

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4851268号  
(P4851268)

(45) 発行日 平成24年1月11日(2012.1.11)

(24) 登録日 平成23年10月28日(2011.10.28)

(51) Int.Cl. F I  
**HO 1 J 37/153 (2006.01)** HO 1 J 37/153 A

請求項の数 6 (全 8 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-234924 (P2006-234924)                  (22) 出願日 平成18年8月31日 (2006. 8. 31)                  (65) 公開番号 特開2008-59881 (P2008-59881A)                  (43) 公開日 平成20年3月13日 (2008. 3. 13)                  審査請求日 平成21年3月19日 (2009. 3. 19)</p>	<p>(73) 特許権者 000004271                  日本電子株式会社                  東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号                  (72) 発明者 細川 史生                  東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号日本電子株式会社内                   審査官 遠藤 直恵                   (56) 参考文献 特表2001-516139 (JP, A)                  )                  特開2006-216299 (JP, A)                  )                   (58) 調査した分野(Int.Cl., DB名)                  HO 1 J 37/153</p>
--	---

(54) 【発明の名称】 収差補正方法および電子線装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の多極子と第2の多極子の間に伝達レンズを配置した球面収差補正装置を備えた電子線装置において、

第1の多極子内または第2の多極子内で電子線の中心軌道を光軸に対して傾斜させること  
 によって2回対称3次収差(S3)を補正した後、電子線を光軸上に振り戻すようにした  
 ことを特徴とする収差補正方法。

【請求項2】

第1の多極子と第2の多極子の間に伝達レンズを配置した球面収差補正装置を備えた電子線装置において、

第1の多極子から出射した電子線の中心軌道が、第2の多極子内で光軸に対して傾斜する  
 ように、電子線を偏向させる第2の多極子と、

2回対称3次収差(S3)を補正するための制御信号として、前記第2の多極子内で電子  
 線をどの方向にどの程度傾斜させるかを表した制御信号を前記第2の多極子に供給する制  
 御手段と、

第2の多極子の電子線出射側に配置され、電子線を光軸上に振り戻す偏向手段  
 を備えたことを特徴とする電子線装置。

【請求項3】

第1の多極子と第2の多極子の間に伝達レンズを配置した球面収差補正装置を備えた電子線装置において、

10

20

第1の多極子と第2の多極子の間に配置された第1の偏向手段であって、第1の多極子から出射した電子線が、第2の多極子内を通る光軸に対して傾きをもって入射するように、電子線を偏向させる第1の偏向手段と、

2回対称3次収差(S3)を補正するための制御信号として、電子線の第2の多極子への入射方向と入射角度を表した制御信号を前記第1の偏向手段に供給する制御手段と、第2の多極子において2回対称3次収差(S3)が補正された電子線を光軸上に振り戻す第2の偏向手段

を備えたことを特徴とする電子線装置。

【請求項4】

第2の偏向手段は第2の多極子であり、第2の多極子により形成される多極子場によって電子線を光軸上に振り戻すことを特徴とする請求項3記載の電子線装置。

10

【請求項5】

第1の多極子と第2の多極子の間に伝達レンズを配置した球面収差補正装置を備えた電子線装置において、

第1の多極子の電子線入射側に配置された第1の偏向手段であって、電子線が第1の多極子内を通る光軸に対して傾きをもって入射するように、電子線を偏向させる第1の偏向手段と、

2回対称3次収差(S3)を補正するための制御信号として、電子線の第1の多極子への入射方向と入射角度を表した制御信号を前記第1の偏向手段に供給する制御手段と、第1の多極子において2回対称3次収差(S3)が補正された電子線を光軸上に振り戻す第2の偏向手段

20

を備えたことを特徴とする電子線装置。

【請求項6】

第2の偏向手段は第1の多極子であり、第1の多極子により形成される多極子場によって電子線を光軸上に振り戻すことを特徴とする請求項5記載の電子線装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、球面収差補正装置を備えた電子線装置に関する。

【背景技術】

30

【0002】

最近の透過型電子顕微鏡の中には、球面収差補正装置(Cs補正装置)を備えているものがある。このCs補正装置は、対物レンズ等の球面収差(Cs)を補正するために用いられている。そして、このCs補正装置としては、6極場をそれぞれ発生する2つの多極子間に伝達レンズ(軸対称レンズ)を配置したものが知られている(たとえば特許文献1参照)。

【0003】

このようなCs補正装置により、対物レンズの球面収差(Cs)は補正される。しかし、Cs補正装置を配置することによって、新たな収差(寄生収差とよぶ)が発生してしまう。発生する3次以下の寄生収差は、2回対称1次収差(A1)、1回対称2次収差(B2)、3回対称2次収差(A2)、2回対称3次収差(S3)、4回対称3次収差(A3)であり、これら5つの寄生収差を全て補正することが要求されている。

40

【0004】

これらの収差のうち、A1、B2、A2、A3の補正方法は既に知られている。すなわち、収差A1、A2、A3はそれぞれ静電又は磁気4極子、6極子、8極子を用いれば補正可能である。また、収差B2は、偏向コイルによる電子軌道の変化を利用することで補正可能であり、そのB2の補正はコマフリーアライメント等とも呼ばれていて、コマフリーアライメントはCs補正装置の実現以前において知られている。

【0005】

【特許文献1】特開2003-92078号公報

50

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

しかしながら、Cs補正実現により必要となった収差S3の補正方法は、まだ確立されていない。

そこで本発明の目的は、2回対称3次収差S3を補正する方法および電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】

## 【0007】

上記目的を達成する本発明の収差補正方法は、第1の多極子と第2の多極子の間に伝達レンズを配置した球面収差補正装置を備えた電子線装置において、第1の多極子内または第2の多極子内で電子線の中心軌道を光軸に対して傾斜させることによって2回対称3次収差(S3)を補正した後、電子線を光軸上に振り戻すようにした。

10

## 【発明の効果】

## 【0008】

したがって本発明によれば、2回対称3次収差S3を補正することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0009】

以下、図面を用いて本発明の実施の形態について説明する。

## 【0010】

20

図1は、本発明を透過型電子顕微鏡に適用した一例を示した図である。まず、図1の装置構成について説明する。

## 【0011】

1は電子銃であり、その後段には光軸Oに沿って順に、集束レンズ2、多極子(第1の多極子)3、伝達レンズ4、伝達レンズ5、伝達レンズ6、多極子(第2の多極子)7、偏向コイル8、偏向コイル9、対物レンズ10、試料11、対物レンズ12、中間レンズ13、投影レンズ14、STEM像観察用検出器15、蛍光スクリーン16が配置されている。これらの磁界型レンズ2~10および12~14の軸は、光軸Oに合わせられている。

## 【0012】

30

Cs補正装置17は、多極子3と伝達レンズ4~6と多極子7で構成されており、多極子3と多極子7は伝達レンズ4~6を用いて共役関係となっている。多極子3と多極子7は、それぞれ6極場を発生させてCs補正を行うものである。この例では、多極子3と多極子7は、光軸Oに対して対称に置かれた12個の磁極M1~M12からなっており、図2は多極子7を伝達レンズ6側から見た図である。このような12極子で6極場を発生させる方法はいろいろあり、12個の磁極を用いてCs補正6極場を発生させたり、6個の磁極(60度おきに配置されている磁極)を用いてCs補正6極場を発生させたりする方法等がある。なお、このCs補正装置における伝達レンズ5は、上述した特許文献1に記載されている回転補正レンズであり、多極子3で発生した6極場と多極子7で発生した6極場の回転関係を補正するための回転補正レンズである。

40

また、図1において、18はx方向偏向用励磁電流源である。このx方向偏向用励磁電流源18は、図2に示すように、磁極M4とM10に共通に巻かれたコイルC1に励磁電流を流すための電源である。このようにコイルC1に電流を流すと、磁極M4とM10間にx偏向場が形成され、光軸O上およびその付近を進行する電子線はそのx偏向場によってx方向に偏向される。なお、コイルC1は、他のコイルとは独立して磁極M4、M10に巻かれている。

また、図1において、19はy方向偏向用励磁電流源である。このy方向偏向用励磁電流源19は、図2に示すように、磁極M1とM7に共通に巻かれたコイルC2に励磁電流を流すための電源である。このようにコイルC2に電流を流すと、磁極M1とM7間にy偏向場が形成され、光軸O上およびその付近を進行する電子線はそのy偏向場によってy方

50

向に偏向される。なお、コイルC 2は、他のコイルとは独立して磁極M 1, M 7に巻かれている。

また、図1において、20は制御手段である。制御手段20は、x方向偏向用励磁電流源18とy方向偏向用励磁電流源19を制御するためのものである。

以上、図1の装置構成を説明した。なお、この図1の装置において、本発明の「第1の偏向手段」は、磁極M 4とM 10とコイルC 1とx方向偏向用励磁電流源18、および、磁極M 1とM 7とコイルC 2とy方向偏向用励磁電流源19で構成される(図2参照)。また、図1の装置において、本発明の「第2の偏向手段」は、偏向コイル8と偏向コイル9で構成される。これらの偏向コイル8, 9は、電子線をxおよびy方向に偏向可能に構成されている。

10

以下、図1の透過型電子顕微鏡の動作説明を行う。

電子銃1で発生した電子線EBは集束レンズ2で集束され、集束された電子線EBは光軸O上を通過してCs補正装置17に入射する。このCs補正装置によって、すなわち、多極子3と多極子7の発生する6極場によって、対物レンズ10の球面収差(Cs)は補正される。

さて、Cs補正装置17を動作させると、上述した寄生収差S3(2回対称3次収差S3)が発生する。そこで図1の装置においては、その寄生収差S3を打ち消す2回対称3次収差S3を多極子7内で新たに発生させることにより、寄生収差S3を補正している。

すなわち、光軸O上に沿って多極子7に入射した電子線EBは、多極子7の磁極M 4, M 10間に発生している前記x偏向場と、多極子7の磁極M 1, M 7間に発生している前記y偏向場によって、所定の方向に所定の大きさだけ偏向される。この偏向により、多極子7に軸上入射した電子線EBの中心軌道は、Cs補正6極場を発生している多極子7内で光軸Oに対して傾斜する。

20

このように、6極場を発生している多極子7内で電子線EBを光軸Oに対して傾斜させると、その傾斜された電子線EBを構成する各電子に対し、2回対称3次収差S3が多極子7内で導入される。すなわち、電子線EBが多極子7内を傾斜して進行する過程において、各電子に対し、寄生収差S3とは別に新たな2回対称3次収差S3'(以後、収差S3'という)が発生する。このことは本件発明者が実験により見出したものであり、図1の装置は、寄生収差S3を打ち消す収差S3'を新たに発生させて、寄生収差S3を補正する

30

ようにしたものである。さて、寄生収差S3を打ち消す収差S3'をつくるには、収差S3'の大きさと位相角(方向)を任意に変えられることが必要である。この点に関しては、本件発明者は実験により以下の(1)(2)の点を見出した。

(1) 収差S3'の大きさは、電子線EBの多極子7中での傾斜の大きさに依存し、図1の傾斜角を大きくすればするほど、発生する収差S3'の大きさは大きくなる。すなわち、図2に示した多極子7において、多極子7に軸上入射(光軸O上に沿って入射)した電子線EBを偏向用磁極M 4, M 10, M 1, M 7によってどれ位大きく外へ振るかによって、発生する収差S3'の大きさは変わってくる。

(2) 収差S3'の位相角は、電子線EBの多極子7中での傾斜の方向に依存する。すなわち、図2に示した多極子7において、多極子7に軸上入射した電子線EBを偏向用磁極M 4, M 10, M 1, M 7によって何時の方向に曲げるかによって、発生する収差S3'の位相角は変わってくる。

40

そこで図1の装置では、制御手段20は、寄生収差S3を打ち消す収差S3'を多極子7内で発生させるための制御信号Tとして、多極子7内で電子線EBをどの方向にどの程度の大きさ傾斜させるかを表した制御信号Tを、x方向偏向用励磁電流源18とy方向偏向用励磁電流源19に送る。x方向偏向用励磁電流源18とy方向偏向用励磁電流源19は、それぞれ、その制御信号Tに基づいてコイルC 1とC 2(図2参照)に流れる電流を制御するので、前記制御信号Tに対応したx偏向場が磁極M 4, M 10間に発生すると共に、前記制御信号Tに対応したy偏向場が磁極M 1, M 7間に発生する。

50

これらのx偏向場とy偏向場により、多極子7に軸上入射した電子線EBは、寄生収差S<sub>3</sub>を打ち消す収差S<sub>3</sub>'が多極子7内で発生するように傾斜される(図1参照)。そして、多極子7を出射した電子線EBは、偏向コイル8と9で光軸O上に振り戻され、電子線EBは対物レンズ10に軸上入射する。そして、対物レンズ10を出射した電子線EBは試料11を照射する。

なお、上述した制御信号Tは、事前に求められて制御手段20に設定されている。その制御信号Tの求め方としては、たとえば、次の方法がある。すなわち、試料11をセットしない状態で電子線EBのスポット形状を蛍光スクリーン16上で観察し、観察している電子線EBのスポット形状が円形になるように(すなわち、光学系全体として寄生収差S<sub>3</sub>がゼロとなるように)、x方向偏向用励磁電流源18とy方向偏向用励磁電流源19を制御して電子線EBの傾きの大きさと方向を設定する。

以上、図1の装置の動作説明を行った。上述したように、図1の装置では、対物レンズ10の球面収差(C<sub>s</sub>)と共に寄生収差S<sub>3</sub>も補正されるので、試料11を照射する電子線EBの径を極めて小さくすることができる。このため、高分解能のSTEM像観察が可能となる。また、微小領域の分析(特性X線分析など)が可能となる。

なお、ここで、上述した収差S<sub>3</sub>'の発生について補足しておく。

図1に示したように、多極子7に軸上入射した電子線EBは、多極子7内を進むにつれて徐々に光軸Oから離れて行く。この際、多極子7内にはC<sub>s</sub>補正6極場が発生しているので、電子はその6極場の影響を受けながら徐々に光軸Oから離れて行く。このように電子が6極場の影響を受けながら徐々に光軸Oから離れて行く条件下においては、電子は多極子7内を進むに従って4極場の影響を次第に強く受ける。このことは、電子が多極子7内で「4極場のフリンジ項」の影響を受けていることに相当し、その結果、多極子7内を光軸Oに対して傾斜して進行する電子には収差S<sub>3</sub>'(2回対称3次収差S<sub>3</sub>)が導入される。なお、電子線EBを多極子7内で光軸Oに対して傾斜させると、収差S<sub>3</sub>'と共に2回対称1次収差A<sub>1</sub>も新たに発生するが、図1の装置においてこの収差A<sub>1</sub>は、たとえば既存の非点補正コイル(図示せず)にて補正される。

次に、本発明の他の例を図3を用いて説明する。図3の構成において、図1と同じ構成要素には図1と同じ番号を付けており、その説明を省略する。

図3において、21, 22は偏向コイルであり、偏向コイル21は伝達レンズ4, 6間に配置され、偏向コイル22は伝達レンズ6と多極子7間に配置されている。偏向コイル21, 22はそれぞれ、電子線EBをx, y方向に偏向できるように構成されている。

23は偏向用励磁電流源であり、偏向用励磁電流源23は、偏向コイル21, 22に励磁電流を流すためのものである。また、24は制御手段であり、制御手段24は、偏向用励磁電流源23を制御するものである。

このような構成の透過型電子顕微鏡の動作を以下に説明する。

上述した図1の装置では多極子7内で新たな収差S<sub>3</sub>'を発生させたが、その点においては図3の装置も同じである。ただ、図3の装置においては、多極子7内を通る光軸Oに対して(多極子7の中心mに対して)電子線EBが傾きをもって入射するように、偏向コイル21, 22で電子線EBを偏向させている。このように電子線EBが多極子7に傾きをもって入射すると、図1の装置の場合と同じように、多極子7内を光軸Oに対して傾斜して進行する電子には収差S<sub>3</sub>'が導入される。そして、図3の装置においては、前記寄生収差S<sub>3</sub>を打ち消す収差S<sub>3</sub>'が発生するように、電子線EBの多極子7への入射方向および入射角度が制御される。その入射方向および入射角度に関する制御信号は制御手段24から偏向用励磁電流源23に供給され、偏向用励磁電流源23はその制御信号に基づいて偏向コイル21, 22に流れる電流を制御する。

なお、図3の装置においては、偏向コイル21, 22と偏向用励磁電流源23で「第1の偏向手段」が構成されている。また、図3の装置においては、多極子7に斜め入射した電子線EBは、多極子7(第2の偏向手段)の磁極M<sub>1</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>7</sub>, M<sub>10</sub>によりつくられる前記x, y偏向場によって光軸O上に振り戻され、電子線EBは対物レンズ10に軸上入射する。

10

20

30

40

50

次に、本発明の他の例を図4を用いて説明する。図4の構成において、図1と同じ構成要素には図1と同じ番号を付けており、その説明を省略する。

図4において、25, 26は偏向コイルであり、偏向コイル25, 26は集束レンズ2と多極子3間に配置されている。偏向コイル25, 26はそれぞれ、電子線EBをx, y方向に偏向できるように構成されている。

27は偏向用励磁電流源であり、偏向用励磁電流源27は、偏向コイル25, 26に励磁電流を流すためのものである。また、28は制御手段であり、制御手段28は、偏向用励磁電流源27を制御するものである。

このような構成の透過型電子顕微鏡の動作を以下に説明する。

上述した図1, 3の装置では多極子7内で新たな収差 $S_3'$ を発生させたが、図4の装置では、多極子3内で収差 $S_3'$ を新たに発生させている。すなわち、図3の装置においては、多極子3内を通る光軸Oに対して(多極子3の中点jに対して)電子線EBが傾きをもって入射するように、偏向コイル25, 26で電子線EBを偏向させている。このように電子線EBが多極子3に傾きをもって入射すると、図3の装置の場合と同じように、多極子3内を光軸Oに対して傾斜して進行する電子には収差 $S_3'$ が導入される。そして、図4の装置においては、前記寄生収差 $S_3$ を打ち消す収差 $S_3'$ が発生するように、電子線EBの多極子3への入射方向および入射角度が制御される。その入射方向および入射角度に関する制御信号は制御手段28から偏向用励磁電流源27に供給され、偏向用励磁電流源27はその制御信号に基づいて偏向コイル25, 26に流れる電流を制御する。

なお、図4の装置においては、偏向コイル25, 26と偏向用励磁電流源27で「第1の偏向手段」が構成されている。また、図4の装置においては、多極子3に斜め入射した電子線EBは、多極子3(第2の偏向手段)の磁極によりつくられるxy偏向場によって光軸O上に振り戻される。

以上、本発明の例を図1~図4を用いて説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

たとえば、上記例は、透過型電子顕微鏡の照射系にCs補正装置を配置したものであるが、その結像系にもCs補正装置を組み込んで本発明を適用するようにしてもよい。また、その結像系のみにもCs補正装置を組み込んで本発明を適用するようにしてもよい。すなわち、図1の装置において、Cs補正装置17を対物レンズ12と中間レンズ13間にも配置し、図1の場合と同様、結像系の第2の多極子7(中間レンズ側の多極子)で電子線EBを傾斜させて寄生収差 $S_3$ を補正するようにしてもよい。そして、この場合、その第2の多極子7の電子線出射側に配置された偏向コイルによって、電子線EBは光軸O上に振り戻される。

また、図1の装置において、Cs補正装置17を対物レンズ12と中間レンズ13間にも配置すると共に、そのCs補正装置17内に偏向レンズを組み込み、図3の場合と同様、結像系の第2の多極子7(中間レンズ側の多極子)に電子線EBを斜めに入射させて寄生収差 $S_3$ を補正するようにしてもよい。

また、図1の装置において、Cs補正装置17を対物レンズ12と中間レンズ13間にも配置すると共に、Cs補正装置17と対物レンズ12間に偏向レンズを配置し、図4の場合と同様、結像系の第1の多極子3(対物レンズ12側の多極子)に電子線EBを斜めに入射させて寄生収差 $S_3$ を補正するようにしてもよい。

このようにCs補正装置を透過型電子顕微鏡の結像系に配置して本発明を適用すれば、対物レンズ12の球面収差(Cs)と共に寄生収差 $S_3$ も補正されるので、高分解能のTEM像を得ることができる。

また、本発明を透過型電子顕微鏡以外の電子線装置に適用することができ、たとえば、本発明を走査型電子顕微鏡や電子線露光装置などにも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の一例を示した図である。

【図2】多極子の構造を説明するために示した図である。

10

20

30

40

50

【図3】本発明の他の例を示した図である。

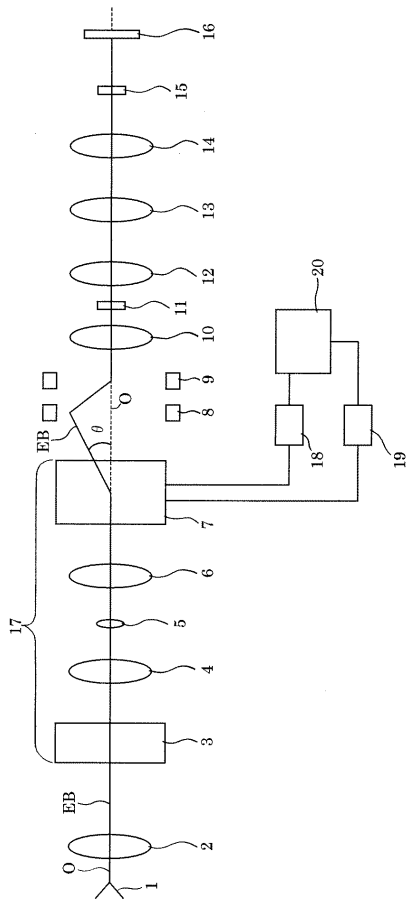
【図4】本発明の他の例を示した図である。

【符号の説明】

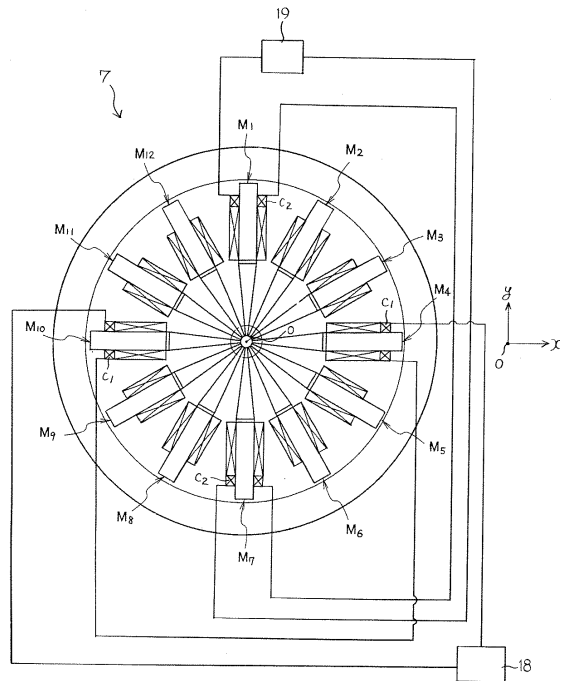
【0014】

1 ... 電子銃、 2 ... 集束レンズ、 3 ... 多極子、 4 ~ 6 ... 伝達レンズ、 7 ... 多極子、 8 , 9 ... 偏向コイル、 10 ... 対物レンズ、 11 ... 試料、 12 ... 対物レンズ、 13 ... 中間レンズ、 14 ... 投影レンズ、 15 ... STEM像観察用検出器、 16 ... 蛍光スクリーン、 17 ... Cs補正装置、 18 ... x方向偏向用励磁電流源、 19 ... y方向偏向用励磁電流源、 20 ... 制御手段、 21 , 22 ... 偏向コイル、 23 ... 偏向用励磁電流源、 24 ... 制御手段、 25 , 26 ... 偏向コイル、 27 ... 偏向用励磁電流源、 28 ... 制御手段

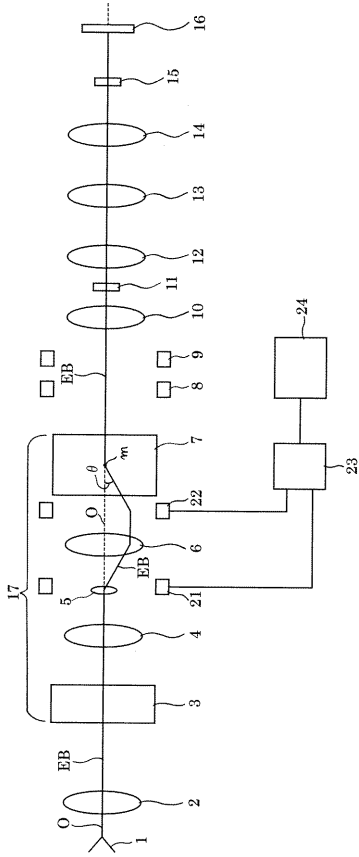
【図1】



【図2】



【図 3】



【図 4】

