

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第6995103号

(P6995103)

(45)発行日 令和4年1月14日(2022.1.14)

(24)登録日 令和3年12月16日(2021.12.16)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 J 37/21 (2006.01)

H 0 1 J

37/21

A

H 0 1 J 37/26 (2006.01)

H 0 1 J

37/26

H 0 1 J 37/09 (2006.01)

H 0 1 J

37/09

A

請求項の数 4 (全12頁)

(21)出願番号 特願2019-206804(P2019-206804)

(22)出願日 令和1年11月15日(2019.11.15)

(65)公開番号 特開2021-82408(P2021-82408A)

(43)公開日 令和3年5月27日(2021.5.27)

審査請求日 令和2年11月13日(2020.11.13)

(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

(74)代理人 100090387

弁理士 布施 行夫

(74)代理人 100090398

弁理士 大淵 美千栄

(72)発明者 飯島 寛文

東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号 日

本電子株式会社内

審査官 鳥居 祐樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 透過電子顕微鏡および透過電子顕微鏡の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電子線源と、

前記電子線源から放出された電子線を試料に照射する照射光学系と、

を含み、

前記照射光学系は、

第1集束レンズと、

前記第1集束レンズの後段に配置された第2集束レンズと、

前記第2集束レンズの後段に配置された第3集束レンズと、

前記第3集束レンズの後段に配置された第4集束レンズと、

前記第4集束レンズの後段に配置された対物レンズと、

前記第2集束レンズの位置に配置された集束絞りと、

を有し、

前記第3集束レンズおよび前記第4集束レンズは、前記集束絞りの位置と試料面を共役と

し、

前記第1集束レンズおよび前記第2集束レンズは、前記第3集束レンズおよび前記第4集

束レンズが前記集束絞りの位置と前記試料面を共役にした状態で、前記電子線源と前記対

物レンズの前焦点面を共役とする、透過電子顕微鏡。

【請求項2】

請求項1において、

前記第 2 集束レンズ、前記第 3 集束レンズ、および前記第 4 集束レンズの励磁を変化させることによって、前記集束絞りの位置と前記試料面の共役関係および前記電子線源と前記対物レンズの前焦点面の共役関係を満たした状態で、前記試料面における電子線の照射範囲を変更する、透過電子顕微鏡。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、

前記照射光学系は、前記試料面において、前記電子線を平行照射する、透過電子顕微鏡。

【請求項 4】

電子線源と、

前記電子線源から放出された電子線を試料に照射する照射光学系と、

10

を含み、

前記照射光学系は、

第 1 集束レンズと、

前記第 1 集束レンズの後段に配置された第 2 集束レンズと、

前記第 2 集束レンズの後段に配置された第 3 集束レンズと、

前記第 3 集束レンズの後段に配置された第 4 集束レンズと、

前記第 4 集束レンズの後段に配置された対物レンズと、

前記第 2 集束レンズの位置に配置された集束絞りと、

を有する透過電子顕微鏡の制御方法であって、

前記第 3 集束レンズおよび前記第 4 集束レンズを、前記集束絞りの位置と試料面が共役となる第 1 条件に設定する工程と、

20

前記第 3 集束レンズおよび前記第 4 集束レンズが前記第 1 条件に設定された状態で、前記

第 1 集束レンズおよび前記第 2 集束レンズを、前記電子線源と前記対物レンズの前焦点面

が共役となる第 2 条件に設定する工程と、

を含む、透過電子顕微鏡の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、透過電子顕微鏡および透過電子顕微鏡の制御方法に関する。

【背景技術】

30

【0002】

透過電子顕微鏡の照射光学系として、例えば、特許文献 1 には、少なくとも 2 段の集束レンズを備え、これらの集束レンズを連動して励磁可変とし、各集束レンズによって結像される光源像を複数位置に設定できるようにした光学系が開示されている。特許文献 1 に開示された照射光学系では、照明強度の調整、および照明径の可変調整を簡単な操作で行うことができる。

【0003】

また、透過電子顕微鏡の照射光学系として、3 段の集束レンズを備えた光学系や、4 段の集束レンズを備えた光学系が知られている。

【0004】

40

透過電子顕微鏡では、明視野像や、暗視野像、高分解能電子顕微鏡像 (high-resolution electron microscopy image、HREM 像) などの TEM 像を得る場合には、試料に電子線を平行に照射する (平行照射)。照射光学系では、電子線源と対物レンズの前焦点面を共役とすること (ケーラー照射) によって、試料に電子線を平行に照射することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2015 - 23010 号公報

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

透過電子顕微鏡の照射光学系は、電子線の開き角および照射量を調整するための集束絞りを含む。透過電子顕微鏡では、集束絞りの端にはフレネルフリンジが発生することが知られている。フレネルフリンジの原因は、試料面における集束絞りの焦点ずれである。通常の観察では、電子線の照射範囲が観察視野に対して十分に広いため、フレネルフリンジは観察視野内に現れない。

【0007】

ここで、電子線に対する耐性の低い試料を観察する場合、電子線の照射により試料が損傷してしまうため、観察視野のみに電子線を照射することが望ましい。しかしながら、電子線の照射範囲を狭くすると、フレネルフリンジが観察視野内に現れてしまう。したがって、電子線の照射範囲を狭くすることができず、フレネルフリンジが観察視野の外になる程度に電子線を広げて観察を行わなければならない。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る透過電子顕微鏡の一態様は、
電子線源と、
前記電子線源から放出された電子線を試料に照射する照射光学系と、
を含み、
前記照射光学系は、
第1集束レンズと、
前記第1集束レンズの後段に配置された第2集束レンズと、
前記第2集束レンズの後段に配置された第3集束レンズと、
前記第3集束レンズの後段に配置された第4集束レンズと、
前記第4集束レンズの後段に配置された対物レンズと、
前記第2集束レンズの位置に配置された集束絞りと、
を有し、
前記第3集束レンズおよび前記第4集束レンズは、前記集束絞りの位置と試料面を共役とし、
前記第1集束レンズおよび前記第2集束レンズは、前記第3集束レンズおよび前記第4集束レンズが前記集束絞りの位置と前記試料面を共役にした状態で、前記電子線源と前記対物レンズの前焦点面を共役とする。

20

30

【0009】

このような透過電子顕微鏡では、集束絞りの位置と試料面を共役とし、かつ、電子線源と対物レンズの前焦点面を共役にできるため、電子線を試料に平行照射しても、試料面に集束絞りのフレネルフリンジを発生させないことができる。したがって、このような透過電子顕微鏡では、電子線を狭い照射範囲に平行照射してTEM観察を行うことができる。

【0010】

本発明に係る透過電子顕微鏡の制御方法は、
電子線源と、
前記電子線源から放出された電子線を試料に照射する照射光学系と、
を含み、
前記照射光学系は、
第1集束レンズと、
前記第1集束レンズの後段に配置された第2集束レンズと、
前記第2集束レンズの後段に配置された第3集束レンズと、
前記第3集束レンズの後段に配置された第4集束レンズと、
前記第4集束レンズの後段に配置された対物レンズと、
前記第2集束レンズの位置に配置された集束絞りと、
を有する透過電子顕微鏡の制御方法であって、

40

50

前記第 3 集束レンズおよび前記第 4 集束レンズを、前記集束絞りの位置と試料面が共役となる第 1 条件に設定する工程と、

前記第 3 集束レンズおよび前記第 4 集束レンズが前記第 1 条件に設定された状態で、前記第 1 集束レンズおよび前記第 2 集束レンズを、前記電子線源と前記対物レンズの前焦点面が共役となる第 2 条件に設定する工程と、
を含む。

【 0 0 1 1 】

このような透過電子顕微鏡の制御方法では、集束絞りの位置と試料面を共役とし、かつ、電子線源と対物レンズの前焦点面を共役にするため、電子線を試料に平行照射しても、試料面に集束絞りのフレネルフリンジを発生させないことができる。したがって、このような透過電子顕微鏡の制御方法では、電子線を狭い照射範囲に平行照射して TEM 観察を行うことができる。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】実施形態に係る透過電子顕微鏡の構成を示す図。

【図 2】照射光学系を説明するための図。

【図 3】照射光学系の動作を説明するための図。

【図 4】照射光学系の動作を説明するための図。

【図 5】照射光学系の動作を説明するための図。

【図 6】比較例に係る透過電子顕微鏡の照射光学系の構成を示す図。

20

【図 7】比較例に係る透過電子顕微鏡の照射光学系の動作を説明するための図。

【図 8】比較例に係る透過電子顕微鏡の照射光学系を説明するための図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

以下、本発明の好適な実施形態について図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また、以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【 0 0 1 4 】

1. 電子顕微鏡

まず、本発明の一実施形態に係る透過電子顕微鏡について図面を参照しながら説明する。

30

図 1 は、本発明の一実施形態に係る透過電子顕微鏡 100 の構成を示す図である。

【 0 0 1 5 】

透過電子顕微鏡 100 は、図 1 に示すように、電子線源 10 と、照射光学系 20 と、結像光学系 30 と、撮像装置 40 と、制御部 50 と、を含む。

【 0 0 1 6 】

電子線源 10 は、電子線を放出する。電子線源 10 は、例えば、陰極から放出された電子を陽極で加速して電子線を放出する電子銃である。

【 0 0 1 7 】

照射光学系 20 は、電子線源 10 から放出された電子線を試料 S に照射する。照射光学系 20 は、4 段の集束レンズを備えている。照射光学系 20 は、第 1 集束レンズ 21 と、第 2 集束レンズ 22 と、第 3 集束レンズ 23 と、第 4 集束レンズ 24 と、集束絞り 26 と、対物レンズ 28 と、を含む。

40

【 0 0 1 8 】

第 1 集束レンズ 21 は、電子線源 10 の後段に配置されている。第 2 集束レンズ 22 は、第 1 集束レンズ 21 の後段に配置されている。第 3 集束レンズ 23 は、第 2 集束レンズ 22 の後段に配置されている。第 4 集束レンズ 24 は、第 3 集束レンズ 23 の後段に配置されている。対物レンズ 28 は、第 4 集束レンズ 24 の後段に配置されている。第 1 集束レンズ 21、第 2 集束レンズ 22、第 3 集束レンズ 23、第 4 集束レンズ 24、および対物レンズ 28 は、光軸 L に沿って、この順で配列されている。

【 0 0 1 9 】

50

集束絞り 26 は、第 2 集束レンズ 22 の位置に配置されている。すなわち、集束絞り 26 は、第 2 集束レンズ 22 内に配置されている。

【0020】

照射光学系 20 の機能の詳細については後述する。

【0021】

試料 S は、不図示の試料ホルダーで支持されている。対物レンズ 28 は、例えば、上極と下極を有しており、試料 S は、上極と下極の間に配置されている。

【0022】

結像光学系 30 は、試料 S を透過した電子で透過電子顕微鏡像 (TEM 像) を結像する。TEM 像は、明視野像、暗視野像、および高分解能電子顕微鏡像 (HREM 像) を含む。結像光学系 30 は、対物レンズ 28 と、中間レンズ 32 と、投影レンズ 34 と、を含む。対物レンズ 28 は、照射光学系 20 および結像光学系 30 の両方に含まれる。

10

【0023】

対物レンズ 28 は、試料 S を透過した電子で TEM 像を結像するための初段のレンズである。中間レンズ 32 は、対物レンズ 28 の後段に配置されている。投影レンズ 34 は、中間レンズ 32 の後段に配置されている。

【0024】

中間レンズ 32 は、対物レンズ 28 によって形成される TEM 像に焦点を合わせて、TEM 像を拡大し、投影レンズ 34 の物面に TEM 像を形成する。投影レンズ 34 は、中間レンズ 32 で拡大された TEM 像をさらに拡大し、撮像装置 40 上に結像する。

20

【0025】

上述した照射光学系 20 を構成するレンズおよび結像光学系 30 を構成するレンズは、例えば、コイルに励磁電流を流すことによって、電子線を集束させるための磁場を発生させる電子レンズである。電子レンズでは、励磁電流を変えることによって、レンズの倍率や焦点距離を変えることができる。

【0026】

撮像装置 40 は、結像光学系 30 によって結像された TEM 像を撮影する。撮像装置 40 は、電子を検出する検出器である。撮像装置 40 は、例えば、CCD (Charged-coupled devices) カメラ、CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor) カメラ等のデジタルカメラである。

30

【0027】

制御部 50 は、透過電子顕微鏡 100 を構成する各部を制御する。制御部 50 は、CPU (Central Processing Unit) などのプロセッサと、RAM (Random Access Memory) および ROM (Read Only Memory) などの記憶装置と、を含む。記憶装置には、各種制御を行うためのプログラム、およびデータが記憶されている。制御部 50 の機能は、プロセッサでプログラムを実行することにより実現できる。制御部 50 は、さらに、ユーザーが走査情報を入力するための操作部や、撮影された TEM 像等を表示する表示部を含んでいてもよい。

【0028】

2. 照射光学系

40

図 2 は、照射光学系 20 を説明するための図である。図 2 には、照射光学系 20 の構成と光線を図示している。

【0029】

照射光学系 20 では、第 3 集束レンズ 23 および第 4 集束レンズ 24 は、集束絞り 26 の位置と試料面 2 を共役とする。試料面 2 は、試料 S が配置される位置である。

【0030】

また、照射光学系 20 では、第 1 集束レンズ 21 および第 2 集束レンズ 22 は、第 3 集束レンズ 23 および第 4 集束レンズ 24 が集束絞り 26 の位置と試料面 2 を共役とした状態で、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 を共役にする。

【0031】

50

このように、照射光学系 20 では、第 3 集束レンズ 23 および第 4 集束レンズ 24 は、集束絞り 26 の位置と試料面 2 を共役にするために用いられる。また、第 1 集束レンズ 21 および第 2 集束レンズ 22 は、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 を共役にするために用いられる。

【0032】

照射光学系 20 では、第 1 集束レンズ 21 は、電子線量、すなわち明るさを変えるために用いられる。また、照射光学系 20 では、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 を共役にすることによって、試料 S に電子線を平行照射できる（ケーラー照射）。平行照射とは、試料 S に電子線を平行に照射することをいう。また、照射光学系 20 では、集束絞り 26 の位置と試料面 2 を共役にすることによって、試料面 2 に集束絞り 26 のフレネルフリッジを発生させないことができる。

10

【0033】

図 3 ~ 図 5 は、照射光学系 20 の動作を説明するための図である。なお、図 3 は、照射範囲が第 1 範囲 A1 である場合を示し、図 4 は、照射範囲が第 2 範囲 A2 である場合を示し、図 5 は、照射範囲が第 3 範囲 A3 である場合を示している。なお、第 1 範囲 A1 は、第 2 範囲 A2 よりも狭く、第 2 範囲 A2 は第 3 範囲 A3 よりも狭い。

【0034】

図 3 ~ 図 5 に示すように、照射光学系 20 では、第 2 集束レンズ 22、第 3 集束レンズ 23、および第 4 集束レンズ 24 の励磁を変化させることによって、集束絞り 26 の位置と試料面 2 の共役関係および電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 の共役関係を満たした状態で、電子線の照射範囲を変えることができる。これにより、試料面 2 にフレネルフリッジを発生させずに、電子線を平行照射でき、かつ、照射範囲を変更可能な照射光学系を実現できる。照射光学系 20 では、試料面 2 にフレネルフリッジを発生させないため、例えば、直径 1 μm 以下の非常に小さな照射範囲でも均一な電子線照射が可能である。

20

【0035】

3. 処理

制御部 50 は、試料 S に電子線を平行照射する指示が入力された場合、第 3 集束レンズ 23 および第 4 集束レンズ 24 を、集束絞り 26 の位置と試料面 2 が共役となる第 1 条件に設定する。また、制御部 50 は、第 3 集束レンズ 23 および第 4 集束レンズ 24 が第 1 条件に設定された状態で、第 1 集束レンズ 21 および第 2 集束レンズ 22 を電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 が共役となる第 2 条件に設定する。

30

【0036】

これにより、照射光学系 20 では、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 が共役となり、かつ、集束絞り 26 の位置と試料面 2 が共役となる。この結果、試料 S に電子線を平行照射することができ、かつ、試料面 2 に集束絞り 26 のフレネルフリッジを発生させないことができる。

【0037】

制御部 50 は、照射範囲を第 1 範囲 A1 とする指示が入力された場合、図 3 に示すように、第 2 集束レンズ 22、第 3 集束レンズ 23、および第 4 集束レンズ 24 を、照射範囲が第 1 範囲 A1 となる条件に設定する。制御部 50 は、第 2 集束レンズ 22、第 3 集束レンズ 23、および第 4 集束レンズ 24 を、集束絞り 26 の位置と試料面 2 の共役関係および電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 の共役関係を満たした状態で、電子線の照射範囲が第 1 範囲 A1 となる条件に設定する。

40

【0038】

制御部 50 は、照射範囲を第 2 範囲 A2 とする指示が入力された場合、図 4 に示すように、第 2 集束レンズ 22、第 3 集束レンズ 23、および第 4 集束レンズ 24 を、照射範囲が第 2 範囲 A2 となる条件に設定する。制御部 50 は、第 2 集束レンズ 22、第 3 集束レンズ 23、および第 4 集束レンズ 24 を、集束絞り 26 の位置と試料面 2 の共役関係および電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 の共役関係を満たした状態で、電子線の照射

50

範囲が第 2 範囲 A 2 となる条件に設定する。

【 0 0 3 9 】

制御部 5 0 は、照射範囲を第 3 範囲 A 3 とする指示が入力された場合、図 5 に示すように、第 2 集束レンズ 2 2、第 3 集束レンズ 2 3、および第 4 集束レンズ 2 4 を、照射範囲が第 3 範囲 A 3 となる条件に設定する。制御部 5 0 は、第 2 集束レンズ 2 2、第 3 集束レンズ 2 3、および第 4 集束レンズ 2 4 を、集束絞り 2 6 の位置と試料面 2 の共役関係および電子線源 1 0 と対物レンズ 2 8 の前焦点面 4 の共役関係を満たした状態で、電子線の照射範囲が第 3 範囲 A 3 となる条件に設定する。

【 0 0 4 0 】

このように、制御部 5 0 は、集束絞り 2 6 の位置と試料面 2 の共役関係および電子線源 1 0 と対物レンズ 2 8 の前焦点面 4 の共役関係を満たした状態で、電子線の照射範囲を変える処理を行う。

【 0 0 4 1 】

制御部 5 0 では、例えば、上述した電子線の照射範囲が第 1 範囲 A 1 となる照射光学系 2 0 の条件、電子線の照射範囲が第 2 範囲 A 2 となる照射光学系 2 0 の条件、および電子線の照射範囲が第 3 範囲 A 3 となる照射光学系 2 0 の条件があらかじめ記憶部に記憶されているてもよい。また、制御部 5 0 では、照射範囲から照射光学系 2 0 の条件を導くための関数やテーブルが記憶部に記憶されているてもよい。制御部 5 0 は、記憶部に記憶された条件、関数、またはテーブル等を用いて、入力された照射範囲から照射光学系 2 0 の条件を設定してもよい。

【 0 0 4 2 】

4 . 効果

透過電子顕微鏡 1 0 0 では、照射光学系 2 0 は、第 1 集束レンズ 2 1、第 2 集束レンズ 2 2、第 3 集束レンズ 2 3、第 4 集束レンズ 2 4、集束絞り 2 6、および対物レンズ 2 8 を有している。第 3 集束レンズ 2 3 および第 4 集束レンズ 2 4 は、集束絞り 2 6 の位置と試料面 2 を共役とし、第 1 集束レンズ 2 1 および第 2 集束レンズ 2 2 は、第 3 集束レンズ 2 3 および第 4 集束レンズ 2 4 が集束絞り 2 6 の位置と試料面 2 を共役にした状態で、電子線源 1 0 と対物レンズ 2 8 の前焦点面 4 を共役とする。

【 0 0 4 3 】

透過電子顕微鏡 1 0 0 では、集束絞り 2 6 の位置と試料面 2 が共役であるため、試料面 2 に集束絞り 2 6 のフレネルフリンジを発生させないことができる。さらに、電子線源 1 0 と対物レンズ 2 8 の前焦点面 4 が共役であるため、試料 S に電子線を平行照射できる。したがって、透過電子顕微鏡 1 0 0 では、電子線を試料 S に平行照射しても、試料面 2 に集束絞り 2 6 のフレネルフリンジを発生させないことができる。そのため、透過電子顕微鏡 1 0 0 では、電子線を狭い照射範囲に平行照射して T E M 観察を行うことができる。

【 0 0 4 4 】

透過電子顕微鏡 1 0 0 では、第 2 集束レンズ 2 2、第 3 集束レンズ 2 3、および第 4 集束レンズ 2 4 の励磁を変化させることによって、集束絞り 2 6 の位置と試料面 2 の共役関係および電子線源 1 0 と対物レンズ 2 8 の前焦点面 4 の共役関係を満たした状態で、試料面 2 における電子線の照射範囲を変更する。これにより、集束絞り 2 6 の位置と試料面 2 が共役、かつ、電子線源 1 0 と対物レンズ 2 8 の前焦点面 4 が共役な状態で、電子線の照射範囲を変更できる。

【 0 0 4 5 】

以下、4 段の集束レンズを備える照射光学系 2 0 を、3 段の集束レンズを備えた照射光学系と比較することによって、上述した透過電子顕微鏡 1 0 0 の効果を詳細に説明する。

【 0 0 4 6 】

図 6 は、比較例に係る透過電子顕微鏡の照射光学系 2 0 2 の構成を示す図である。図 7 は、比較例に係る透過電子顕微鏡の照射光学系 2 0 2 の動作を説明するための図である。図 8 は、比較例に係る透過電子顕微鏡の照射光学系 2 0 2 を説明するための図である。

【 0 0 4 7 】

10

20

30

40

50

比較例に係る透過電子顕微鏡の照射光学系 20 は、図 6 に示すように、3 段の集束レンズ（第 1 集束レンズ 21、第 2 集束レンズ 22、第 3 集束レンズ 23）と、集束絞り 26 と、対物レンズ 28 と、を有している。

【0048】

3 段の集束レンズを備えた照射光学系 202 では、図 8 に示すように、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 を共役とすることによって、試料 S に電子線を平行照射できる。また、照射光学系 202 では、図 7 に示すように、第 2 集束レンズ 22 および第 3 集束レンズ 23 の励磁を変化させることによって、電子線の照射範囲を変えることができる。

【0049】

照射光学系 202 では、集束絞り 26 の端にフレネルフリンジが発生する。そのため、電子線の照射範囲が観察視野に対して十分に広い場合には、フレネルフリンジは観察視野内に現れないが、電子線の照射範囲を狭くすると、フレネルフリンジが観察視野内に現れる。

10

【0050】

ここで、集束絞り 26 のフレネルフリンジの原因は、試料面 2 における集束絞り 26 の焦点ずれである。照射光学系 202 では、図 8 に示すように、集束絞り 26 の位置と試料面 2 が共役ではない。そのため、集束絞り 26 の端にフレネルフリンジが発生する。

【0051】

このように、3 段の集束レンズを備えた照射光学系 202 では、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 を共役として平行照射条件を作ることができるが、集束絞り 26 の位置と試料面 2 を共役にできない。

20

【0052】

これに対して、透過電子顕微鏡 100 の照射光学系 20 は、4 段の集束レンズを用いて、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 を共役とし、かつ、集束絞り 26 の位置と試料面 2 を共役とすることができる。さらに、照射光学系 20 では、この 2 つの共役関係を満たしながら、電子線の照射範囲を変えることができる。そのため、照射光学系 20 では、フレネルフリンジを発生させることなく、試料 S に電子線を平行照射できる。

【0053】

透過電子顕微鏡 100 では、上記のように、電子線を狭い照射範囲に平行照射して TEM 観察を行うことができる。そのため、透過電子顕微鏡 100 は、例えば、凍結した試料を、直接、TEM 観察するクライオ TEM 法に有効である。

30

【0054】

凍結した試料を透過電子顕微鏡で観察する場合、観察視野に対して電子線の照射範囲が広いと、観察視野に含まれない領域において、試料が損傷したり、氷が溶けたりしてしまう。例えば、2 μm 径の孔の空いたカーボンフィルム (Quantifoil (登録商標)) を用いて凍結した試料を観察する場合、1 つの孔に配置された試料を複数箇所撮影するためには、電子線を 0.5 μm 径程度まで絞って観察することが望ましい。透過電子顕微鏡 100 では、電子線を 0.5 μm 径程度まで絞って観察しても、フレネルフリンジの影響を受けない。

【0055】

透過電子顕微鏡 100 の制御方法は、第 3 集束レンズ 23 および第 4 集束レンズ 24 を、集束絞り 26 の位置と試料面 2 が共役となる第 1 条件に設定する工程と、第 3 集束レンズ 23 および第 4 集束レンズ 24 が第 1 条件に設定された状態で、第 1 集束レンズ 21 および第 2 集束レンズ 22 を、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 が共役となる第 2 条件に設定する工程と、を含む。そのため、集束絞り 26 の位置と試料面 2 を共役にでき、試料面 2 に集束絞り 26 のフレネルフリンジを発生させないことができる。さらに、電子線源 10 と対物レンズ 28 の前焦点面 4 を共役にできるため、試料 S に電子線を平行照射できる。したがって、透過電子顕微鏡 100 の制御方法では、電子線を試料 S に平行照射しても、試料面 2 に集束絞り 26 のフレネルフリンジを発生させないことができる。そのため、電子線を狭い照射範囲に平行照射して TEM 観察を行うことができる。

40

【0056】

50

本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、さらに種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施形態で説明した構成と実質的に同一の構成を含む。実質的に同一の構成とは、例えば、機能、方法、及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成である。また、本発明は、実施形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

【符号の説明】

【 0 0 5 7 】

2 ... 試料面、 4 ... 前焦点面、 1 0 ... 電子線源、 2 0 ... 照射光学系、 2 1 ... 第 1 集束レンズ、 2 2 ... 第 2 集束レンズ、 2 3 ... 第 3 集束レンズ、 2 4 ... 第 4 集束レンズ、 2 6 ... 集束絞り、 2 8 ... 対物レンズ、 3 0 ... 結像光学系、 3 2 ... 中間レンズ、 3 4 ... 投影レンズ、 4 0 ... 撮像装置、 5 0 ... 制御部、 1 0 0 ... 透過電子顕微鏡、 2 0 2 ... 照射光学系

10

20

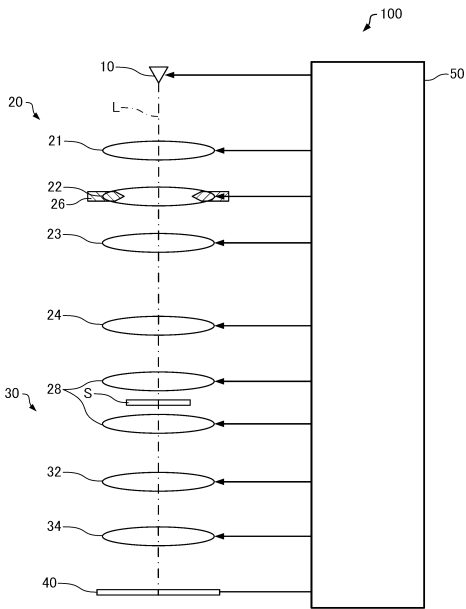
30

40

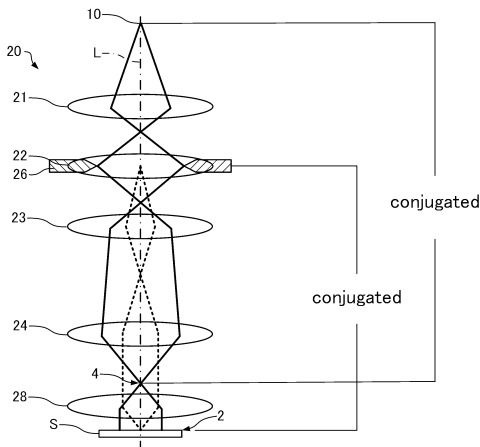
50

【図面】

【図 1】



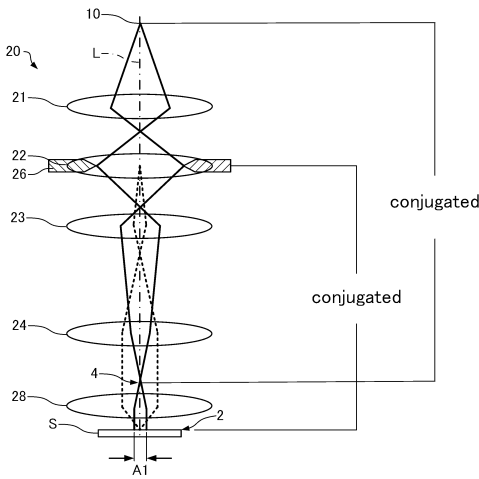
【図 2】



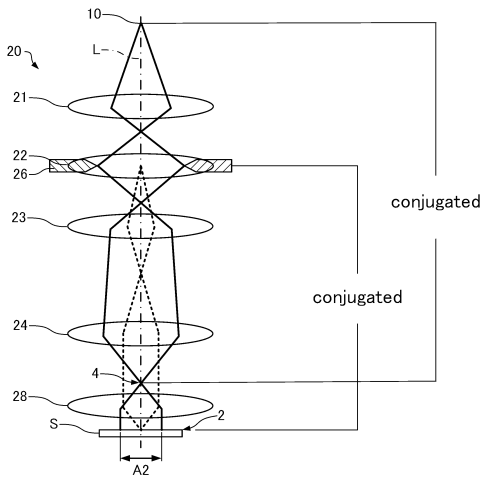
10

20

【図 3】



【図 4】

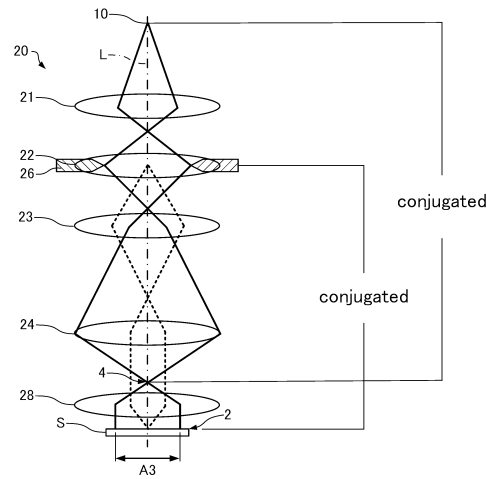


30

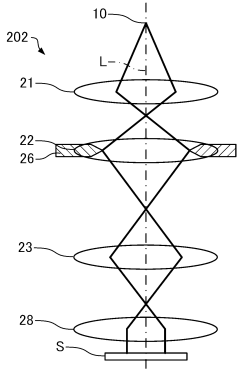
40

50

【図 5】

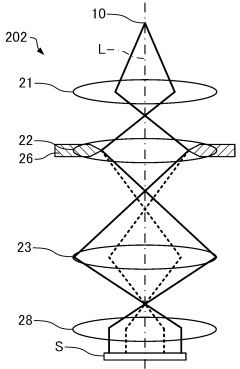


【図 6】

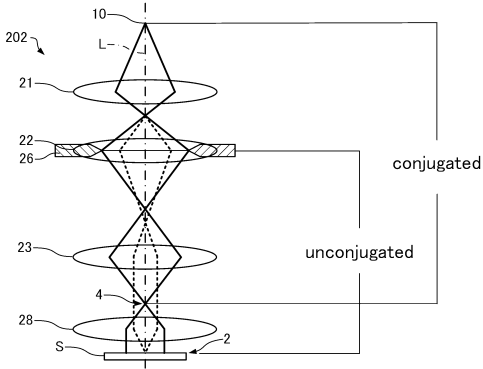


10

【図 7】



【図 8】



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第 2 0 1 9 / 0 2 1 4 2 0 (W O , A 1)
 米国特許出願公開第 2 0 1 0 / 0 0 3 8 5 3 7 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 1 J 3 7 / 2 1
 H 0 1 J 3 7 / 2 6
 H 0 1 J 3 7 / 0 9