

(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  
2015年2月5日(05.02.2015)



(10) 国際公開番号  
WO 2015/015985 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01J 37/153 (2006.01) H01J 37/244 (2006.01)  
H01J 37/09 (2006.01) H01J 37/28 (2006.01)  
H01J 37/147 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/067493
- (22) 国際出願日: 2014年7月1日(01.07.2014)
- (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 2013-159518 2013年7月31日(31.07.2013) 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: 平木 祐輔, 外(HIRAKI Yusuke et al.); 〒1056232 東京都港区愛宕2丁目5番1号 愛宕

グリーンヒルズMORIタワー32階 Tokyo (JP).

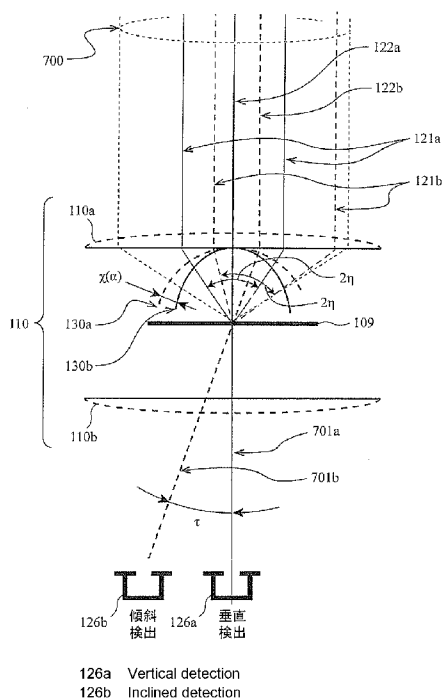
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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).

[続葉有]

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE AND ABERRATION MEASUREMENT METHOD IN CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称: 荷電粒子線装置及び荷電粒子線装置における収差測定法

図7



(57) Abstract: Provided is a charged particle beam device with which the extraction of aberration information is easy compared to existing aberration measurement methods, and which can perform highly-accurate aberration measurement. The charged particle beam device comprises the following: an electron optical system that scans converged charged particle beams on a sample (109); detection systems (126a, 126b) that detect charged particle beams which have passed through, or scattered off of, the sample (109); an aberration correction device that corrects aberration of the electron optical system; and a control device that forms an image of the sample (109) from signals from the detection systems (126a, 126b). The charged particle beam device, wherein a plurality of images are formed by carrying out Fourier transform on each of the plurality of images of the sample (109) acquired at a plurality of detection angles, and aberration information is found for each of the plurality of detection angles by using the plurality of images.

(57) 要約: 既存の収差測定法に比べて収差情報の抽出が容易であり、測定精度の高い収差測定を行うことが可能な荷電粒子線装置を提供する。収束された荷電粒子線を試料(109)上で走査させる電子光学系と、前記試料(109)から透過あるいは散乱した荷電粒子線を検出する検出系(126a, 126b)と、前記電子光学系の収差を補正する収差補正器と、前記検出系(126a, 126b)からの信号から前記試料(109)の画像を形成する制御装置とを備える荷電粒子線装置において、前記試料(109)に対して複数の検出角度で取得した複数の画像を各々フーリエ変換することにより複数の像を形成し、前記複数の像を用いて前記複数の検出角度の各々に対する収差情報を求める。

126a Vertical detection  
126b Inclined detection

WO 2015/015985 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称：

荷電粒子線装置及び荷電粒子線装置における収差測定法

### 技術分野

[0001] 本発明は、荷電粒子線装置、及び、当該荷電粒子線装置において光学状態（収差）を求めるための方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 近年、走査透過電子顕微鏡（STEM）、透過電子顕微鏡（TEM）における球面収差補正技術が実用化され、それ以前には電子レンズの大きな球面収差に隠れてあまり重視されなかった微小な種々の収差の影響を適切に取り扱う方法が重要となってきた。

[0003] 例えば、STEMにおいて問題となる三次以下の収差については、従来、デフォーカス、二回対称非点とせいぜい三回対称非点の3収差について評価及び補償の対策を講じれば良かった。しかしながら、球面収差補正器が実用化されて以降、球面収差を補正した後に残る前記以外の軸上コマ収差、スター収差、四回対称非点収差、球面収差自体を含め計7収差を適切に取り扱うことが必要となった。さらに、最高分解能を得るためには、より高次（2012年現在で一般的には5次以下）の14個の軸上開口収差を評価し、調整または抑制する工夫が必要であることが分かっている。

[0004] [表1]

表1 5次以下の軸上レンズ収差の次数と対称性

		対 称 性						
		0回 (回転対称)	1回	2回	3回	4回	5回	6回
次 数	1次	C <sub>1</sub> デフォーカス		A <sub>1</sub> 二回対称非点				
	2次		B <sub>2</sub> 三回対称非点		A <sub>2</sub> 三回対称非点			
	3次	C <sub>3</sub> 3次球面		S <sub>3</sub> 3次スター		A <sub>3</sub> 四回対称非点		
	4次		B <sub>4</sub> 三回対称非点		D <sub>4</sub> トリローブ		A <sub>4</sub> 五回対称非点	
	5次	C <sub>5</sub> 5次球面		S <sub>5</sub> 5次スター		R <sub>5</sub> ロゼッタ		A <sub>5</sub> 六回対称非点

[0005] これより明らかなように、各レンズ収差の評価、即ち収差係数の精密測定法は、電子顕微鏡の収差補正技術の確立以前とは桁違いに重要性を増している。収差補正STEMにおいては、従来より、プローブタブロー法（非特許文献1）や収差図形法、あるいはロンチグラムを用いる収差測定法（特許文献1及び特許文献2）が実用化されている。前述したもののうち前二者は、試料面上に入射する電子線の入射角度を変えながら走査顕微鏡像を撮影し、それぞれの角度で得られる収差情報を纏め、表1に示す14種の軸上収差を計算する手法である。

[0006] 具体的には、プローブタブロー法では、入射角度毎のプローブ形状を推定し、当該入射電子線傾斜での二回対称非点収差とでデフォーカスを算出する。これを当該傾斜角度における収差情報として軸上収差係数を計算する。また、収差図形法では、各入射電子線傾斜の走査顕微鏡像のシフト量を調べ、これらを当該傾斜角度における収差情報として軸上収差係数を算出する。

[0007] 表1の回転対称収差以外は、収差の大きさと共に回転角というあわせて二つの自由度を有するので、次数が3次以下で7つの収差係数を決定するには12個、次数が5次以下で14個の収差係数を決定するには25個の不定値を求めなければならない。この数は即ち必要とする最低測定条件の数（上記の2つの方法であれば、電子線の入射角度の選択数）に相当する。

[0008] さらに、測定の統計的誤差あるいは系統的誤差を補償するために、通常は、必要数より余分な数の測定を繰り返す必要がある。即ち、これらの手法は、上記の通り必要とする収差係数を求めるためにその数に応じた多数の測定を、電子線入射角度等の条件を変えながら繰り返し行わなければならない。したがって、測定の手順が煩雑となる上、測定中の装置、あるいは被測定試料の不安定性が収差測定精度に影響し、その誤差が大きくなるという課題がある。

[0009] 一方、ロンチグラムを用いる方法（例えば、特許文献1）では、同様に複数の収差に起因する像のシフト、あるいはデフォーカスと非点収差等を複数の電子線入射角度に対して抽出して、必要となる軸上収差係数の組を算出す

る。ただし、特許文献1で説明される通り、これら複数の電子線入射角度に対する情報は、一枚のロンチグラムに集約されて表される。そのため、前述のプローブタブロー法のように繁雑に多数の測定を繰り返すことなく、比較的少数の測定（ロンチグラムの撮影）で必要な情報を得て、軸上収差係数の組を算出することができる。

[0010] 実際には、測定手順の要請からロンチグラム一枚のみでは不十分であり、例えば、特許文献1においては、デフォーカスを変えた最低二枚のロンチグラムが収差係数の算出に必要としている。また、統計的に測定精度を上げる目的で、複数枚のロンチグラムを撮影する場合もある。しかしながら、プローブタブロー法と比較して格段に少ない測定数で、必要な軸上収差係数の組を求めることができるのがロンチグラム法の利点である。

[0011] 一方、上記の通り、一枚のロンチグラム中には多数の電子線入射角度に相当する収差情報が含まれることから、ロンチグラムからそれぞれの情報を抽出する画像解析に工夫と注意を要する。例えば、特許文献1では、測定試料としてアモルファス薄膜を用いる。この測定試料から得られたロンチグラム内で被測定領域をさらに格子状に区分けして、各々の領域で軸上収差算出に必要な収差情報を取得する。ここで、区分けされた各格子は、前述のプローブタブロー法等による異なる入射角度での観察に相当する。また、ロンチグラムから抽出する収差情報とは、その区画内の平均的な像歪みに関する特徴量である。この像歪みに関する特徴量は、その区画に対応する入射角度での電子プローブの変形、或いは局所倍率の変化と関係付けられる。

[0012] この一連の画像解析において正しい収差測定を得るためには、格子の大きさを適正に設定することが必要である。格子が小さすぎればその領域を代表する収差情報を十分な精度で取得できない。一方、格子が広すぎれば領域内で平均化されてしまって、やはり正しい収差情報が取得できず、その結果、収差測定結果に応分の誤差を生じることになる。

[0013] また、測定試料固有の形状や試料ドリフト、電気的あるいは機械的ノイズ等、収差以外の要因もロンチグラムに影響を及ぼすので、これらによっても

取得される収差情報、引いてはそれらより算出される軸上収差係数に誤差が生じる可能性がある。まとめれば、ロンチグラムによる収差測定では、元々の収差状態に応じて適切な測定条件を正しく選択し、且つ、ロンチグラムからの収差情報抽出も収差以外の影響を考慮した画像処理方法に工夫する必要があると言える。

[0014] 他方、収差補正透過電子顕微鏡（TEM）においても幾つかの精密収差測定法が考案されている。今のところ、実用的にはディフラクトグラムタブローを用いる測定法（非特許文献2）が主流である。この測定法の詳細については、本発明との比較において後述するが、ディフラクトグラムタブロー法もSTEMプローブタブロー法と同様に、試料に対して複数の電子線入射角度で測定し、各々の入射角度で得られるTEM像におけるデフォーカスと非点収差を求め、これらから軸上収差係数を算出する。その意味では、ディフラクトグラムタブロー法は、STEMプローブタブロー法と同様に、多数回の測定を繰り返す必要があり、測定手順の煩雑さと測定時間に課題があると言える。

[0015] 一方、各々のディフラクトグラムからの収差情報の抽出は、前述のSTEMにおける各測定法のそれらに比べても単純である。そのため、ある程度像質の良いディフラクトグラムが得られれば、その抽出は比較的容易かつ精度も維持できる。従って、収差情報抽出に起因する収差測定誤差は小さく抑えられると期待できるが、一方、勿論ながらディフラクトグラムタブローはTEMにおける収差測定法であり、そのままではSTEMにおいて適用することはできない。

## 先行技術文献

### 特許文献

[0016] 特許文献1：特許第5188846号明細書

特許文献2：米国特許第6552340号明細書

### 非特許文献

[0017] 非特許文献1：Rolf Erni, “Aberration corrected imaging in transmissio

n electron microscopy” , (Imperial College Press, 2010, ISBN-10 1-84186-836-6), p.273-276

非特許文献2 : Rolf Erni, “Aberration corrected imaging in transmission electron microscopy” , (Imperial College Press, 2010, ISBN-10 1-84186-836-6), p.267-272

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0018] 上記既存技術で説明した通り、STEMにおける既存の収差測定法は、多数回の測定を要する煩雑な方法であるか、あるいは、測定回数は少ないが収差情報抽出の工程で誤差を含み易い。したがって、既存の収差測定法ではまだ課題を残していると言える。実際、現状の収差補正STEMにおいては、複数回の収差測定と収差調整を繰り返すことによって漸近的に所望の収差補正状態に近づけていく作業を行う。これは、収差調整の不完全性もあるが、同時に上記で課題とした収差測定の精度及び確度の不足も原因となっている。

[0019] 本発明の目的は、既存の収差測定法に比べて収差情報の抽出が容易であり、測定精度の高い収差測定を行うことが可能な荷電粒子線装置及び収差測定法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0020] 上記課題を解決するために、例えば請求の範囲に記載の構成を採用する。本願は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例として、荷電粒子源から放出された荷電粒子線を収束して、前記収束された荷電粒子線を試料上で走査させる電子光学系と、前記試料から透過あるいは散乱した荷電粒子線を検出する検出系と、前記電子光学系の収差を補正する収差補正器と、前記検出系からの信号から前記試料の画像を形成する制御装置と、を備え、前記制御装置は、前記試料に対して複数の検出角度で取得した複数の画像を各々フーリエ変換することにより複数の像を作成し、前記複数の像を用いて前記複数の検出角度の各々に対する収差情報を求める、荷電粒子線装置が

提供される。

[0021] 他の例によれば、荷電粒子線装置における収差測定法であって、荷電粒子源から放出された荷電粒子線を収束して、前記収束された荷電粒子線を試料上で走査させる照射ステップと、前記試料から透過あるいは散乱した荷電粒子線を検出する検出ステップと、前記検出ステップで得られた信号から前記試料の画像を形成する画像形成ステップと、前記試料に対して複数の検出角度で取得した複数の画像を各々フーリエ変換することにより複数の像を作成する像作成ステップと、前記複数の像を用いて前記複数の検出角度の各々に対する収差情報を求める収差情報算出ステップと、を含む収差測定法が提供される。

### 発明の効果

[0022] 本発明によれば、既存の収差測定法に比べて収差情報抽出が容易であり、測定精度の高い荷電粒子線装置及び収差測定方法を提供することができる。

本発明に関連する更なる特徴は、本明細書の記述、添付図面から明らかになるものである。また、上記した以外の、課題、構成及び効果は、以下の実施例の説明により明らかにされる。

### 図面の簡単な説明

- [0023] [図1]球面収差補正器を備えたTEM全体構成の概略を示す図である。  
[図2]球面収差補正器を備えたSTEM全体構成の概略を示す図である。  
[図3]TEMディフラクトグラムの形成と取得原理を説明する図である。  
[図4]TEMで用いられる試料の一例である。  
[図5A]TEMにおいて垂直照射時のTEM像の一例である。  
[図5B]図5AのTEM像のディフラクトグラムである。  
[図6A]TEMにおいて傾斜照射時のTEM像の一例である。  
[図6B]図6AのTEM像のディフラクトグラムである。  
[図7]TEMにおけるディフラクトグラムタブローと同等の収差測定法を、STEMで適用できる原理を説明する図である。  
[図8]STEMで用いられる試料の一例である。

[図9A]STEMにおいて垂直照射時のSTEM像の一例である。

[図9B]図9AのSTEM像のディフラクトグラムである。

[図10A]STEMにおいて傾斜照射時のSTEM像の一例である。

[図10B]図10AのSTEM像のディフラクトグラムである。

[図11]本発明の一実施例における試料と検出器の関係を描画した図である。

[図12]STEMディフラクトグラムを用いた収差測定を行うためのSTEMの一例である。

[図13]STEMディフラクトグラムを用いた収差測定を行うためのSTEMの別の例である。

[図14A]図12の例で用いる明視野検出器アレイの第1の例である。

[図14B]図12の例で用いる明視野検出器アレイの第2の例である。

[図14C]図12の例で用いる明視野検出器アレイの第3の例である。

[図15A]明視野検出器アレイにおいて電子検出器と絞り孔の配列の一例である。

[図15B]明視野検出器アレイにおいて電子検出器と絞り孔の配列の別の例である。

[図16A]STEMディフラクトグラムを用いた収差測定及び収差調整のフローである。

[図16B]図16Aのステップ1602の具体的なフローである。

[図16C]図16Aのステップ1603の具体的なフローである。

[図16D]図16Aのステップ1604の具体的なフローである。

### 発明を実施するための形態

[0024] 以下、添付図面を参照して本発明の実施例について説明する。なお、添付図面は本発明の原理に則った具体的な実施例を示しているが、これらは本発明の理解のためのものであり、決して本発明を限定的に解釈するために用いられるものではない。

[0025] 荷電粒子線装置は、電子や陽イオンなどの電荷をもつ粒子（荷電粒子）を電界で加速し、試料に照射する装置である。荷電粒子線装置は、試料と荷電

粒子との相互作用を利用して、試料の観察、分析、加工などを行う。以下の説明ではSTEMに適用した例を説明するが、本発明は、観察試料表面に荷電粒子プローブを収束して走査するもの、例えば、走査電子顕微鏡（SEM）、集束イオンビーム装置（FIB）、またはこれらを応用した装置にも、測定試料の工夫等で適用可能である。

[0026] 以下で説明する実施例は、収差補正TEMで用いられているディフラクトグラムタプロー法と同等の収差測定法を、TEMとSTEMの相反性を用いて、STEMでも利用可能とするものである。そのため、まずTEMにおけるディフラクトグラム法の概略について説明する。

[0027] 図1は、TEM100の全体構成の概略図を示す。TEM100の各構成要素は、電子顕微鏡制御システム117Tによって以下のように制御される。TEM鏡体101Tの頭頂部にある電子源103Tから放射された電子線は、電子銃および加速管102Tで決められたエネルギーまで加速される。加速された電子線は、収束レンズ104T、107Tと対物レンズ110Tの前磁場で収束が調整される。また、電子線は、偏向器106Tで偏向される。ここで、試料ホルダ108Tで保持された試料109Tは、磁界電子レンズである対物レンズ110Tの磁場中に置かれ、試料109Tの試料面までの磁場を「前磁場」と呼び、試料面以降の磁場を「後磁場」と呼ぶ。以上により、電子線は、照射電子線120Tとして試料109Tの観察領域を明るさなどユーザ所望の条件で照射するように導かれる。

[0028] 照射電子線120Tの角度制限は、収束レンズ絞り装置105Tによって決められる。試料109Tで透過もしくは散乱された電子線121Tは、対物レンズ110Tの後磁場と、さらに下流の投影レンズ群112Tとによって拡大され、蛍光板（投影面）115T上に、試料109Tの拡大像を結ぶ。この像は、観察窓114Tを通して観察用双眼鏡113Tなどを用いて直接観察できる他、さらに投影面下方からイメージング検出器（CCDカメラ等）116T、フィルム等の二次元イメージング手段によって記録することができる。

- [0029] また、近年普及しつつある球面収差補正器 111T は、TEM100 においては対物レンズ 110T と投影レンズ群 112T との間に置かれ、対物レンズ 110T による球面その他、3 次までの軸上収差を補正する。なお、球面収差補正器 111T は、収差補正制御システム 118T によって制御される。これにより、TEM100 において 0.1 nm を切る高い分解能を実現している。
- [0030] 一方、これと対照させて、図 2 は、STEM200 の全体構成の概略図を示す。なお、図 2 において、図 1 と同じ構成要素については、「T」を除いた同じ数字の符号を付し、特に必要のない場合は説明を省略する。
- [0031] STEM200 は、電子源 103 から放出された電子線を収束して、収束された電子線を試料 109 上で走査させる電子光学系を備える。STEM 鏡体 101 の頭頂部にある電子源 103 で放出された電子線は、TEM と同様に、電子銃および加速管 102、収束レンズ 104、107 までは照射電子線 120 として導かれるが、当該照射電子線 120 は、対物レンズ 110 の前磁場によって、試料 109 上に微小電子プローブを形成するように結像される。
- [0032] STEM の場合は、この微小電子プローブを、試料 109 と収差補正器 111 との間に配置されたスキャンコイル 127 (図 12、図 13 に図示) を用いて、試料面上で 2 次元ラスタースキャンさせる。そして、試料 109 における各点で透過あるいは散乱される電子線を、下流の明視野検出器 126 及び環状暗視野検出器 125 などの電子線検出器で検出し、その強度信号を上記ラスタースキャンに従って取得する。
- [0033] 電子顕微鏡制御システム 117 あるいは制御 PC (Personal Computer) 119 などの制御装置は、電子線検出器からの電子線強度信号から試料 109 の画像を形成する。即ち、電子線強度信号を、電子顕微鏡制御システム 117 あるいは制御 PC 119 で 2 次元像に再構成する。これにより、例えば制御 PC 119 の画面上に当該電子線強度の二次元イメージ、即ち STEM 像を得ることができる。収差補正器 111 は、収束レンズ 107 と対物レンズ

110との間に置かれ、対物レンズ110における収差を事前に取り除き（即ち、前もって対物レンズ収差と相殺する、反符号等量の収差を収差補正器111で照射電子線120に与える）、収差によるボケのない、より微小な電子プローブを試料109上に結像させる。

[0034] 照射電子線の試料面における収束角度は、やはり収束レンズ絞り装置105によって制限される。試料109より下流の投影レンズ群112は、散乱もしくは透過した電子線121、122を適切な検出条件で各検出器125、126に伝達するために用いられる。また、イメージング検出器116は、収差測定あるいはロンチグラム観察のために備えられるが、不要な場合は省かれることもある。

[0035] 以上、図1のTEM100と図2のSTEM200での電子顕微鏡像結像を、特に試料109、109Tと対物レンズ110、110Tの近傍での電子線照射及び散乱に着目して見直すと、ちょうど両者が逆転した状態にあることがわかる。これが、TEMとSTEM明視野法における結像の相反定理の起源であり、以下、これを利用した本発明の原理を説明する。また、以下では、本発明の原理を、従来のTEMディフラクトグラム形成原理と比較して説明する。

[0036] 図3は、従来のTEMでのディフラクトグラムの取得方法を説明する図である。また、図7は、本実施例のSTEMにおいてTEMディフラクトグラムと等価な像（以下、「STEMディフラクトグラム」と呼称する）を取得する方法を説明する図である。まず、これら両図を対照しながら、先のTEMとSTEM明視野法における相反定理を確認する。

[0037] 図3に示すように、TEMの場合、入射電子線120Taは、対物レンズ110Tの前磁場110Taで平行に試料109Tを照射する。図4に示すように、一般的に、ディフラクトグラムを取得する為には、試料109Tは、カーボン等の均等なアモルファス薄膜、あるいは、主にそれからなる薄膜である。

[0038] 通常の高加速TEM（加速電圧  $> 100\text{ kV}$ ）において、カーボンア

モルファス薄膜は、吸収が少なく良い近似で位相物体と看做せる上、原子レベルでランダムな構造を持つので、入射した電子をおよそ等方的に散乱する。従って、試料 109 T の下流では、広い散乱角範囲で一様な散乱電子線 121 T a と、透過電子線 122 T a が生成される。これらは、対物レンズ 110 T の後磁場 110 T b により中間像面 150 T に中間結像される。この中間像が、下流の投影レンズ群 112 T (図 3 では図示せず) でさらに拡大され、最終的には投影面 115 T (図 3 では図示せず) に TEM 像を結ぶことになる。TEM 像は、イメージング検出器 116 T などを用いて観察される。

[0039] ここで、試料 109 T を透過した直後の電子線波動関数は、

[数1]

$$e^{i\varphi(r)}$$

である。

[数2]

$$\varphi(r)$$

は、試料による電子線の位相変化であり、 $\gamma = (x, y)$  は、試料 109 T を透過した直後の出射面内の座標である。また、三項目の変形には、

[数3]

$$\varphi(r)$$

が小さいとする弱位相物体近似を用いた。

[数4]

$$\varphi(r)$$

は、試料 109 T の持つ電磁場と以下のように関連付けられる。

[0040] [数5]

$$\varphi(r) = \frac{1}{\hbar} \int_{spc} dz \left( \sqrt{2m e \sqrt{\phi(r, z)} + A(r, z)} e \right)$$

ここで、

[数6]

$$\varphi(r)$$

及び  $A(r, z)$  は、それぞれ、試料の静電ポテンシャルとベクトルポテンシャルである。  $m$ 、  $e$ 、  $h$  は、それぞれ、電子の質量、電荷、及びプランク定数である。

[0041] 数5の積分は、試料中で透過する電子軌道に沿って取り出射面に投射することを意味している。すなわち、数1の式の位相変化

[数7]

$$\varphi(r)$$

は、試料内の電磁場情報、従って構造をほぼ直接表していると言える。対物レンズ110Tの出射面での電子波動関数は、数1の式のフーリエ変換によって与えられる。即ち、

[数8]

$$\Phi_o(\omega) = f_o F[e^{i\varphi(r)}]$$

となる。

[0042] ここで、  $f_o$  は、対物レンズの焦点距離であり、  $F[ ]$  は、フーリエ変換を意味する。また、  $\eta = (\alpha, \beta)$  は、電子線の散乱角度である。対物レンズ110Tと投影レンズ群112Tがレンズ収差を持たず完全な結像を行うのであれば、像は数8の式の逆フーリエ変換で得られるから、そのまま

[数9]

$$\varphi(r)$$

を得ることができる。

[0043] しかしながら、実際の結像は、対物レンズ110Tが収差を持ち、また、散乱角度が有限の値に制限されるので、数8の式はこれらを加えて、

[数10]

$$\Phi_a(\eta) = A(\eta) e^{\frac{2\pi i}{\lambda} x(\eta)} f_o F[e^{i\varphi(r)}]$$

となる。

[0044] ここで、 $A(\eta)$  は、対物絞り（図1においては図示されていない）等で決められる透過関数であり、 $\chi(\eta)$  は、収差関数であり、 $\lambda$  は、電子線波長である。数10の式の意味するところは、即ち収差によって散乱角に応じた余剰の位相変化が電子線に与えられることになり、図3に示すとおり、理想電子波面130T aが収差を含んだ電子波面130T bに変化することになる。数10の式は試料の弱位相物体近似の元で、以下のように書き直せる。

[0045] [数11]

$$\phi_a(\eta) \approx A(\eta) e^{\frac{2\pi i}{\lambda} \chi(\eta)} f_o F[1 + i \varphi(r)] = f_o \left( e^{\frac{2\pi i}{\lambda} \chi(0)} + i e^{\frac{2\pi i}{\lambda} \chi(\omega)} F[\varphi(r)] \right)$$

[0046] 特に、アモルファス薄膜を試料109Tとして用いる場合、試料の散乱は散乱角度に因らずほぼ等方的で

[数12]

$$F[\varphi(r)] \approx \sigma (\text{const.})$$

であるから、数11の式を変形した後、( )内の二項の関係を考えると、

[数13]

$$\chi(\eta) = \frac{n\lambda}{2}$$

である。

[0047] 数13の式で、 $n$ が偶数のとき両項は強めあい、逆に奇数のとき弱めあう事がわかる。最終的な投影面115Tにおける結像は、前述した通り、数10の式もしくは数11の式の逆フーリエ変換によって得られるので、数13の式の関係に相当する空間周波数で像の強調と抑制がそれぞれ行われることになる。

[0048] 具体的には、図4に示すアモルファス試料109Tを用いて、投影面115Tにおいて図5Aに示す500T aのようなアモルファスTEM像を得たとする。これをフーリエ変換すると、上記の強調と抑制が散乱角の増大に従って交互に起きることから、強度が抑制される散乱周波数で暗線となるリン

グ状（同心円状）のパターン（図5Bに示す501Ta）を得ることになる。また、このようなアモルファス試料のTEM像をフーリエ変換して得られる像を「ディフラクトグラム」と呼ぶ。

[0049] ここで、試料に対する電子線入射角度を（例えば、図3において、120Taから角度 $\tau$ で傾斜した120Tbに）変えてTEM像を撮影することを考えると、透過電子線、散乱電子線もそれに応じて対物レンズ110Tの別箇所を通過することになる。例えば、入射電子線120Taから120Tbに移す場合には、透過電子線と散乱電子線は、各々、122Taと121Taから122Tbと121Tbに角度 $\tau$ で傾斜して移る。

[0050] 従って、電子線が対物レンズ110Tで受ける収差も変わり、図6Aに示すTEM像600Tbを得る。上記の理由により、試料109Tの同一箇所を観察しながら、異なる収差で含む周波数成分が変わる。これに従い、TEM像600Tbを得て、これをフーリエ変換することで、図6Bに示すディフラクトグラム601Tbが得られる。このように、ディフラクトグラムを観察することにより、電子線の透過する対物レンズ110Tの箇所の局所的な収差（による位相変分）を知ることができるので、複数の電子線入射角度でディフラクトグラムを観察すれば、これらを総合して対物レンズ収差による位相変分 $\chi(\eta)$ を知ることができる。

[0051] より具体的には、 $\chi(\eta)$ の最抵次成分は、デフォーカス $C_1$ と二回対称非点収差 $A_1$ の係数を用いて以下のように書ける。

[数14]

$$\chi_1(\eta) = \frac{1}{2} C_1 \eta \bar{\eta} + \frac{1}{2} A_1 \eta^2$$

ここで、 $\eta$ は角度空間の複素表示であり、

[数15]

$$\eta = \alpha + i\beta$$

である。また、

[数16]

$\bar{\tau}$

は、その共役複素値を表す。数14の式を数13の式の条件に当てはめてディフラクトグラム501Ta (図5B)、601Tb (図6B)等を解析すれば、電子線入射角度 $\tau$ に対してデフォーカス $C_1(\tau)$ と二回対称非点収差 $A_1(\tau)$ を決めることができる。 $(\tau)$ は、入射角度 $\tau$ のとき決まる収差を示している。

[0052] 最終的に求めたいのは、軸上収差係数、即ち、

[数17]

$$C_1 = C_1(0), A_1 = A_1(0)$$

等である。ここで、入射角度 $\tau$ での $C_1(\tau)$ 、 $A_1(\tau)$ と高次まで含めた軸上収差とが以下のように関連付けられる。

[0053] [数18]

$$\begin{aligned} C_1(\tau) &= C_1 + 2(\bar{B}_2\tau + B_2\bar{\tau}) + 4C_3\tau\bar{\tau} + 3(\bar{S}_3\tau^2 + S_3\bar{\tau}^2) \dots \\ A_1(\tau) &= A_1 + 2(A_2\tau + B_2\bar{\tau}) + 3A_3\tau^2 + 6S_3\tau\bar{\tau} + 2C_3\bar{\tau}^2 \dots \end{aligned}$$

[0054] 先に言及したように、回転対称収差 $C_1$ 、 $C_3$ 、 $C_5$ 、 $\dots$ 以外は、大きさと回転角の二成分を持つ。従って、三次までの7つの軸上収差を求めるには、12の未定係数を決めなければならない。数18の式を見れば、一つの電子線入射角度で得られるディフラクトグラムから $C_1(\tau)$ と $A_1(\tau)$ (後者はやはり大きさと回転の二つの要素を持つ)を求めることにより、三つの等式を得ることができる。よって、四つの異なる電子線入射角度でディフラクトグラムを取得すれば、12の未定係数を求めることを充足する一次連立方程式の組みを得ることができる。実際的には測定誤差を抑えるため、より多く電子線入射角度を変えてディフラクトグラムを取得する。そして、各々の入射角度について、 $C_1(\tau)$ と $A_1(\tau)$ を得て、最少二乗法等により三次までの軸上収差係数を求める。

[0055] この手法を、同じやり方で、より高次の収差測定に拡張できる。数18の式を所望の次数の収差まで含むよう補充し、所望の次数までの収差係数を決

めるのに必要なだけ電子線入射角度を変えて、数18の式の連立方程式を作れば、多元一次連立方程式の解として軸上収差係数を求めることができる。TEMの場合、以上のような手順で収差を測定する手法をディフラクトグラムタブロー（を用いた）収差測定法と呼び、現在、収差補正TEMで収差を高精度に計測する標準的な方法として利用されている。

[0056] 図7は、本発明の実施例を説明する図であり、図3で説明したTEMにおけるディフラクトグラムタブローと同等の収差測定法を、STEMで適用できる原理を説明する図である。

[0057] STEMの場合は、上方からの入射電子線（束）700を、主に対物レンズ110の前磁場110aの収束作用によって収束させ、試料109上に微小電子プローブを結像する。この微小電子プローブを、スキャンコイル（図12及び図13参照）を用いて試料109上を走査し、STEM像を得るのは既に説明の通りである。

[0058] STEMで明視野像観察をするには、試料109を透過する電子線と試料109によって散乱された電子線の両方を検出器に取り込んで計測する。例えば、試料109の直下、光軸上に置かれた明視野検出器126aには、(i) 試料109に垂直に入射しかつ透過する電子線（照射電子線122a）と、(ii) 試料面から

[数19]

$\pm\theta$

の角度で傾斜して入射し、各々試料109による散乱で

[数20]

$\mp\theta$

の角度で振り戻され、結局、試料109から垂直に下りる散乱電子線（照射電子線121a）とが、電子線経路701aを通過して到達する。これらが明視野STEM像を作る信号となる。

[0059] STEM像の結像において強く寄与するのは、前述の通り対物レンズ110の前磁場110aである。これがレンズとして収差を持つと、電子線が通

過する際に収差による余剰な位相変分が電子線に与えられ、試料109に収束する電子波面を理想波面130aから収差による変分を含む波面130bに変形させる。これを先の照射電子線122aと照射電子線121aでの明視野像観察条件に当てはめると、それぞれの電子線が対物レンズ110の前磁場110aの異なる個所を通過することから、試料109に収束する前に事前に照射電子線122aと照射電子線121aは対物レンズ収差による異なる位相変分を担って明視野検出器126aに入射することになる。この関係は、図3におけるTEMで説明した電子線照射と結像の関係とちょうど逆転の関係である。

[0060] 図3のTEMの場合には、平行入射した電子線が試料109Tで散乱され、電子線の入射角度 $\tau$ と散乱角度透過電子線とともに、それぞれ対物レンズ110Tの後磁場110Tbの異なる個所を通過することに従った収差による位相変分を得て、投影面115Tで結像される。

[0061] 一方、図7のSTEMの場合は、平行に入射した電子線が、先に対物レンズ110の前磁場110aで収束される際にレンズ収差による位相変分を受ける。これが試料109で散乱され、特定の方向に出射した電子線が、明視野検出器によって、その検出器の位置に応じて選択的に検出されることになる。先での説明の通り、1つの明視野検出器に達する電子線でも、試料109における複数の散乱角 $\eta$ の散乱電子線及び透過電子線が含まれ、電子線のそれぞれは、事前に透過した対物レンズ110の前磁場110aの場所に依じた異なるレンズ収差による位相変分を受けている。従って、TEMで見られたのと同様に、対物レンズ110の収差によって特定の電子線散乱角で電子線強度の強調と抑制が現れる。

[0062] これらの条件は、TEMで用いたときと同じ数11の式と数13の式とで決められる。以上より、試料109として図8のアモルファス薄膜を用いると、明視野検出器126aにて得られる明視野像は、特定の空間周波数が抑制された図9AのSTEM明視野像900aを得ることになる。抑制された空間周波数は、TEMで行ったときと同様にSTEM明視野像900aをフ

ーリエ変換して得られる図9Bの像901aにおいて、暗い同心状のリングパターンとして確認することができる。この像901aは、上記の説明の通り、TEMで得たディフラクトグラムと等価な像であり、本明細書においてはSTEMディフラクトグラムと以後呼称する。

[0063] STEMの場合、TEMで電子線入射角度を変えてディフラクトグラムを取るプロセスを、検出器の位置を変えて検出する電子線の出射角度 $\tau$ の選択を変えることで、同様に実施できる。実際、図7において試料109から $\tau$ の出射角度で出た電子線を取り込む位置においた明視野検出器126bで見ると、(i) 試料109に角度 $\tau$ で入射して透過した透過電子線（照射電子線122b）と、(ii) 試料109に $\tau + \eta$ の角度で入射し、散乱によって $\eta$ 分振り戻された散乱電子線（照射電子線121b）とが、電子線経路701bを通して明視野検出器126bに届くことになる。

[0064] 即ち、明視野検出器で検出する電子線出射角度の選択を変えることで、TEMの場合と同様に対物レンズ110の前磁場110aの異なる箇所を通過し、その箇所の収差に応じた位相変分を含むSTEM明視野像1000b（図10A）とSTEMディフラクトグラム1001b（図10B）を得ることになる。従って、試料109から下方に出射する電子線の角度選択を、例えば明視野検出器の位置を変えるなどの手段で行う。これにより、それぞれの電子線出射角度 $\tau$ に対応するディフラクトグラムを得て、各々でデフォーカス $C_1(\tau)$ と二回対称非点収差 $A_1(\tau)$ を得ることができる。以上のように、STEMに対して、TEMの場合に数14の式以降で説明した手段を用いることにより、STEMの場合でも所望の次数までの軸上収差係数を求めることができる。

[0065] 図11は、本発明で用いる明視野像を取得するための試料と検出器の関係を、電子線を加えて描画した図である。対物レンズ110の前磁場により収束された電子線1101、1102は、半角 $\alpha$ のコーン状でその先端に試料109を走査する微小電子プローブを形成する。試料109を透過した電子線1111は、試料109下に入射電子線のコーンを延長する形で、同じ半

角  $\alpha$  で広がる。

[0066] 一方、試料 109 に散乱された電子線 1112 は、やはり半角  $\alpha$  ではあるが、散乱角  $\gamma$  で傾斜したコーンの中に放射される。図 11 では、単純化のため、一つの散乱電子線のみが描かれているが、実際には試料 109 に応じて複数の散乱が同時におこり、それに従い散乱電子のコーンもそれぞれの散乱角度で傾斜し重畳して現れることになる。特に、本発明の一実施例のディフラクトグラムを取得するために用いるアモルファス試料では、広い角度範囲にほぼ一様な散乱が起こる。従って、図 11 に示したコーン状の電子線 1112 がその角度範囲でほぼ連続的に重なって分布する形となる。

[0067] このような試料 109 下の透過および散乱電子線の中から測定に適切な電子線を選ぶために、選択用の小孔 1121 を有する明視野絞り板 1122 が、明視野検出器 126 の上に配置される。図 11 の例では、透過電子線と散乱電子線が明視野絞り板 1122 上で重なった領域内に小孔 1121 があり、これを通過した透過電子線 1111b と散乱電子線 1112b のみが明視野検出器 126 に到達する。

[0068] 小孔 1121 の孔径は、観察する構造の大きさに従って決められ、観察する試料構造の代表長を  $d$  とすれば、試料 109 から小孔 1121 を見込む半角  $\beta$  は、

[数21]

$$\beta < \frac{d^3}{\lambda^2 C_s}$$

となる。ここで、 $\lambda$  は、電子線波長であり、 $C_s$  は、収差測定を行う光学系での対物レンズ（図 7 の 110a）の球面収差係数である。一般例として、200kV STEMにおいて波長は、 $\lambda = 2.5 \text{ pm}$  であるから、 $C_s = 1 \text{ mm}$ 、 $d = 0.3 \text{ nm}$  を仮定すれば、

[数22]

$$\beta < 4.3 \text{ mrad}$$

となるように、孔径を制限しなければならない。試料 109 から明視野絞り

板 1 1 2 2 までの距離、いわゆるカメラ長  $L$  を 2 0 0 m m とすれば、従って小孔直径は、1. 7 m m となる。

[0069] 明視野絞り板 1 1 2 2 の小孔 1 1 2 1 を通過した電子線を検出する明視野検出器 1 2 6 本体は、電子を検出するためのシンチレータ、半導体検出器等である。明視野検出器 1 2 6 において検出された電子強度信号は、プリアンプ 1 2 8 で増幅されるなどの前処理を施されて、制御 P C 1 1 9 に送られる。制御 P C 1 1 9 では、S T E M 像の形成及びディフラクトグラム計算の処理が行われる。制御 P C 1 1 9 は、試料 1 0 9 に対して複数の透過角度で取得した複数の画像を各々フーリエ変換することにより複数の像 (図 9 B、図 1 0 B) を作成し、これら複数の像を用いて複数の透過角度の各々に対する収差情報を求める。詳細には、上述したように、制御 P C 1 1 9 は、複数の透過角度の各々に対するデフォーカス  $C_1(\tau)$  と二回対称非点収差  $A_1(\tau)$  に基づいて収差係数を求める。

[0070] 制御 P C 1 1 9 は、汎用のコンピュータである。制御 P C 1 1 9 の処理は、コンピュータ上で実行されるプログラムの機能として実現されてもよい。すなわち、制御 P C 1 1 9 の処理は、プログラムコードとしてメモリなどの記憶部に格納し、C P U (Central Processing Unit) などのプロセッサが各プログラムコードを実行することによって実現されてもよい。

[0071] 図 1 2 は、本発明の一実施例の構成を示す図である。図 1 2 の例では、複数の明視野検出器 1 2 6 a、1 2 6 b、1 2 6 c を配列状に並べた明視野検出器アレイ 1 2 6 0 を用いた構成例が示されている。図 1 2 は、S T E M の一般構成を説明する図 2 の収差補正器 1 1 1 から下の部分を示す。

[0072] 入射電子線束 1 2 0 0 は、収差補正器 1 1 1 で事前に対物レンズ 1 1 0 の球面収差を相殺する負の球面収差を与えられ、対物レンズ 1 1 0 の前磁場によって試料 1 0 9 上に微小電子プローブを収束する。試料 1 0 9 を透過または散乱された電子は、投影レンズ 1 1 2 によって、適宜倍率/カメラ長を調節され、最下部の明視野検出器アレイ 1 2 6 0 に入射する。

[0073] 図 1 2 においては、3つの明視野検出器 1 2 6 a、1 2 6 b、1 2 6 c を

備えた明視野検出器アレイ 1260 を図示している。図 7 で説明した測定原理の通り、高次軸上収差を測定するためには被測定収差の数に応じた複数の出射角度で明視野像を取得しなければならない。図 12 のように、明視野検出器 126 a、126 b、126 c が適宜配列されたアレイ 1260 を用い、試料 109 から各々の明視野検出器 126 a、126 b、126 c への出射角度が適切となるように投影レンズ 112 を調整する。この状態で一回の走査を行えば、各々の明視野検出器 126 a、126 b、126 c で、異なる出射角度における電子強度信号を得ることができる。なお、図 12 の 1201 a、1201 b、1201 c は、試料 109 から出射する 3 つの透過及び散乱電子線の経路を示している。

[0074] 各々の明視野検出器 126 a、126 b、126 c で得られた信号は、プリアンプ 128 a、128 b、128 c で増幅され、制御 PC 119 に送られる。制御 PC 119 では、各々の明視野検出器 126 a、126 b、126 c で得られた信号から明視野像、従ってディフракトグラムを同時に得ることができる。

[0075] 図 12 においては、簡略化のため 3 つの検出器のみを示しているが、2 次元的に 9 つ以上の検出器が配列されていれば、五次以下の軸上収差を算出することができる。即ち、図 12 の実施例によれば、オリジナルの TEM におけるディフракトグラムタブロー法や、従来 STEM で利用されてきたプローブタブロー法等の収差測定法のように、電子線入射条件を変えながら複数の測定を繰り返す必要がない。また、得られた STEM 像からの収差情報の抽出および軸上収差算出は、これまでも十分に確かめられた TEM におけるディフракトグラムタブロー法と同じ方法で高精度に行うことができる。

[0076] 図 12 の例では、複数の明視野検出器 126 a、126 b、126 c を用いる。より簡単な構成で測定を行うために、図 13 の実施例を用いてもよい。図 13 は、本発明の別の実施例の構成を示す図である。

[0077] 図 13 に示すように、この実施例は、一つの明視野検出器 126 と、透過もしくは散乱電子線を明視野検出器 126 に導いて選択するための電子線偏

向器 129 とを備える。電子線偏向器 129 によって逐次的に異なる出射角度の電子線を選択し、それら異なる出射角度に対する STEM 像を取得する。これらの STEM 像から STEM ディフракトグラムを得て、STEM ディフракトグラムを用いて、図 7 で説明した測定原理に従って軸上収差係数を算出する方法もある。

[0078] 図 13 では、簡略化のために試料 109 から出射する 3 つの透過及び散乱電子線（電子線のパス）1201a、1201b、1201c を示しているが、この場合は、電子線偏向器 129 でまず第 1 の透過及び散乱電子線 1201a を明視野検出器 126 に導いて、その出射角度に対する STEM 像を取得する。その後、電子線を振りなおして、第 2 の透過及び散乱電子線 1201b がまた明視野検出器 126 に導かれるようにし、STEM 像を取得する。次に、第 3 の透過及び散乱電子線 1201c に対して同様に STEM 像を取得する。以上のように、電子線偏向器 129 で検出する透過及び散乱電子線 1201a、1201b、1201c を順次選択して、必要枚数の STEM 像を取得する。STEM 像を取得した後は、前述した方法で軸上収差係数を算出する。

[0079] 図 13 の実施例では、図 12 の実施例で得られた同時測定の簡便さは損なわれるが、それでもなお TEM でのディフракトグラムタブロー法や STEM でのプローブタブロー法での収差測定に比較すれば簡潔であると言える。

[0080] また、図 13 の実施例によれば、既にある光学条件に固定された収差補正器 111 や対物レンズ 110 等に、固定された電子線束 1200 を照射した状態で、投影レンズ 112 までのレンズ、偏向器等の電子光学要素を調整することなく、明視野検出器 126 直上の電子線偏向器 129 のみを調整して、検出する電子線を選択することができる。即ち、明視野検出器 126 直上の電子線偏向器 129 のみを調整して、測定に必要な STEM 像を取得することが可能である。

[0081] これに対して、ディフракトグラムタブロー法やプローブタブロー法であれば、測定に必要な枚数の TEM 像もしくは STEM 像を、補正器より上に

置く少なくとも二段の偏向器を用いて入射電子線を正確に平行変位させ、試料に対する電子線入射角度を調整しなければならない。したがって、図12及び図13の実施例によれば、既存の収差測定法に比べて収差情報抽出が容易であり、測定精度の高い収差測定方法を提供することができる。

[0082] 図14A～図14Cは、図12の例で用いる明視野検出器アレイ1260の例を示す。図7において説明した通り、本実施例の収差測定法で用いる明視野検出器アレイ1260は、電子検出器本体と、検出する電子線角度の制限を数20の式の条件に従って電子検出器本体の上方で行うための絞りとを備える。

[0083] 図14Aの明視野検出器アレイ1260Aは、複数の電子検出器1401a、1401b、1401c、・・・と、複数の電子検出器1401a、1401b、1401c、・・・の上方に配置された複数の単孔絞り1402a、1402b、1402c、・・・とを備える。複数の電子検出器1401a、1401b、1401c、・・・の各々には、信号線1403a、1403b、1403c、・・・が接続されている。単孔絞り1402a、1402b、1402c、・・・は、それぞれ、電子線を、検出対象とする出射角度に制限するための孔を有する。なお、絞りは、各々の電子検出器1401a、1401b、1401c、・・・で適切に検出する電子線の出射角度を制限できればよいので、必ずしも個々の検出器に直に備えられている必要はない。

[0084] 例えば、図14Bの明視野検出器アレイ1260Bは、複数の電子検出器1401a、1401b、1401c、・・・と、一枚の絞り板1402とを備える。絞り板1402は、検出器配列に対応する多孔配列を有する。従って、複数の電子検出器1401a、1401b、1401c、・・・の上に絞り板1402を挿入することで、明視野検出器アレイ1260Bを構成することができる。この場合の絞り板1402は電子検出器1401a、1401b、1401c、・・・とは独立に後から検出器配列上に挿入される機構のものであっても構わない。

- [0085] また、図14Cの明視野検出器アレイ1260Cは、絞り板1402と、変換素子1404と、二次元イメージングセンサ1405とを備える。感度が十分得られれば検出器の側をCCD等の二次元イメージングセンサ1405で代用することも考えられる。この場合、適切な配列の多孔配列を有する絞り板1402を通った電子線を、変換素子1404を介して二次元イメージングセンサ1405に導く（CCDであれば、蛍光板、シンチレータ等の電子から光への変換素子1404を用いる）。そして、絞り板1402の各孔に対応する二次元イメージングセンサ1405の当該ピクセルの信号を取り出し、各々の電子線に対して走査像（STEM像）を再生させればよい。
- [0086] 図15A～図15Bは、明視野検出器アレイにおいて電子検出器と絞り孔の配列の例を示す。明視野検出器の数は、所望の軸上収差係数を算出するのに十分な連立方程式（数18）を成立させるのに足る数であれば良く、配列も所望の軸上収差係数を算出するのに適当な出射角度を選択できる位置にあれば良い。なお、出射角度の選択は、図12及び図13に示した投影レンズ112でも適宜調整可能である。
- [0087] あとは、数18の式を縮退させ固有方程式の数を減じさせるような配列を選択しない限り、原理的には軸上収差係数を得ることができる。ただし、配列に無用な不均一性や特に異方位性があると、特定の方位性を持った収差の測定精度の低下が危惧される。従って、好ましい配列の一例としては、図15Aに示すように、複数の電子検出器1501a、1501b、1501c、・・・と、絞りの複数の孔1502a、1502b、1502c、・・・とを正方格子状の配列したものである。
- [0088] また、一般的に収差測定においては方位性を持たない回転対称な収差、デフォーカス（ $C_1$ ）、三次球面収差（ $C_3$ ）、五次球面収差（ $C_5$ ）等を分別することが難しい。そこで、図15Bに示すように、特に回転対称収差係数の測定精度向上を考慮して、3つの同心円周上に、複数の電子検出器1501a、1501b、1501c、・・・と複数の孔1502a、1502b、1502c、・・・とを配列したものを採用しても良い。

- [0089] 図16Aは、本発明の一実施例による収差測定法を用いた収差補正器調整作業のフローチャートである。
- [0090] 補正器やSTEMの電子光学条件がまったく未定の状態で始めることは困難である。したがって、まず、事前の実験やシミュレーションで決めることのできる大凡のレンズの励磁や偏向器光学条件を、プリセット条件としてセットする(1601)。
- [0091] 次に、明視野像取得のための調整を行う(1602)。ステップ1602の内容を図16Bを用いて説明する。まず、計測試料の選択と、その試料内における計測箇所を選択を行う(1611)。次に、収差測定に適したSTEM倍率及び照射条件の設定を行う(1612、1613)。倍率は、残留する収差の大きさによって適宜調整する。次に、投影レンズ112を調節することにより、試料109から明視野検出器までの実効的カメラ長を調整する(1614)。この作業では、特に明視野検出器アレイ1260を用いる場合には、アレイの各々検出器に適切な出射角度の電子線が到達するように、カメラ長を設定する。これらの設定条件について、それぞれの設定値やSTEM像を制御PC119のモニタ上に表示する(1615)。このように、ユーザーインターフェースを介して各種設定条件を操作者が調整することが可能である。
- [0092] 次に、明視野STEM像の取得条件を決定した後に、STEMディフラクトグラムを取得を行う(1603)。ステップ1603の内容を図16Cを用いて説明する。一例として、図12の明視野検出器アレイ1260を用いる場合で、この工程を説明する。まず、明視野検出器アレイ1260を作動させる(1621)。次に、各々検出器で検出する電子線取り込み角度を制限する絞り(図14Bの絞り板1402等)を、各検出器に対応するように設定する(1622)。このような設定の後、通常の見視野STEM像を撮影すると同じ要領で、撮像操作(電子プローブで試料面上を二次元走査)を行う(1623)。これにより、明視野検出器アレイ1260の各々の検出器で得られる信号から、それぞれの検出器に対応する試料109からの電子

線出射方位でのSTEM像を得ることができる。これは、図7で説明した測定原理に基づく要請を満たすものである。ここで得られた各々のSTEM像をフーリエ変換し(1624)、試料109からの電子線出射角度と対応づけて並列させれば、STEMディフラクトグラムテーブルを得ることができる(1625)。ここで、STEMディフラクトグラムテーブルとは、試料109からの電子線出射角度とSTEMディフラクトグラムとが関連付けられたテーブルを意味する。

[0093] 次に、制御PC119において、ステップ1603で得られたSTEMディフラクトグラムテーブルを用いて軸上収差係数の算出を行う(1604)。このステップは、前述の通りTEMにおけるディフラクトグラムタブローからの軸上収差係数算出手順とほぼ同じである。詳細については図16Dを用いて説明する。まず、得られた複数のディフラクトグラムのうちi番目に対応する出射角度 $\tau_i$ に対するデフォーカス $C_1(\tau_i)$ と二回対称非点収差 $A_1(\tau_i)$ を抽出する(1631)。次に、数18の式に示した $C_1(\tau_i)$ と $A_1(\tau_i)$ と軸上収差係数の関係式から、多元連立方程式を作り、最少二乗法等の手段も用いるなどして、軸上収差係数を導出する(1632)。次に、補正対象となる軸上収差計数を出力し(1633)、制御PC119のモニタ上等に、収差係数、収差図形、あるいは波面収差等のグラフィカルな手段で表示する(1634)。操作者は、モニタ上に表示された情報を確認することができる。また、STEMディフラクトグラムテーブルも同時にモニタ上に表示する(1635)。STEMディフラクトグラムテーブルを表示することは、収差状態を把握するのに役立つ上、どのようなディフラクトグラムが取得されて収差測定が行われたか等に関する収差測定の適切性を操作者が確認できるので望ましい。

[0094] 次に、制御PC119において、一連の収差測定を経て得られた収差係数から補正状態を判定する(1605)。もし、補正対象とする収差係数の測定値が別に定める許容値以下であれば、この収差調整は完了となる。一方、収差係数が許容値を逸脱する場合であれば、その収差を低減する残余収差補

償調整を行う（1606）。そして、補償調整に従って行った補正によって収差が十分低減されているか、また同調性の際に寄生的に別の収差が増大して許容値を超えていないかを確認するために、ステップ1602に戻り、収差測定を繰り返す。収差補正が進み残収差が低減するにつれて適切な像倍率やカメラ長も変わるので、これらは適宜に調整するほうがよい。さらに、ディフラクトグラムを取得するステップ（1603）、収差係数の算出ステップ（1604）を経て、ステップ1605において全ての補償対象の収差係数が許容値以下となり、収差補正調整が完了したと判定されるまで、上記のような収差測定と補償調整のステップを繰り返す。以上により、STEMの収差補正器111と対物レンズ110の収差状態を評価することが可能となる。

[0095] 電子顕微鏡をはじめとする荷電粒子線装置においては、その荷電粒子光学系の状態評価のために収差測定は重要である。特に収差補正技術が確立された現在、収差補正器の調整及び収差補正状態の評価の為、高精度な収差（係数）の測定技術が以前に増して必要とされるようになった。これらの収差測定法には、収差起因の変位や像歪を荷電粒子ビームの被測定レンズへの入射条件を複数変えて取得し、収差係数を導出する収差図形法やプローブタブロー法が知られていたが、多数回の測定を要する為測定手順が煩雑であり測定時間が長くなる課題があった。これは測定を繰り返す必要のある収差補正器の調整自体を困難なものとしていた。

[0096] 一方、別の収差測定手段としてロンチグラムを用いる測定法があった。これは収差を反映した歪み投影像であるロンチグラムから歪み情報を抽出することで収差測定を実施する方法である。この方法は、上記の手法と比較してより小さい回数の測定で高速に収差を測定できる。しかしながら、試料固有の形状に影響を受け、また収差測定条件とSTEM観察条件の差から、両者の切り替えとそれに伴う収差の微調整が必要であった。

[0097] 上述した実施例によれば、収差補正STEMに適した、高精度かつ高速な収差測定法を提供することができる。詳細には、STEM収差測定において

、STEMとTEMの相反性を用いたディフラクトグラムと等価な像（STEMディフラクトグラム）を取得し、これを用いて軸上収差係数を算出する。これにより、ロンチグラム法に見られる収差情報抽出の為の複雑な画像解析を回避する。

[0098] さらに、複数の入射角度に対してSTEMディフラクトグラムを同時に取得する為に複数のSTEM明視野検出器を並べた明視野検出器アレイ1260、またはこれに準じる検出器を用いる。これにより、同時に並列して複数の入射角に対するSTEM像を得て、各入射角度に対するSTEMディフラクトグラムを算出することができる。従って、ディフラクトグラムと等価な情報を複数の測定を繰り返すことなく、一括して取得することができる。すなわち、実質的には一回の測定で短時間に収差測定を完了することができる。したがって、測定の煩雑性を大幅に軽減することができる。

[0099] また、別の例としては、電子線偏向器129で複数の異なる角度の透過及び散乱電子線を順次選択して、一つのSTEM明視野検出器126によって透過及び散乱電子線を検出する。この構成によれば、明視野検出器126直上の電子線偏向器129のみを調整して、測定に必要なSTEM像を取得することが可能である。この構成は、従来のTEMでのディフラクトグラムタブロー法やSTEMでのプローブタブロー法での収差測定に比較すれば簡潔であり、測定の煩雑性を軽減することができる。

[0100] 以上から、上述の実施例によれば、軸上収差係数の組を算出する為に、煩雑な多数回の測定を繰り返すことなく、なるべく少ない測定回数で高速に測定を実行することが可能である。

[0101] なお、本発明は上述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、上述した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した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も可能である。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。

[0102] 実施例の収差補正制御システム（118T, 118）、電子顕微鏡制御システム（117T, 117）、制御PC（119T, 119）などの制御装置は、それらの一部や全部を、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よい。また、上述の制御装置の機能をソフトウェアのプログラムコードで実現してもよい。この場合、プログラムコードを記録した非一時的なコンピュータ可読媒体（non-transitory computer readable medium）を情報処理装置（コンピュータ）に提供し、その情報処理装置（又はCPU）が非一時的なコンピュータ可読媒体に格納されたプログラムコードを読み出す。非一時的なコンピュータ可読媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROMなどが用いられる。

[0103] また、プログラムコードは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体（transitory computer readable medium）によって情報処理装置に供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は無線通信路を介して、プログラムを情報処理装置に供給できる。

[0104] また、図面における制御線や情報線は、説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。全ての構成が相互に接続されていてもよい。

### 符号の説明

- [0105] 100 : TEM  
200 : STEM  
101、101T : 鏡体  
102、102T : 電子銃及び加速管  
103、103T : 電子源

- 104、104T：収束レンズ
- 105、105T：収束レンズ絞り装置
- 106、106T：偏向器
- 107、107T：収束レンズ
- 108、108T：試料ホルダ
- 109、109T：試料
- 110、110T：対物レンズ
- 110a、110Ta：対物レンズ前磁場
- 110b、110Tb：対物レンズ後磁場
- 111、111T：収差補正器
- 112、112T：投影レンズ
- 113T：観察用双眼鏡
- 114T：観察窓
- 115T：投影面（蛍光板）
- 116、116T：イメージング検出器（CCDカメラ等）
- 117、117T：電子顕微鏡制御システム
- 118、118T：収差補正制御システム
- 119、119T：制御PC
- 120、120T：照射電子線
- 120Ta：入射電子線（垂直入射）
- 120Tb：入射電子線（傾斜入射）
- 121、121T：電子線
- 121Ta、121Tb：散乱電子線
- 121a：照射電子線（散乱電子線が垂直位置にある明視野検出器126aに達する）
- 121b：照射電子線（散乱電子線が傾斜位置にある明視野検出器126bに達する）
- 122a：照射電子線（透過電子線が垂直位置にある明視野検出器126a

に達する)

1 2 2 b : 照射電子線 (透過電子線が傾斜位置にある明視野検出器 1 2 6 b

に達する)

1 2 5 : 環状暗視野検出器

1 2 6、1 2 6 a、1 2 6 b : 明視野検出器

1 2 7 : スキャンコイル

1 2 8、1 2 8 a、1 2 8 b、1 2 8 c : プリアンプ

1 2 9 : 電子線偏向器

1 3 0 T a : 理想電子波面

1 3 0 T b : 電子波面

1 3 0 a : STEMにおいて試料面に収束する電子線の理想波面

1 3 0 b : STEMにおいて試料面に収束する電子線の収差を含んだ歪波面

1 3 0 T a : TEMにおいて試料面で散乱された電子線の理想波面

1 3 0 T b : TEMにおいて試料面で散乱された電子線の収差を含んだ歪波面

1 5 0 T : 中間像面

5 0 0 T a : アモルファスTEM像 (垂直入射)

5 0 1 T a : ディフラクトグラム (垂直入射)

6 0 0 T b : アモルファスTEM像 (傾斜入射)

6 0 1 T b : ディフラクトグラム (傾斜入射)

7 0 0 : 入射電子線束

7 0 1 a、7 0 1 b : 電子線経路

9 0 0 a : アモルファスSTEM像 (垂直入射)

9 0 1 a : STEMディフラクトグラム (垂直入射)

1 0 0 0 b : アモルファスSTEM像 (傾斜入射)

1 0 0 1 b : STEMディフラクトグラム (傾斜入射)

1 1 0 1、1 1 0 2 : 電子線

- 1 1 1 1、1 1 1 2 : 電子線
- 1 1 1 1 b : 透過電子線
- 1 1 1 2 b : 散乱電子線
- 1 1 2 1 : 小孔
- 1 1 2 2 : 明視野絞り板
- 1 2 0 0 : 照射電子線束
- 1 2 0 1 a : 透過及び散乱電子線（垂直位置にある明視野検出器 1 2 6 a に対する）
- 1 2 0 1 b : 透過及び散乱電子線（傾斜位置にある明視野検出器 1 2 6 b に対する）
- 1 2 0 1 c : 透過及び散乱電子線（傾斜位置にある明視野検出器 1 2 6 c に対する）
- 1 2 6 0、1 2 6 0 A、1 2 6 0 B、1 2 6 0 C : 明視野検出器アレイ
- 1 4 0 1 a、1 4 0 1 b、1 4 0 1 c : 電子検出器
- 1 4 0 2 : 絞り板
- 1 4 0 2 a、1 4 0 2 b、1 4 0 2 c : 絞り
- 1 4 0 3 a、1 4 0 3 b、1 4 0 3 c : 信号線
- 1 4 0 4 : 変換素子
- 1 4 0 5 : 二次元イメージングセンサ
- 1 5 0 1 a、1 5 0 1 b、1 5 0 1 c : 電子検出器
- 1 5 0 2 a、1 5 0 2 b、1 5 0 2 c : 孔

## 請求の範囲

- [請求項1] 荷電粒子源から放出された荷電粒子線を収束して、前記収束された荷電粒子線を試料上で走査させる電子光学系と、  
前記試料から透過あるいは散乱した荷電粒子線を検出する検出系と、  
、  
前記電子光学系の収差を補正する収差補正器と、  
前記検出系からの信号から前記試料の画像を形成する制御装置と、  
を備え、  
前記制御装置は、前記試料に対して複数の検出角度で取得した複数の画像を各々フーリエ変換することにより複数の像を作成し、前記複数の像を用いて前記複数の検出角度の各々に対する収差情報を求めることを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、  
前記荷電粒子線装置が、走査透過電子顕微鏡であり、  
前記像は、前記試料に対して複数の異なる検出角度で取得した複数の明視野像を各々フーリエ変換して得られるリング状のパターンであり、  
前記制御装置は、前記複数の検出角度の各々に対するデフォーカス及び軸上二次非点収差に基づいて収差係数を求めることを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の荷電粒子線装置において、  
前記検出系は、  
前記試料及び前記電子光学系の下方に配置された複数の明視野検出器と、  
前記複数の明視野検出器の上側で前記荷電粒子線を複数の異なる検出角度の各々に制限するための複数の孔を有する絞りと、  
を備えることを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項4] 請求項3に記載の荷電粒子線装置において、

前記複数の明視野検出器及び前記複数の孔は、正方格子状に配列されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項5]

請求項3に記載の荷電粒子線装置において、

前記複数の明視野検出器及び前記複数の孔は、複数の同心円に沿って配列されてい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、

前記絞りは、前記複数の孔を有する一枚の絞り板によって構成されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項7]

請求項2に記載の荷電粒子線装置において、

前記検出系は、

前記試料及び前記電子光学系の下方に配置されたイメージング検出器と、

前記イメージング検出器の上側に配置され、前記荷電粒子を光に変換するための変換素子と、

前記変換素子の上側で前記荷電粒子線を複数の異なる検出角度の各々に制限するための複数の孔を有する絞りと、を備え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、

前記電子光学系は、前記試料と前記検出系との間に配置される偏向器を更に備え、

前記検出系は、前記試料及び前記電子光学系の下方に配置された1つの明視野検出器と、前記明視野検出器の上側で前記荷電粒子線の角度を制限するための孔を有する絞りと、を備え、

前記偏向器が、複数の異なる検出角度の各々に対応する前記荷電粒子線を前記明視野検出器に順次導くように、前記荷電粒子線を偏向させることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項9]

請求項2に記載の荷電粒子線装置において、

前記制御装置は、前記収差係数が所定の許容値以下であることを判定

することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項10]

請求項2に記載の荷電粒子線装置において、  
前記リング状のパターンと前記複数の検出角度とを関連付けた情報を表示するための表示部を更に備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項11]

請求項1に記載の荷電粒子線装置において、  
前記試料は、アモルファス薄膜を含むことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項12]

荷電粒子線装置における収差測定法であって、  
荷電粒子源から放出された荷電粒子線を収束して、前記収束された荷電粒子線を試料上で走査させる照射ステップと、  
前記試料から透過あるいは散乱した荷電粒子線を検出する検出ステップと、  
前記検出ステップで得られた信号から前記試料の画像を形成する画像形成ステップと、  
前記試料に対して複数の検出角度で取得した複数の画像を各々フーリエ変換することにより複数の像を作成する像作成ステップと、  
前記複数の像を用いて前記複数の検出角度の各々に対する収差情報を求める収差情報算出ステップと、  
を含むことを特徴とする収差測定法。

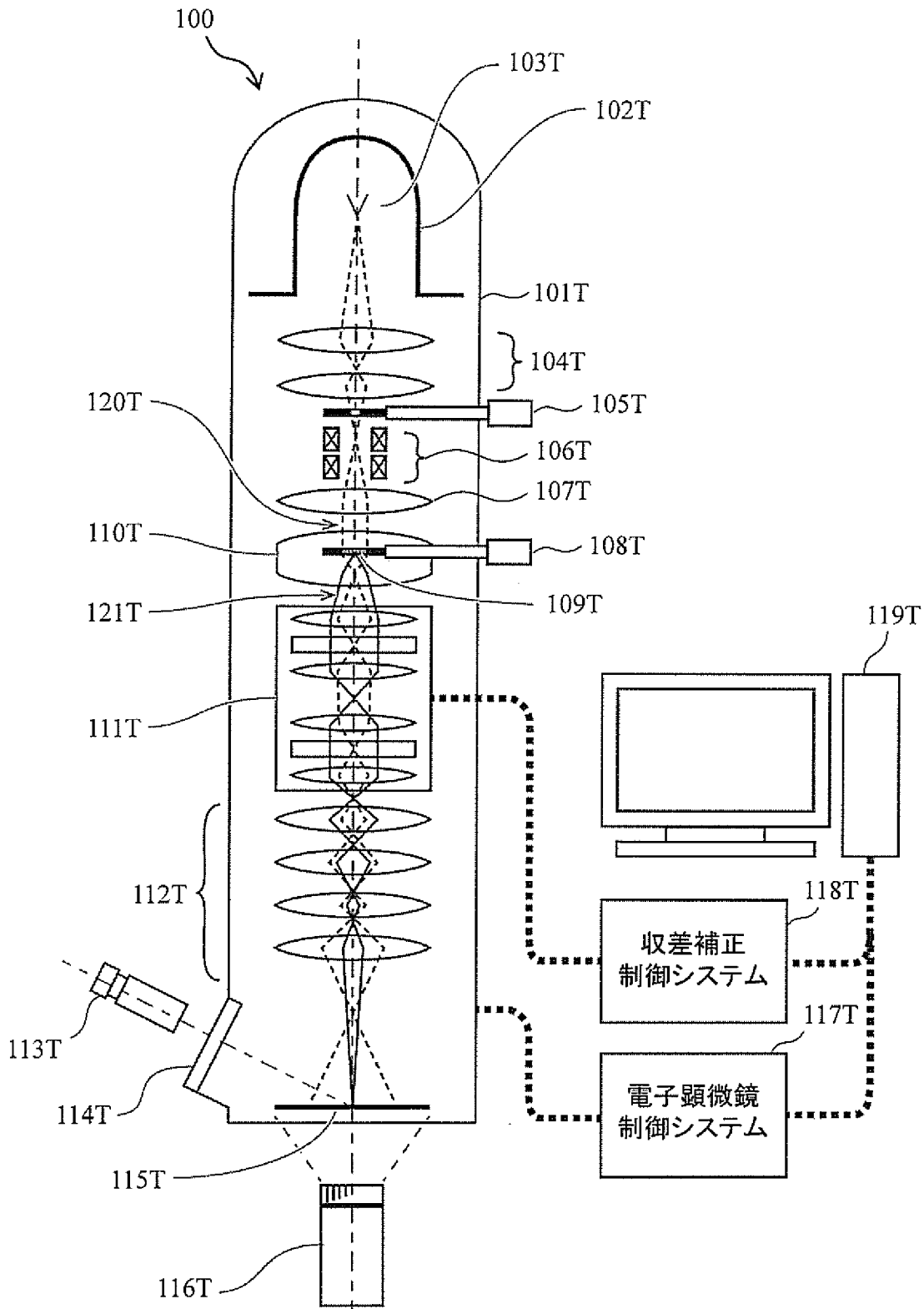
[請求項13]

請求項12に記載の収差測定法において、  
前記荷電粒子線装置が、走査透過電子顕微鏡であり、  
前記像は、前記試料に対して複数の異なる検出角度で取得した複数の明視野像を各々フーリエ変換して得られるリング状のパターンであり、  
前記収差情報算出ステップは、前記複数の検出角度の各々に対するデフォーカス及び軸上二次非点収差に基づいて収差係数を求めることを含むことを特徴とする収差測定法。

- [請求項14]           請求項13に記載の収差測定法において、  
前記検出ステップは、複数の明視野検出器と、前記複数の明視野検出器の上側で前記荷電粒子線を複数の異なる検出角度の各々に制限するための複数の孔を有する絞りとを用いて、前記複数の異なる検出角度の前記荷電粒子線を同時に検出することを含むことを特徴とする収差測定法。
- [請求項15]           請求項13に記載の収差測定法において、  
前記検出ステップは、  
1つの明視野検出器と、前記明視野検出器の上側で前記荷電粒子線の角度を制限するための孔を有する絞りとを用いて、前記荷電粒子線を検出することと、  
複数の異なる検出角度の各々に対応する前記荷電粒子線を前記明視野検出器に順次導くように、前記荷電粒子線を偏向させることと、  
を含むことを特徴とする収差測定法。

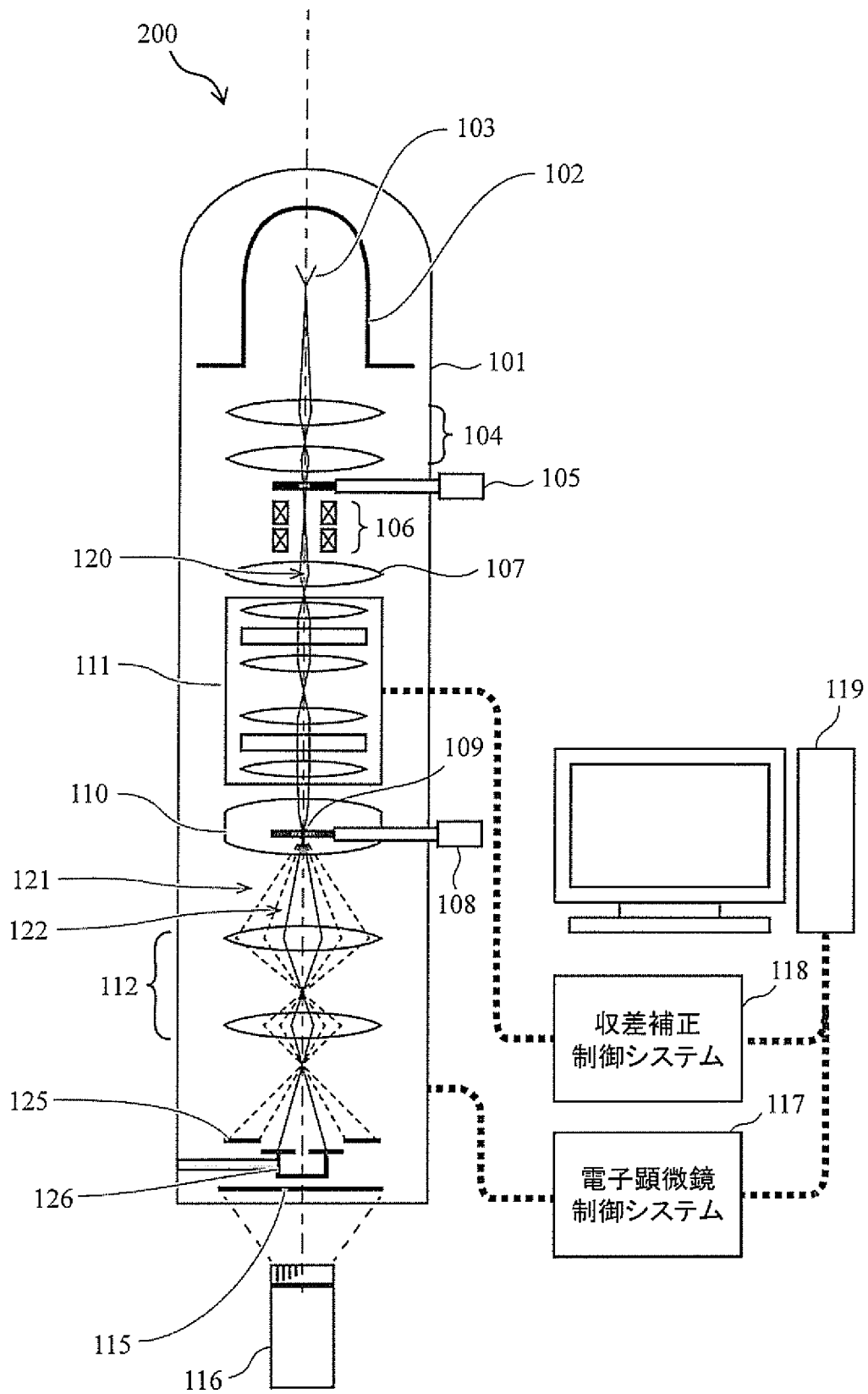
[図1]

図 1



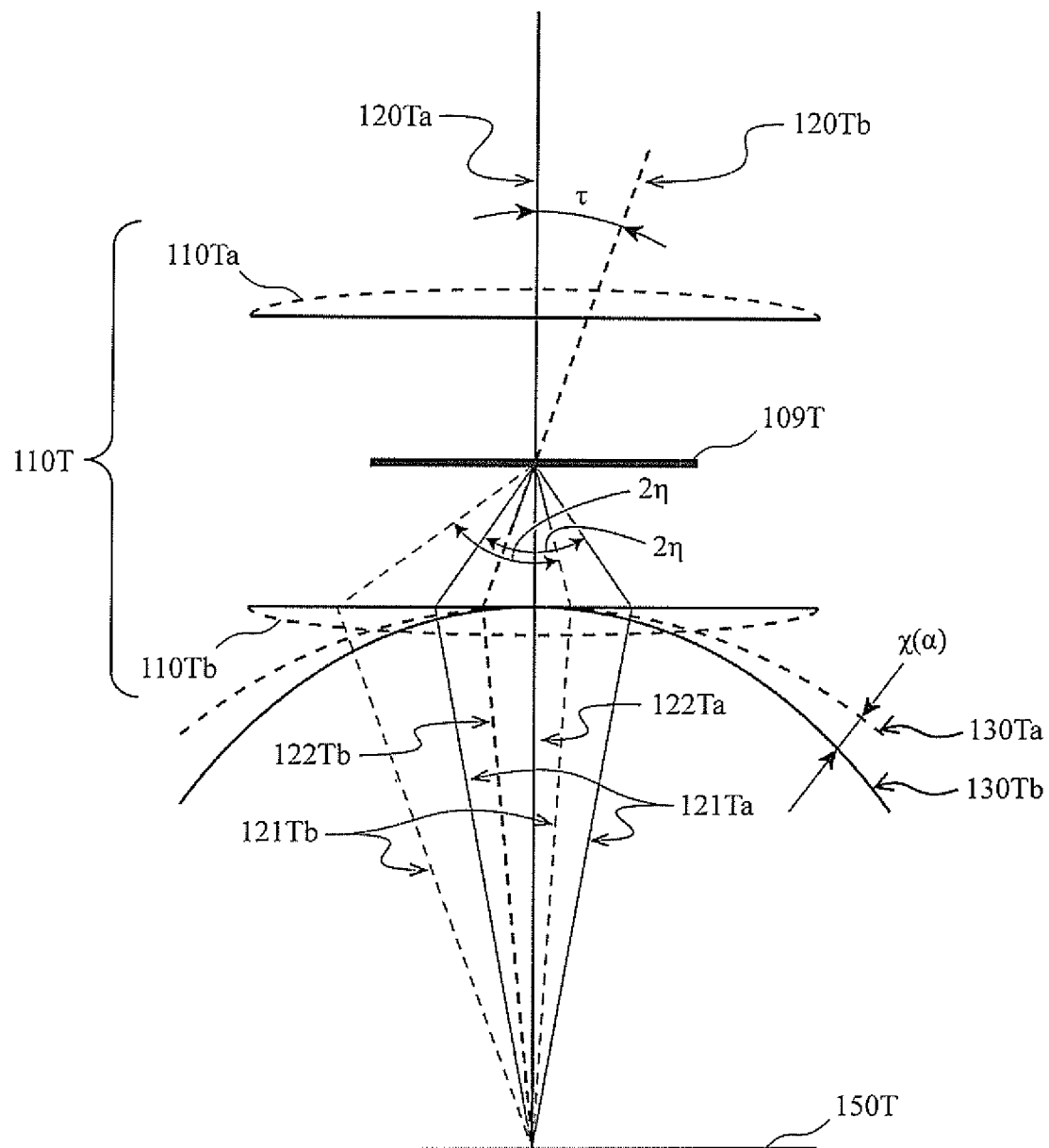
[図2]

図 2



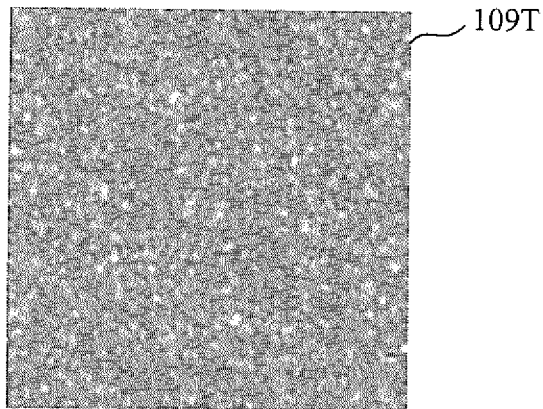
[図3]

図 3



[図4]

図 4



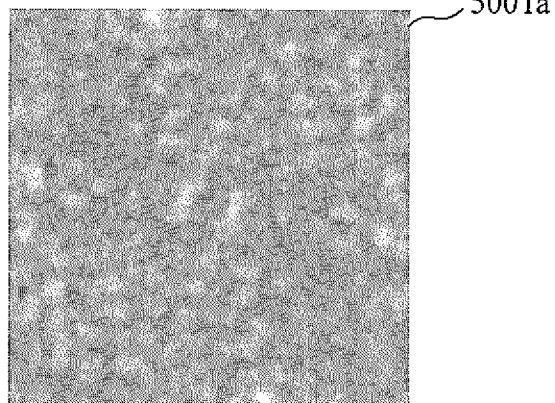
アモルファス薄膜試料

[図5A]

図 5 A

垂直照射

TEM 像

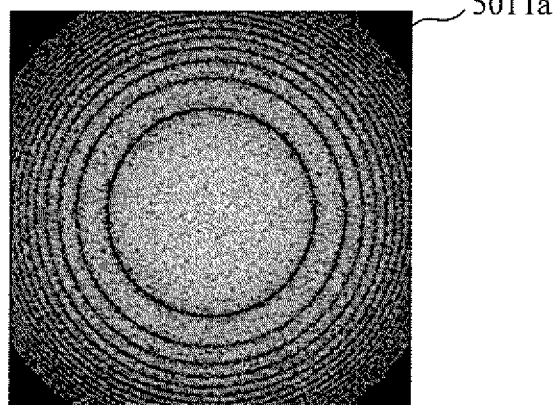


[図5B]

図 5 B

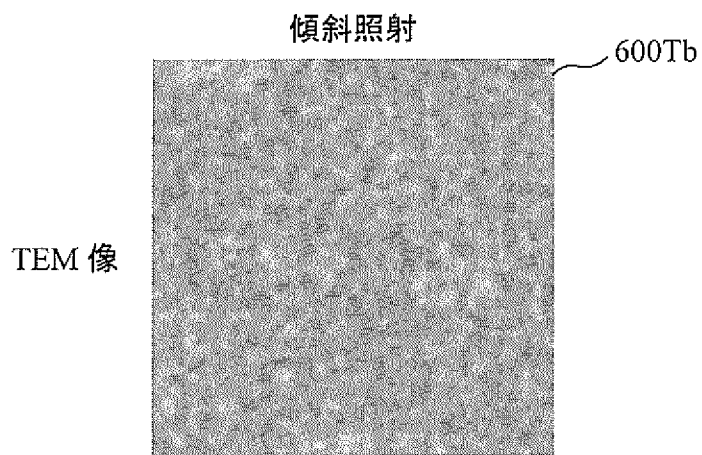
垂直照射

ディフラクトグラム



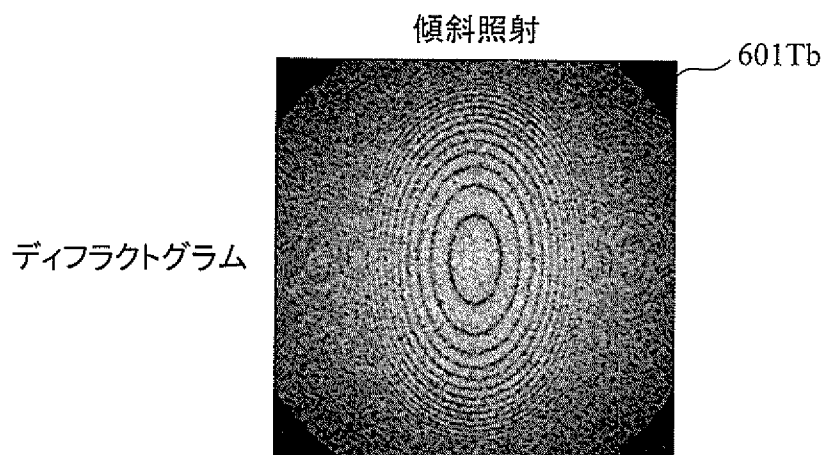
[図6A]

図 6 A



[図6B]

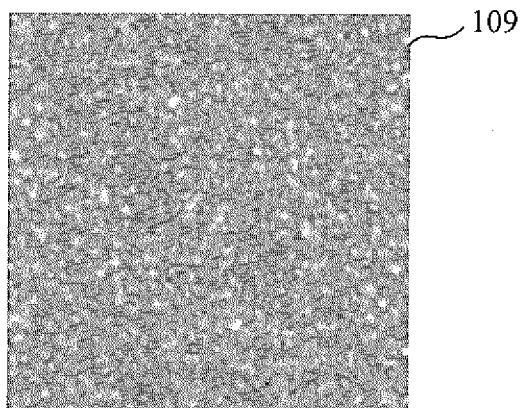
図 6 B





[図8]

図 8



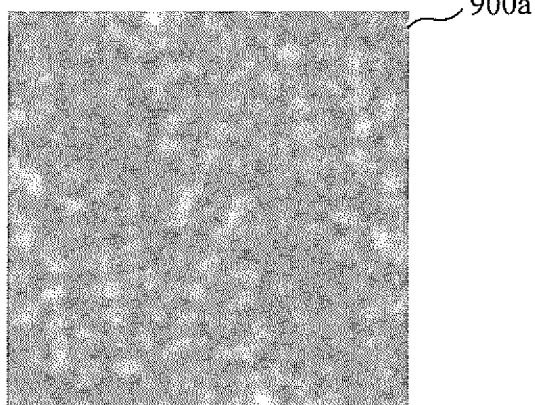
アモルファス薄膜試料

[図9A]

図 9 A

垂直検出

STEM 像

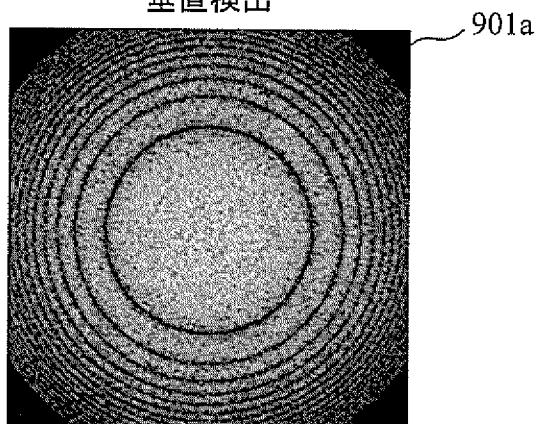


[図9B]

図 9 B

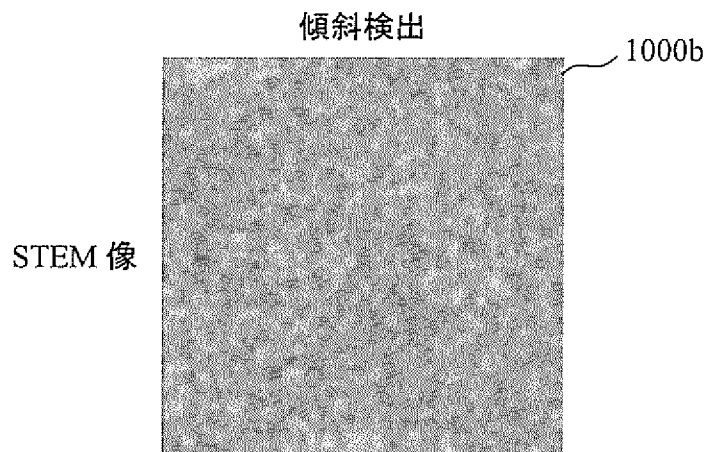
垂直検出

ディフラクトグラム



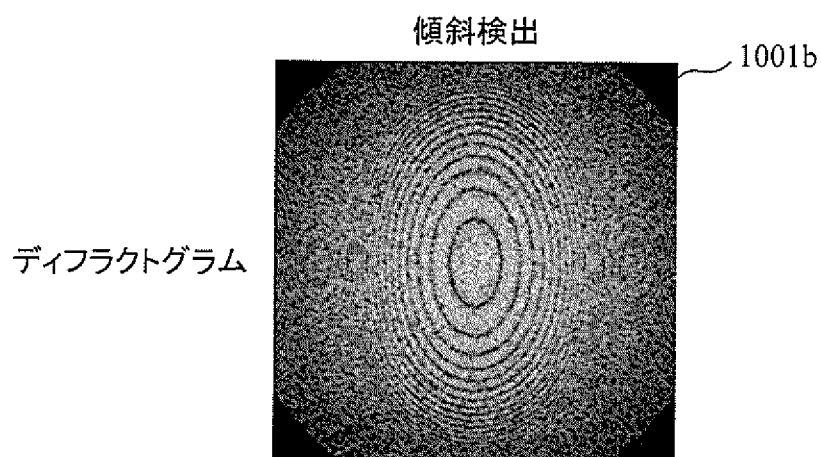
[図10A]

## 図 10 A



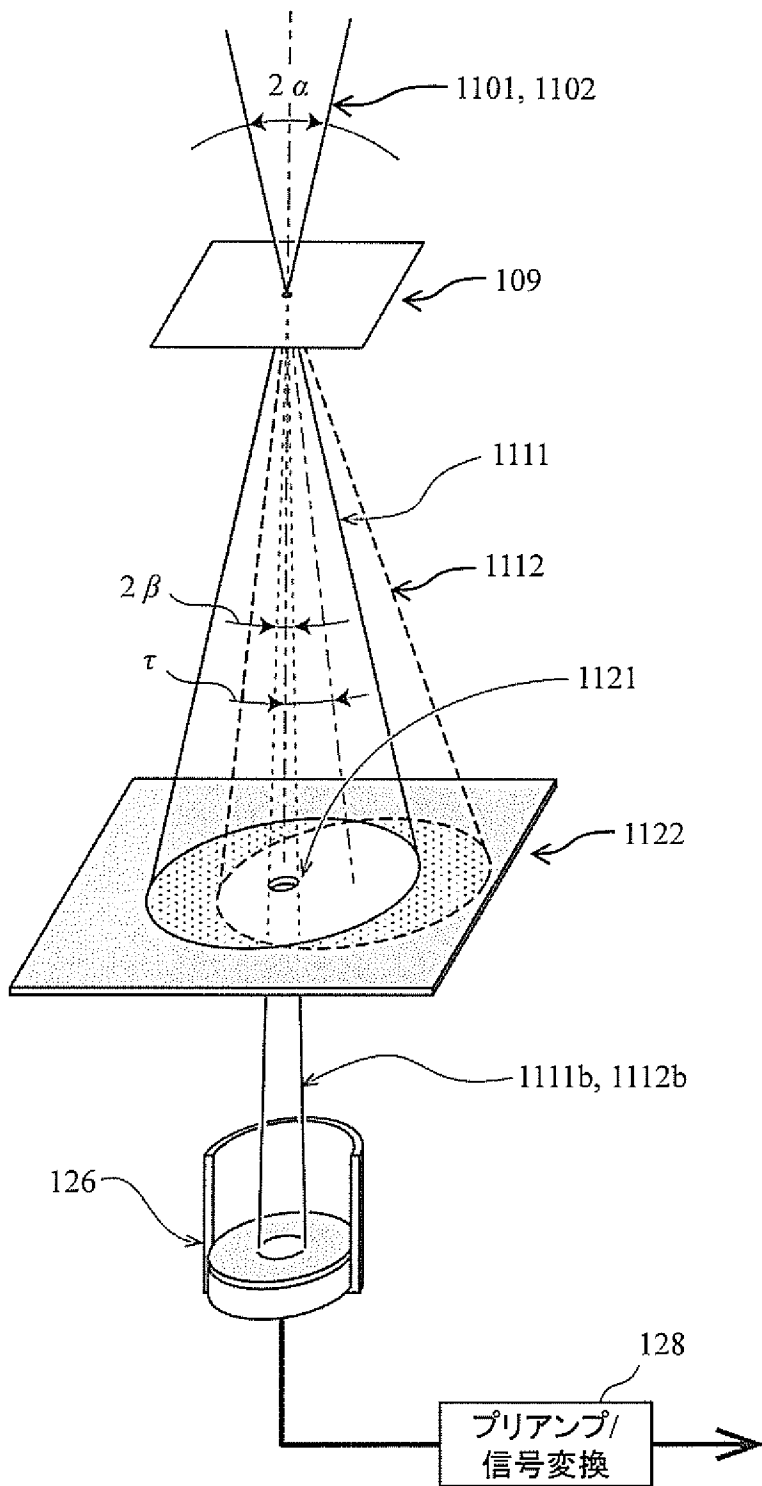
[図10B]

## 図 10 B



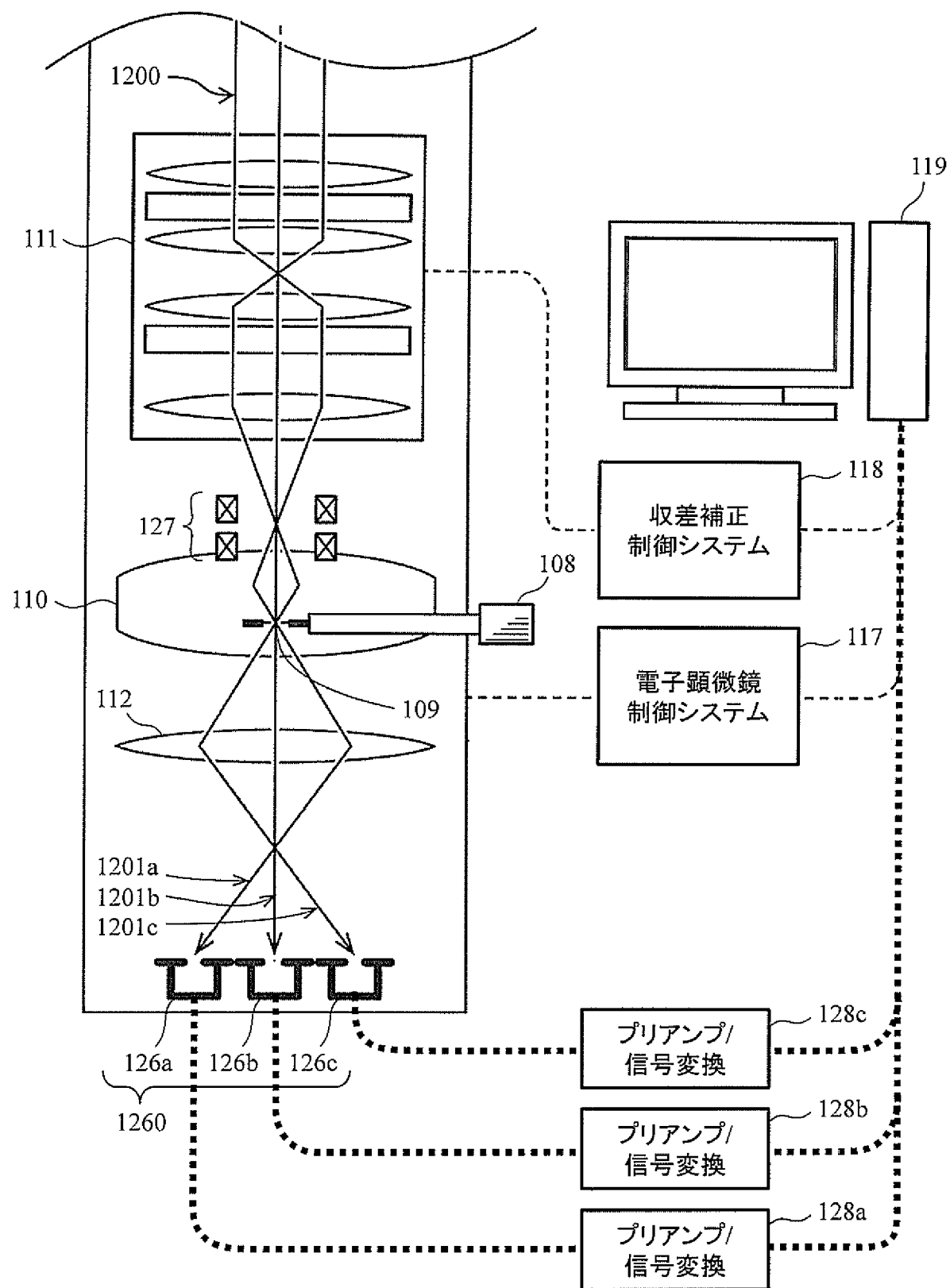
[図11]

図 1 1



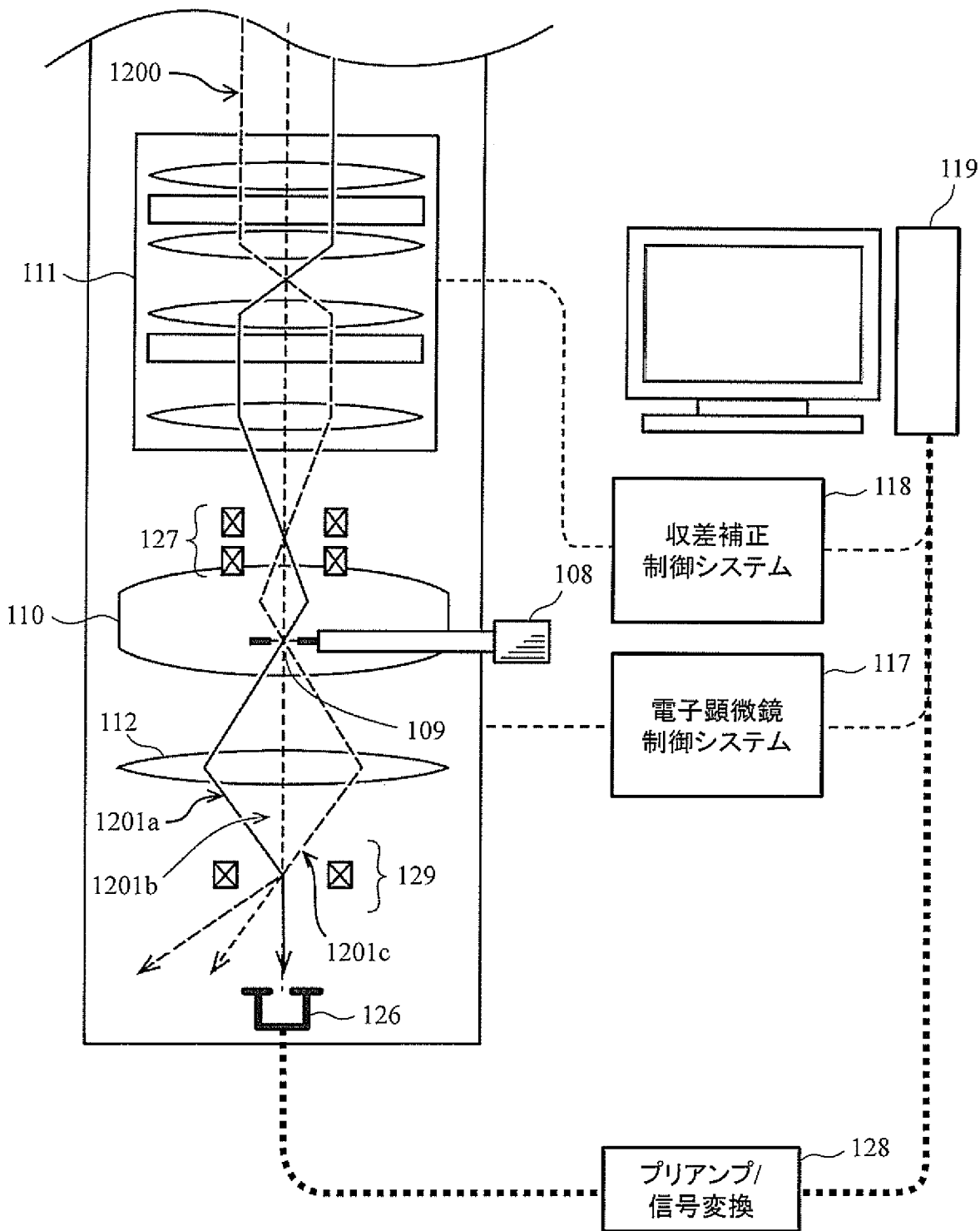
[図12]

図 1 2



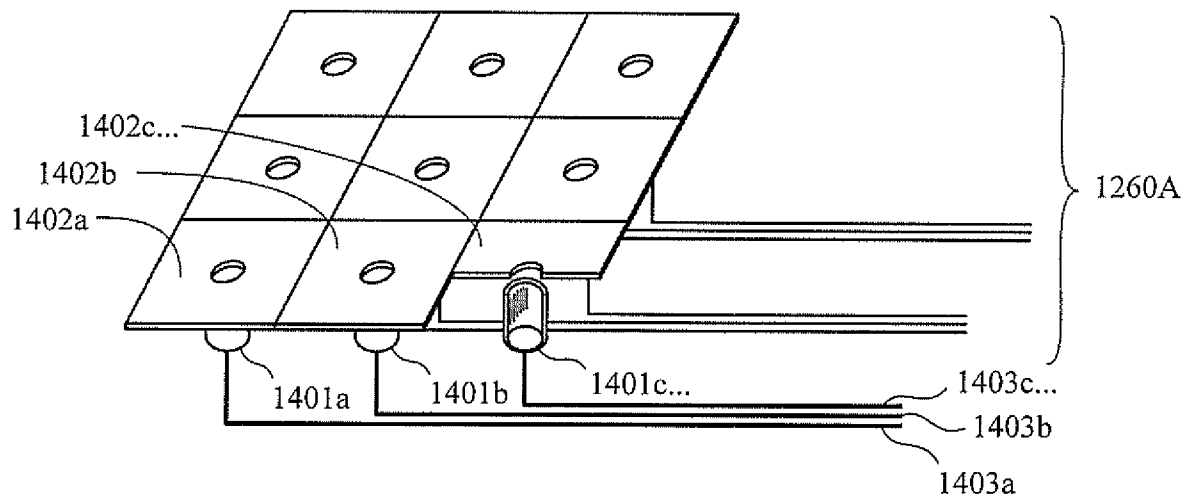
[図13]

図 1 3



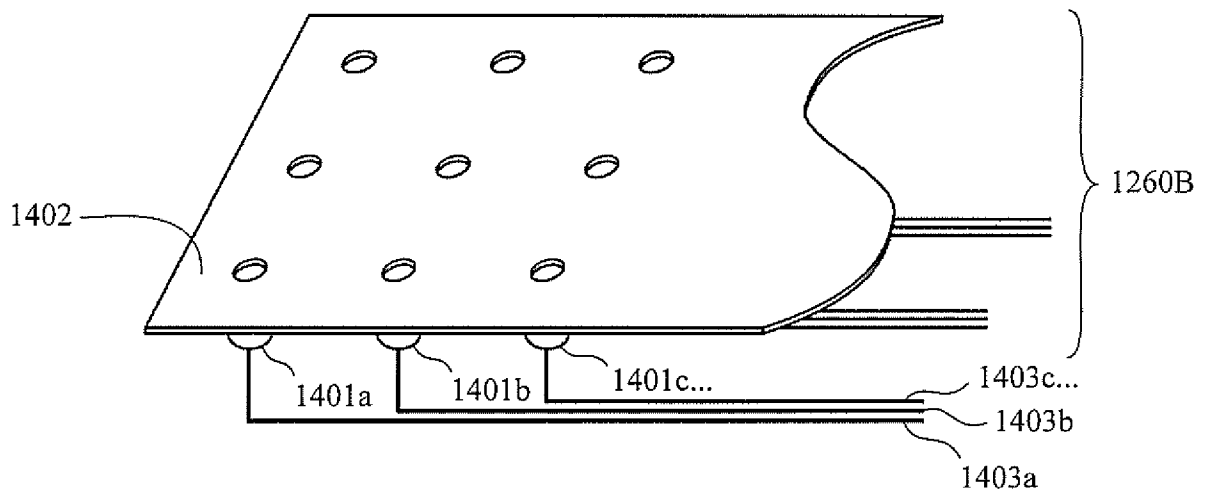
[図14A]

図 1 4 A



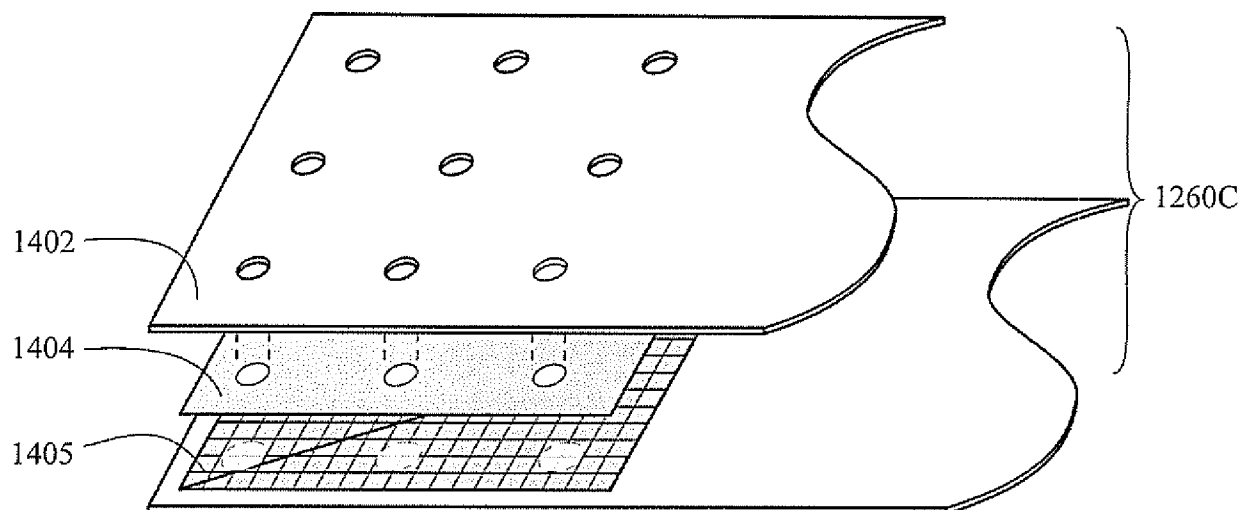
[図14B]

図 1 4 B



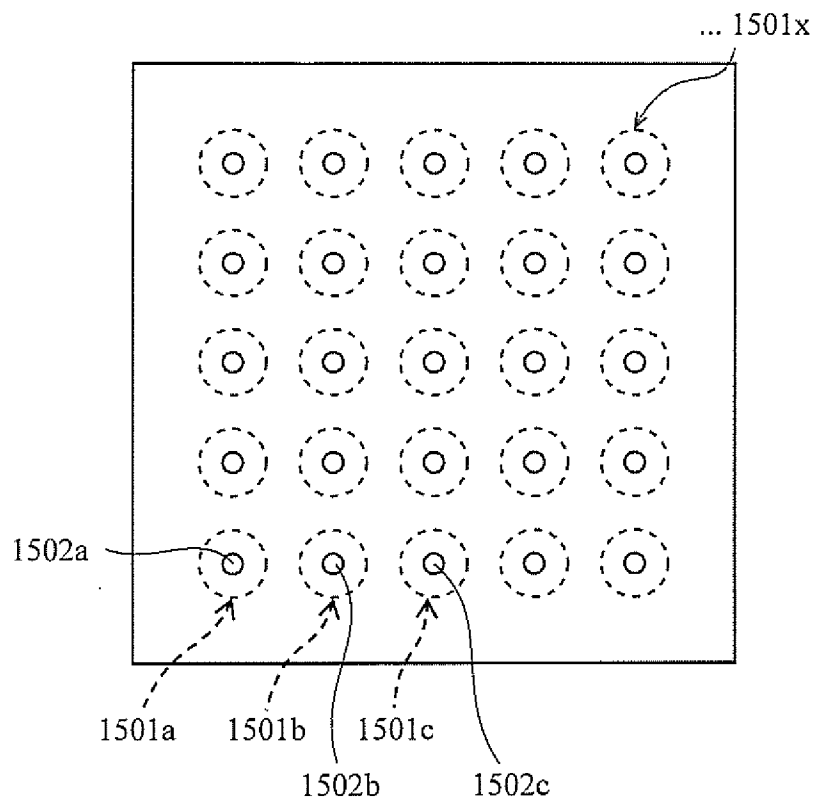
[図14C]

図 14 C



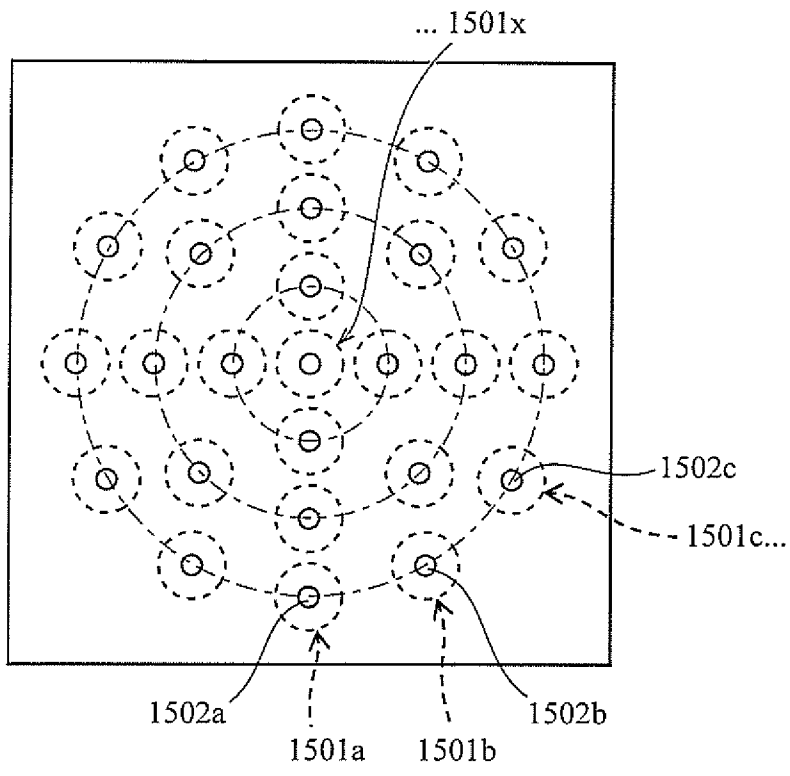
[図15A]

図 15 A



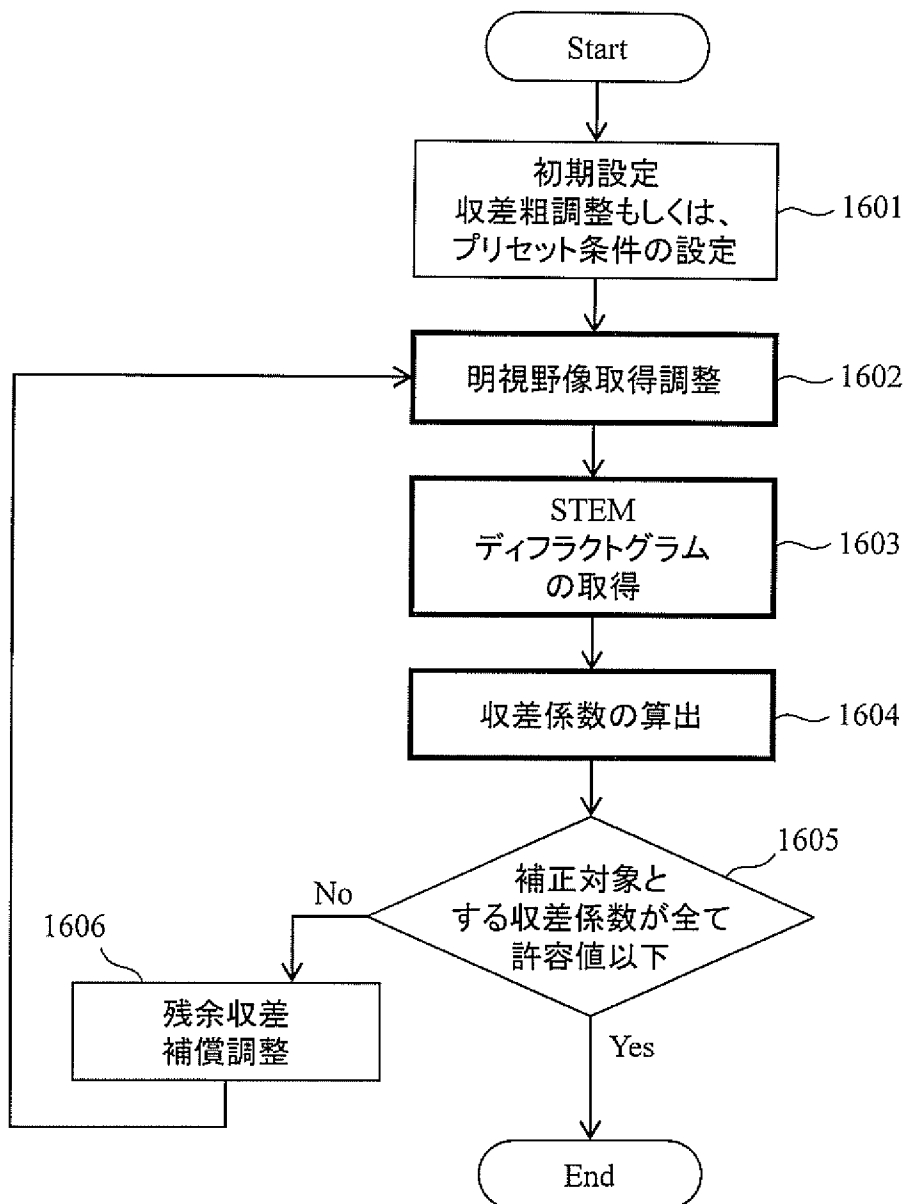
[図15B]

## 図 15 B



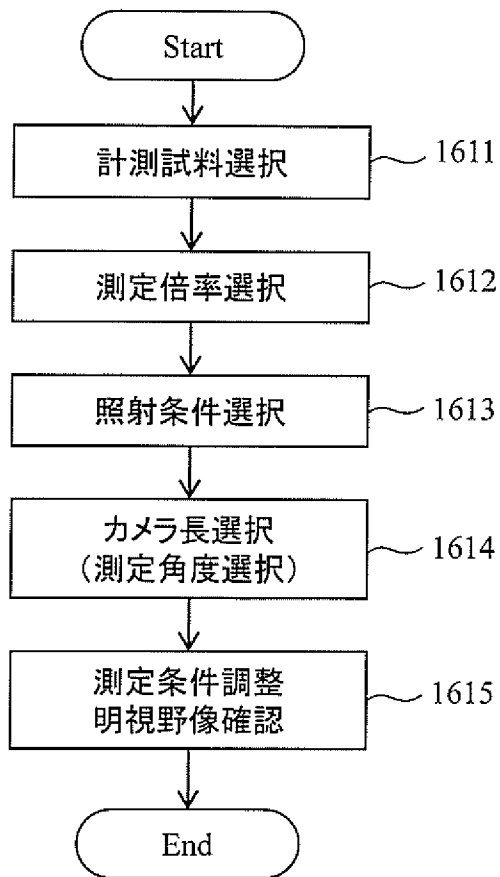
[図16A]

図 1 6 A



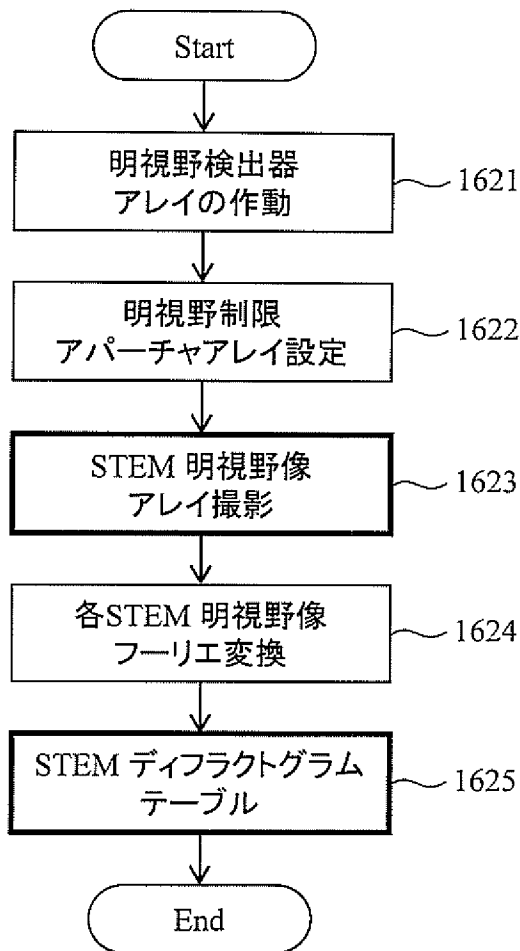
[図16B]

## 図 1 6 B



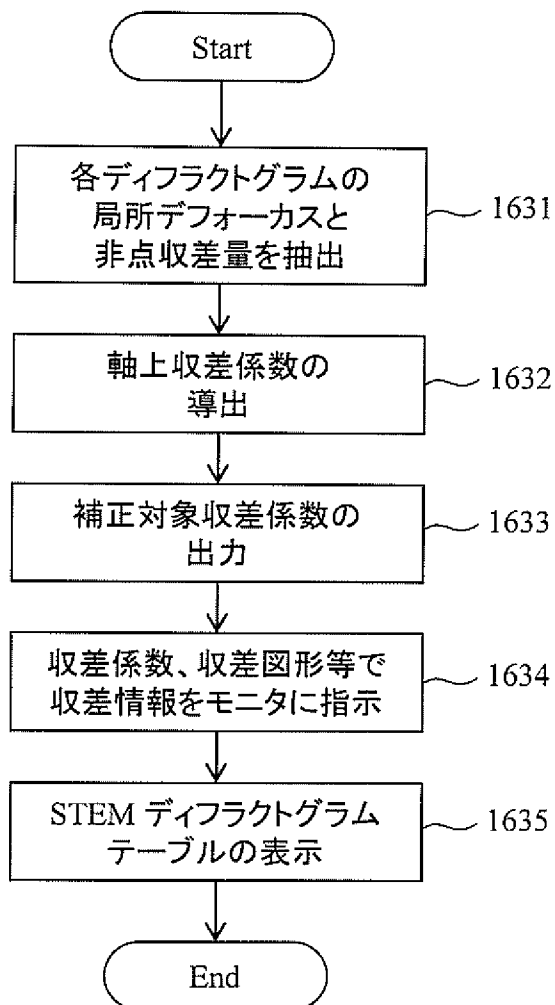
[図16C]

図 1 6 C



[図16D]

図 1 6 D



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2014/067493

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
*H01J37/153*(2006.01) i,            *H01J37/09*(2006.01) i,            *H01J37/147*(2006.01) i,  
*H01J37/244*  
(2006.01) i, *H01J37/28*(2006.01) i

**B. FIELDS SEARCHED**  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
*H01J37/153*, *H01J37/09*, *H01J37/147*, *H01J37/244*, *H01J37/28*

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*    1996-2014  
*Kokai Jitsuyo Shinan Koho*    1971-2014    *Toroku Jitsuyo Shinan Koho*    1994-2014

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 2013-89599 A (FEI Co.), 13 May 2013 (13.05.2013), entire text; all drawings & US 2013/0105689 A1        & EP 2584584 A1 & CN 103065917 A	1-15
A	JP 7-220669 A (JEOL Ltd.), 18 August 1995 (18.08.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.             See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 24 July, 2014 (24.07.14)	Date of mailing of the international search report 05 August, 2014 (05.08.14)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

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, H01J37/09(2006.01)i, H01J37/147(2006.01)i, H01J37/244(2006.01)i, H01J37/28(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, H01J37/09, H01J37/147, H01J37/244, H01J37/28

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 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2014年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2014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 2013-89599 A (エフ イー アイ カンパニ) 2013.05.13, 全文全図 & US 2013/0105689 A1 & EP 2584584 A1 & CN 103065917 A	1-15
A	JP 7-220669 A (日本電子株式会社) 1995.08.18, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15

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	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 24.07.2014	国際調査報告の発送日 05.08.2014
--------------------------	--------------------------

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） 桐畑 幸▲廣▼ 電話番号 03-3581-1101 内線 3226	2G	9606
--	---	----	------