

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-15158
(P2022-15158A)

(43)公開日 令和4年1月21日(2022.1.21)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 J 37/28 (2006.01)	H 0 1 J 37/28	C 5 C 0 3 3
H 0 1 J 37/244 (2006.01)	H 0 1 J 37/244	
H 0 1 J 37/147 (2006.01)	H 0 1 J 37/147	A
H 0 1 J 37/05 (2006.01)	H 0 1 J 37/05	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全17頁)

(21)出願番号	特願2020-117828(P2020-117828)	(71)出願人	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
(22)出願日	令和2年7月8日(2020.7.8)	(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	阿井 晴佳 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
		(72)発明者	齊藤 隆光 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
		(72)発明者	山崎 和也 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 最終頁に続く

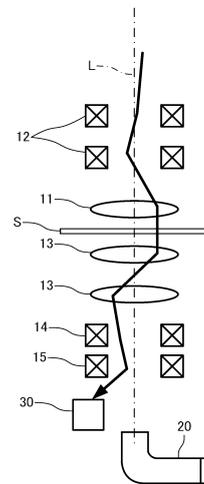
(54)【発明の名称】 走査透過電子顕微鏡

(57)【要約】

【課題】2つの検出器を移動させることなく、2つの検出器を用いて試料を透過した電子線を検出可能な走査透過電子顕微鏡を提供する。

【解決手段】走査透過電子顕微鏡100は、電子線を放出する電子源と、電子線を集束して試料に照射する照射レンズ系11と、電子線で試料を走査するための第1偏向器12と、試料Sを透過した電子線を偏向する第2偏向器15と、試料Sを透過した電子線を検出する第1検出器20と、試料Sを透過した電子線を検出する第2検出器30と、を含み、第2偏向器15は、電子線が第1検出器20に入射する第1状態と、電子線が第2検出器30に入射する第2状態と、を切り替える。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子線を放出する電子源と、
 前記電子源から放出された電子線を集束して試料に照射する照射レンズ系と、
 前記電子源から放出された電子線で前記試料を走査するための第 1 偏向器と、
 前記試料を透過した電子線を偏向する第 2 偏向器と、
 前記試料を透過した電子線を検出する第 1 検出器と、
 前記試料を透過した電子線を検出する第 2 検出器と、
 を含み、
 前記第 2 偏向器は、電子線が前記第 1 検出器に入射する第 1 状態と、電子線が前記第 2 検出器に入射する第 2 状態と、を切り替える、走査透過電子顕微鏡。 10

【請求項 2】

請求項 1 において、
 前記第 1 偏向器および前記第 2 偏向器を制御する制御部を含み、
 前記制御部は、
 前記第 1 偏向器に電子線を第 1 方向に移動させて、第 1 走査線を引く処理と、
 前記第 1 偏向器に電子線を前記第 1 方向とは反対方向の第 2 方向に移動させて、前記第 1 走査線と同じ位置に第 2 走査線を引く処理と、
 前記第 1 走査線が引かれている間は前記第 1 状態となり、前記第 2 走査線が引かれている間は前記第 2 状態となるように前記第 2 偏向器を動作させる処理と、 20
 を行う、走査透過電子顕微鏡。

【請求項 3】

請求項 1 において、
 前記第 1 偏向器および前記第 2 偏向器を制御する制御部を含み、
 前記制御部は、
 前記第 1 偏向器に、前記試料上の各測定点に電子線を順に照射させる処理と、
 前記第 2 偏向器に、前記試料上の各測定点において、前記第 1 状態と前記第 2 状態とを切り替えさせる処理と、
 を行う、走査透過電子顕微鏡。 30

【請求項 4】

請求項 1 において、
 前記第 1 偏向器および前記第 2 偏向器を制御する制御部を含み、
 前記制御部は、
 前記第 1 偏向器に電子線で前記試料上の測定対象領域を走査させ、かつ、前記第 1 状態となるように前記第 2 偏向器を動作させる処理と、
 前記第 1 状態となるように前記第 2 偏向器を動作させる処理の後に、前記第 1 偏向器に電子線で前記測定対象領域を走査させ、かつ、前記第 2 状態となるように前記第 2 偏向器を動作させる処理と、
 を行う、走査透過電子顕微鏡。 40

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項において、
 前記第 1 検出器は、電子エネルギー損失分光器であり、
 前記第 2 検出器は、明視野検出器である、走査透過電子顕微鏡。 40

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項において、
 前記試料を透過した電子線を検出する第 3 検出器を含み、
 前記第 2 偏向器は、前記第 1 状態と、前記第 2 状態と、電子線が前記第 3 検出器に入射する第 3 状態と、を切り替える、走査透過電子顕微鏡。 50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、走査透過電子顕微鏡に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

走査透過電子顕微鏡では、様々な分析を行うために、複数の検出器が搭載されている場合がある。走査透過電子顕微鏡に搭載される検出器として、例えば、明視野STEM検出器や、暗視野STEM検出器、エネルギー分散型X線検出器、電子エネルギー損失分光器などが挙げられる。

【 0 0 0 3 】

例えば、特許文献1には、暗視野STEM検出器と電子エネルギー損失分光器が搭載された走査透過電子顕微鏡が開示されている。暗視野STEM検出器は、円環状の検出器であり、試料で散乱された散乱波を検出する。電子エネルギー損失分光器は光軸上に配置される検出器であり、試料を透過する透過波を検出する。そのため、走査透過電子顕微鏡では、暗視野STEM検出器と電子エネルギー損失分光器を用いて、暗視野STEM像とEELSスペクトルを同時に取得することができる。

10

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献1 】 特開2003 - 249186号公報

【 発明の概要 】

20

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

上記のように、走査透過電子顕微鏡では、暗視野STEM像とEELSスペクトルを同時に取得できる。しかしながら、明視野STEM検出器と電子エネルギー損失分光器は、ともに、光軸上に配置されるため、明視野STEM像とEELSスペクトルを同時に取得することはできない。

【 0 0 0 6 】

したがって、試料上の同じ領域で、明視野STEM像とEELSスペクトルを得るためには、例えば、明視野STEM検出器を用いて明視野STEM像を取得した後に、明視野STEM検出器を光軸上から退避させてから、電子エネルギー損失分光器を用いてEELSスペクトルを取得しなければならない。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

本発明に係る走査透過電子顕微鏡の一実施形態は、

電子線を放出する電子源と、

前記電子源から放出された電子線を集束して試料に照射する照射レンズ系と、

前記電子源から放出された電子線で前記試料を走査するための第1偏向器と、

前記試料を透過した電子線を偏向する第2偏向器と、

前記試料を透過した電子線を検出する第1検出器と、

前記試料を透過した電子線を検出する第2検出器と、

40

を含み、

前記第2偏向器は、電子線が前記第1検出器に入射する第1状態と、電子線が前記第2検出器に入射する第2状態と、を切り替える。

【 0 0 0 8 】

このような走査透過電子顕微鏡では、第1検出器および第2検出器を移動させることなく、第1検出器および第2検出器で試料を透過した電子線を検出できる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図1 】 実施形態に係る走査透過電子顕微鏡の構成を示す図。

【 図2 】 第2偏向器の動作を説明するための図。

50

- 【図 3】第 2 偏向器の動作を説明するための図。
- 【図 4】電子プローブの走査を説明するための図。
- 【図 5】第 1 偏向器を動作させるための走査信号を示すグラフ。
- 【図 6】第 2 偏向器を動作させるための偏向信号を示すグラフ。
- 【図 7】従来の走査透過電子顕微鏡の動作を説明するための図。
- 【図 8】第 1 変形例に係る走査透過電子顕微鏡の構成を示す図。
- 【図 9】第 2 偏向器の動作を説明するための図。
- 【図 10】電子プローブの走査を説明するための図。
- 【図 11】第 1 偏向器を動作させるための走査信号を示すグラフ。
- 【図 12】第 2 偏向器を動作させるための偏向信号を示すグラフ。 10
- 【図 13】第 2 変形例に係る走査透過電子顕微鏡の第 2 偏向器を動作させるための偏向信号を示すグラフ。
- 【図 14】電子プローブの走査を説明するための図。
- 【図 15】第 1 偏向器を動作させるための走査信号を示すグラフ。
- 【図 16】第 2 偏向器を動作させるための偏向信号を示すグラフ。
- 【図 17】第 1 偏向器を動作させるための走査信号を示すグラフ。
- 【図 18】第 2 偏向器を動作させるための偏向信号を示すグラフ。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0010】
- 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。 20
- 【0011】
1. 走査透過電子顕微鏡の構成
- まず、本発明の一実施形態に係る走査透過電子顕微鏡について図面を参照しながら説明する。図 1 は、本実施形態に係る走査透過電子顕微鏡 100 の構成を示す図である。
- 【0012】
- 走査透過電子顕微鏡 100 は、図 1 に示すように、電子源 10 と、照射レンズ系 11 と、第 1 偏向器 12 と、結像レンズ系 13 と、EELS 用偏向器 14 と、第 2 偏向器 15 と、第 1 検出器 20 と、第 2 検出器 30 と、制御部 40 と、データ処理部 50 と、を含む。 30
- 【0013】
- 電子源 10 は、電子線を放出する。電子源 10 は、例えば、陰極から放出された電子を陽極で加速し電子線を放出する電子銃である。
- 【0014】
- 照射レンズ系 11 は、電子源 10 で発生した電子線を試料 S に照射する。照射レンズ系 11 は、電子線を集束させて電子プローブを形成する。照射レンズ系 11 は、例えば、コンデンサーレンズや、対物レンズの前方磁界を含む。
- 【0015】
- 第 1 偏向器 12 は、電子源 10 から放出され、試料 S に照射される電子線を偏向させる。第 1 偏向器 12 は、電子プローブで試料 S を走査するための走査偏向器として機能する。 40
- 【0016】
- 図示はしないが、走査透過電子顕微鏡 100 は、試料ステージを備えており、試料 S は試料ステージで位置決めされる。試料 S は、照射レンズ系 11 と結像レンズ系 13 の間に配置されている。具体的には、試料 S は、対物レンズの前方磁界と、対物レンズの後方磁界との間に配置されている。
- 【0017】
- 結像レンズ系 13 は、試料 S を透過した電子線（透過電子線）を第 1 検出器 20 および第 2 検出器 30 に導く。結像レンズ系 13 は、例えば、対物レンズの後方磁界や、中間レンズ、投影レンズなどを含む。
- 【0018】 50

EELS用偏向器14は、透過電子線を偏向させて、第1検出器20に導く。EELS用偏向器14は、光軸Lに沿って進行する透過電子線を偏向させる。光軸Lは、走査透過電子顕微鏡100を構成する光学系（照射レンズ系11および結像レンズ系13）の光軸である。

【0019】

第2偏向器15は、透過電子線を偏向させる。第2偏向器15は、第1検出器20および第2検出器30の前段に配置されている。第2偏向器15は、光軸Lに沿って進行する透過電子線を偏向させる。第2偏向器15は、磁界型偏向器であってもよいし、静電型偏向器であってもよい。

【0020】

走査透過電子顕微鏡100では、第2偏向器15によって、透過電子線が第1検出器20に入射する第1状態と、透過電子線が第2検出器30に入射する第2状態と、を切り替えることができる。

【0021】

第1検出器20は、例えば、電子エネルギー損失分光器である。ここで、試料Sに入射した電子が試料Sを構成する原子に衝突するとき、結晶中の電子や結晶格子と相互作用してそのエネルギーを一部失って散乱される電子を非弾性散乱電子という。電子エネルギー損失分光器は、この非弾性散乱電子のエネルギーを分光する。これにより、電子エネルギー損失スペクトル（以下、「EELSスペクトル」ともいう）を得ることができる。第1検出器20は、光軸L上に配置されている。

【0022】

第2検出器30は、例えば、明視野STEM検出器である。明視野STEM検出器は、透過電子線のうち、試料Sで散乱せずに透過した電子線および試料Sで小さい角度で散乱した電子を検出する。これにより、明視野STEM像を得ることができる。第2検出器30は、光軸Lから外れた位置に配置されている。すなわち、第2検出器30は、光軸L上に配置されていない。

【0023】

なお、図示はしないが、第2検出器30が光軸L上に配置され、第1検出器20が光軸Lから外れた位置に配置されてもよい。

【0024】

制御部40は、第1偏向器12および第2偏向器15を制御する。制御部40は、例えば、CPU（Central Processing Unit）および記憶装置（RAM（Random Access Memory）およびROM（Read Only Memory）など）を含む。制御部40では、CPUで記憶装置に記憶されたプログラムを実行することにより、各種計算処理、各種制御処理を行う。なお、制御部40の機能の少なくとも一部を、ASIC（ゲートアレイ等）などの専用回路により実現してもよい。

【0025】

データ処理部50は、第1検出器20における透過電子線の検出結果に基づいて、試料S上の各測定点におけるEELSスペクトルを生成する。データ処理部50は、例えば、各測定点におけるEELSスペクトルに基づいて、元素の分布を示す画像を生成する。

【0026】

また、データ処理部50は、第2検出器30における透過電子線の検出結果に基づいて、明視野STEM像を生成する。

【0027】

データ処理部50は、例えば、CPUおよび記憶装置を含む。データ処理部50では、CPUで記憶装置に記憶されたプログラムを実行することにより、各種計算処理、各種制御処理を行う。なお、データ処理部50の機能の少なくとも一部を、ASIC（ゲートアレイ等）などの専用回路により実現してもよい。

【0028】

2. 動作

10

20

30

40

50

走査透過電子顕微鏡 100 では、第 2 偏向器 15 を動作させることによって、明視野 STEM 像のデータと、EELS スペクトルマッピングのデータと、をほぼ同時に取得できる。EELS スペクトルマッピングは、電子プローブで試料 S 上を走査しながら、各測定点（各ピクセル）ごとに EELS スペクトルを取得する手法である。

【0029】

図 2 および図 3 は、第 2 偏向器 15 の動作を説明するための図である。図 2 は、透過電子線が第 1 検出器 20 に入射する第 1 状態を示し、図 3 は、透過電子線が第 2 検出器 30 に入射する第 2 状態を示している。

【0030】

走査透過電子顕微鏡 100 は、図 2 に示す透過電子線が第 1 検出器 20 に入射する第 1 状態と、図 3 に示す透過電子線が第 2 検出器 30 に入射する第 2 状態と、をとることができる。走査透過電子顕微鏡 100 では、第 2 偏向器 15 によって、第 1 状態と第 2 状態を切り替えることができる。

10

【0031】

図 4 は、電子プローブの走査を説明するための図である。図 5 は、第 1 偏向器 12 を動作させるための走査信号 S1 (X), S1 (Y) を示すグラフである。なお、走査信号 S1 (X) は、X 方向に電子プローブを移動させるための走査信号であり、走査信号 S1 (Y) は、Y 方向に電子プローブを移動させるための走査信号である。図 5 に示すグラフの横軸 T は時間であり、縦軸 I は信号強度である。

【0032】

まず、電子プローブを + X 方向（第 1 方向）に移動させて走査線 L1（第 1 走査線の一例）を引く。次に、電子プローブを + X 方向とは反対方向の - X 方向（第 2 方向）に移動させて走査線 L1 と同じ位置に走査線 L2（第 2 走査線）を引く。すなわち、走査線 L1 の始点は走査線 L2 の終点であり、走査線 L1 の終点は走査線 L2 の始点である。走査線 L2 を引いた後、電子プローブを + Y 方向に移動させる。この工程を繰り返すことによって、試料 S 上を走査する。

20

【0033】

図 6 は、第 2 偏向器 15 を動作させるための偏向信号 S2 を示すグラフである。

【0034】

図 6 に示すように、第 1 偏向器 12 が電子プローブを + X 方向に移動させて走査線 L1 を引いている間は、第 2 偏向器 15 は透過電子線を偏向させない。そのため、走査透過電子顕微鏡 100 は、図 2 に示す透過電子線が第 1 検出器 20 に入射する第 1 状態となる。第 1 偏向器 12 が電子プローブを - X 方向に移動させて走査線 L2 を引いている間は、第 2 偏向器 15 は透過電子線を偏向させる。そのため、走査透過電子顕微鏡 100 は、図 3 に示す透過電子線が第 2 検出器 30 に入射する第 2 状態となる。したがって、走査線 L1 を引いている間は、第 1 検出器 20 で透過電子線が検出され、走査線 L2 を引いている間は、第 2 検出器 30 で透過電子線が検出される。

30

【0035】

走査透過電子顕微鏡 100 では、試料 S 上の任意の箇所では透過電子線を第 1 検出器 20 が検出してから、同一箇所では透過電子線を第 2 検出器 30 が検出するまでの時間が、走査線 L1 を引き始めてから次の走査線 L2 を引き終わるまでの時間 t（図 6 参照）以下となる。このように、走査透過電子顕微鏡 100 では、試料 S 上の各測定点において、明視野 STEM 像のデータと、EELS スペクトルのデータをほぼ同時に取得できる。

40

【0036】

3. 処理

制御部 40 は、第 1 偏向器 12 に電子プローブを + X 方向に移動させて、走査線 L1 を引く処理と、第 1 偏向器 12 に電子プローブを - X 方向に移動させて、走査線 L1 と同じ位置に走査線 L2 を引く処理と、を行う。さらに、制御部 40 は、走査線 L1 が引かれている間は、透過電子線が第 1 検出器 20 に入射する第 1 状態となり、走査線 L2 が引かれている間は、透過電子線が第 2 検出器 30 に入射する第 2 状態となるように、第 2 偏向器

50

15を動作させる処理を行う。

【0037】

具体的には、制御部40は、図5に示す走査信号S1(X)および走査信号S1(Y)を第1偏向器12に出力し、図6に示す偏向信号S2を第2偏向器15に出力する。これにより、図4に示すように、電子プローブが+X方向に移動して走査線L1が引かれ、電子プローブが-X方向に移動して走査線L2が引かれ、その後、電子プローブが+Y方向に移動することを、測定対象領域の全体が走査されるまで繰り返す。また、走査線L1が引かれている間は、透過電子線が第1検出器20に入射し、走査線L2が引かれている間は、透過電子線が第2検出器30に入射する。

【0038】

データ処理部50は、第1偏向器12による電子プローブの走査および第2偏向器15による透過電子線の偏向と同期して、第1検出器20における透過電子線の検出結果を取得する。データ処理部50は、取得した第1検出器20における透過電子線の検出結果に基づいて、試料S上の各測定点におけるEELSスペクトルを生成する。

【0039】

また、データ処理部50は、第1偏向器12による電子プローブの走査および第2偏向器15による透過電子線の偏向と同期して、第2検出器30における透過電子線の検出結果を取得する。データ処理部50は、取得した第2検出器30における透過電子線の検出結果に基づいて、明視野STEM像を生成する。

【0040】

ここで、透過電子線を第1検出器20で検出する場合には、電子プローブが+X方向に移動し、透過電子線を第2検出器30で検出する場合には、電子プローブが-X方向に移動している。そのため、各測定点のEELSスペクトルと、明視野STEM像とでは、X方向の情報が反転している。したがって、データ処理部50は、例えば、明視野STEM像のX軸を反転させる。これにより、明視野STEM像上の位置と、EELSスペクトルが得られた位置と、を一致させることができる。

【0041】

データ処理部50は、生成したEELSスペクトルや、各測定点のEELSスペクトルから生成した元素の分布を示す画像、明視野STEM像を、表示部に表示させる。

【0042】

4. 作用効果

走査透過電子顕微鏡100は、透過電子線を偏向する第2偏向器15を含み、第2偏向器15は、透過電子線が第1検出器20に入射する第1状態と、透過電子線が第2検出器30に入射する第2状態と、を切り替える。そのため、走査透過電子顕微鏡100では、第1検出器20および第2検出器30を移動させることなく、第1検出器20および第2検出器30で透過電子線を検出できる。すなわち、走査透過電子顕微鏡100では、第1検出器20および第2検出器30を移動させることなく、明視野STEM像のデータおよびEELSスペクトルマッピングのデータを取得できる。また、走査透過電子顕微鏡100では、明視野STEM像のデータおよびEELSスペクトルマッピングのデータをほぼ同時に取得できる。

【0043】

図7は、従来の走査透過電子顕微鏡の動作を説明するための図である。

【0044】

図7に示すように、従来の走査透過電子顕微鏡では、電子エネルギー損失分光器(第1検出器20)と、明視野STEM検出器(第2検出器30)は、ともに、光軸上に配置されていた。そのため、明視野STEM検出器は、不図示の移動機構によって、移動可能に構成されており、電子エネルギー損失分光器で透過電子線を検出するときには、明視野STEM検出器を光軸上から退避させていた。明視野STEM検出器を光軸上から退避させたり、光軸上に戻したりするためには、時間がかかる。そのため、従来の走査透過電子顕微鏡では、試料上の同一箇所において、明視野STEM像の取得と、EELSスペクトル

10

20

30

40

50

マッピングを行う場合、試料のドリフトの影響により、明視野STEM像上の位置とEELSスペクトルの測定点の位置にずれが生じていた。

【0045】

これに対して、走査透過電子顕微鏡100では、上述したように、第2偏向器15を含むため、明視野STEM像のデータとEELSスペクトルマッピングのデータをほぼ同時に取得できる。したがって、走査透過電子顕微鏡100では、試料のドリフトの影響を低減でき、明視野STEM像上の位置とEELSスペクトルの測定点の位置のずれを低減できる。また、短時間での明視野STEM像のデータとEELSスペクトルマッピングのデータを取得できるため、試料Sに対する電子線照射量を低減でき、試料Sの損傷を低減できる。

10

【0046】

走査透過電子顕微鏡100では、制御部40は、第1偏向器12に、電子プローブを+X方向に移動させて走査線L1を引いた後、電子プローブを-X方向に移動させて走査線L1と同じ位置に走査線L2を引かせる処理と、走査線L1が引かれている間は透過電子線が第1検出器20に入射する第1状態となり、走査線L2が引かれている間は透過電子線が第2検出器30に入射する第2状態となるように第2偏向器15を動作させる処理と、を行う。

【0047】

そのため、走査透過電子顕微鏡100では、試料S上の各測定点において、明視野STEM像のデータとEELSスペクトルのデータをほぼ同時に取得できる。したがって、走査透過電子顕微鏡100では、明視野STEM像上の位置とEELSスペクトルの測定点の位置のずれを低減できる。

20

【0048】

なお、上記では、第1検出器20が電子エネルギー損失分光器であり、第2検出器30が明視野STEM検出器である場合について説明したが、第1検出器20および第2検出器30は、その他の検出器であってもよい。また、第1検出器20が明視野STEM検出器であり、第2検出器30が電子エネルギー損失分光器であってもよい。

【0049】

5. 変形例

なお、本発明は上述した実施形態に限定されず、本発明の要旨の範囲内で種々の変形実施が可能である。以下では、上述した走査透過電子顕微鏡100の例と異なる点について説明し、同様の点については説明を省略する。

30

【0050】

5.1. 第1変形例

5.1.1. 走査透過電子顕微鏡の構成

図8は、第1変形例に係る走査透過電子顕微鏡102の構成を示す図である。以下、図8に示す第1変形例に係る走査透過電子顕微鏡102において、上述した走査透過電子顕微鏡100の構成部材と同様の機能を有する部材については同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。

【0051】

上述した走査透過電子顕微鏡100は、図1に示すように、第1検出器20と、第2検出器30と、を含んでいた。これに対して、走査透過電子顕微鏡102は、第1検出器20と、第2検出器30と、第3検出器32と、を含む。

40

【0052】

第3検出器32は、透過電子線を検出する。第3検出器32は、例えば、分割型検出器である。分割型検出器は、検出面が複数の領域に分割されており、分割された各領域は独立して電子線を検出することができる。分割型検出器を用いて、試料中の電磁場による電子線の偏向を測定できる(微分位相コントラストイメージング、DPC)。したがって、走査透過電子顕微鏡102では、試料中の電磁場による電子線の偏向を可視化したDPC像を得ることができる。第3検出器32は、光軸Lから外れた位置に配置されている。

50

【 0 0 5 3 】

5 . 1 . 2 . 動作

図 9 は、第 2 偏向器 1 5 の動作を説明するための図である。

【 0 0 5 4 】

走査透過電子顕微鏡 1 0 2 では、第 2 偏向器 1 5 を動作させることによって、図 2 に示す透過電子線が第 1 検出器 2 0 に入射する第 1 状態と、図 3 に示す透過電子線が第 2 検出器 3 0 に入射する第 2 状態と、図 9 に示す透過電子線が第 3 検出器 3 2 に入射する第 3 状態と、を切り替えることができる。

【 0 0 5 5 】

図 1 0 は、電子プローブの走査を説明するための図である。図 1 1 は、第 1 偏向器 1 2 を動作させるための走査信号 $S 1 (X)$, $S 1 (Y)$ を示すグラフである。 10

【 0 0 5 6 】

まず、電子プローブを + X 方向に移動させて走査線 L 1 を引く。次に、電子プローブを + X 方向とは反対方向の - X 方向に移動させて走査線 L 1 と同じ位置に走査線 L 2 を引く。次に、電子プローブを + X 方向に移動させて走査線 L 2 と同じ位置に走査線 L 3 (第 3 走査線の一例) を引く。走査線 L 3 を引いた後、電子プローブを + Y 方向に移動させる。この工程を繰り返すことによって、試料 S 上を走査する。

【 0 0 5 7 】

図 1 2 は、第 2 偏向器 1 5 を動作させるための偏向信号 S 2 を示すグラフである。

【 0 0 5 8 】

図 1 2 に示すように、第 1 偏向器 1 2 が電子プローブを + X 方向に移動させて走査線 L 1 を引いている間は、第 2 偏向器 1 5 は透過電子線を偏向させない。そのため、走査透過電子顕微鏡 1 0 2 は、図 2 に示す透過電子線が第 1 検出器 2 0 に入射する第 1 状態となる。第 1 偏向器 1 2 が電子プローブを - X 方向に移動させて走査線 L 2 を引いている間は、第 2 偏向器 1 5 は透過電子線を偏向させる。そのため、走査透過電子顕微鏡 1 0 2 は、図 3 に示す透過電子線が第 2 検出器 3 0 に入射する第 2 状態となる。第 1 偏向器 1 2 が電子プローブを + X 方向に移動させて走査線 L 3 を引いている間は、第 2 偏向器 1 5 は透過電子線を変更させる。走査線 L 3 を引いている間の第 2 偏向器 1 5 による透過電子線の偏向量は、走査線 L 2 を引いている間の第 2 偏向器 1 5 による透過電子線の偏向量よりも大きい。そのため、走査透過電子顕微鏡 1 0 2 は、図 9 に示す透過電子線が第 3 検出器 3 2 に入射する第 3 状態となる。 30

【 0 0 5 9 】

したがって、走査線 L 3 を引いている間は、第 3 検出器 3 2 で透過電子線が検出される。これにより、試料 S 上の各測定点において、明視野 S T E M 像のデータと、E E L S スペクトルのデータと、D P C 像のデータと、をほぼ同時に取得できる。

【 0 0 6 0 】

5 . 1 . 3 . 処理

制御部 4 0 は、第 1 偏向器 1 2 に電子プローブを + X 方向に移動させて、走査線 L 1 を引く処理と、第 1 偏向器 1 2 に電子プローブを - X 方向に移動させて、走査線 L 1 と同じ位置に走査線 L 2 を引く処理と、第 1 偏向器 1 2 に電子プローブを + X 方向に移動させて、走査線 L 2 と同じ位置に走査線 L 3 を引く処理と、を行う。さらに、制御部 4 0 は、走査線 L 1 が引かれている間は、透過電子線が第 1 検出器 2 0 に入射する第 1 状態となり、走査線 L 2 が引かれている間は、透過電子線が第 2 検出器 3 0 に入射する第 2 状態となり、走査線 L 3 が引かれている間は、透過電子線が第 3 検出器 3 2 に入射するように、第 2 偏向器 1 5 を動作させる処理を行う。 40

【 0 0 6 1 】

具体的には、制御部 4 0 は、図 1 1 に示す走査信号 $S 1 (X)$ および走査信号 $S 1 (Y)$ を第 1 偏向器 1 2 に出力し、図 1 2 に示す偏向信号 S 2 を第 2 偏向器 1 5 に出力する。これにより、図 1 0 に示すように、電子プローブが + X 方向に移動して走査線 L 1 が引かれ、電子プローブが - X 方向に移動して走査線 L 2 が引かれ、電子プローブが + X 方向に移 50

動して走査線 L 3 が引かれ、その後、電子プローブが + Y 方向に移動することを繰り返す。また、走査線 L 1 が引かれている間は、透過電子線が第 1 検出器 2 0 に入射し、走査線 L 2 が引かれている間は、透過電子線が第 2 検出器 3 0 に入射し、走査線 L 3 が引かれている間は、透過電子線が第 3 検出器 3 2 に入射する。

【 0 0 6 2 】

データ処理部 5 0 は、第 1 検出器 2 0 における透過電子線の検出結果に基づいて、試料 S 上の各測定点における E E L S スペクトルを生成し、第 2 検出器 3 0 における透過電子線の検出結果に基づいて、明視野 S T E M 像を生成する。さらに、データ処理部 5 0 は、第 1 偏向器 1 2 による電子プローブの走査および第 2 偏向器 1 5 による透過電子線の偏向と同期して、第 3 検出器 3 2 における透過電子線の検出結果を取得する。データ処理部 5 0 は、取得した第 3 検出器 3 2 における透過電子線の検出結果に基づいて、D P C 像を生成する。

10

【 0 0 6 3 】

データ処理部 5 0 は、生成した E E L S スペクトルや、各測定点の E E L S スペクトルから生成した元素の分布を示す画像、明視野 S T E M 像、D P C 像を、表示部に表示させる。

【 0 0 6 4 】

5 . 1 . 4 . 作用効果

走査透過電子顕微鏡 1 0 2 では、第 2 偏向器 1 5 は、透過電子線が第 1 検出器 2 0 に入射する第 1 状態と、透過電子線が第 2 検出器 3 0 に入射する第 2 状態と、電子線が第 3 検出器 3 2 に入射する第 3 状態と、を切り替える。そのため、走査透過電子顕微鏡 1 0 2 では、第 1 検出器 2 0、第 2 検出器 3 0、第 3 検出器 3 2 を移動させることなく、E E L S スペクトルマッピングのデータ、明視野 S T E M 像のデータ、D P C 像のデータを取得できる。また、走査透過電子顕微鏡 1 0 2 では、E E L S スペクトルマッピングのデータ、明視野 S T E M 像のデータ、および D P C 像のデータをほぼ同時に取得できる。

20

【 0 0 6 5 】

なお、上記では、走査透過電子顕微鏡 1 0 2 が 3 つの検出器を有する場合について説明したが、走査透過電子顕微鏡 1 0 2 が 4 つ以上の検出器を有してもよい。走査透過電子顕微鏡 1 0 2 が 4 つ以上の検出器を有する場合も、3 つの検出器を有する場合と同様の処理を行うことができ、同様の作用効果を奏することができる。

30

【 0 0 6 6 】

5 . 2 . 第 2 変形例

図 1 3 は、第 2 変形例に係る走査透過電子顕微鏡の第 2 偏向器 1 5 を動作させるための偏向信号 S 2 を示すグラフである。

【 0 0 6 7 】

上述した実施形態では、図 6 に示すように、走査線 L 1 を引く時間と走査線 L 2 を引く時間は等しい。すなわち、第 1 検出器 2 0 で透過電子線を検出する時間と第 2 検出器 3 0 で透過電子線を検出する時間は等しい。これに対して、図 1 3 に示すように、走査線 L 1 を引く時間と走査線 L 2 を引く時間が異なってもよい。図 1 3 に示す例では、第 1 検出器 2 0 で透過電子線を検出する時間は、第 2 検出器 3 0 で透過電子線を検出する時間よりも長い。

40

【 0 0 6 8 】

このように、第 2 変形例では、各検出器で透過電子線を検出する時間が異なることで、検出器の性能等に応じて、検出器ごとに透過電子線を検出する時間を適宜調整できる。

【 0 0 6 9 】

5 . 3 . 第 3 変形例

5 . 3 . 1 . 走査透過電子顕微鏡の構成

第 3 変形例に係る走査透過電子顕微鏡の構成は、図 1 に示す走査透過電子顕微鏡 1 0 0 と同様であり、その説明を省略する。

【 0 0 7 0 】

50

5.3.2. 動作

図14は、電子プローブの走査を説明するための図である。図15は、第1偏向器12を動作させるための走査信号 $S_1(X)$ 、 $S_1(Y)$ を示すグラフである。

【0071】

図14に示すように、電子プローブを+X方向に移動させて走査線 L_1 を引き、走査線 L_1 を引いた後、電子プローブを+Y方向に移動させることを繰り返すことで、試料S上の各測定点を順に照射する。測定点は、例えば、明視野STEM像のピクセルに対応する。

【0072】

図16は、第2偏向器15を動作させるための偏向信号 S_2 を示すグラフである。

【0073】

図16に示すように、第1偏向器12によって、電子プローブが各測定点を順に照射するときに、第2偏向器15によって、各測定点において第1状態と第2状態が切り替わる。図16に示す例では、各測定点において、透過電子線は、第1検出器20で検出された後、第2検出器30で検出される。

【0074】

各測定点において、第1状態となる時間と第2状態となる時間は等しい。すなわち、各測定点において、透過電子線が第1検出器20で検出されている時間と、透過電子線が第2検出器30で検出されている時間は、等しい。

【0075】

5.3.3. 処理

制御部40は、第1偏向器12に電子プローブを+X方向に移動させて走査線 L_1 を引き、走査線 L_1 を引いた後、電子プローブを+Y方向に移動させることを繰り返して、各測定点に電子プローブを順に照射する処理を行う。さらに、制御部40は、第2偏向器15に、試料S上の各測定点において、第1状態と第2状態を切り替えさせる処理を行う。

【0076】

具体的には、制御部40は、図15に示す走査信号 $S_1(X)$ および走査信号 $S_1(Y)$ を第1偏向器12に出力し、図16に示す偏向信号 S_2 を第2偏向器15に出力する。これにより、電子プローブが+X方向に移動して走査線 L_1 が引かれ、その後、電子プローブが+Y方向に移動することを繰り返して、各測定点に電子プローブが照射される。また、各測定点において、第1状態と第2状態とが切り替えられる。例えば、透過電子線が第1検出器20に入射された後、第2検出器30に入射される。

【0077】

データ処理部50は、第1検出器20における透過電子線の検出結果に基づいて、試料S上の各測定点におけるEELSスペクトルを生成し、第2検出器30における透過電子線の検出結果に基づいて、明視野STEM像を生成する。

【0078】

5.3.4. 作用効果

第3変形例に係る透過走査電子顕微鏡では、制御部40は、第1偏向器12に、試料S上の各測定点に電子線を順に照射させる処理と、第2偏向器15に、試料S上の各測定点において、第1状態と第2状態とを切り替えさせる処理と、を行う。そのため、走査透過電子顕微鏡102では、第1検出器20および第2検出器30を移動させることなく、明視野STEM像のデータおよびEELSスペクトルマッピングのデータを取得できる。また、第3変形例に係る走査透過電子顕微鏡では、明視野STEM像のデータおよびEELSスペクトルマッピングのデータをほぼ同時に取得できる。

【0079】

なお、上記では、図16に示すように、各測定点において、透過電子線を第1検出器20に入射させた後、第2検出器30に入射させる場合について説明したが、各測定点において、透過電子線を第2検出器30に入射させた後に、第1検出器20に入射させてもよい

10

20

30

40

50

。

【0080】

また、上記では、各測定点において、透過電子線を第1検出器20に入射させる時間と透過電子線を第2検出器30に入射させる時間が等しかったが、透過電子線を第1検出器20に入射させる時間と透過電子線を第2検出器30に入射させる時間を異ならせてもよい。

。

【0081】

また、上記では、走査透過電子顕微鏡が2つの検出器を含む場合について説明したが、走査透過電子顕微鏡が3つ以上の検出器を含む場合についても適用可能である。例えば、図8に示すように走査透過電子顕微鏡が3つの検出器を含む場合、各測定点において、第1状態と、第2状態と、第3状態と、を切り替えればよい。

10

【0082】

5.4. 第4変形例

5.4.1. 走査透過電子顕微鏡の構成

第4変形例に係る走査透過電子顕微鏡の構成は、図1に示す走査透過電子顕微鏡100と同様であり、その説明を省略する。

【0083】

5.4.2. 動作

図17は、第1偏向器12を動作させるための走査信号S1(X), S1(Y)を示すグラフである。

20

【0084】

図17に示すように、まず、電子プローブを+X方向に移動させて走査線L1を引き、走査線L1を引いた後、電子プローブを+Y方向に移動させることを繰り返すことで、試料S上を走査する。これにより、試料S上の測定対象領域が走査される。

【0085】

次に、再び、電子プローブを+X方向に移動させて走査線L1を引き、走査線L1を引いた後、電子プローブを+Y方向に移動させることを繰り返すことで、試料S上を走査する。これにより、再度、試料S上の測定対象領域が走査される。

【0086】

図18は、第2偏向器15を動作させるための偏向信号S2を示すグラフである。

30

【0087】

図18に示すように、第1偏向器12によって、1回目の測定対象領域の走査が行われている間、第2偏向器15によって、透過電子線は第1検出器20で検出される。次に、第1偏向器12によって、2回目の測定対象領域の走査が行われている間、第2偏向器15によって、透過電子線は第2検出器30で検出される。1回目の測定対象領域の走査にかかる時間と、2回目の測定対象領域の走査にかかる時間とは、例えば、等しい。

【0088】

5.4.3. 処理

制御部40は、第1偏向器12に電子プローブで試料S上の測定対象領域を走査させ、かつ、第1状態となるように第2偏向器15を動作させる処理を行う。さらに、制御部40は、第1状態となるように第2偏向器15を動作させる処理の後に、第1偏向器12に電子プローブで測定対象領域を走査させ、かつ、第2状態となるように第2偏向器15を動作させる処理を行う。

40

【0089】

具体的には、制御部40は、図17に示す走査信号S1(X)および走査信号S1(Y)を第1偏向器12に出力し、図18に示す偏向信号S2を第2偏向器15に出力する。これにより、測定対象領域の走査が2回行われ、1回目の測定対象領域の走査では、透過電子線が第1検出器20で検出され、2回目の測定対象領域の走査では、透過電子線が第2検出器30で検出される。

【0090】

50

5.4.4. 作用効果

第4変形例に係る透過走査電子顕微鏡では、制御部40は、第1偏向器12に電子プローブで試料S上の測定対象領域を走査させ、かつ、第1状態となるように第2偏向器15を動作させる処理と、第1状態となるように第2偏向器15を動作させる処理の後に、第1偏向器12に電子プローブで測定対象領域を走査させ、かつ、第2状態となるように第2偏向器15を動作させる処理と、を行う。

【0091】

このように、第4変形例に係る走査透過電子顕微鏡では、第1検出器20および第2検出器30を移動させることなく、明視野STEM像のデータおよびEELSスペクトルマップのデータを取得できる。また、第4変形例に係る走査透過電子顕微鏡では、例えば、第1検出器20および第2検出器30を移動させる場合と比べて、短時間で明視野STEM像のデータおよびEELSスペクトルマップのデータを取得できる。

10

【0092】

なお、上記では、図18に示すように、1回目の測定対象領域の走査で透過電子線を第1検出器20に入射させ、2回目の測定対象領域の走査で透過電子線を第2検出器30に入射される場合について説明したが、1回目の測定対象領域の走査で透過電子線を第2検出器30に入射させ、2回目の測定対象領域の走査で透過電子線を第1検出器20に入射させてもよい。

【0093】

また、上記では、1回目の測定対象領域の走査にかかる時間と2回目の測定対象領域の走査にかかる時間が等しい場合について説明したが、1回目の測定対象領域の走査にかかる時間と2回目の測定対象領域の走査にかかる時間が異なってもよい。

20

【0094】

また、上記では、走査透過電子顕微鏡が2つの検出器を含む場合について説明したが、走査透過電子顕微鏡が3つ以上の検出器を含む場合についても適用可能である。例えば、図8に示すように走査透過電子顕微鏡が3つの検出器を含む場合、測定対象領域を3回走査し、1回目の測定対象領域の走査で透過電子線を第1検出器20に入射させ、2回目の測定対象領域の走査で透過電子線を第2検出器30に入射させ、3回目の測定対象領域の走査で透過電子線を第3検出器32に入射させてもよい。

【0095】

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。

30

【符号の説明】

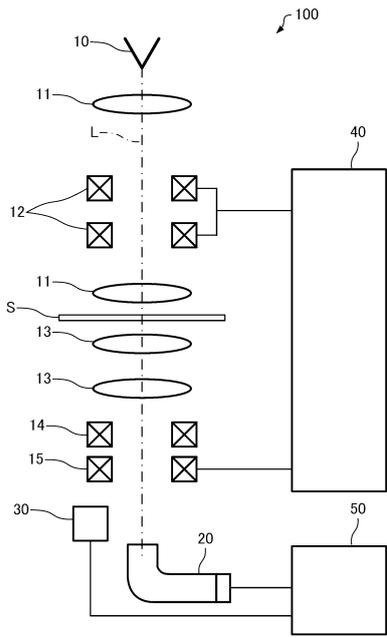
【0096】

10...電子源、11...照射レンズ系、12...第1偏向器、13...結像レンズ系、14...EELS用偏向器、15...第2偏向器、20...第1検出器、30...第2検出器、32...第3検出器、40...制御部、50...データ処理部、100...走査透過電子顕微鏡、102...走査透過電子顕微鏡

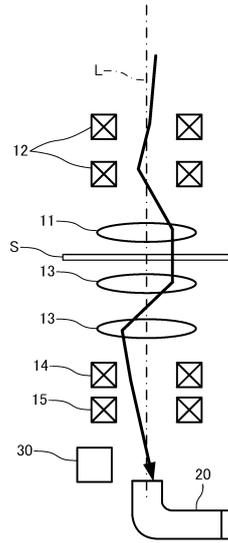
40

【図面】

【図 1】



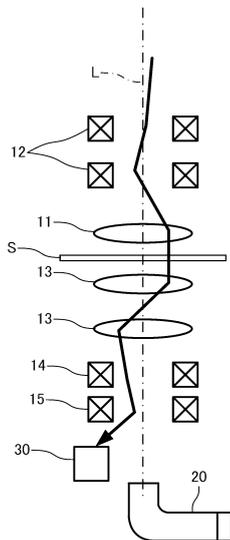
【図 2】



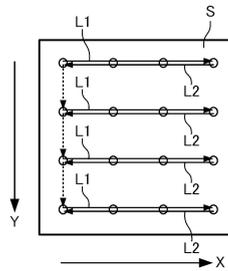
10

20

【図 3】



【図 4】

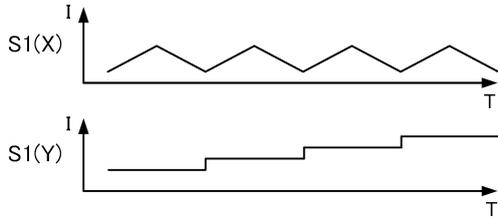


30

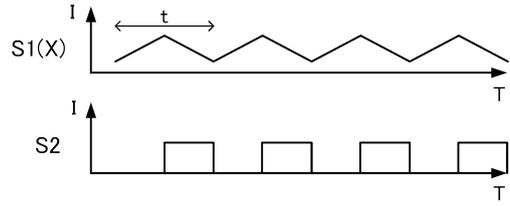
40

50

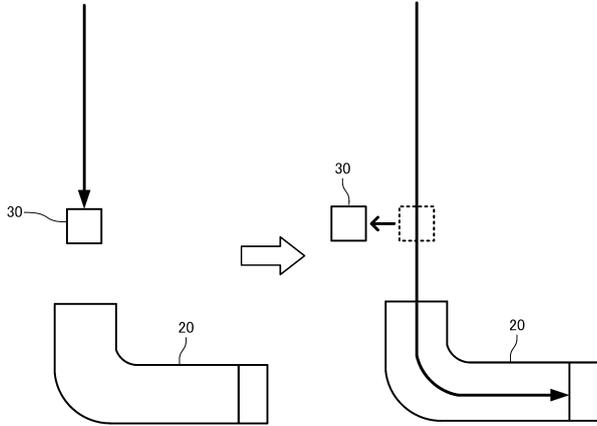
【 図 5 】



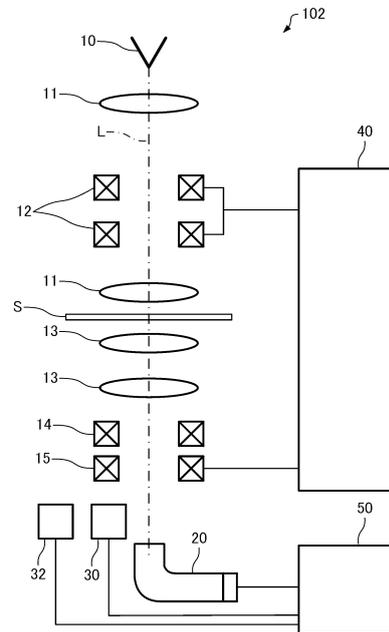
【 図 6 】



【 図 7 】



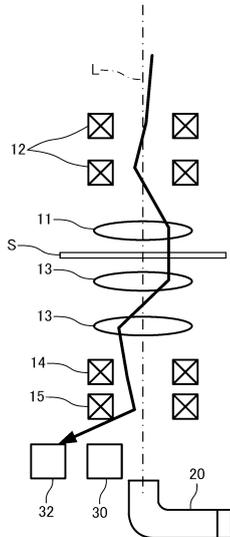
【 図 8 】



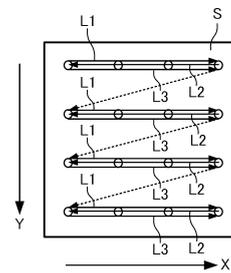
10

20

【 図 9 】



【 図 10 】

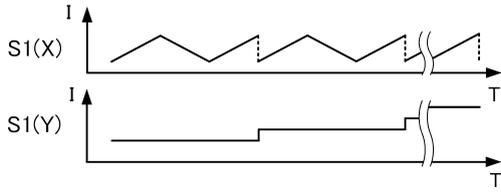


30

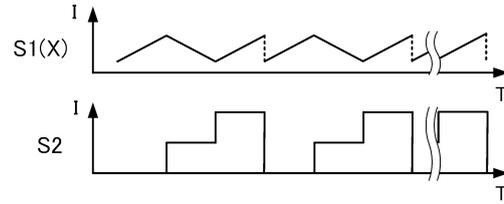
40

50

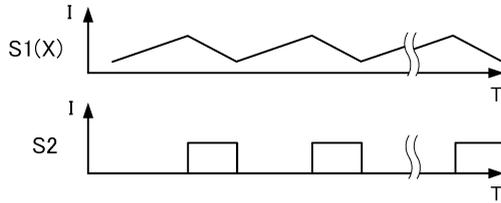
【 1 1 】



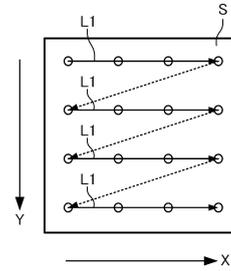
【 1 2 】



【 1 3 】

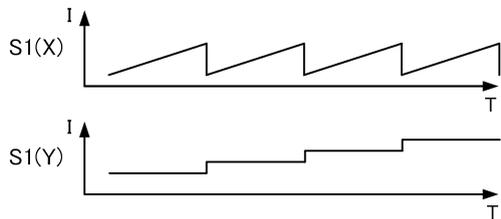


【 1 4 】

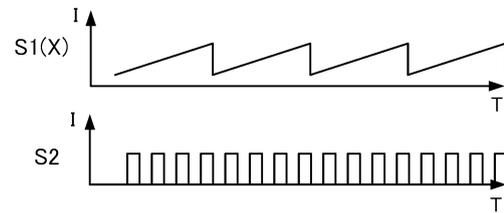


10

【 1 5 】

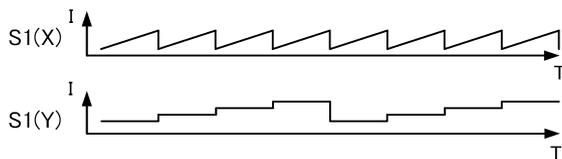


【 1 6 】

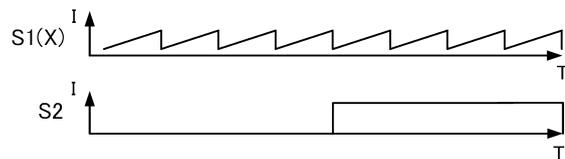


20

【 1 7 】



【 1 8 】



30

40

50

フロントページの続き

本電子株式会社内

Fターム(参考) 5C033 AA05 EE03 NP06 SS07 SS08