

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5380366号  
(P5380366)

(45) 発行日 平成26年1月8日(2014.1.8)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 J 37/295 (2006.01)	HO 1 J 37/295
HO 1 J 37/26 (2006.01)	HO 1 J 37/26
HO 1 J 37/09 (2006.01)	HO 1 J 37/09 A
HO 1 J 37/24 (2006.01)	HO 1 J 37/24

請求項の数 9 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2010-122448 (P2010-122448)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成22年5月28日 (2010.5.28)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2011-249191 (P2011-249191A)		東京都港区西新橋一丁目24番14号
(43) 公開日	平成23年12月8日 (2011.12.8)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成24年2月27日 (2012.2.27)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	長沖 功
			茨城県ひたちなか市大字市毛882番地
			株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内
		(72) 発明者	谷垣 俊明
			茨城県ひたちなか市大字市毛1040番地
			株式会社日立ハイテックマニファクチャ&サービス内
		審査官	遠藤 直恵

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 透過型干渉顕微鏡

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子線の光源と、前記光源から放出された電子線を試料に照射するための照射光学系と、前記光源と前記試料の間に照射系バイプリズムを備え、試料位置において真空位置と試料位置を独立に照射する機能を有し、前記試料を保持する機構と、前記試料の像を形成するための結像レンズ系と、前記結像レンズ系に1段以上の結像系バイプリズムを備え、試料位置において真空位置を通過した電子線と試料を透過した電子線の干渉縞を観察もしくは記録するための装置を備えることを特徴とする透過型干渉顕微鏡。

【請求項2】

請求項1において、  
二穴を有する対物絞りを備えることを特徴とする透過型干渉顕微鏡。

【請求項3】

請求項1において、  
照射系レンズ電流と連動し、前記照射系バイプリズムを光軸で回転させる機能を有することを特徴とする透過型干渉顕微鏡。

【請求項4】

請求項2において、  
照射系レンズ電流と連動し、前記対物絞りを光軸で回転させる機能を有することを特徴とする透過型干渉顕微鏡。

【請求項5】

請求項 2 において、  
前記二六の位置関係は異なり、前記試料位置において真空位置を通過した電子線と試料を透過した電子線それぞれを通過させる位置であることを特徴とする透過型干涉顕微鏡。

【請求項 6】

請求項 1 において、  
真空位置を通過した電子線と試料を透過した電子線の偏向角度を変化させることで、干涉縞の間隔を変化させる機能を有することを特徴とする透過型干涉顕微鏡。

【請求項 7】

請求項 3 において、  
照射系レンズ電流と前記照射系バイプリズムの光軸回転を連動させる際に、特定の目的で、決められた連動動作をさせるための情報を記録する記憶部と、記録した情報を元に決められた連動動作を行わせることが可能な制御装置とを備えたことを特徴とする透過型干涉顕微鏡。

10

【請求項 8】

請求項 4 において、  
照射系レンズ電流と、前記対物絞りの光軸回転を連動させる際に、特定の目的で、決められた連動動作をさせるための情報を記録する記憶部と、記録した情報を元に決められた連動動作を行わせることが可能な制御装置とを備えたことを特徴とする透過型干涉顕微鏡。

【請求項 9】

請求項 1 において、  
結像系レンズ電流と前記結像系バイプリズムの光軸回転を連動させる際に、特定の目的で、決められた連動動作をさせるための情報を記録する記憶部と、記録した情報を元に決められた連動動作を行わせることが可能な制御装置とを備えたことを特徴とする透過型干涉顕微鏡。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線干涉装置に関するもので、電子ビームを用いた透過型干涉顕微鏡に関する。

【背景技術】

30

【0002】

電子線バイプリズム干涉装置は、電子線の位相変化を計測することにより、物質あるいは真空中の電磁場を定量的に計測する手法である。

【0003】

図1に従来の電子線ホログラフィー法における干涉光学系を示す。

【0004】

図1において、電子源1より発せられた電子線2は図示するように進み、収束レンズ3により収束され、対物レンズ4を通過する。

【0005】

対物レンズ4内の光軸片側に試料5が置かれ、試料を透過（通過）した電子線6と試料を透過していないで真空を通過する電子線7は、拡大レンズ8により拡大され、バイプリズム9により内側に曲げられ、スクリーン10において干涉縞として検出される。干涉縞から電子線の位相変化を求める。

40

【0006】

この方法においては、試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7は試料位置において隣り合っており、電子線照射領域を小さくするに従い互いの距離は近くなり、観察領域は試料のエッジ領域しか観察できなくなってくる。

【0007】

これによる観察領域が制限される問題と、試料に収束した電子線が照射されることによる帯電が真空を通過する電子線7に影響を与え、完全な干涉縞を得ることが困難になって

50

くることが問題点であった。これを解決するには、試料面における真空を通過する電子線と試料を透過する電子線の位置を離すことが必要である。

【0008】

電子線を照射系に配置したバイプリズムで分離して、試料面の異なる領域を照射する方法が、走査干渉電子顕微鏡として特開2006-164861に提案されている。

【0009】

この手法は試料面において、真空領域と試料上を収束電子プローブで照射し、下側の検出器にて真空を通過する電子線と試料を透過する電子線の干渉縞を検出し、位相情報を得ながら、プローブもしくは試料を走査し試料面内における電磁場情報を得る方法である。

【0010】

この手法の場合、一度条件を決めればデータ取得が容易であること、倍率変更が容易であること、S/N比が高いことなどがこの手法の特徴である一方、試料を収束電子線が照射することになり、走査中のある観察点においてコーン状の電子プローブが照射した領域全ての電磁場情報を得るため、試料に厚さがある場合には、コーン状の電子プローブの径だけ分解能が広がるため、トモグラフィー法の様な純粋な透過像を必要とする手法への適用は不向きであるといえる。

【0011】

試料帯電の影響をあまり受けずに、電子線ホログラフィー法による高分解能トモグラフィー解析を簡便に行う為には、試料面において真空を通過する電子線と試料を透過する電子線の距離を置きつつ平行ビームで試料を照射することが求められるが、従来のホログラフィー法や走査干渉電子顕微鏡ではこの課題を解決できなかった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】特開2006-216345公報

【特許文献2】特開2006-164861公報

【特許文献3】特開2006-313069公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明は干渉装置における、試料への荷電粒子照射方法における上記問題点を解決し、純粋な透過情報を得ながら、観察領域に自由度を与えることであり、さらに最適化した照射条件により、精度の高い干渉像を高い倍率で得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記課題を解決するため、以下の手段を発明した。発明の概略図を図2に示す。

【0015】

電子源1から発せられた電子線は収束レンズ3の下に配備されたバイプリズム11によって分離され、試料を透過する電子線6、真空を通過する電子線7として対物レンズ4に入る。電子線は、対物レンズ4の前磁場で曲げられ、試料位置と真空をそれぞれ適当な距離はなれた状態で、平行ビームにて照射する。

【0016】

試料の周期性により回折した回折波12は、真空を通過する電子線7と試料を透過する電子線6のみを通過させる二穴を有する対物絞り13によってカットされ、スクリーンには到達しない。但し、目的に応じて二穴を有する対物絞り13は入れたり、抜いたりすることが可能である。

【0017】

図3に本発明の電子線ホログラフィー法における干渉光学系の説明図(全体)を示す。回折波12と二穴を有する対物絞り13は図3には示していない。図2で説明した経路で試料を透過する電子線6、真空を通過する電子線7はそれぞれ拡大レンズ8によって拡大

10

20

30

40

50

され、バイプリズム 9 によって曲げられ、スクリーン 10 に干渉縞を作る。電子線の検出方法および、検出された干渉縞からの位相解析はすでに確立された手法が一般的に知られているため、ここでは特に記述しない。

【発明の効果】

【0018】

本発明を用いれば、任意の距離で、試料を透過する電子線 6、真空を通過する電子線 7 を調節することができ、試料はほぼ平行ビームによって照射される。本発明は干渉装置における、試料への荷電粒子照射方法における問題点を解決し、平行ビームによる透過情報を得ながら、観察領域に自由度を与えることが可能であり、最適化した照射条件により、試料の帯電の影響を受けていない真空を通過する電子線 7 を得ることができ、精度の高い干渉像を高い倍率で得ることを可能とする。

10

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図 1】従来の電子線ホログラフィー法における干渉光学系の模式図である。

【図 2】本発明の電子線ホログラフィー法における照射系、対物レンズまわりにおける干渉光学系の模式図である。

【図 3】本発明の電子線ホログラフィー法における干渉光学系全体の模式図である。

【図 4】本発明による電子線ホログラフィー装置の実施例 1 を示す模式図である。

【図 5】本発明による電子線ホログラフィー装置の二穴対物絞りの模式図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0020】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【実施例】

【0021】

図 4 は本発明による電子線ホログラフィー装置の実施例 1 を示す模式図である。

【0022】

本発明による電子線ホログラフィー装置は汎用透過型電子顕微鏡と同様に鏡体 14、制御 PC 15、モニタ 16 を有し、鏡体 14 は図示されない真空排気装置により真空排気されている。鏡体 14 は、電子源 1、第一引き出し電極 17、第二引き出し電極 18、加速電極 19、収束レンズ 3、バイプリズム 11、対物レンズ 4、試料微動機構 20、二穴を有する対物絞り 13、対物絞り微動機構 21、拡大レンズ 8、バイプリズム 9、電子線検出器 22 で構成される。レンズ、バイプリズム、試料微動機構、対物絞り微動機構、電子線検出器は、それぞれ制御 PC 15 により、D/A 変換器 22 を介して制御される。

30

【0023】

制御 PC 15 は図示されないキーボード、マウスなどの情報入力を備え、装置ユーザはこれらと制御 PC 15 に組み込まれている Graphical User Interface (GUI) ソフトを使用して装置を制御することができる。バイプリズム 11、バイプリズム 9、二穴を有する対物絞り 13 以外は通常の汎用透過型電子顕微鏡とほぼ同様の構成であり、図示されない変更コイル、非点補正コイルを有するものとする。

【0024】

40

実施例における電子線の経路を説明する。電子源 1 から発せられた電子線は仮想電子源 24 で一度収束し、また広がりながら図 4 における下方向に鏡体 14 内を進む。

【0025】

収束レンズ 3 により収束された後、収束レンズの下に配備されたバイプリズム 11 によって分離される。バイプリズム 11 は制御 PC 15 により任意の電位を加えることが可能で、対物レンズ内の試料 5 の位置における、試料を透過する電子線 6、真空を通過する電子線 7 の距離を任意に調整することができる。

【0026】

試料 5 は試料微動機構 20 により任意の位置に移動可能で、観察領域を変更することができる。試料微動機構 20 は機械動作のみによって機能を有してもいいし、機械動作とピ

50

エゾ素子を有する電圧機構を有しても良い。

【0027】

試料を透過する電子線は、試料が周期性の構造を有する場合、回折を起こし、対物レンズの後焦点面に回折スポットをつくる。電子線干渉装置において、試料を透過する電子線6、真空を通過する電子線7は干渉縞を作る為に必要であるが、回折波は必ずしも必要な電子線成分ではない場合がある。むしろ、高分解能観察においては、試料を透過する電子線6、真空を通過する電子線7と回折波が干渉し、干渉縞から再生像を作成する場合にノイズとなる可能性がある。

【0028】

本発明の電子線ホログラフィー装置では、対物絞りの後焦点面25に試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7がそれぞれ焦点を結ぶため、対物絞りは二つの穴を有し、試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7がそれぞれの穴を通過する必要がある。また、試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7の試料位置における距離が変化すると、後焦点面25における距離も変化するため、二穴を有する対物絞り13は距離の異なる何パターンかの二穴を有している必要がある。

10

【0029】

状況に応じて対物絞りを変更する必要があるが、対物絞り微動機構21は制御PC15によって操作され、適切は穴距離、絞り位置に配備される。試料に対する、干渉縞の方向や、試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7の位置関係を試料面内回転させることが、試料構造によって必要となる場合があるが、このような場合は、二穴を有する対物絞り13全体を回転させる機構を備えるか、もしくは、あらかじめ方向の異なる二穴位置関係を有する二穴対物絞りを備えることが有効である。

20

【0030】

図5は二穴対物絞りプレートの一例を示す。二穴対物絞りプレート26は穴距離の異なるパターンA27、パターンB28、パターンC29を有し、これらについて向きの異なる横パターン30を有する。

【0031】

これら複数のパターンにより、試料照射条件を変更した場合でも、回折波をカットしながら、試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7を通過させることができる。モータードライブ対物絞りの実用例と同様に、各対物絞り位置を制御PC15にメモリしておけば、簡便に絞りパターンの座標を呼び出すことで、絞りパターンを変更することができる。

30

【0032】

ある特定の対物レンズ電流においては、収束レンズ3のレンズ電流とバイプリズム11の向き、バイプリズム11の電位によって、試料面上での試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7の位置関係および距離は決定される。

【0033】

対物絞りの穴パターンが決まっている場合、逆に収束レンズ3のレンズ電流とバイプリズム11の向き、バイプリズム11の電位を調整することで、試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7を所定パターンの二穴に通過させることができる。

40

【0034】

また、材料解析においては、同一箇所でも倍率を変えて観察することが良く行われるが、この場合、明るさを変化させるために収束レンズ3のレンズ電流を変化させる必要がある。ある調整された状態から、収束レンズ3のレンズ電流だけを変化させると、電子線が顕微鏡内を螺旋状に回転しながら収束される関係上、試料位置における透過する電子線6と真空を通過する電子線7の位置関係も変わり、後焦点面における電子線6と真空を通過する電子線7の位置関係も変わる。従って、収束レンズ3のレンズ電流を変化させ明るさを変化させても、試料面における試料を透過する電子線6と真空を通過する電子線7の位置関係を同じにする為には、収束レンズ電流と連動して、バイプリズムの向きを面内回転させる必要がある。

50

## 【 0 0 3 5 】

この連動関係は装置固有に決まった関係となるため、制御PC 1 5 に連動操作のデータファイルをメモリしておき、収束レンズ電流を変化させると同時に呼び出し、バイプリズムの向きを回転させることができる。上記制御により、ユーザはストレス無く、明るさを変更することができ、透過する電子線 6 と真空を通過する電子線 7 の試料面での関係を容易に保持することができる。

## 【 0 0 3 6 】

試料を透過する電子線 6、真空を通過する電子線 7 はそれぞれ拡大レンズ 8 によって拡大され、バイプリズム 9 によって曲げられ、電子線検出器 2 2 上で干渉縞を作る。試料と電子線検出器 2 2 の間には図示されない複数の拡大レンズ、複数のバイプリズムを装備可能で、任意の干渉条件を作ることができる。

10

## 【 0 0 3 7 】

試料と電子線検出器 2 2 の間に複数のバイプリズムを装備するホログラフィー電子顕微鏡に関しては、特開2006-216345、特開2006-313069に詳細が開示されているので、ここでは記述しないが、照射系のレンズ電流とバイプリズムの向きを連動させることで、特定の干渉条件を安定して提供できることを説明したように、結像系においても同様に結像系レンズ電流と結像系バイプリズムそれぞれの向きを連動させ回転させることは有効である。

## 【 0 0 3 8 】

これら連動条件は制御PC15にメモリされ、必要なときに呼び出され適切な操作を行う。電子線検出器 2 2 にて検出された干渉縞は即座にD/A変換器 2 3 を介し制御PC 1 5 で再生処理され、再生像がモニタ 1 6 に映し出される。再生処理は既に確立された方法が既知であるためここでは詳細を記載しない。

20

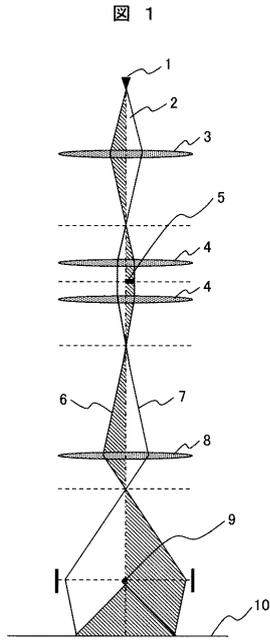
## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 3 9 】

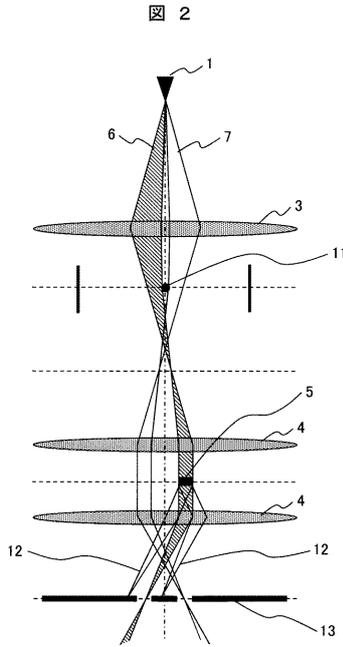
1 ... 電子源、2 ... 電子線、3 ... 収束レンズ、4 ... 対物レンズ、5 ... 試料、7 ... 試料を透過する電子線、8 ... 拡大レンズ、9 ... バイプリズム、10 ... スクリーン、11 ... バイプリズム、12 ... 回折波、13 ... 二穴を有する対物絞り、14 ... 鏡体、15 ... 制御PC、16 ... モニタ、17 ... 第一引き出し電極、18 ... 第二引き出し電極、19 ... 加速電極、20 ... 試料微動機構、21 ... 対物絞り微動機構、22 ... 電子線検出器、23 ... D/A変換器、24 ... 仮想電子源、25 ... 後焦点面、26 ... 二穴対物絞りプレート、27 ... パターンA、28 ... パ

30

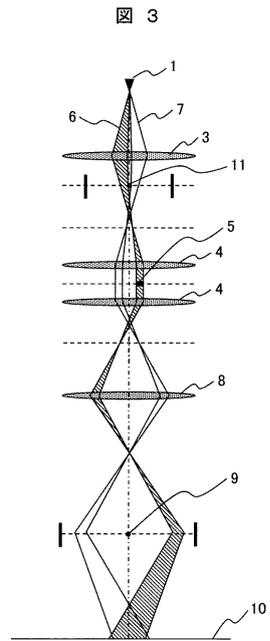
【図 1】



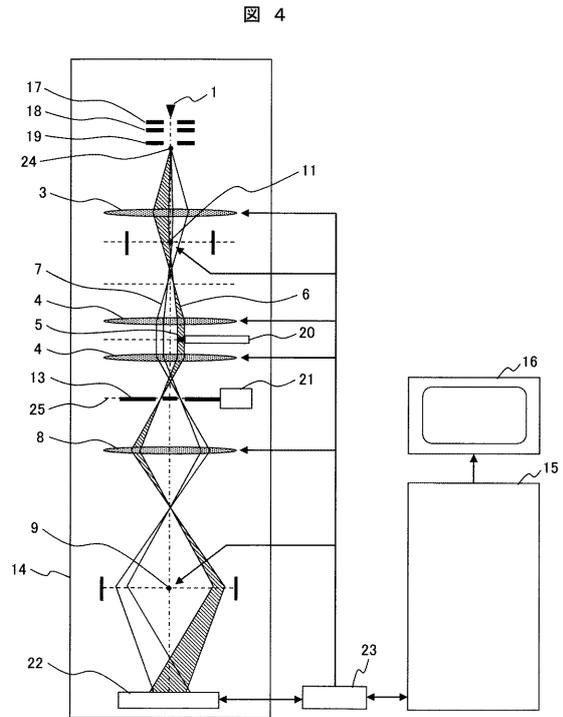
【図 2】



【図 3】

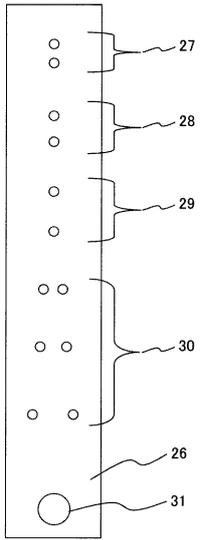


【図 4】



【 5 】

5



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-164861(JP,A)  
特開2006-216345(JP,A)  
特開2008-021626(JP,A)  
特開2006-313069(JP,A)  
特開平07-006725(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/295  
H01J 37/09  
H01J 37/24  
H01J 37/26