5、あるいは、図3の(3)と(4)に示すように、球面収差補正装置10と電磁レンズ12の配置順序は制約されず、球面収差補正装置10が上流側にあってもよいし、電磁レンズが上流側にあってもよい。また複数個の電磁レンズの組み合わせによってもたらされる球面収差を補正する場合は、複数個の電磁レンズの中間に球面収差補正装置を配置してもよい。

【0029】

また図8(1)に示すように、円形開孔20aが上流側にあつて円環開孔22aが下流側にあつてもよいし、図8(2)に示すように、円環開孔22aが上流側にあつて円形開孔20aが下流側にあつてもよい。いずれの場合も、円環プレート22の電位 > 円孔プレート20の電位の関係であれば、負に帯電している荷電粒子ビームには、負の球面収差がもたらされる。正に帯電している荷電粒子ビームの場合は、円環プレート22の電位 < 円孔プレート20の電位の関係であれば、負の球面収差がもたらされる。上記した電位の高低関係は、円形開孔20aが上流側にある場合にも、円環開孔22aが上流側にある場合にも共通する。

【0030】

図6は、円環開孔と円形開孔と電磁レンズの配置関係のバリエーションを例示している。図6の上方が上流側を意味し、下方が下流側を意味している。(1)~(4)は円形開孔20aが上流で円環開孔22aが下流側の場合を示し、(5)~(8)は円環開孔22aが上流で円形開孔20aが下流側の場合を示している。(1)(2)(5)(6)は、対物レンズで収束したビームを試料に照射する走査電子顕微鏡(走査透過電子顕微鏡を含む)の場合を示し、(3)(4)(7)(8)は、試料を透過したビームを対物レンズで結像する透過電子顕微鏡の場合を示している。(1)(4)(5)(8)に示すように、球面収差補正装置が上流側で対物レンズが下流側であってもよいし、(2)(3)(6)(7)に示すように、対物レンズが上流側で球面収差補正装置が下流側であってもよい。

【0031】

図6のいずれも配置順序でも球面収差を打ち消し合つて縮小させることができるが、実際には、対物レンズと試料を接近して配置することが好ましく、(1)(3)(5)(7)が好ましい。また球面収差補正装置の電場が試料に影響を及ぼさないことが好ましく、そのためには、試料側に円環開孔を配置することが好ましい。その点では、(1)(2)(7)(8)が好ましい。両者を加味すると、(1)(7)が好ましい。図4は図6の(1)に対応し、図5は図6の(7)に対応している。

【0032】

また円形開孔プレートと円環開孔プレートに加える電位差の関係は、図6に示したとおりであるが、試料側に配置するプレートを接地することが好ましい。(1)(7)の場合は、円環プレート22を接地し、円孔プレート20にマイナスの電位を加えることが好ましい。

【0033】

図9は、円環プレート22のブリッジ22bが存在する位置での断面を示している。図9から明らかに、ブリッジ22bの円孔プレート20側端面が、円環開孔の外側22dと内側22cを形成する円環プレート22の円孔プレート20側端面よりも、円孔プレート20から遠ざかる向きにシフトしていることが好ましい。これによると、ブリッジ22bが存在する個所と存在しない個所における電場形状の差異が縮小し、球面収差の補正精度が向上する。

【0034】

図5に示すように、円形開孔20aの径を r_1 とし、円環開孔22aの外径を r_2 とし、円環開孔22aの内径を r_3 としたときに、 $r_3 > r_2 > r_1$ であることが好ましい。上記の関係にあると、補正装置に必要とされる負の球面収差をもたらしことができ、また荷電粒子ビームを不必要にカットすることもない。

本実施例では、 $r_3 = 225 \mu\text{m}$ 、 $r_2 = 150 \mu\text{m}$ 、 $r_1 = 54.4 \mu\text{m}$ 、プレート間間隔 $G = 50 \mu\text{m}$ のものと、 $r_3 = 100 \mu\text{m}$ 、 $r_2 = 68 \mu\text{m}$ 、 $r_1 = 54.4 \mu\text{m}$

10

20

30

40

50

、プレート間間隔 $G = 50 \mu\text{m}$ のものを製造した。円孔プレート 20 は、フォトリソグラフィ法で制作した。円環プレート 22 は、直径 3 mm で厚み $10 \mu\text{m}$ のモリブデン板に、集束イオンビームを照射して制作した。円環開孔の内側 22c と外側 22d とブリッジ 22b は、一体のモリブデン板から形成されており、微細加工技術によって制作することが可能となった。円環開孔の内側 22c と外側 22d を絶縁しなければならないとしたら、今日の技術によっても容易には制作することができない。

【0035】

図 10 は、実際の球面収差補正装置 10 の分解斜視図を示している。この実施例では、2 個の球面収差補正装置を搭載している。左右の球面収差補正装置の構成は同じであり、重複説明を省略する。

参照番号 42 は下板であり、40 は電極台であり、後記する筒状の絶縁ガイド 38 を收容する孔 40a が形成されている。下板 42 と電極台 40 は一体に構成することもできる。38 は、筒状の絶縁ガイドであり、円孔プレート 20 等を受け入れ、円孔プレート 20 と円環プレート 22 を同軸に位置決める穴が形成されている。36 はスペーサ、22 は円環プレート、34 は絶縁シート、20 は円孔プレート、32 は電極押さえ、30 は抑え板である。抑え板 30 と、電極押さえ 32 と、絶縁シート 34 には、円孔 20a の内径 3 よりも大きく、円孔プレート 20 の外径よりも小さな径の穴が形成されている。スペーサ 36 と下板 42 には、円環開孔 22a の外径 2 よりも大きく、円環プレート 22 の外径よりも小さな径の穴 42a が形成されている。電極押さえ 32、円孔プレート 20、絶縁シート 34、円環プレート 22、スペーサ 36 の外径は、絶縁ガイド 38 の内径に等しく、絶縁ガイド 38 に挿入すると、電極押さえ 32 と円孔プレート 20 と絶縁シート 34 と円環プレート 22 とスペーサ 36 が同軸に揃う。図示しない螺子で上板 30 と下板 42 を接近させると、絶縁シート 34 の上面に円孔プレート 20 が密着し、絶縁シート 34 の下面に円環プレート 22 が密着し、円孔プレート 20 と円環プレート 22 の間隔が一定値に調整される。

【0036】

図示しない絶縁部材で、上板 30 と電極台 40 は絶縁されている。上板 30 には配線 30d から電圧が加えられ、下板 42 には配線 42d から電圧が加えられる。電極押さえ 32 は導電性であり、円孔プレート 20 の電位は配線 30d の電位に等しい。スペーサ 36 は導電性であり、円環プレート 22 の電位は配線 42d の電位に等しい。円環プレート 22 の内側の円板 22c と外側のリング板 22d の電位は等しい。円孔プレート 20 と円環プレート 22 の間は、絶縁シート 34 と絶縁ガイド 38 によって絶縁される。

【0037】

参照番号 44 は、電極台 40 の基部である。この球面収差補正装置は電子顕微鏡のためのものであり、その鏡筒には貫通孔が形成されており、その貫通孔を利用して「絞り」を抜き差しすることができる。その貫通孔に脱着可能な絞りホルダが用意されている。基部 44 は、その絞りホルダに固定されている。図 1 の参照番号 10a は、絞りホルダを示している。絞りホルダ 10a を介して、鏡筒外から、配線 30d と配線 42d に必要な電位を加えることができる。また、印加する電位差を調整することができる。

絞りホルダ 10a は、鏡筒 2 に浅く挿入した位置で鏡筒 2 に固定することもできるし、鏡筒 2 に深く挿入した位置で鏡筒 2 に固定することもできる。それに対応して、図 10 の実施例では、2 種類の補正装置が搭載されている。鏡筒内への挿入深さを選択することで、使用する補正装置を選択することができる。

【0038】

図 11 は、図 1 に示した透過走査電子顕微鏡による観測結果を示す。試料は、カーボン薄膜上の金微粒子である。検出器 16 には CCD カメラを利用した。

(a) は、球面収差補正装置 10 を利用しない場合を示し、周辺部に伸び歪んだ金粒子が観測される。その歪んだ部分が球面収差によるものである。

(b) は、球面収差補正装置 10 を組み込んだものの、円孔プレートと円環プレート間に電位を加えない状態の観測結果を示す。円環開孔 22a による影が生じる。まだ球面収差

10

20

30

40

50

は補正されない。

(c)は、円孔プレートと円環プレート間に15ボルトを加えた場合の観測結果を示す。金粒子のコントラストが低下し、球面収差が補正されたことが確認できる。

【0039】

図12は、カーボン薄膜上の酸化チタン微粒子の観測結果である。試料に照射する電子ビームを走査し、カメラに代えて微小検出器を用いた。(a)は、円孔プレートと円環プレート間に電位を加えない状態での観測結果を示す。観測結果はぼけている。(b)は円孔プレートと円環プレート間に15ボルトを加えた場合の観測結果を示す。酸化チタン結晶の原子格子縞が明瞭に現れる。球面収差が補正されたことが確認できる。

【0040】

円環プレートと円形プレート間に電位差を加えることで形成される電場によって負の球面収差が生じること、それによって電磁レンズによる正の球面収差が補正されることは、数値計算でも確認され、実験によっても検証された。

円環プレートと円形プレート間に電位差を加えることと、円環プレートの内側と外側の間に電位差を加えることは、一見すると類似しているように思われるかもしれないが、負の球面収差を得るためには径方向に変化する電場を必要とし、通常に考えると円環プレートの内側と外側の間に電位差を加える必要があると理解される。円環プレートと円形プレート間に電位差を加えることでも負の球面収差を得られるという発想は、長年にわたって認識されてこなかった。また、その改善によって実施化可能となるという着想は長年にわたって得られなかった。

【0041】

図14に示すように、円環プレート22の内側円板22cの中心に貫通孔22eを形成することができる。軸芯に沿って貫通する中心貫通孔22eを設けると、図15(c)に示すように観測画像に輝点c1が生じる。この輝点c1は、中心貫通孔22eを通過した電子によるものである。輝点c1が得られると、輝点c1を図15(a)の画像中心a1に一致させることによって、円環開孔22aの中心と円形開孔20aの中心を電子ビームの中心線上に揃えることができる。中心貫通孔22eを設けると、円環開孔22aの中心と円形開孔20aの中心を電子ビームの中心線上に揃える位置合わせ作業が著しく容易化される。なお中心貫通孔22eを設けても、観測に用いる電子ビームに生じる球面収差は補正される。

【0042】

以上、本発明の具体例を詳細に説明したが、これらは例示に過ぎず、特許請求の範囲を限定するものではない。特許請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例を様々に変形、変更したものが含まれる。本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時請求項記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成し得るものであり、そのうちの一つの目的を達成すること自体で技術的有用性を持つものである。

【符号の説明】

【0043】

- 2：鏡筒
- 4：電子銃
- 6：コンデンサレンズ
- 8：コンデンサレンズ
- 10：補正装置
- 12：対物レンズ
- 14：試料
- 16：検出器
- 20：円孔プレート
- 20a：円形開孔

10

20

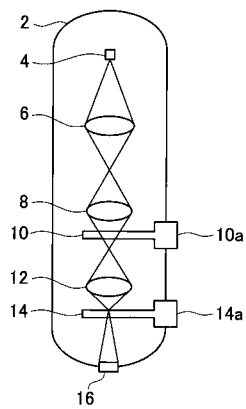
30

40

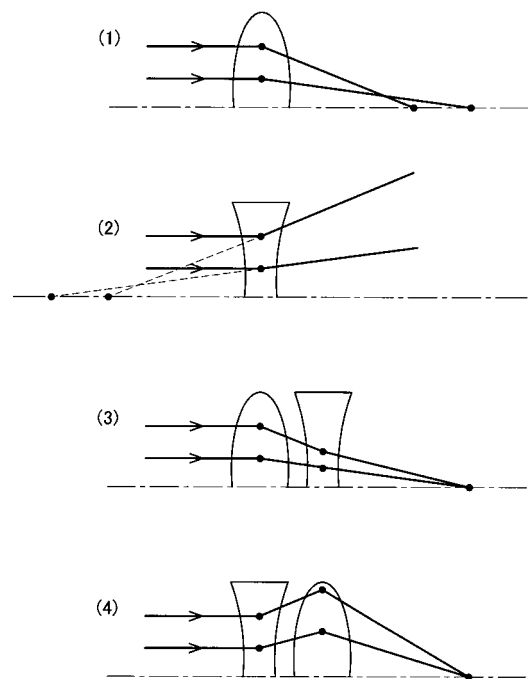
50

- 22 : 円環プレート
- 22a : 円環開孔
- 22b : ブリッジ
- 22c : 内側円板
- 22d : 外側リング板
- 22e : 中心貫通孔
- 24 : 定電圧電源
- 50 : 荷電粒子ビームの中心線

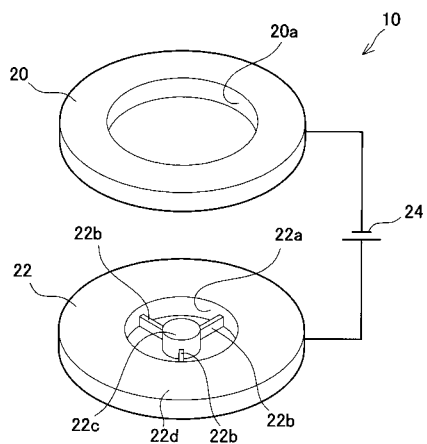
【 図 1 】



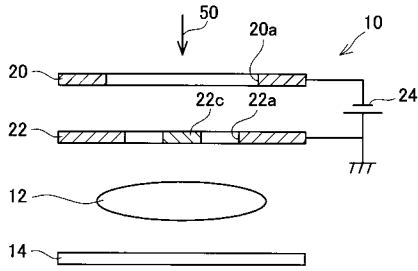
【 図 3 】



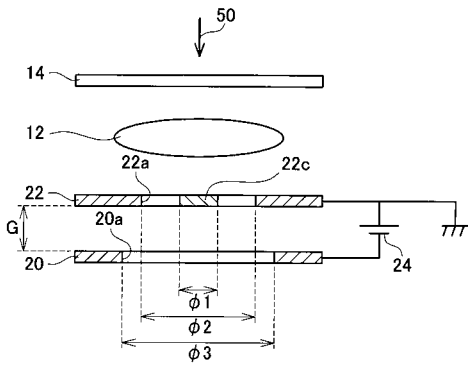
【 図 2 】



【 図 4 】



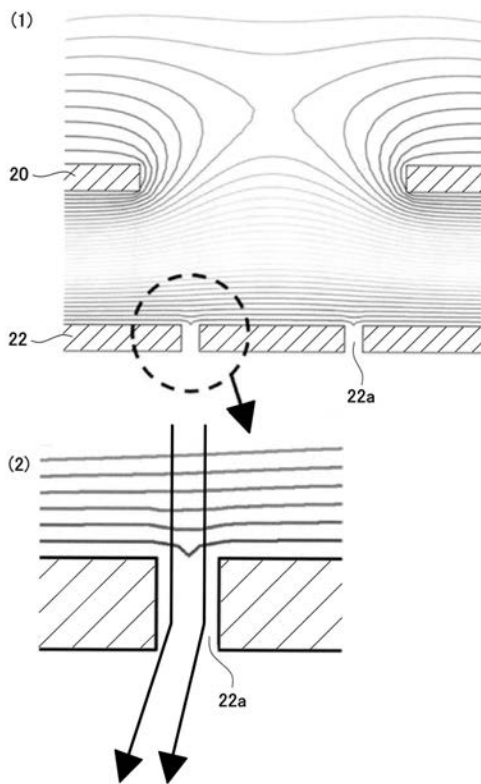
【 図 5 】



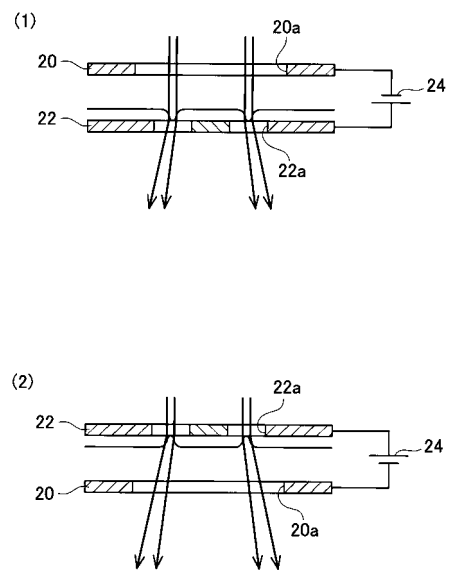
【 図 6 】

| | | | | |
|-----|-------|---|---|----------|
| | | | | 正電荷粒子 |
| | | | | 負電荷粒子 |
| (4) | 試料 | ↑ | ↑ | 対物レンズ |
| (3) | 試料 | ↑ | ↑ | 対物レンズ |
| (2) | 対物レンズ | ↑ | ↑ | 試料 |
| (1) | 対物レンズ | ↑ | ↑ | 試料 |
| | | | | 円形 円環 |
| (8) | 試料 | ↑ | ↑ | 対物レンズ |
| (7) | 試料 | ↑ | ↑ | 対物レンズ |
| (6) | 対物レンズ | ↑ | ↑ | 試料 |
| (5) | 対物レンズ | ↑ | ↑ | 試料 |
| | | | | 円環 円形 |

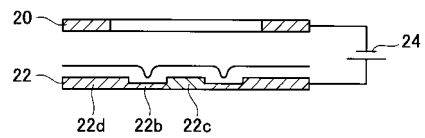
【 図 7 】



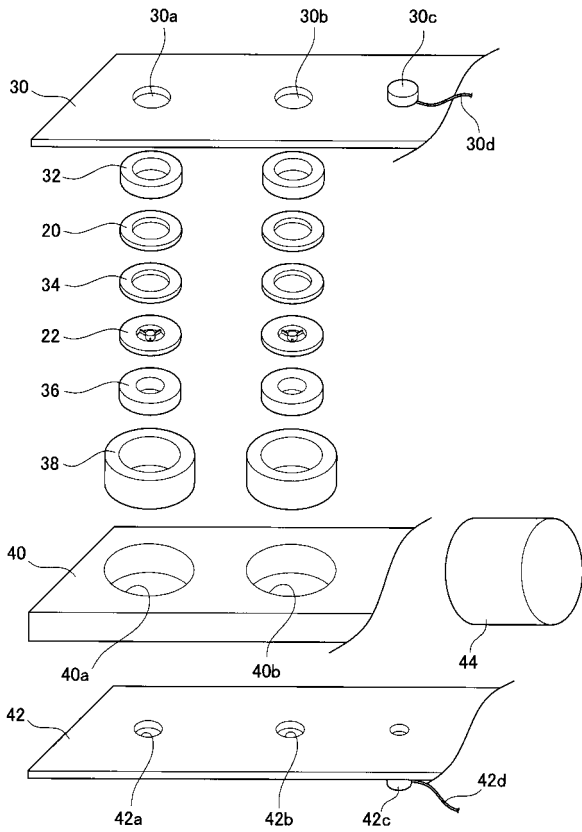
【 図 8 】



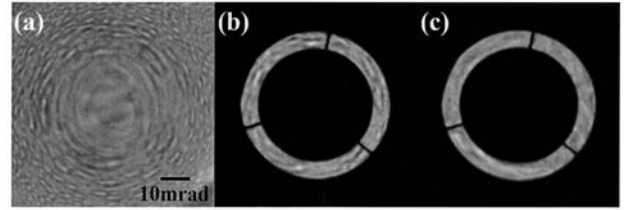
【 図 9 】



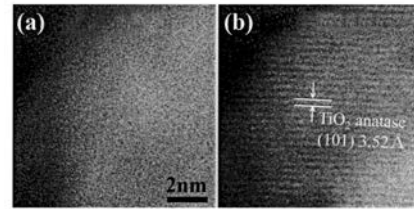
【 図 1 0 】



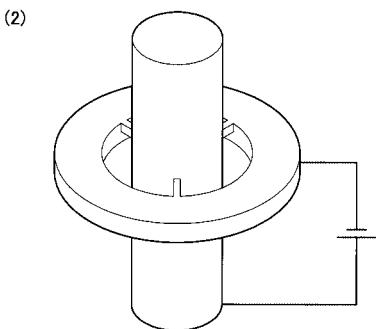
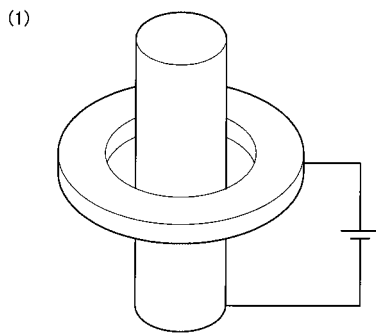
【 図 1 1 】



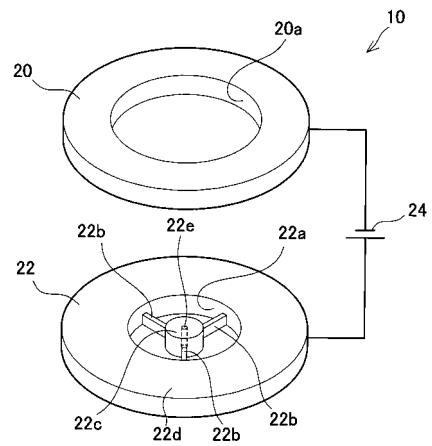
【 図 1 2 】



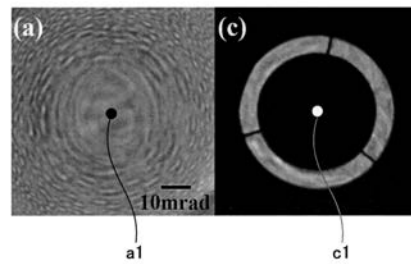
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 国際調査報告 】

| INTERNATIONAL SEARCH REPORT | | International application No. PCT/JP2016/053691 |
|--|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01J37/153(2006.01)i, H01J37/145(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01J37/153, H01J37/145, H01J37/12, G21K1/187, G01N23/225 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | JP 2001-052998 A (Advantest Corp.), 23 February 2001 (23.02.2001), entire text; all drawings & GB 2352323 A entire text; all drawings & DE 10028327 A & TW 445489 B & KR 10-2001-0007211 A | 1-10 |
| A | JP 2008-153209 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 03 July 2008 (03.07.2008), paragraph [0022]; fig. 6 & US 2008/0116391 A1 paragraph [0042]; fig. 6 | 1-10 |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex. | | |
| * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family | | |
| Date of the actual completion of the international search 05 April 2016 (05.04.16) | | Date of mailing of the international search report 19 April 2016 (19.04.16) |
| Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan | | Authorized officer Telephone No. |

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 6 / 0 5 3 6 9 1 | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------------------------------|---------|--------------|--------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|--|---|--|--------------------------|------------------|-----------------------------|--|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01J37/153(2006.01)i, H01J37/145(2006.01)i | | | | | | | | | | | | | | | |
| B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01J37/153, H01J37/145, H01J37/12, G21K1/187, G01N23/225 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2016年</td> </tr> </table> | | | | 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | 日本国公開実用新案公報 | 1971-2016年 | 日本国実用新案登録公報 | 1996-2016年 | 日本国登録実用新案公報 | 1994-2016年 | | | | |
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2016年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2016年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2016年 | | | | | | | | | | | | | | |
| 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) | | | | | | | | | | | | | | | |
| C. 関連すると認められる文献 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 | | | | | | | | | | | | | |
| A | JP 2001-052998 A (株式会社アドバンテスト) 2001.02.23, 全文、 全図 & GB 2352323 A, 全文、全図 & DE 10028327 A & TW 445489 B & KR 10-2001-0007211 A | 1-10 | | | | | | | | | | | | | |
| A | JP 2008-153209 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2008.07.03, [0022]、図6 & US 2008/0116391 A1, [0042], Fig. 6 | 1-10 | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。 | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)</td> <td>「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table> | | | | * 引用文献のカテゴリー | の日の後に公表された文献 | 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの | 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの | 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの | 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの | 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) | 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの | 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」同一パテントファミリー文献 | 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |
| * 引用文献のカテゴリー | の日の後に公表された文献 | | | | | | | | | | | | | | |
| 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの | 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの | | | | | | | | | | | | | | |
| 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの | 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの | | | | | | | | | | | | | | |
| 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) | 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの | | | | | | | | | | | | | | |
| 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」同一パテントファミリー文献 | | | | | | | | | | | | | | |
| 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 国際調査を完了した日 05.04.2016 | | 国際調査報告の発送日 19.04.2016 | | | | | | | | | | | | | |
| 国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | | 特許庁審査官 (権限のある職員) 鳥居 祐樹 | 2G 4070 | | | | | | | | | | | | |
| | | 電話番号 03-3581-1101 内線 3226 | | | | | | | | | | | | | |

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。