

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年1月14日(14.01.2016)



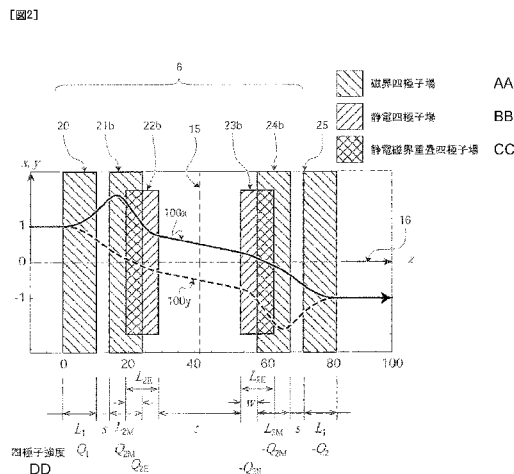
(10) 国際公開番号

WO 2016/006539 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/153 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/069220
- (22) 国際出願日: 2015年7月3日(03.07.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-139297 2014年7月7日(07.07.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2番14号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 吉田 高穂(YOSHIDA Takaho); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE Manabu et al.); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, 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, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE AND ABERRATION CORRECTOR

(54) 発明の名称: 荷電粒子線装置および収差補正器



AA... MAGNETIC QUADRUPOLE FIELD
BB... ELECTROSTATIC QUADRUPOLE FIELD
CC... ELECTROSTATIC AND MAGNETIC OVERLAPPED QUADRUPOLE FIELD
DD... QUADRUPOLE STRENGTH

(57) Abstract: High expectations are placed on aberration correctors to increase the resolving power of charged particle devices. Meanwhile, a far more complicated configuration and higher mechanical precision assembly in comparison to prior art aberration correctors are necessary in charged particle beam optical devices that use low-energy electron beams. A complex electromagnetic quadrupole part employed in the aberration corrector preferably has the forward extremities of the poles provided in a vacuum near an electron beam path and excitation coils disposed outside the vacuum, and this necessitates a structure that can achieve both electrical insulation and vacuum sealing for each of these poles. Such structural complexity generally conflicts with improving mechanical assembly precision. The complicated structure in the above problems can be simplified by: separating the electrodes and the magnetic poles in the complex electromagnetic multipole that had been used in prior art aberration correctors; and offsetting the positions of both, or ensuring that the widths of both do not match. Consequently, improvement of mechanical assembly precision can be achieved.

(57) 要約:

[続葉有]



荷電粒子装置において分解能を向上させるために、収差補正器が大きく期待されている。一方、低エネルギー電子線を用いる荷電粒子線光学装置では、従来の収差補正器に比べて格段に複雑な構成と、より高い機械精度での組み立てが必要となる。収差補正器で利用される電磁複合四極子部は、極子先端は真空内電子線行路近傍に設置し、励磁コイルは真空外に配置することが望ましく、これら極子毎に電氣的絶縁と真空密閉を両立する構造が必要である。このような構造の複雑化は、機械的組立精度の向上とは一般的に相反する。従来の収差補正器で用いられていた電磁複合多極子における電極と磁極とを分離し、かつ両者の位置をずらす、或いは両者の幅を一致させないことで、上記課題の複雑な構造を、簡略化できる。従って、機械的組み立て精度の向上を実現できる。

明 細 書

発明の名称：荷電粒子線装置および収差補正器

技術分野

[0001] 本発明は、荷電粒子線装置に関する発明である。また、荷電粒子線に用いられる収差補正器に関する発明である。

背景技術

[0002] 近年多極子収差補正器を用いた電子顕微鏡収差補正技術は、透過電子顕微鏡(TEM)、走査透過電子顕微鏡(STEM)では既に一般化しつつある。電子エネルギー100keV以上の高加速TEM、STEMではこの技術を用いて球面収差を補正することで従来困難であった、0.1 nmを切る超高分解能での観察が可能となっている。走査電子顕微鏡においても、高分解能化は従来の対物レンズ形状の最適化、リターディング、ブースティング等の電子行路上のエネルギー最適化では限界に近付いている。従って特にエネルギー1 keV以下の低エネルギー領域で分解能を向上させる手段として、TEM、STEMと同様に多極子収差補正器を用いた収差補正が非常に期待される技術となっている。

[0003] ただし、高加速TEM、STEMと異なる点は、SEMで対象とする電子線のエネルギーが低い為に、球面収差と同等或いはそれ以上に色収差が分解能を制限する主要因となることである。このため高加速TEM、STEMで広く用いられる六極子球面収差補正器とは異なる構成の色・球面収差補正器がSEM、低加速TEM・STEM(特に、エネルギー30 keV以下)において求められている。

[0004] この目的の為に、これまで H. Rose が提案し、J. Zachらが実効性を実験的に確認した、反対称四重四極子色・球面収差補正器を始めとして、複数の構成の色(球面)収差補正器が提案されている(特許文献1)。これらの収差補正器は2段以上多段の四極子-八極子レンズを基本構成とする。特にこれを構成する多段多極子のうち少なくとも2段の多極子は色収差補正を実施する為に、磁場と静電場の四極子場を同一箇所が発生される電磁複合四極子であることが特徴となる。これらの電磁複合四極子は、さらに球面収差等三

次までの開口収差を補正するために、同時八極子、六極子、双極子場を発生できるようになっている場合もある。このため、四極-八極色・球面収差補正器の各多極子は、上記電磁複合四極子だけでなく、実際にはその他の多極子も12極子で構成されることが多い。

[0005] 従来技術の例として、基本となるH. Roseの反対称四重四極子球面収差補正器の構成を図8に示し、以下その動作原理を説明する。この色・球面収差補正器6は、四段の多極子、20、21と22、23と24、25から構成されており、上記の通りこれらのうち内側の二段は磁界四極子21、23と静電四極子22、24を同一の多極子で発生させる電磁複合四極子である。これら前後の多極子20と25は主な目的として、電磁複合四極子21-22と23-24において色収差補正に適切となる軌道に電子を導くことであり、実効的な色収差補正そのものは二段の電磁複合四極子21-22と23-24を用いて行われる。前後の多極子20、25に関しJ. Zachらは静電四極子を用いたが、これらが磁界四極子であっても構わない。

[0006] より具体的に電子は、図8のように収差補正器左方から平行に入射し、軌道100xと、100yを辿って補正器終端から平行に出射する。補正器入射時と出射時の電子線の中心軸から離軸距離も等しくなるように設定される。そして、収差補正器のオンとオフで補正器外の光学系に影響を与えることなくテレスコピックに利用できるように工夫されている。さらに収差補正器6内部では、まず左方から入射した電子線が第一段の四極子20で、x軌道100xと、y軌道100yに分岐され、第二段の電磁複合四極子21-22を、x軌道100xは軸を離れて通る。一方、y軌道100yは当該複合四極子のほぼ中心を通るように調整される。場の分布として、矩形場近似を仮定すると第二段の電磁複合四極子内部での電子の運動は、以下の式(1)の運動方程式で記述される。

[0007]

[数1]

数1

$$\begin{aligned} x'' &= -\frac{\theta^2}{L_2^2} x \\ y'' &= +\frac{\theta^2}{L_2^2} y \end{aligned} \quad \text{式(1)}$$

[0008] ここで、 L は極子長であり、 θ は以下の式(2)のように四極子場強度を表すパラメータである。

[0009] [数2]

数2

$$\theta = \sqrt{\theta_M^2 + \theta_E^2} = \frac{1}{L} \sqrt{\sqrt{\frac{2e}{m\Phi_0}} \psi_2 - \frac{\phi_2}{\Phi_0}} \quad \text{式(2)}$$

[0010] さらにここで、 θ_E と θ_M は式(2)内で展開される通り、各々静電四極子と磁界四極子強度を表すパラメータである。

[0011] 式(2)の三項目の係数 ϕ_2 と Φ_2 で各々四極子場の磁気ポテンシャルと静電ポテンシャル分布は次式の式(3)となる。

[0012] [数3]

数3

$$\begin{aligned} \Psi_2(x, y) &= 2\psi_2 x y \\ \Phi_2(x, y) &= \phi_2 (x^2 - y^2) \end{aligned} \quad \text{式(3)}$$

[0013] また式(2)で、 e と m は、電子の電荷と質量であり、 Φ_0 は収差補正器を通過する際の電子のエネルギーである。電子エネルギーの分布を考慮して $\Phi_0 + \delta\Phi$

のエネルギーを持つ電子に対して式(2)は、以下の式(4)のように変形される。
。

[0014] [数4]

$$\begin{aligned}
 \theta + \delta\theta &= \frac{1}{L} \sqrt{\sqrt{\frac{2e}{m(\Phi_0 + \delta\Phi)} \psi_2 - \frac{\phi_2}{(\Phi_0 + \delta\Phi)}}} \\
 &\approx \frac{1}{L} \sqrt{\sqrt{\frac{2e}{m\Phi_0} \psi_2 - \frac{\phi_2}{\Phi_0}}} \\
 &\quad - \frac{\delta\Phi}{2L\Phi_0} \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{2e}{m\Phi_0} \psi_2 - \frac{\phi_2}{\Phi_0}} \right) \left(\sqrt{\frac{2e}{m(\Phi_0 + \delta\Phi)} \psi_2 - \frac{\phi_2}{(\Phi_0 + \delta\Phi)}} \right)^{-\frac{1}{2}}
 \end{aligned} \tag{4}$$

[0015] 上記の式の第三項目への変換では、 $\delta\Phi$ を微小量としてその一次まで残した。従ってこの近似の式(5)の下で、以下のようになる。

[0016] [数5]

$$\delta\theta = -\frac{\delta\Phi}{4L\Phi_0} \frac{\theta_M - 2\theta_E}{\theta} \tag{5}$$

[0017] $\delta\theta$ は、電子エネルギーの変化(分布)に対する四極子強度の変化である。つまり、式(2)と式(5)の二式は、電磁複合四極子を用いることで総強度(すなわち、式(2))は一定値を維持しながら、一方分散(すなわち、式(5))を正負任意に調節することが可能であることを意味している。この結果、電磁複合である第二四極子21-22で、x 方向に負の分散を持つ凸レンズを作って、x 軌道100x の電子に負の色収差を与えることが可能である。言い方を変えれば、静電四極子と磁界四極子の電子エネルギー Φ_0 への依存性が異なるので、x 方向に関して磁界四極子で凸レンズを、静電四極子で凹レンズを形成し、両者打ち消しの残分として負の分散を持つ凸レンズを形成して負の色収差を生み出したとも言える。一方、先に指摘した通り y 軌道100yは第二の四極子21-2

2においてその中心を通るように調整されているので、100yは収差を含め当該四極子の影響を殆ど受けずにこれを通過する。

[0018] 同様にして、電磁複合である第三の四極子23-24では、第二・四極子21-22と反対称となるように、x 軌道100xが四極子中心を、y 軌道100yが軸から離れた箇所を通過するように設定される。これらによって、前節とは逆に今度は y 軌道100y に対して負の色収差を与えることができる。ここまで分岐した x 軌道と y 軌道を辿った電子は、第四の四極子25で再びスティグマティックに統合され収差補正器6を出射する。結果として、上記の反対称四重四極子収差補正器はx と y 方向に等量の、従って回転対称かつ正負任意に調整可能な色収差を提供でき、これと当該収差補正器6より光学的下流に位置する対物レンズ11の(正の)色収差を相殺することで、SEM光学系の全体としての色収差補正を実現することができる。

[0019] 上記に加えて、収差補正器6の四段の四極子各々に適宜な八極子場を重畳して加えることで、球面収差を始めとする三次開口収差の補正が可能となる。さらに同様に適宜六極場、双極場を各段に与えることで、収差補正器内外、光学系の不完全性から現れる一次と二次の寄生収差を補償することもできる。以上をもって、反対称四重四極子収差補正器により、色収差および三次までの開口収差補正が可能となる。

[0020] この収差補正器において四段の四極子は、上記 x 軌道と y 軌道に対する対称性を保つため、さらに四次以上の高次収差を対称性によって収差補正器内部で相殺させる。このため、第一段20と第四段25、第二段21-22と第三段23-24は、収差補正器内中心面15に対称に配置され、同時に反対称に励起される。すなわち反対称四重四極子となる。

先行技術文献

特許文献

[0021] 特許文献1：特開2010-114068

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0022] 上記の従来の技術に記述の通り、色収差補正の為には電磁複合四極子を2つ以上含む多段多極子収差補正器を構成し、前記電磁複合四極子が生成する負の色収差と、当該のSEMの対物レンズ等荷電粒子光学系で問題となる正の色収差と相殺せしめることで色収差補正を実現する。
- [0023] 現在まで提案されてきた多くの色・球面収差補正器（例えば特許文献1）も、含まれる多極子の数や光学要素の数は変えながらも、色収差を補正する原理は、上記に述べて電磁複合四極子による負の色収差の生成に基づく。従って、これら電磁複合四極子を含む多段多極子収差補正器は似た特徴を持つと同時に同様の課題を持っている。特に高加速TEM、STEMで既に利用されている六極子球面収差補正器に比べ原理的により高い機械精度を要求される一方で、実際にはより多段の多極子を組み合わせた構造は複雑になり十分な機械的精度を保ちにくくなる。以上は、今も同型式における色・球面収差補正器の実用化に向けて大きな課題となっている。
- [0024] 上記のような従来の色・球面収差補正器で機械的な構造の複雑性は、構成例を図9Aおよび図9Bにされる。特に第二と第三の多極子は電磁複合である必要性から、図9Aおよび図9Bに示すような複雑な構造を持たざるを得ない。即ち、図9Aおよび図9Bで示される通り二段目多極子の多極子は、中心軸14近傍の真空部分に静電四極子場を形成するために、極子210a先端は真空内に露出していなければならない。また、極子間或いは極子と支持材260の間で十分な電氣的な絶縁も保たれていなければならない。
- [0025] 一方、極子210aは、同時に磁極でもあるためにこれを励磁するコイル211aを備えなければならない。励磁コイルは、表面積も大きくガス放出の原因になり、かつ通電により発熱もおこるのでなるべく真空外に置くことが望ましい。
- [0026] これら電子複合四極子において機械的構成にかかる要求をまとめると、極子210aの先端は真空中に、かつ210aの他端は励磁コイル211aを備える為に大気側に支持材260を挟んで設置することである。さらに、支持材260と極子210

aの間は絶縁スリーブ214aを挟んで電氣的絶縁を保つ必要がある。勿論、同箇所において真空密閉も行わなければならないので、電磁複合の極子210aの箇所では極子210aと絶縁スリーブ214a、絶縁スリーブ214aと支持材260の間の両箇所です重にOリング（断面が円形の環型をした密封用の機械部品）を挟むことになる。このような複雑な多極子構造において、多極子先端の配置精度を μm オーダーに保ちつつ同時に多極子全体にわたって磁氣的にも均一な接続を維持しながら、かつ前記のような電気絶縁、真空密閉の機能を満足する構造の実現は非常に困難であると言える。

[0027] また、収差補正器構造の複雑化とは別に、高加速TEM、STEM用六極子球面収差補正器に比べて、多段多極子色・球面収差補正器は、電磁複合四極子を含む等の理由で、これを駆動するための電源安定度が一桁以上高いことも問題である。一般に、前者六極子球面収差補正器を駆動させるためには、 $10^{-5}\sim 10^{-6}$ の安定度の電源が必要であるとされるのに対して、後者色・球面収差補正器には $10^{-7}\sim 10^{-8}$ より高い安定度の電源が要求される。

[0028] 従って本発明の一つの課題は、上記の複雑な機械的構造をできるだけ簡易化し、多極子先端の機械的配置精度と多極子全体の磁氣的均一性を向上させやすくすることである。

[0029] またいま一つの課題は、同種の電磁複合多極子を備える多段多極子色・球面収差補正器に必要な駆動電源の要求電源安定度を、従来に比べて緩和することである。

課題を解決するための手段

[0030] 上記の課題を解決するため、本願発明の1つの形態は、試料に荷電粒子線を照射し、前記試料に起因する荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、第一および第二の磁界型の多極子と、前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第一および第二の静電型多極子とを備え、前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるとと

もに、それぞれ反対称に励起され、前記第二の磁界型多極子が設けられた第一平面と前記第一の静電型多極子が設けられた第二平面とは異なり、前記第三の磁界型多極子が設けられた第三平面と前記第二の静電型多極子が設けられた第四平面とは異なる、ことを特徴とする収差補正部を前記試料に前記荷電粒子線を照射する経路、もしくは前記試料に起因する荷電粒子を検出する経路に設置する。

[0031] また、本願発明の他の形態は、試料に荷電粒子線を照射し、前記試料に起因する荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、第一および第二の磁界型の多極子と、前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるときともに、それぞれ反対称に励起され、前記第二の磁界型多極子が作用する磁場と前記第一の静電型多極子が作用する電場との幅が異なり、前記第三の磁界型多極子が作用する磁場と前記第二の静電型多極子が作用する電場との幅が異なる、ことを特徴とする収差補正部を前記試料に前記荷電粒子線を照射する経路、もしくは前記試料に起因する荷電粒子を検出する経路に設置する。

[0032] また、本願発明の他の形態は、試料に荷電粒子線を照射し、前記試料に起因する荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、平面に設けられた多極子を4以上の段数にて有する収差補正部を有し、第一の平面に設けられた第一の磁界型多極子と、前記第一の平面よりも下方となる第二の平面に設けられた第一の静電型多極子と、前記第二の平面よりも下方となる第三の平面に設けられた第二の静電型多極子と、前記第三の平面よりも下方となる第四の平面に設けられた第二の磁界型多極子と、前記第一の磁界型多極子と前記第二の磁界型多極子との間に設けられ、前記収差補正器の中心対称面に対して反対称に励起される第一及び第二の磁界型素子と、を有し前記収差補正器は、前記第一の静電型多極子が生じさせる第一の電場と前記第一の磁界型素子が生じさせる第一の磁場とが重畳する第一の場と、前記第一の電場と前記

第一の磁場とのどちらかが単独にて作用する第二の場と、前記第二の静電型多極子が生じさせる第二の電場と前記第二の磁界型素子が生じさせる第二の磁場とが重畳する第三の場と、前記第二の電場と前記第二の磁場とのどちらかが単独にて作用する第四の場と、を形成することを特徴とする収差補正部を前記試料に前記荷電粒子線を照射する経路、もしくは前記試料に起因する荷電粒子を検出する経路に設置する。

[0033] また、本願発明の他の形態は、第一および第二の磁界型の多極子と、前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第一および第二の静電型多極子とを備え、前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるとともに、それぞれ反対称に励起され、前記第二の磁界型多極子が設けられた第一平面と前記第一の静電型多極子が設けられた第二平面とは異なり、前記第三の磁界型多極子が設けられた第三平面と前記第二の静電型多極子が設けられた第四平面とは異なることを特徴とする収差補正器である。

[0034] また、本願発明の他の形態は、第一および第二の磁界型の多極子と、前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるとともに、それぞれ反対称に励起され、前記第二の磁界型多極子が作用する磁場と前記第一の静電型多極子が作用する電場との幅が異なり、前記第三の磁界型多極子が作用する磁場と前記第二の静電型多極子が作用する電場との幅が異なることを特徴とする収差補正器である。

発明の効果

[0035] 本発明を用いることで、複雑な機械的構造が簡易化され、多極子の精度を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]多段多極子の収差補正器を備えるSEMの一般的な構成例を示す図である。

[図2]発明の反対称多重四極子色・球面収差補正器の一つの極子構成と、収差補正のための電子軌道を示す図である。

[図3]発明の反対称多重四極子色・球面収差補正器の別の極子構成と、収差補正のための電子軌道を示す図である。

[図4]本発明の収差補正器構成を用いることで、従来の構成を用いるより安定した色収差補正を実現できる事を示すグラフである。

[図5]本発明の収差補正器構成を用いることで、従来の構成を用いるより収差補正器を駆動するに要求される電源安定度が緩和されることを示すグラフである。

[図6A]本発明の内の図2に示した反対称多重四極子色・球面収差補正器の、機械的な構造例(垂直断面)を示す図である。

[図6B]本発明の内の図2に示した反対称多重四極子色・球面収差補正器の、機械的な構造例(水平断面)を示す図である。

[図7A]本発明の内の図6Aに例示した機械的な構造のうち、静電四極子部分の構成例(垂直断面)を示す図である。

[図7B]本発明の内の図6Bに例示した機械的な構造のうち、静電四極子部分の構成例(水平断面)を示す図である。

[図8]従来の反対称四重四極子色・球面収差補正器の極子構成と、収差補正のための電子軌道を示す図である。

[図9A]従来の反対称四重四極子色・球面収差補正器の、機械的な構造例(垂直断面)を示す図である。

[図9B]従来の反対称四重四極子色・球面収差補正器の、機械的な構造例(水平断面)を示す図である。

発明を実施するための形態

[0037] 本発明は、高分解能を要する荷電粒子光学装置、特に色収差がその分解能制限の主要因となるような低エネルギーの荷電粒子を用いる装置に関するも

ので、従来より要求電源精度が緩く、かつ機械的構成が簡単な色・球面収差補正器を提供するものである。特に限定するわけではないが、低加速走査電子顕微鏡(SEM)、走査透過電子顕微鏡(STEM)での利用を念頭に以下に記述する。

[0038] 本願発明が提示する基本的な解決手段は、従来の多段多極子色・球面収差補正器に含まれる電磁複合多極子を個別の静電型多極子と磁界型多極子に分離し、かつ両者の電子線行路上の位置もしくは幅に差分を設けることである。これによりまず前述の通り構造の複雑な電磁複合多極子を廃し、単純な静電型多極子と磁界型多極子を真空の内外に分けて配置することが可能となる。これにより、電磁複合多極子を構成するに要した複雑な電気絶縁と真空密閉構造を避けることができ、簡略化を見込むことができる。これに応じて、機械的な多段多極子収差補正器の組み立て精度の向上も見込むことができる。本願発明による多段多極子色・球面収差補正器の具体的な構成例は、図6A, B, 図7A, B を用いて追って説明する。

[0039] 本願に係る荷電粒子線装置は、具体的には、試料に荷電粒子線を照射し、これに従い前記試料から発生する荷電粒子や電磁波等の信号を検出する荷電粒子線装置とし、試料上の荷電粒子線照射径をより小さく絞るための多段多極子色・球面収差補正器を備えるものとする。前記多段多極子色・球面収差補正器は、その両端もしくは両端に近い位置に少なくとも四極子場を発生する対となる二つの磁界型多極子を備え、前記磁界型多極子対の間に、さら対となる二つの磁界型多極子と、前記四つの磁界型多極子とは異なる対となる二つの静電型多極子とを備える構造を基本構成とするものである。

[0040] 以下記述の便宜上、前記四つの多極子は荷電粒子線の入射端から出射端に向かって準に第一乃至第四の磁界型多極子と呼び、同様に二つの静電型多極子も入射端側から順に第一と第二の静電型多極子と呼称することにする。対となる第一と第四の磁界型多極子、第二と第三の磁界型多極子、および第一と第二の静電型多極子は、収差補正器の中心面に対して各々対称に配置され、かつ反対称な強度の四極子場を形成する機能を有するものとする。ここで

、第二の静電型多極子と第一磁界型の多極子、或いは第三の静電型多極子と第二の磁界型多極子が荷電粒子行路上の同一箇所同一分布の四極子場を形成するため、各々静電型と磁界型多極子の両者で共通の極子を用いる構造とすると、前述の電磁複合型多極子となる。この場合、実装するための構造が複雑になり要求される機械精度を充足し難くなることは本願の課題の欄で説明したとおりである。

[0041] よって、本願にかかる第一の手段は、上記の収差補正器中心面に対する配置の対称性、励起の反対称性は維持したまま、第二の磁界型多極子と第一の静電型多極子、従って第三の磁界型多極子と第二の静電型多極子を荷電粒子行路上で完全には重畳しない位置に配置することである。これには、第二の磁界型多極子と第一の静電型多極子が（対称性を維持するように第三の磁界型多極子と第二の静電型多極子も）部分的に重なりを持って配置される場合も含む。

[0042] また、本願にかかる第二の手段は、上記の収差補正器中心面に対する配置の対称性、励起の反対称性は維持したまま、第二の磁界型多極子と第一の静電型多極子、従って第三の磁界型多極子と第二の静電型多極子の極子長（荷電粒子行路に沿った多極子の作用長）に差を持たせ、当該の静電多極子と磁界型多極子両者の多極子場の分布に差分を持たせることである。あるいは、本願にかかる別の手段は上記第一と第二の手段を兼ね合わせ、第二の磁界型多極子と第一の静電多極子の、従って第三の磁界型多極子と第二の静電型多極子の位置および極子長を共に変えることである。

[0043] 本発明を適用することで、構造の複雑な電磁複合多極子を排除し、静電多極子と磁界型多極子の組に置き換えることができる。静電型多極子本体を真空内に設定する一方、非磁性材料の真空容器を用いれば磁界型多極子を励磁に必要なコイル群と合わせて真空外に配置でき、電磁複合型多極子で必要とされた複雑な電気絶縁、或いは真空密閉の為の複雑な構造を大幅に簡略化できる。これにより静電型多極子と磁界型多極子各々において、機械精度の向上を図ることが可能となる。

[0044] さらに、第二（第三）磁界型多極子と第一（第二）静電型多極子の重複長，或いは両者極子長の差分という新しい任意調整可能なパラメータを導入することにより，これを利用して色収差補正量とこれに必要な駆動電源電流／電圧の関係を調節可能となる。発明の具体例にて詳述する通りこれを調節することにより，色収差補正に必要な電源の要求安定度の緩和することも可能となる。

[0045] また，本発明の他の課題としては，当該補正器を駆動する電源に要求される安定度や精度の高さを緩和することがある。具体的な数値は多段多極子収差補正器の実際の構成や，これを用いる荷電粒子線装置の構成，補正対象とする荷電粒子の種類，エネルギー等によって変化するが，電磁複合四極子を色収差補正に利用する従来の多段多極子色球面収差補正器では，背景技術の欄で色収差補正の原理として説明した通り、電磁複合多極子にて発生する磁界四極子の凸レンズと静電四極子の凹レンズの相当部分を相殺させ残余に残るレンズ作用として負の色収差を実現する。

[0046] 実用的に十分な精度の負の色収差を得るためには，従って元となる磁界四極子と静電四極子にはより高い精度を求める必要があることが理解できる。実際の例としてこれまでに開発されてきた収差補正器において、高加速TEM，STEM用六極子球面収差補正器を駆動させるには $\delta I / I \div 10^{-5} \sim 10^{-6}$ の安定度の電源が必要とされたのに対し，電磁複合四極子を用いる多段多極子色・球面収差補正器においてはこれより高い $\delta V / V$ ， $\delta I / I \div 10^{-7} \sim 10^{-8}$ の安定度の電源が必要とされてきた。ここで， $\delta V / V$ ， $\delta I / I$ はリップルを含めた電圧源，電流源の要求安定度を示している。

[0047] これに対して本願発明においては、電磁複合多極子を個別の磁界型多極子と静電型多極子に分離した結果，これらの位置と幅の差分を調整パラメータとして色収差補正に必要とする電源精度を調節し，条件によっては40～50%緩和できることを見いだせた。

[0048] 以下本発明の詳細を各図面に沿って説明する。

[0049] まず，図1は，本発明のような多段多極子収差補正器を搭載するSEMの一般

的な装置構成を示す。SEMの鏡筒部分1には電子源を含む電子銃3と、これを発した電子を収束、試料12上に縮小投影して微小電子プローブを形成するための対物レンズ11および、対物レンズまで電子を適切な軌道で送る収束レンズ4、中間レンズ7(第二収束レンズ)を電子銃3と対物レンズ12の間に備える。収束レンズ4はさらに縮小率を上げる等の目的でより多段で用いられることもあり得る。

[0050] また、上記の通り形成された電子プローブを試料面上で走査（ラスタスキャン）させるための走査コイル10を備え、電子プローブによって試料面から発する二次電子、反射電子を検出する検出器9を備える（図1で検出器9は、二次電子検出器を例示している）。試料12は試料室2内で、水平移動や傾斜が可能な試料ホルダ13の上に設置され観察される。前記電子プローブで試料面を走査して得られる二次電子等の強度は、制御コンソール50に送られ、再びラスタスキャンに応じて二次元にマッピングされ、即ちSEM画像として観察記録することができる。なお、ここでいう制御コンソール50には制御部および入出力部が含まれる。

[0051] このようなSEMの場合多段多極子収差補正器6は、主として対物レンズ11の色収差と球面収差を補正するために、対物レンズ11の上流に置かれる。さらに、収差補正器6と対物レンズ11の間の結合収差の発生を抑制する目的から、図1のようにさらに中間レンズ7の上に設置されることが多い。この収差補正器6は収差補正制御電源51で駆動されるが、収差補正制御電源51自体のコントロールは電子顕微鏡本体制御52と同一、もしくは独立した制御部を用いて行われる（もしくは上述した制御コンソール50に含まれてもよい）。図1の場合は両者が同一の制御コンソール50によってコントロールされる場合を例示した。他に、SEMには必要に応じてブースティングやリターディング等の電子エネルギー調整機構、EDX等例示以外の信号検出器が付属する場合もある。図1では省略しているが、本願発明の範囲内にてこれらの光学系を追加できることは言うまでもない。

[0052] 図8は、前述の通り従来の多段多極子色・球面収差補正器の例として、反

対称四重四極子収差補正器の構成を示した。図8で示した構造と収差補正原理は従来の技術に含まれる。図に示される通り四段の多極子が収差補正器6の中心面15を対称面として対称に配置され、うち第二段21-22と第三段23-24は色収差補正の為に電磁複合多極子である。これらも含め四段の多極子は中心面15に対して反対称な反対称四重四極子を励起する。収差補正器6内で電子は、第一段の四極子20でx軌道100xとy軌道100yにアスティグマティックに分岐されてそれぞれ反対称な軌道を辿り、既に説明した通り電磁複合四極子を形成する第二段多極子21-22でx方向の、第三段多極子23-24で負の色収差を与えられる。

[0053] 上記の極子配列及び励起の対称性から、xとy方向に与える負の色収差は等量であり、即ち回転対称である。これらx軌道100xとy軌道100yは第四段多極子25で再び回転対称となるように統合される。以上の過程で収差補正器6によってつくられた負の色収差と、対物レンズ11の正の色収差を相殺せしめることで、色収差補正が実現されるのは前述の通りである。同様に、四段の多極子に適宜双極子場、六極子場、八極子場を重畳することで、球面収差を始め、系の不完全性による寄生収差を含む三次までの開口収差を補正することができる。

[0054] 一方、図2は、本発明における収差補正器6の構成の一例を示している。この図2の例では、第二段と第三段の電磁複合多極子を磁界型多極子21b、24bと静電多極子22b、23bに分離し、かつ磁界型多極子と静電多極子とが作用する位置をずらした例を示している。補正器中心面15に対する極子構成と励起の対称性、反対称性を維持する要求から、第二段で静電多極子22bは、磁界型多極子21bに対してz方向に+w、第三段で同様に23bは24bに対して-w変位して配置される。

[0055] 補正器6を通過する電子は、従来の反対称四重四極子補正器における場合と同様に第一の四極子20でx方向とy方向で分岐され、それぞれ100xと100yの軌道を辿って補正器内を通過する。100xと100yの軌道は、第二群の多極子21bと22bと第三群の多極子23bと24bを、対称性を持って通過する。即ち第二群

21bと22b では、x 軌道が中心軸16から距離をもって通過するのに対してy 軌道は比較的中心軸16の近傍を通過する。第三群23bと24bにおいては、第二群通過と反対称的にx 軌道が中心軸16近傍、y 軌道が軸から離れてこれらを通る。

[0056] 第二群多極子21b, 22bにおいてx 方向, 第三群多極子23b, 24bにおいてy 方向に負の色収差を発生し, 上記多極子と軌道の対称性を元に, 電子線は補正器6出射時にx, y 両方向に等値な, 即ち回転対称な負の色収差を付与されることになる。この負の色収差を対物レンズ11の正の色収差と相殺させることで, 色収差補正は実現される。色収差補正における図2の本発明での収差補正器構成における効果は, 図4, 図5および図6Aおよび図6Bにおいて追って説明される。

[0057] 図2の収差補正器6においても, 各段の多極子で適宜双極子場, 六極子場, 八極子場を重畳すれば, 三次までの寄生収差含む開口収差を補正出来ることは従来と同様である。この例では第二と第三の多極子を静電と磁界型多極子にそれぞれ分離しているが, 開口収差補正の為に八極子等を重畳して掛ける多極子は磁界型多極子 20, 21b, 24b, 25 だけで十分である。静電多極子22bと23bは, 純粹に四極子場を形成するよう機械的にも四極子として構成することも可能である。

[0058] 図3は, 本発明による収差補正器6の構成のまた別の一例を示している。この図3の例では, 第二段と第三段の電磁複合多極子を磁界型多極子21c, 24cと静電多極子22c, 23cに分離し, かつ両者の作用する幅を互いに変える例を示している。補正器中心面15に対する極子構成と励起の対称性, 反対称性を維持する要求から, 第二群の磁界型多極子21cと静電多極子22cは, 第三群の対応する磁界型多極子24cと静電多極子23cと同じ幅をそれぞれ持っている。

[0059] 補正器6を通過する電子は, 図8や図2の構成の収差補正器の場合と同様に第一の四極子20で x 方向と y 方向で分岐され, それぞれ100xと100yの軌道を辿って補正器内を通過する。x 軌道100xと y 軌道100yの軌道の対称性も図8, 図2と同様であり, 従って第二群多極子21c, 22cにおいてx 方向, 第三

群多極子23c, 24cにおいてy 方向に負の色収差を発生し、上記多極子と軌道の対称性を元に電子線は補正器6出射時にx , y 両方向に等値な、即ち回転対称な負の色収差を付与されることになる。この負の色収差を対物レンズ11の正の色収差と相殺させることで、色収差補正は実現される。

[0060] 図3の収差補正器6においても、図2の構成で説明したと同様に各段の多極子に適宜双極子場、六極子場、八極子場を重畳すれば、三次までの寄生収差含む開口収差を補正出来る。また、開口収差補正の為に八極子等を重畳して掛けるのは、磁界型多極子 20 , 21c, 24c, 25 だけで十分であり、図2の例と同様に静電型多極子は純粋に四極子場を形成するよう機械的にも四極子として構成することも可能である。

[0061] 図4と図5において、本発明の収差補正器構成より効果を説明する。これらに示す結果は、図2に示した収差補正器の構成例を元に、以下に示す表1のパラメータを用いて計算したものである。四極子場の分布には矩形場近似を仮定した。

[0062] [表1]

表1

表 1

パラメータ	内容	設定値
L_1	第一四極子 20 および、第四四極子 25 の極子巾	10 mm
s	第一四極子 20 と、第二群磁気四極子 21b の間隔 第三群磁気四極子 24b と第四四極子 25 の間隔	0mm
L_{2M}	第二群磁気四極子 21b 及び第三群磁気四極子 24b の極子巾	10 mm
L_{2E}	第二群静電四極子 22b 及び第三群静電四極子 23b の極子巾	10 mm
t	第二群静電四極子 22b 及び第三群静電四極子 23b の間隔	15 mm
Φ_0	電子エネルギー	1000 eV

[0063] 図4は、表1の条件でx 軌道 100xとy 軌道100y の間の対称条件を維持して収差補正器6内の二つの静電四極子22bと23bの強度 θ_{2E} を変える場合の色

収差係数 C_c の変化を、図 8 や図 2 の発明の構成で比較してプロットしている。 x 軌道 $100x$ と y 軌道 $100y$ の間の対称条件は、図 8 と図 2 に見られる通りであるが、式として記述すると以下の式(6)となる。

[0064] [数6]

数6

$$\begin{aligned} x(z_m) &= -y(z_m) \\ x'(z_m) &= y'(z_m) \end{aligned} \quad \text{式(6)}$$

[0065] ここで、 z_m は収差補正器6の中心面15の z 座標であり、また第二式の微分は z に対して取ることを示している。本願発明の構成の場合、第二群と第三群の中での磁界四極子 21b, 24b と静電四極子 22b, 23b の重複幅 w は、ここでは5(mm)とした。縦軸は、結像レンズの焦点距離 f で規格化した色収差係数 C_c/f^2 を以て示している。

[0066] 図 4 のグラフにみるように、図 8 の従来構成収差補正器に対する色収差係数 502 と図 2 に示した本願発明構成の収差補正器に対する色収差係数 501 は $\theta_{2E} = 0$ ではいずれも正值であるが、 θ_{2E} の増加に従って値が減少し、やがて負の値を取るようになるが、特に従来構成に対する色収差係数 502 に比較して本願発明の構成に対応する色収差係数 501 の方の減少がより緩やかである。これは本願発明図 2 の構成の色収差補正器の方が、電界四極子強度 θ_{2E} の変動に対して鈍感であり、逆に見れば本願発明の図 2 に示す構成の収差補正器の方が電界四極子を励起する電源変動に対して安定的であると言える。即ち、本発明の効果として、多極子を駆動する電源に要求される安定度を緩和出来たことになる。

[0067] 上記の差は、定性的には以下のように説明できる。第二段と第三段に電磁複合四極子 21-22, 23-24 を用いることによって、静電と磁界四極子場の分布が一致している図 8 の従来構成では、電源容量や耐電、極子の磁気飽和等物理的制限に因らない限り θ_{2E} の増大に対して C_c は単調に減少する。そして

， 原理的にはいくらでも大きな負の色収差を得ることが可能である。一方，
わざと電磁複合四極子を静電四極子22b， 23bと磁界四極子21b， 24bに分離し
， 両者の作用位置をずらした図2の本願発明の構成においては， 静電四極子2
2b， 23bと磁界四極子21b， 24bが重複する w の範囲では従来と同じ原理で負
の色収差が発生するが， その外側静電四極子場もしくは磁界四極子場しか存
在しない領域ではむしろ負の色収差発生を抑制される。この結果， 図2の発
明の構成では θ_{2E} を増大させても， 静電と磁界四極子の重複幅 w に依存して色
収差係数 C_c がある最低値以下には減少しなくなる。例えば， 表1の計算条件
の下では， $w < 2.4(\text{mm})$ では θ_{2E} を増大させても， C_c は負の値を取れなくなる
。以上の結果， 図2の発明の構成の収差補正器では， θ_{2E} の増大に対する C_c の
減少が緩やかになり， 前節に述べた効果を得ることが可能となる。

[0068] 通常SEM等で色収差補正を行う荷電粒子光学系では， 対物レンズ等による補
正すべき正の色収差は一定値もしくは限定された範囲の値を取る。従って，
色収差補正器としてはこれを相殺するに十分な負の収差を発生できれば十分
である。図2の本願発明の構成の収差補正器では第二群， 第三群の静電四極
子と磁界四極子の重畳幅 w を調節することで得られる負の色収差の最大値を
， 被補正色収差量に合わせて調整できる。さらに当該条件の近傍では θ_{2E} の
変動に対する収差係数 C_c の変化が小さくなるので， これらの結果従来に比較
してより安定した色収差補正を実現できることになる。

[0069] 図5では， 図4と同じく図2の発明の構成に示す収差補正器を表1の条件
の下動かす時の電源安定度を示している。すなわち縦軸には， 各々多極子を
励起するに要求される電源安定度を， 静電四極子と磁界四極子の重複幅 w に
対してプロットしている。図5のグラフの左端が図4のグラフに示した図2
の発明の構成の収差補正器で $w = 5(\text{mm})$ に対応するものであり， グラフ右端で
は $w = L_{2E} = L_{2M} = 10(\text{mm})$ と静電四極子と磁界四極子が全幅重複する条件であ
るからこれは図8の従来の構成の収差補正器と等価である。

[0070] 縦軸の要求電源安定度は， 対数軸で示している。グラフには第一の四極子2
0と第二群の磁界四極子21b及び静電四極子22bにかかる電源の安定度を w に対

して表示しているが、収差補正器6の中心面15を対称面とする四極子の反対称励起条件から、第三群の磁界四極子24b及び静電四極子23bと第四四極子25についても各々対称な位置にある四極子と同じ電源安定度が要求されることになる。

[0071] 図5から、まず図8の従来の構成と図2の発明の構成の収差補正器において、以下の共通点が確認される。まず、第一（第四）四極子に比較して、第二もしくは第二群（第三もしくは第三群）の各々四極子を励起する為の電源により厳しい電源安定度が要求されている。また、前述したように、もっとも厳しい第二群磁界四極子に対する要求電源安定度は、 10^{-7} (10の -7 乗)のオーダーとなっていることがわかる。

[0072] 以上は、図2の発明の構成に基づくモデルでの計算結果を示した。図示は省略したが、同様に静電四極子と磁界四極子の幅を変える図3に示す別の構成を用いても、図4で述べた色収差補正の安定化、図5で見た要求電源安定度の緩和の効果を得ることが計算で確認された。

[0073] 一方、静電四極子と磁界四極子の重複幅 w に対する要求電源安定度の変化をみると、 w が小さくなるほど全幅重複、即ち図8の従来の構成での収差補正器に対して、要求電源安定度が緩和されることが見て取れる。特に、極子のうちでもっとも厳しい電源安定度が要求される第二群磁界四極子21bに対しては、従来の構成($w = 10(\text{mm})$)では0.45 ppm 以下の電源安定度が必要とされるところ、重複幅を $w = 5(\text{mm})$ まで減らすと要求が二倍弱 (0.80 ppm以下) までに緩和される。この理由は、図4に対して定性的ながら説明した色収差補正の安定化原因と対応する。

[0074] 図6Aおよび図6Bは図2の発明の構成の収差補正器6を機械的に製作するための構造例を示す。それぞれ、垂直平面での断面図と水平面での断面図である。図2の発明の構成における収差補正器では図8の従来の構成での電磁複合21-22と23-24は、各々別の静電四極子 22b, 23bと磁界四極子21b, 24bに分離され別々に配置することができる。特に図6Aおよび図6Bでは、ライナーチューブ250にて電子を通す中心部を真空中で密閉し、静電四極子240a, 243a

のみ真空内に配置する例を示している。なお、電子の通路を真空にし、極子を真空外に置く構成が可能であれば、光学系の部品はライナーチューブ250に限定されるものではない。ここではそれらを総称して電子の真空経路部と呼ぶ。また、ここでいう真空とは理想的な真空状態だけでなく、現実的に荷電粒子線が通過できるような、ある程度まで減圧された状態も真空の定義に含めている。

[0075] ライナーチューブ250を非磁性材料で作成すれば、磁界四極子すべてはライナーチューブ250の外側、真空外に置くことができる。この利点を持って、図6Aおよび図6Bでは第一と第四四極子も磁界四極子を用いるとし、これらの磁極子200a, 230a等も第二群, 第三群の磁界四極子210a, 220aとともにライナーチューブ260の外に設置する例を示している。このような構造にすれば、200a等各々の磁極子と支持材260の間でOリング等の真空密閉策を取る必要がなく、大幅に真空密閉箇所を削減できる効果がある。

[0076] 具体的には、ライナーチューブ250の上下端と、静電四極子を励起するための電圧線の導入箇所でのOリング251, 253等による真空密閉を講じればよい。図6Aおよび図6Bでは、静電極子240a, 243a等と電圧線241a, 244a等の対応を明確にするために各々の極子位置で個別に導入するよう示しているが、実際には電圧線は一箇所から纏めて導入しても構わない。よって、図6Aおよび図6Bに示す構造例に従えば、従来の構成に比べて、図9Aおよび図9Bで70箇所以上あった収差補正器内での真空密閉箇所を最低3箇所まで減らすことができる。これにより、磁気12極子はより剛性が高い構造を採用でき、結果として当該部の機械的な組み立て精度の向上を実現できる。

[0077] さらに図2の発明の構成における収差補正の原理の説明でも触れたように、図6Aおよび図6Bの収差補正器の構成であれば、三次までの開口収差を補正する役割をすべて4段の磁界型多極子に担わせてしまうことができる。

[0078] 図6Aおよび図6Bではこれを想定し、これら磁界型多極子を12極子210(a)から210(l)等で構成する例を示した。この場合、真空内に置かれた静電多極子は、単純に色収差補正に必要な四極子場のみ発生出来ればよいので、その

機械的構成自体を四極子にしてしまうことが可能である。この場合の静電四極子部の構造例を図7Aと図7Bに示した。それぞれ、垂直平面での断面図と水平面での断面図である。二つの四極子240a等と243a等は各々四極子内の電極と四極子相互の配置精度を高めるために、一つの四極子支持材261に絶縁薄板242a, 245a等を挟んで設置されている。

[0079] また、四極子支持材260は、非磁性金属で形成可能であり、絶縁薄板は $\sim 10^0$ V程度の耐電性能を持つ絶縁材料であれば構わないが機械精度を高める為硬度の高いセラミック薄板等の利用が考えられる。二つの四極子は前述の通り単純四極子として四つの極子240aから240d, 243a から243d (243b から243dは図に非表示)で構成する。以上のように一体化した静電四極子部をライナーチューブ250の真空内に導入することで、高い機械精度で2つの静電四極子を設置することが可能となる。さらにこれ以上、静電四極子部の機械精度不足等によって寄生収差が発生するならば、三次以下のそれらは真空外に配置された四段の磁気12極子200a, 210a, 220a, 230a等を用いて補償することができる。

[0080] 図6Aおよび図6Bに示すような磁気12極子を真空外に配置する構造（真空経路部）で、各々の12極子全体を水平面内で機械的に位置調整が出来る機構を設けることも可能である。このような磁気12極子の位置微調整を用いれば、静電四極子場の中心と磁気12極子が形成する磁界四極子場の中心を合わせ直すことができ、従って色収差補正の安定化にさらに寄与できる。これに必要な $1\mu\text{m}$ 以下のオーダーの位置微調整を駆動する機構としては、ピエゾ素子を用いたアクチュエータの利用が挙げられる。その他、従来の電磁レンズの位置調整に用いられる機械的な押しねじ機構を上記の位置調整に用いても効果が期待できる。

[0081] 以上の通り説明したとおり、従来の反対称四重四極子色・球面収差補正器で利用されていた少なくとも二つの電磁複合四極子を、磁界四極子と静電四極子に分離して、これらの位置をずらす。或いは、両者の幅を変える構成の反対称多重四極子色・球面収差補正器を用いる。これにより、対物レンズ等

が発生する正の色収差を相殺するに十分な負の色収差が発生し、かつ従来より緩い要求電源安定度で色収差補正を実現することが可能となった。

[0082] さらに、上記のとおり電磁複合多極子を静電多極子と磁界型多極子に分離することで、真空密閉箇所の削減等収差補正器の構造を大幅に簡易化できる。これによって各々静電多極子と磁界型多極子の剛性と機械的精度の向上を見込むことができる。特に、静電多極子のみ真空内に配置し、磁界型多極子は真空外に設置できる図6Aおよび図6Bに例示する構造が可能になる。特に、真空外の磁界型多極子を12極子で構成し、真空内に置かれた静電多極子は単純四極子を用いる場合、三次までの開口収差を真空外の磁界型多極子ですべて補償するような構成を実現することもできる。このように、本願発明では主に4極子と12極子を用いて説明したが、本願発明の趣旨を逸脱しない範囲内において、多極子の極子数は実施例に限定されるものではないことを追記しておく。

符号の説明

[0083] 1: SEM鏡筒, 2: SEM試料室, 3: 電子銃, 4: 収束レンズ, 5: 偏向器, 6: 多段多極子収差補正器, 7: 中間レンズ(第二収束レンズ), 8: 偏向器, 9: 二次電子検出器, 10: 走査コイル, 11: 対物レンズ, 12: 試料, 13: 試料ステージ, 14: 中心軸, 15: 補正器中心面, 20: 磁界四極子1, 20b: 磁界四極子1構成1, 20c: 磁界四極子1構成2, 21: 磁界四極子2, 21b: 磁界四極子2, 21c: 磁界四極子2, 22: 静電四極子1, 23: 静電四極子2, 24: 磁界四極子3, 25: 磁界四極子4, 50: 制御コンソール, 51: 収差補正制御, 電源, 52: 電子顕微鏡制御, 電源, 100x: 電子線軌道 x-z平面, 100y: 電子線軌道 y-z平面, 200a~l: 第一段目磁極, 201a~l: 第一段目励磁コイル, 202a~l: 真空密閉0リング, 210a~l: 第二段目磁極, 211a~l: 第二段目励磁コイル, 212a~l: 真空密閉0リング, 213a~l: 真空密閉0リング, 214a~l: 絶縁スリーブ, 215a~l: 電圧印加線, 210a~l: 第三段目磁極, 221a~l: 第三段目励磁コイル, 222a~l: 真空密閉0リング, 223a~l: 真空密閉0リング, 224a~l: 絶縁スリーブ, 225a~l: 電圧印加線, 230a~l: 第

四段目磁極, 231a～l : 第四段目励磁コイル, 232a～l : 真空密閉0リング, 240a～d : 第一静電極, 241a～d : 電圧印加線, 242a～d : 絶縁板, 243a～d : 第二静電極, 244a～d : 電圧印加線, 245a～d : 絶縁板, 250 : ライナーチューブ (真空経路部), 251 : 真空密閉0リング, 252 : 0リング押さえ, 253 : 真空密閉0リング, 254 : 0リング押さえ, 260 : 多極子支持材, 261 : 静電極子支持材, 500 : 静電四極子強度と色収差係数を表すグラフ

請求の範囲

- [請求項1] 試料に荷電粒子線を照射し、前記試料に起因する荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、
- 第一および第二の磁界型の多極子と、
- 前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、
- 前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第一および第二の静電型多極子とを備え、
- 前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるときともに、それぞれ反対称に励起され、
- 前記第二の磁界型多極子が設けられた第一平面と前記第一の静電型多極子が設けられた第二平面とは異なり、
- 前記第三の磁界型多極子が設けられた第三平面と前記第二の静電型多極子が設けられた第四平面とは異なる、ことを特徴とする収差補正部を前記試料に前記荷電粒子線を照射する経路、もしくは前記試料に起因する荷電粒子を検出する経路に設置した荷電粒子線装置。
- [請求項2] 試料に荷電粒子線を照射し、前記試料に起因する荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、
- 第一および第二の磁界型の多極子と、
- 前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、
- 前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるときともに、それぞれ反対称に励起され、
- 前記第二の磁界型多極子が作用する磁場と前記第一の静電型多極子が作用する電場との幅が異なり、
- 前記第三の磁界型多極子が作用する磁場と前記第二の静電型多極子

が作用する電場との幅が異なる，ことを特徴とする収差補正部を前記試料に前記荷電粒子線を照射する経路，もしくは前記試料に起因する荷電粒子を検出する経路に設置した荷電粒子線装置。

[請求項3] 試料に荷電粒子線を照射し，前記試料に起因する荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において，

平面に設けられた多極子を4以上の段数にて有する収差補正部を有し，

第一の平面に設けられた第一の磁界型多極子と，

前記第一の平面よりも下方となる第二の平面に設けられた第二の磁界型多極子と，

前記第二の平面よりも下方となる第三の平面に設けられた第三の磁界型多極子と，

前記第三の平面よりも下方となる第四の平面に設けられた第四の磁界型多極子と，

前記第一の磁界型多極子と前記第二の磁界型多極子との間に設けられ，前記収差補正器の中心対称面に対して反対称に励起される第一及び第二の静電型多極子と，を有し

前記収差補正器は，前記第一の静電型多極子が生じさせる第一の電場と前記第二の磁界型多極子が生じさせる第一の磁場とが重畳する第一の場と，前記第一の電場と前記第一の磁場とのどちらかが単独にて作用する第二の場と，前記第二の静電型多極子が生じさせる第二の電場と前記第三の磁界型多極子が生じさせる第二の磁場とが重畳する第三の場と，前記第二の電場と前記第二の磁場とのどちらかが単独にて作用する第四の場と，を形成する

ことを特徴とする収差補正部を前記試料に前記荷電粒子線を照射する経路，もしくは前記試料に起因する荷電粒子を検出する経路に設置した荷電粒子線装置。

[請求項4] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において，

前記第一乃至第四の磁界型多極子は磁界を発生させる励磁部を有し
,
前記収差補正部を通過する荷電粒子線の経路を減圧とする真空
経路部を有し,
前記第一および第二の静電型多極子は前記真空経路部の内側である
減圧空間内に配置され,
前記励磁部を含む前記第一乃至第四の磁界型多極子は前記真空経路
部の外側に配置されることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項5]

請求項2に記載の荷電粒子線装置において,
前記第一乃至第四の磁界型多極子は磁界を発生させる励磁部を有し
,
前記収差補正部を通過する荷電粒子線の経路を減圧とする真空
経路部を有し,
前記第一および第二の静電型多極子は前記真空経路部の内側である
減圧空間内に配置され,
前記励磁部を含む前記第一乃至第四の磁界型多極子は前記真空経路
部の外側に配置されることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項6]

請求項3に記載の荷電粒子線装置において,
前記第一乃至第四の磁界型多極子は磁界を発生させる励磁部を有し
,
前記収差補正部を通過する荷電粒子線の経路を減圧する真空経路部
を有し,
前記第一および第二の静電型多極子は前記真空経路部の内側である
減圧空間内に配置され,
前記励磁部を含む前記第一乃至第四の磁界型多極子は前記真空経路
部の外側に配置されることを特徴とする収差補正器。

[請求項7]

請求項1に記載の荷電粒子線装置において,
前記収差補正部を通過する荷電粒子線の光軸に沿って、前記第一乃

至第四のうちのいずれか1つ以上の磁界型多極子と前記第一または第二の静電型多極子との相対位置を調整する位置調整部を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項8] 請求項2に記載の荷電粒子線装置において、
前記収差補正部を通過する荷電粒子線の光軸に沿って、前記第一乃至第四のうちのいずれか1つ以上の磁界型多極子と前記第一または第二の静電型多極子との相対位置を調整する位置調整部を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項9] 請求項3に記載の荷電粒子線装置において、
前記収差補正部を通過する荷電粒子線の光軸に沿って、前記第一乃至第四のうちのいずれか1つ以上の磁界型多極子と前記第一または第二の静電型多極子との相対位置を調整する位置調整部を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項10] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記第一乃至第四の磁界型多極子はそれぞれ12極以上の極子を有し、
前記第一乃至第四の磁界型多極子は四極子場を発生させ、かつ偏向場、六極子場、八極子場、12極子場、前記四極子場とは位相の異なる四極子場のいずれかを発生させることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項11] 請求項2に記載の荷電粒子線装置において、
前記第一乃至第四の磁界型多極子はそれぞれ12極以上の極子を有し、
前記第一乃至第四の磁界型多極子は四極子場を発生させ、かつ偏向場、六極子場、八極子場、12極子場、前記四極子場とは位相の異なる四極子場のいずれかを発生させることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項12] 請求項3に記載の荷電粒子線装置において、
前記第一乃至第四の磁界型多極子はそれぞれ12極以上の極子を有し、

前記第一乃至第四の磁界型多極子は四極子場を発生させ、かつ偏向場、六極子場、八極子場、12極子場、前記四極子場とは位相の異なる四極子場のいずれかを発生させることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項13]

第一および第二の磁界型の多極子と、

前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、

前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第一および第二の静電型多極子とを備え、

前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるときともに、それぞれ反対称に励起され、

前記第二の磁界型多極子が設けられた第一平面と前記第一の静電型多極子が設けられた第二平面とは異なり、

前記第三の磁界型多極子が設けられた第三平面と前記第二の静電型多極子が設けられた第四平面とは異なることを特徴とする収差補正器。

[請求項14]

第一および第二の磁界型の多極子と、

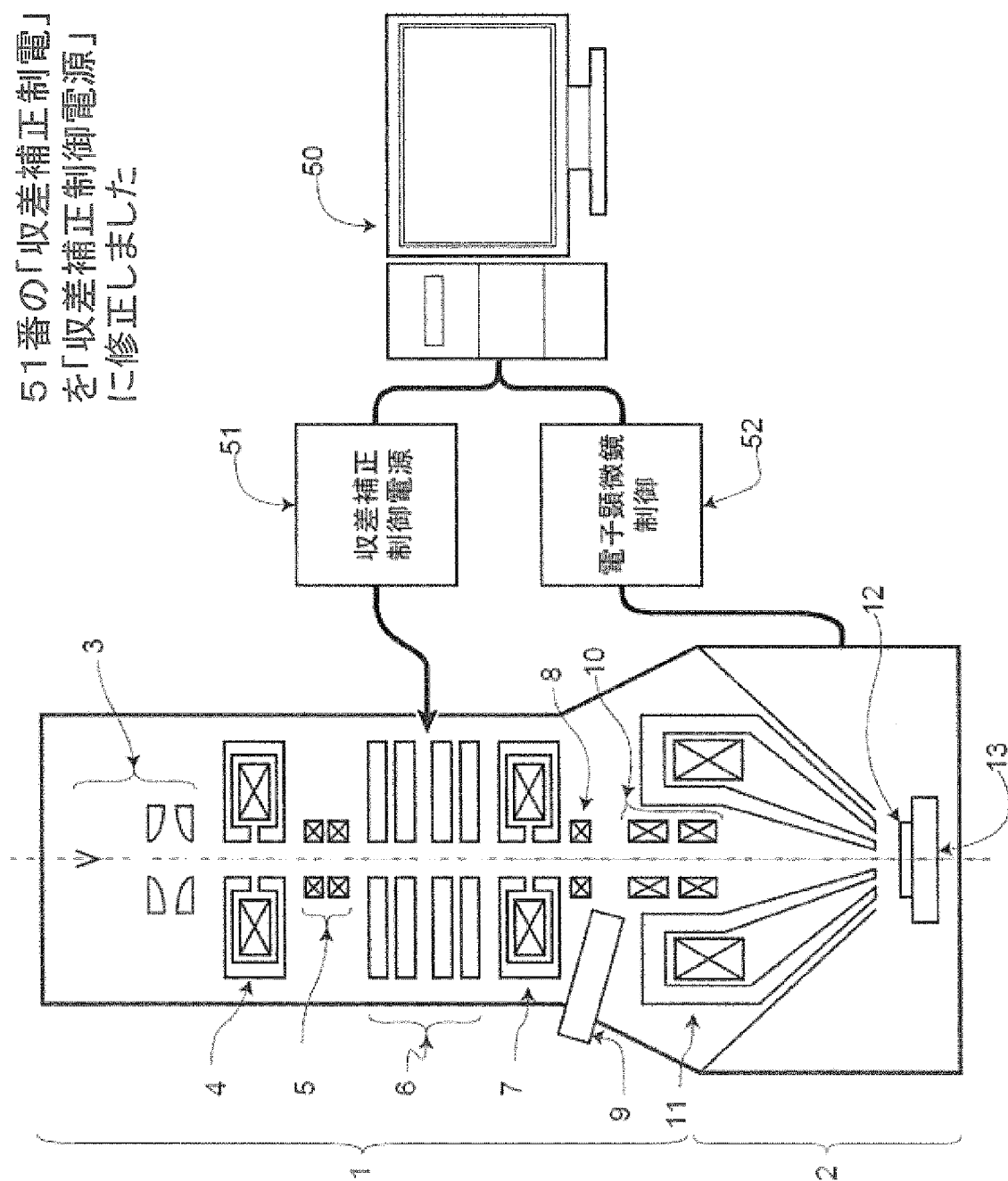
前記第一の磁界型の多極子と第二の磁界型の多極子との間に設けられた第三および第四の磁界型多極子と、

前記第一乃至第四の磁界型多極子と前記第一および第二の静電型多極子とは中心対称面に対して対称に配置されるときともに、それぞれ反対称に励起され、

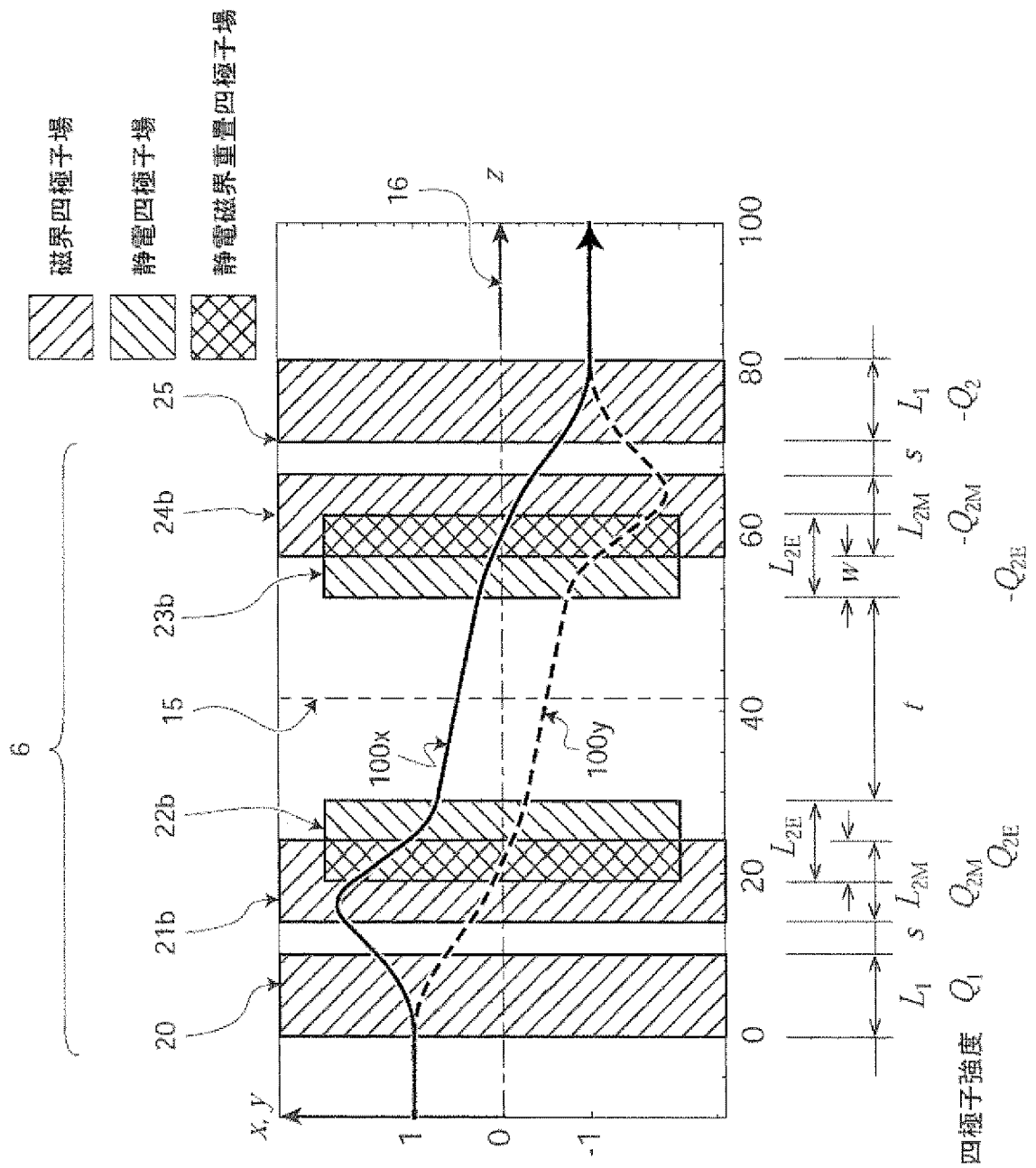
前記第二の磁界型多極子が作用する磁場と前記第一の静電型多極子が作用する電場との幅が異なり、

前記第三の磁界型多極子が作用する磁場と前記第二の静電型多極子が作用する電場との幅が異なることを特徴とする収差補正器。

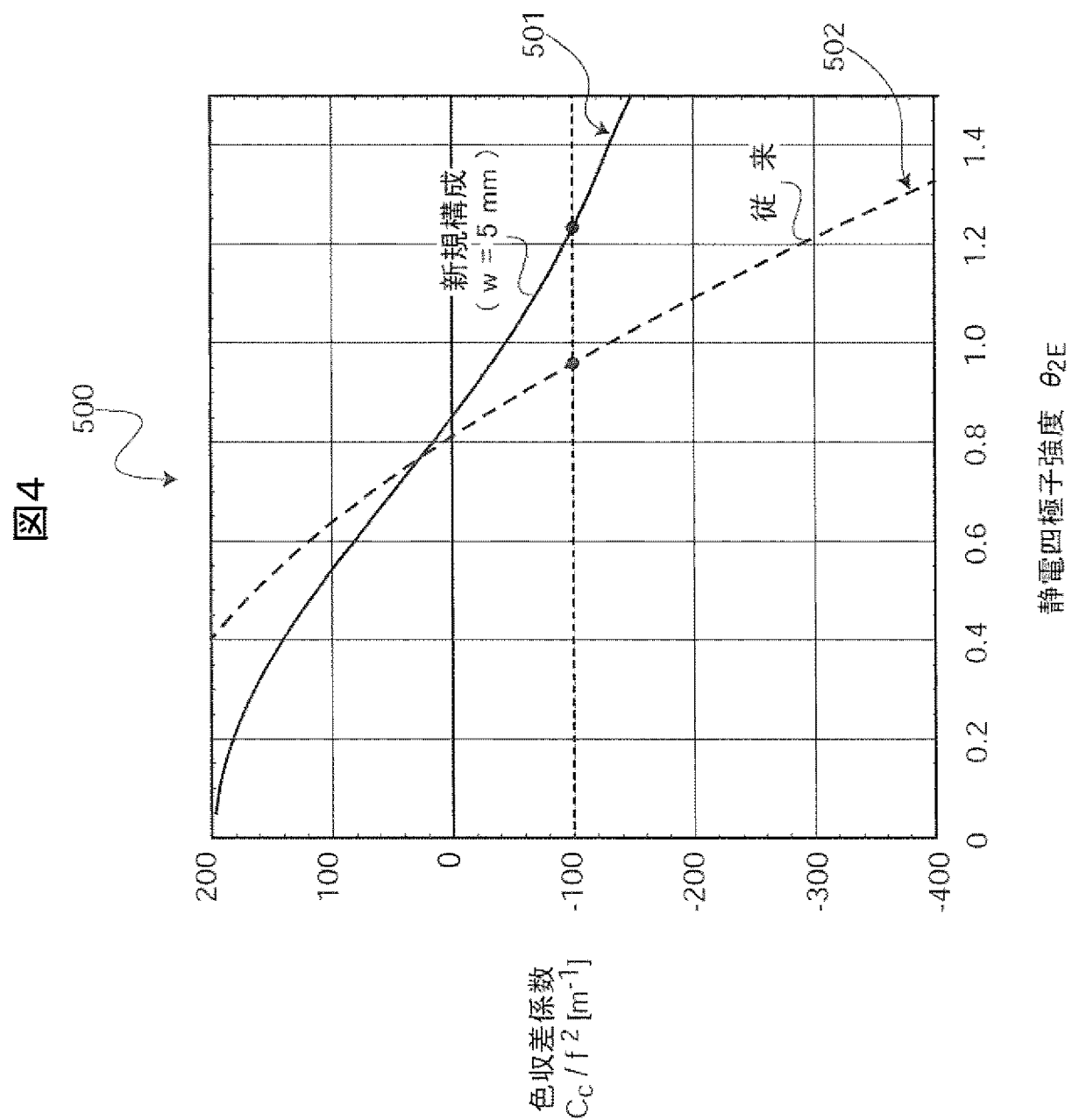
[図1]



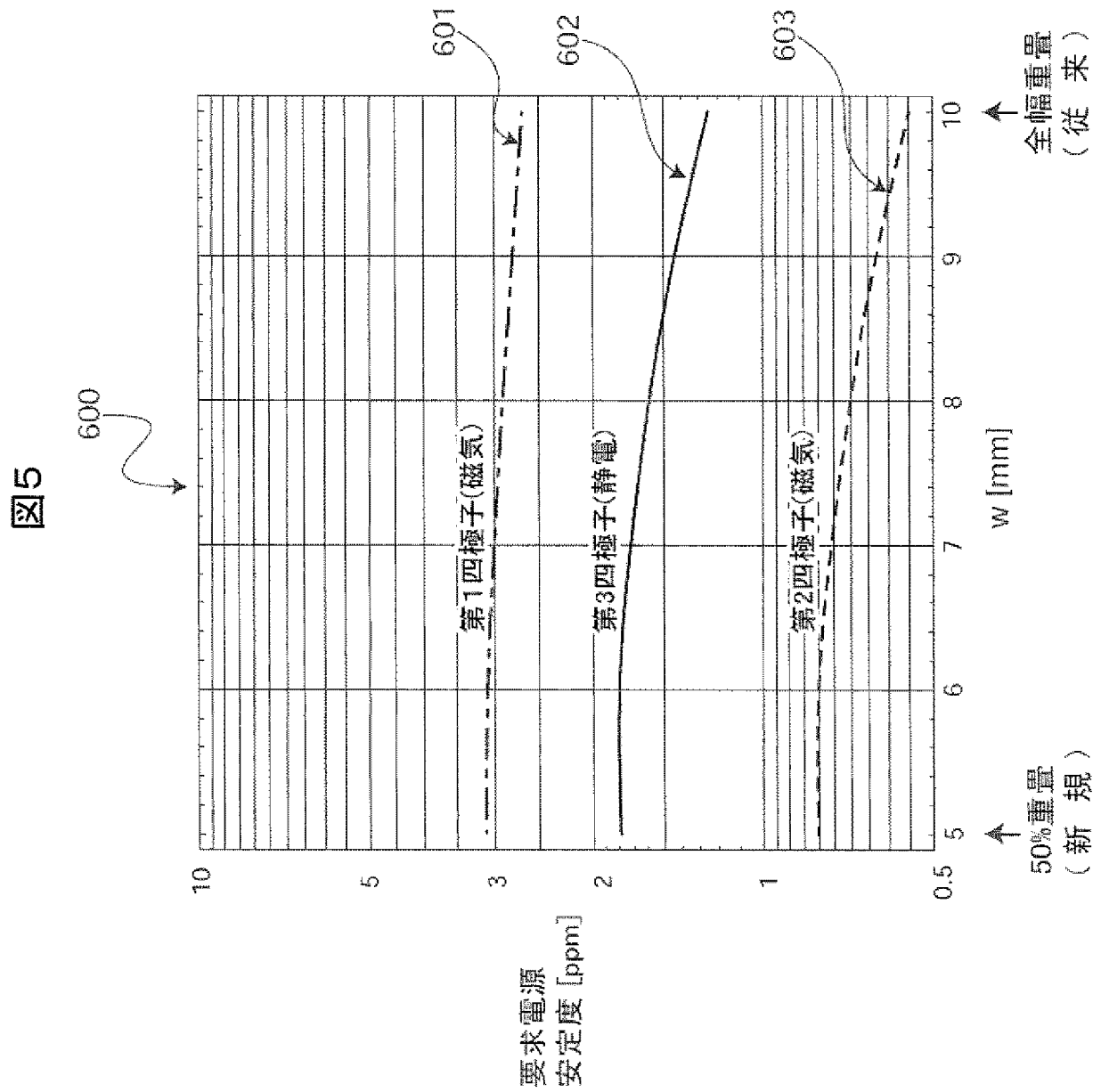
[図2]



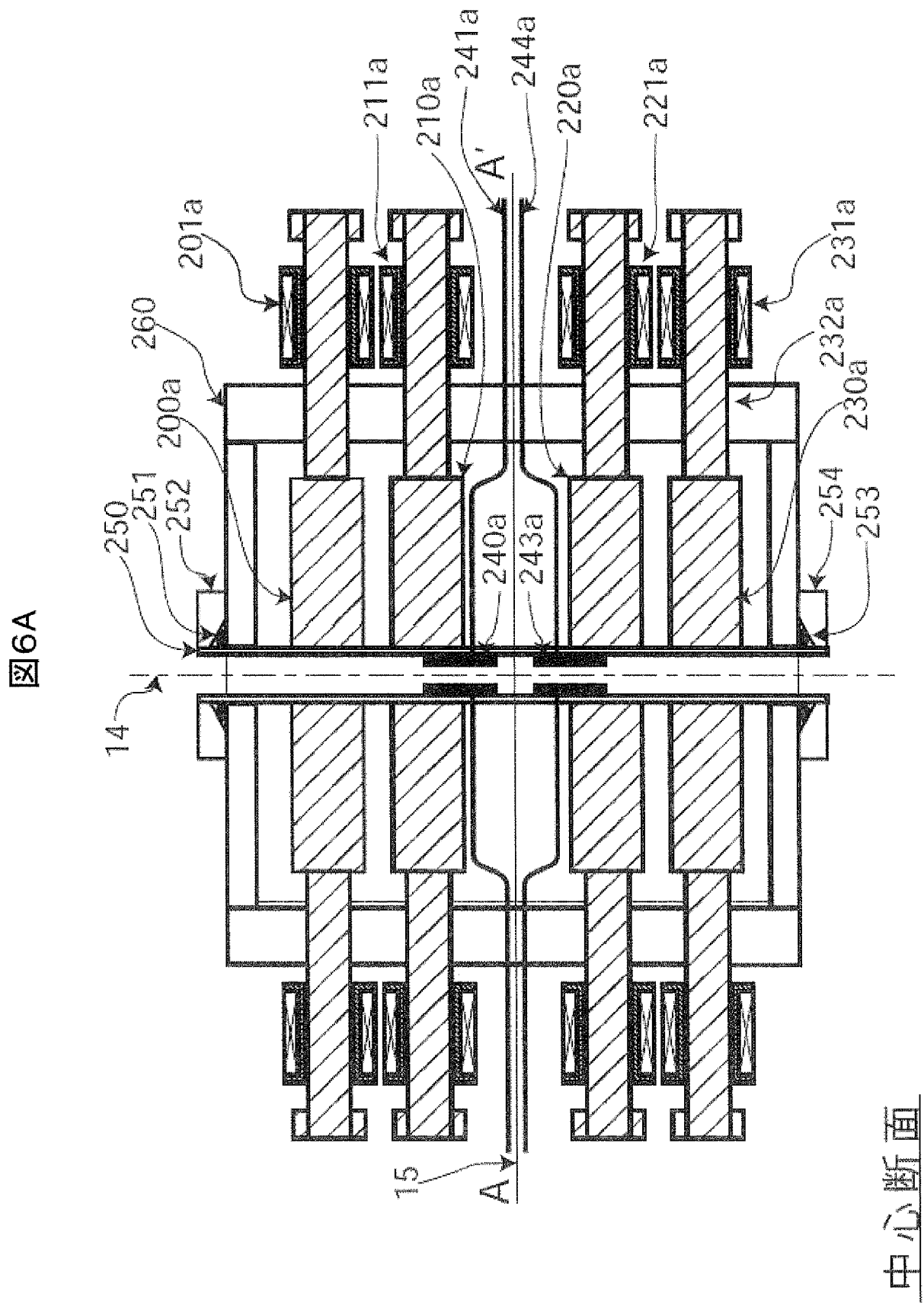
[図4]



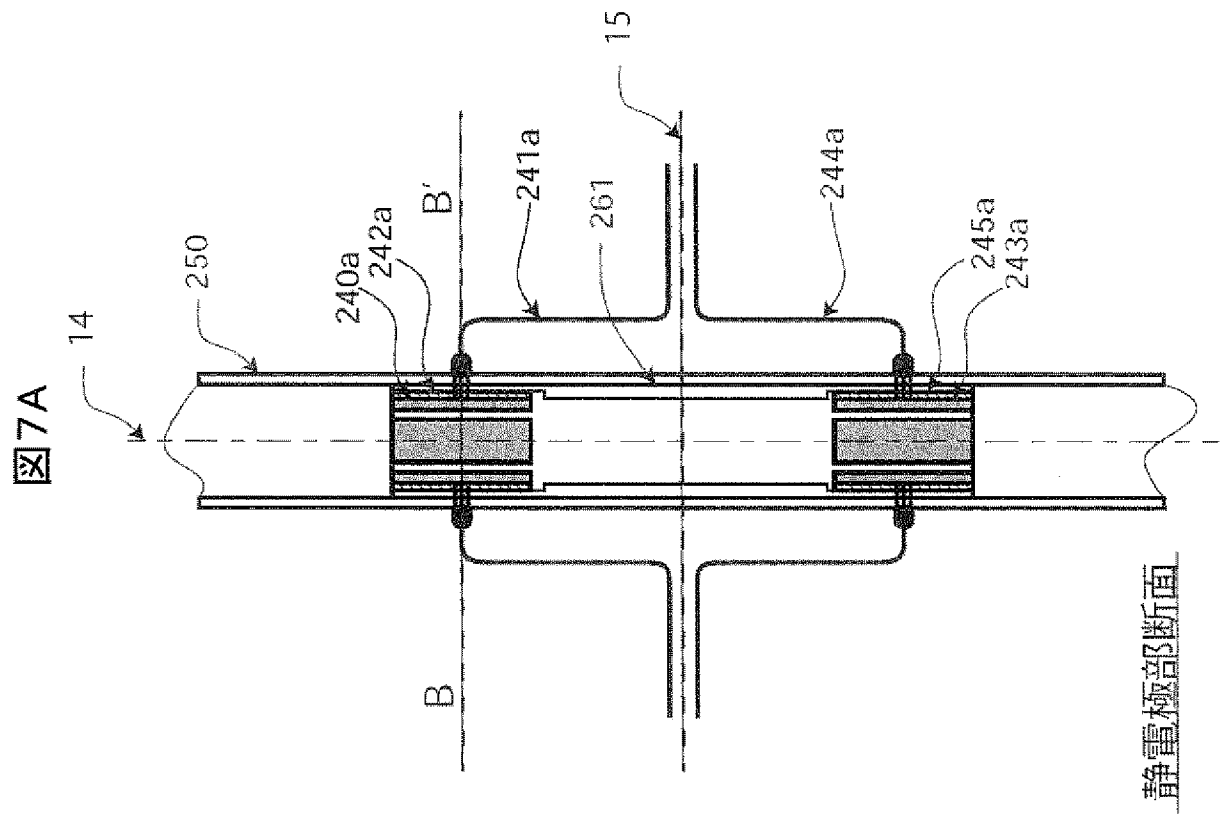
[図5]



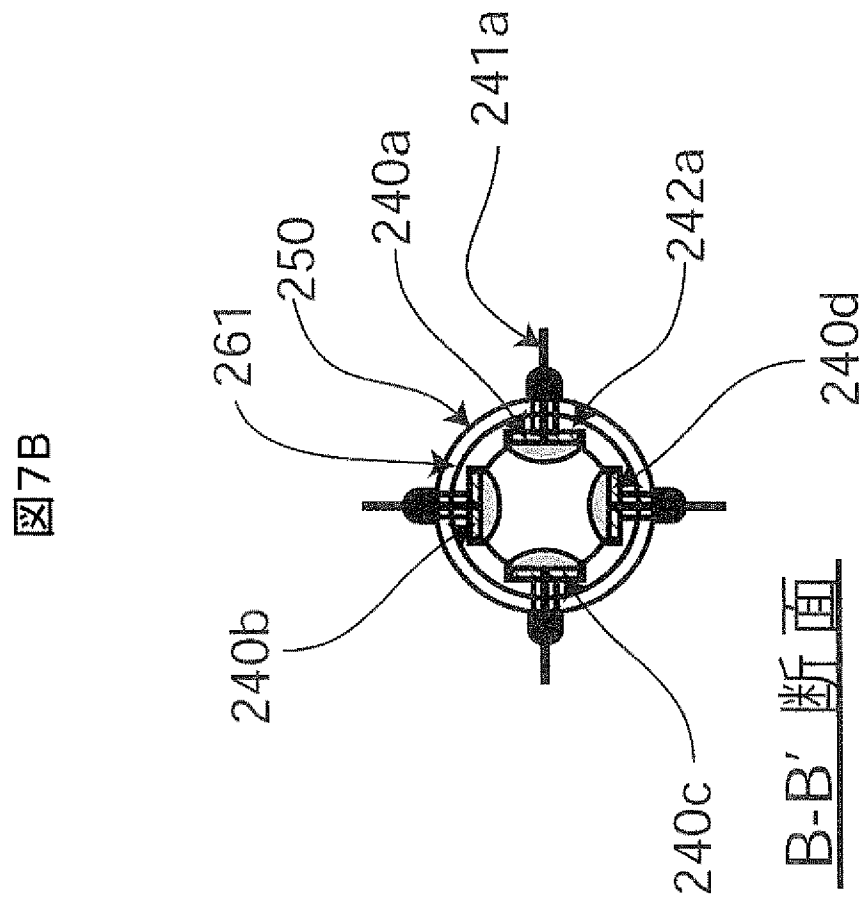
[図6A]



[図7A]

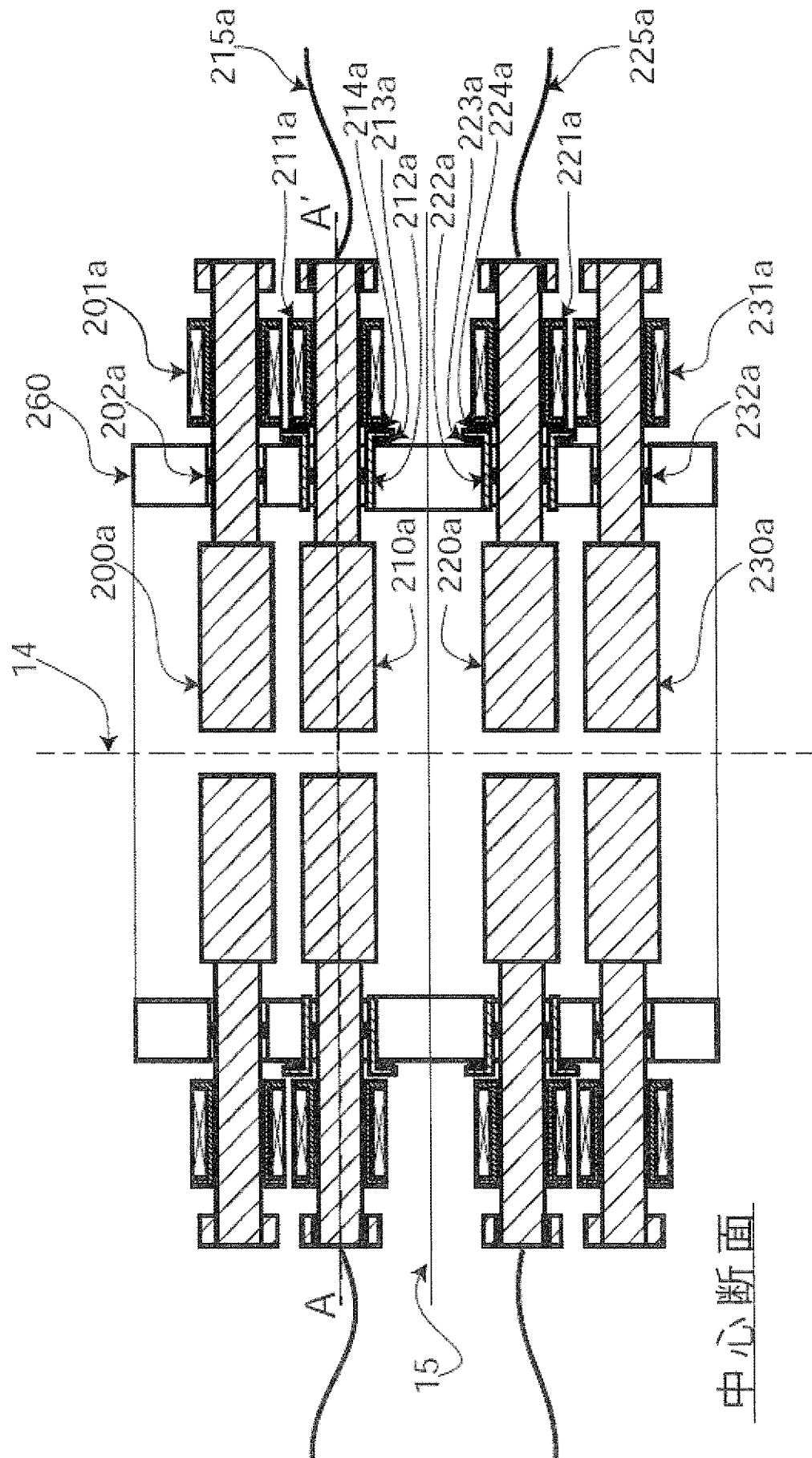


[図7B]

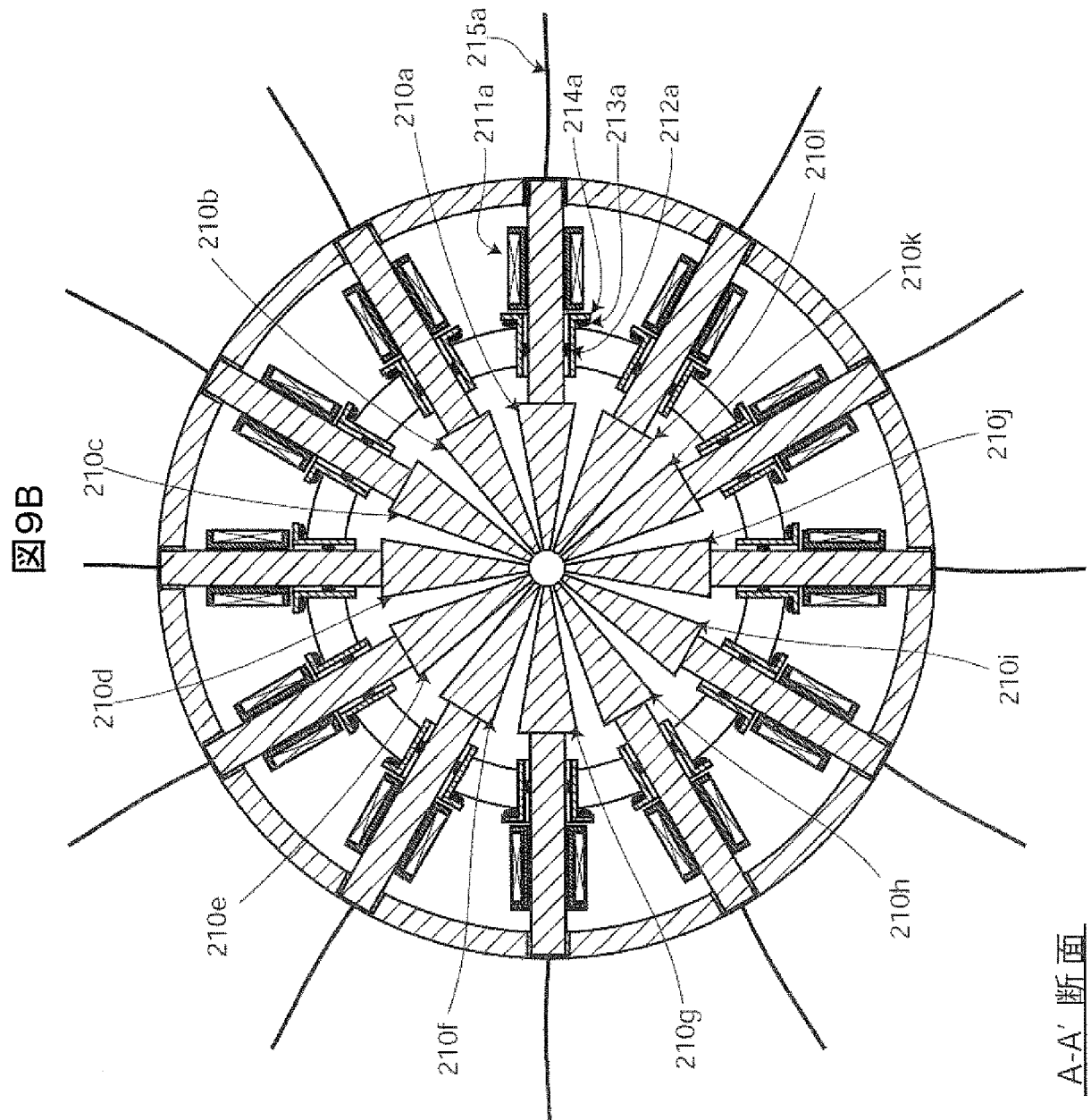


[図9A]

図9A



[図9B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/069220

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/153(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

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 2010-114068 A (JEOL Ltd.), 20 May 2010 (20.05.2010), entire text; all drawings & US 2010/0084567 A1 & EP 2172960 A2	1-14
A	JP 2007-128656 A (JEOL Ltd.), 24 May 2007 (24.05.2007), entire text; all drawings & US 2007/0114408 A1 & EP 1780763 A2	1-14
A	WO 2012/050018 A1 (Hitachi High-Technologies Corp.), 19 April 2012 (19.04.2012), entire text; all drawings & US 2013/0270435 A1	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ 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
12 August 2015 (12.08.15)

Date of mailing of the international search report
25 August 2015 (25.08.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/069220

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-138037 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 11 July 2013 (11.07.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01J37/153 (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（I P C））

Int.Cl. H01J37/153

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

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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 2010-114068 A（日本電子株式会社）2010.05.20, 全文、全図 & US 2010/0084567 A1 & EP 2172960 A2	1-14
A	JP 2007-128656 A（日本電子株式会社）2007.05.24, 全文、全図 & US 2007/0114408 A1 & EP 1780763 A2	1-14
A	WO 2012/050018 A1（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2012.04.19, 全文、全図 & US 2013/0270435 A1	1-14

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「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

「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

「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）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 2 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 5 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

遠藤 直恵

2 G

3 7 0 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 2 6

C (続き) . 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 2013-138037 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2013.07.11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-14