

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6316578号  
(P6316578)

(45) 発行日 平成30年4月25日(2018.4.25)

(24) 登録日 平成30年4月6日(2018.4.6)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 J 37/28 (2006.01)	HO 1 J 37/28 B
HO 1 J 37/22 (2006.01)	HO 1 J 37/22 502 H
HO 1 J 37/244 (2006.01)	HO 1 J 37/244
HO 1 L 21/66 (2006.01)	HO 1 L 21/66 J

請求項の数 14 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2013-249249 (P2013-249249)  
 (22) 出願日 平成25年12月2日 (2013.12.2)  
 (65) 公開番号 特開2015-106530 (P2015-106530A)  
 (43) 公開日 平成27年6月8日 (2015.6.8)  
 審査請求日 平成28年9月20日 (2016.9.20)

(73) 特許権者 501387839  
 株式会社日立ハイテクノロジーズ  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号  
 (74) 代理人 110001689  
 青稜特許業務法人  
 (74) 代理人 110000350  
 ポレール特許業務法人  
 (72) 発明者 宍戸 千絵  
 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  
 (72) 発明者 山本 琢磨  
 東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】走査電子顕微鏡システム及びそれを用いたパターン計測方法並びに走査電子顕微鏡

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測するシステムであって、前記基板上に形成されたパターンに対して一次電子線を走査して照射する一次電子線照射手段と、

該一次電子線照射手段により一次電子線が照射された基板から放出される後方散乱電子のうち前記穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する後方散乱電子検出手段と、

該後方散乱電子検出手段で検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成する電子線像生成手段と、

該電子線像生成手段で生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の前記明部領域との境界領域を求めて、該求めた境界領域の内部の暗部領域の明るさの情報から前記穴パターン又は溝パターンの深さを推定する深さ推定手段と

を有することを特徴とする走査電子顕微鏡システム。

## 【請求項2】

基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測するシステムであって、前記基板上に形成されたパターンに対して一次電子線を走査して照射する一次電子線照射手段と、

該一次電子線照射手段により一次電子線が照射された基板から放出される後方散乱電子のうち前記穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する後方散乱

10

20

電子検出手段と、

該後方散乱電子検出手段で検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成する電子線像生成手段と、

該電子線像生成手段で生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の前記明部領域との境界領域を求めて、該求めた境界領域を前記穴パターン又は溝パターンのエッジ位置として検出する画像処理手段と、

前記電子線像生成手段で生成した電子線像上の前記明部領域内に存在する暗部領域の前記明部領域との境界領域を求めて、該求めた境界領域の内部の暗部領域の明るさの情報から前記穴パターン又は溝パターンの深さを推定する深さ推定手段と

を有すことを特徴とする走査電子顕微鏡システム。

10

#### 【請求項 3】

請求項 1 ないし 2 の何れかに記載の走査電子顕微鏡システムであって、

前記後方散乱電子検出手段は、前記基板上に形成されたパターンに照射する一次電子線の光路を取り囲むようにして配置されて、前記一次電子線を走査して照射した前記基板から放出された後方散乱電子を検出する後方散乱電子検出器を備えていることを特徴とする走査電子顕微鏡システム。

#### 【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の走査電子顕微鏡システムであって、

前記深さ推定手段は、予め作成した穴パターン又は溝パターンの深さと電子線像の明るさを関連づける検量線を参照して深さを算出することを特徴とする走査電子顕微鏡システム

20

#### 【請求項 5】

請求項 1 ないし 2 の何れかに記載の走査電子顕微鏡システムであって、

さらに、前記基板から放出される二次電子を検出する二次電子検出手段と、該二次電子検出手段で検出した二次電子の強度に対応する電子線像を生成する二次電子線像生成手段と、該二次電子線像生成手段で生成した二次電子の電子線像の前記明部領域のエッジ位置に基づき前記穴パターンの上径又は前記溝パターンの幅を計測するパターン幅計測手段を更に含むことを特徴とする走査電子顕微鏡システム。

#### 【請求項 6】

請求項 1 ないし 2 の何れかに記載の走査電子顕微鏡システムであって、

30

さらに、前記基板から放出される後方散乱電子のうち仰角が 5 度よりも小さい方向に散乱した後方散乱電子を検出する第二の後方散乱電子検出手段と、該第二の後方散乱電子検出手段で検出した仰角が 5 度よりも小さい方向に散乱した後方散乱電子強度に対応する電子線像を生成する第二の電子線像生成手段と、該第二の電子線像生成手段で生成した後方散乱電子線像上の前記穴パターン又は前記溝パターンの底相当領域の明るさから、前記穴パターン又は前記溝パターンの底の材料を推定する材料推定手段を更に含むことを特徴とする走査電子顕微鏡システム。

#### 【請求項 7】

請求項 1 ないし 2 の何れかに記載の走査電子顕微鏡システムであって、

前記穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する前記後方散乱電子検出手段は、前記後方散乱電子を方位別に検出する複数の検出面を有する検出器を備えたことを特徴とする走査電子顕微鏡システム。

40

#### 【請求項 8】

基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測する方法であって、

電子顕微鏡で基板上に形成された穴パターン又は溝パターンに対して一次電子線を走査して照射し、

該一次電子線が照射された前記基板から放出される後方散乱電子のうち前記穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出し、

該検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成し、

該生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の前記明部領域との境界領域を求

50

め、

該求めた境界領域を前記穴パターン又は溝パターンのエッジ位置として検出することと、前記求めた境界領域の内部の暗部領域の明るさの情報から前記穴パターン又は溝パターンの深さを推定することの何れか又は両方を行うことを特徴とする走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法。

**【請求項 9】**

請求項8記載の走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法であって、前記電子顕微鏡で、30キロ電子ボルト以上のエネルギーを有する前記一次電子線を前記穴パターン又は溝パターンに照射することを特徴とする走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法。10

**【請求項 10】**

請求項8に記載の走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法であって、  
前記基板上に形成されたパターンに照射する一次電子線の光路を取り囲むようにして配置  
された後方散乱電子検出器が、前記一次電子線を走査して照射した前記基板から放出され  
た後方散乱電子を検出することを特徴とする走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計  
測方法。10

**【請求項 11】**

請求項8に記載の走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法であって、  
前記穴パターン又は前記溝パターンの前記深さの推定において、予め作成した穴パターン  
又は溝パターンの深さと電子線像の明るさを関連づける検量線を参照して深さを算出する  
ことを特徴とする走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法。20

**【請求項 12】**

請求項8に記載の走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法であって、  
さらに、前記基板から放出される二次電子を検出して、検出した該二次電子の強度に対応  
する電子線像を生成し、  
生成した該二次電子の電子線像の前記明部領域のエッジ位置に基づき前記穴パターンの上  
径又は前記溝パターンの幅を計測する  
ことを特徴とする走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法。

**【請求項 13】**

請求項8に記載の走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法であって、30  
さらに、前記基板から放出される後方散乱電子のうち仰角が5度よりも小さい方向に散乱  
した後方散乱電子を検出し、  
検出した該仰角が5度よりも小さい方向に散乱した後方散乱電子強度に対応する電子線像  
を生成し、  
生成した前記後方散乱電子強度に対応する前記電子線像上の前記穴パターン又は前記溝パ  
ターンの底相当領域の明るさから、前記穴パターン又は前記溝パターンの底の材料を推定  
する  
ことを特徴とする走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法。

**【請求項 14】**

請求項8に記載の走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法であって、40  
前記後方散乱電子を方位別に検出する複数の検出面を有する検出器が、前記穴パターン又  
は前記溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する  
ことを特徴とする走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

**【0001】**

本発明は、半導体ウェハ上に形成されたパターンの寸法計測を行う方法に係り、特にアスベクト比が高い穴パターンや溝パターンの寸法測定を行う走査電子顕微鏡システム及びそれを用いたパターン計測方法並びに走査電子顕微鏡に関する。

**【背景技術】**

10

20

30

40

50

## 【0002】

半導体製造工程でのパターン寸法管理には、走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope: SEM)を半導体専用に特化した測長SEMが広く用いられている。図2Aに従来の測長SEMの基本構成を示す。電子銃101から放出された、一次電子ビーム102はコンデンサレンズ103で細く絞られ、偏向器104により試料上を2次元的に走査される。加速電圧としては、1kV程度の比較的低加速電圧が用いられることが一般的である。電子ビーム照射によって試料107から発生した二次電子120を検出器121で捕らえることで二次電子線像が得られる。傾斜角効果、あるいは、エッジ効果によって、二次電子線像上ではパターンエッジ部が明るい画像となるので、画像処理手法によりエッジ位置を検出することによって寸法が求められる。

10

## 【0003】

半導体デバイスのコスト低減は、微細化によってチップ面積を小さくすることによって実現してきたが、チップ面積を小さくすることによって得られるコストメリットをリソグラフィなどの製造コストの増加が相殺するようになってきた。NANDフラッシュメモリにおいては、新たなコスト低減策として、メモリセルアレイを積み上げて3次元化する技術(3D-NAND)の開発が加速している。

## 【0004】

3D-NANDは、電極膜と絶縁膜を交互に積層した後に、最上層から最下層に貫通する穴を一度に開け(図3A参照)、穴側面にメモリ膜を形成し、柱状電極を埋め込むという工程を経て形成される。同プロセスの成否を握っているのは穴開け工程であり、適正な径の穴が、最下層まで貫通することがキーとなる。穴の開口/非開口、あるいは、穴のトップ径/ボトム径の管理が求められている。

20

## 【0005】

穴の開口/非開口、あるいは、穴のトップ径/ボトム径を観察する技術として、例えば特許文献1には、試料の溝又は孔の側壁或いは底面で反射した電子が、試料内を貫通して試料表面から脱出或いは試料表面で三次電子を発生させるに足る十分なエネルギーを持つような高エネルギーの一次電子を試料に照射してアスペクト比が3前後の穴パターンを観察する走査型電子顕微鏡について記載されている。特許文献1では、一次電子の加速電圧として、100kV及び200kVの例を示している。

## 【0006】

30

また、特許文献1には、反射電子を対物レンズと思量との間に配置してシンチレータで検出し、対物レンズの中心の空洞部分を通過した三次電子を引き出し電界で引き出してシンチレータで検出する構成が記載されている。

## 【0007】

一方、特許文献2には、走査型電子顕微鏡を用いて50kV以上で加速した電子線を試料に照射して、試料から発生した2次電子や3次電子をシンチレータで検出して、孔や溝内部を観察することが記載されている。また、特許文献1と同様に、反射電子を対物レンズと試料との間に配置してシンチレータで検出し、対物レンズの中心の空洞部分を通過した三次電子を引き出し電界で引き出してシンチレータで検出する構成が記載されている。

## 【先行技術文献】

40

## 【特許文献】

## 【0008】

【特許文献1】特開平4-149944号公報

【特許文献2】特開平6-310075号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0009】

上記穴開け工程を管理するためには、穴径約50nm、深さ2μm以上という非常に高アスペクト比の穴の検査・計測を行う必要がある。しかしながら、図2Bに示すように、従来の測長SEMにおいては、穴内部で発生した二次電子は、外に脱出する前に内壁に衝

50

突して消滅するため、穴底からの信号はほとんど得られず、特に重要な穴のボトム径を計測できないという課題があった。

#### 【0010】

特許文献1に記載されている方法によれば、穴の底から発生した高エネルギーの反射電子と、この高エネルギーの反射電子が孔の側壁を透過することにより発生する三次電子とを吸引電極で分離して、それぞれ検出する構成が記載されている。しかし、アスペクト比が大きい細くて深い穴が形成された試料から発生する三次信号のレベルは一般的に低くなる。従って、特許文献1に記載されているような三次電子を吸引電極で吸引して検出する構成では、試料から発生した三次電子のうち一部しか検出することができず、アスペクト比が大きい細くて深い穴を観察する場合に、十分な三次電子の検出信号レベルを確保することが難しい。10

#### 【0011】

また、特許文献1に記載されている、反射電子を対物レンズと試料との間に配置したシンチレータで検出し、対物レンズの中心の空洞部分を通過した三次電子を引き出し電界で引き出してシンチレータで検出する構成では、試料から発生した三次電子のうち対物レンズの中心の空洞部分を通過した一部の三次電子しか検出することができず、十分な三次電子の検出信号レベルを確保することが難しい。更に、アスペクト比が大きい深い穴の底から発生した反射電子のうち孔の開口部から外部に放出される反射電子は、孔の中心軸に沿った方向に進む成分が多くなるために、対物レンズの中心の空洞部分を除いてその周りに配置したシンチレータでは検出することが難しくなる。一方、特許文献2に記載されている走査型電子顕微鏡装置においても、開示されているシンチレータでは、試料から発生した三次電子のうち一部しか検出することができず、十分な三次電子の検出信号レベルを確保することが難しいことに加えて、アスペクト比が大きい深い穴の底から発生した反射電子は、孔の中心軸に沿った方向に進む成分が多くなるために、対物レンズの中心の空洞部分を除いてその周りに配置したシンチレータでは検出することが難しくなる。20

#### 【0012】

本発明は、上記した従来技術の課題を解決して、高アスペクト比の穴径又は溝幅の計測を可能にするとともに、穴又は溝の深さの計測を可能にする走査電子顕微鏡システム及びそれを用いたパターン計測方法並びに走査電子顕微鏡を提供するものである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0013】

上記した課題を解決するために、本発明では、基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測する走査電子顕微鏡システムを、基板上に形成されたパターンに対して一次電子線を走査して照射する一次電子線照射手段と、一次電子線照射手段により一次電子線が照射された基板から放出される後方散乱電子のうち穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する後方散乱電子検出手段と、後方散乱電子検出手段で検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成する電子線像生成手段と、電子線像生成手段で生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の明部領域との境界領域を求めて、この求めた境界領域を穴パターン又は溝パターンのエッジ位置として検出する画像処理手段とを備えて構成した。40

#### 【0014】

また、上記した課題を解決するために、本発明では、基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測する走査電子顕微鏡システムを、基板上に形成されたパターンに対して一次電子線を走査して照射する一次電子線照射手段と、一次電子線照射手段により一次電子線が照射された基板から放出される後方散乱電子のうち穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する後方散乱電子検出手段と、後方散乱電子検出手段で検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成する電子線像生成手段と、電子線像生成手段で生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の明部領域との境界領域を求めて、この求めた境界領域の内部の暗部領域の明るさの情報から穴パターン又は溝パターンの深さを推定する深さ推定手段とを備えて構成した。50

**【0015】**

また、上記した課題を解決するために、本発明では、基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測する走査電子顕微鏡システムを、基板上に形成されたパターンに対して一次電子線を走査して照射する一次電子線照射手段と、一次電子線照射手段により一次電子線が照射された基板から放出される後方散乱電子のうち穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する後方散乱電子検出手段と、後方散乱電子検出手段で検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成する電子線像生成手段と、電子線像生成手段で生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の明部領域との境界領域を求めて、この求めた境界領域を穴パターン又は溝パターンのエッジ位置として検出する画像処理手段と、電子線像生成手段で生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の明部領域との境界領域を求めて、この求めた境界領域の内部の暗部領域の明るさの情報から穴パターン又は溝パターンの深さを推定する深さ推定手段とを備えて構成した。

**【0016】**

更にまた、上記した課題を解決するために、本発明では、基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測する走査電子顕微鏡システムを用いたパターン計測方法において、電子顕微鏡で基板上に形成された穴パターン又は溝パターンに対して一次電子線を走査して照射し、一次電子線が照射された基板から放出される後方散乱電子のうち穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出し、検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成し、この生成した電子線像上の明部領域内に存在する暗部領域の明部領域との境界領域を求め、この求めた境界領域を穴パターン又は溝パターンのエッジ位置として検出することと、求めた境界領域の内部の暗部領域の明るさの情報から穴パターン又は溝パターンの深さを推定することの何れか又は両方を行うようにした。

**【0017】**

更にまた、上記した課題を解決するために、本発明では、基板上に形成された穴パターン又は溝パターンを計測する電子顕微鏡を、基板上に形成されたパターンに対して一次電子線を走査して照射する一次電子線照射手段と、一次電子線照射手段により一次電子線が照射された基板から放出される後方散乱電子のうち穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する後方散乱電子検出手段と、後方散乱電子検出手段で検出した後方散乱電子の強度分布に対応する電子線像を生成する電子線像生成手段とを備えて構成した。

**【発明の効果】****【0018】**

本発明によれば、高アスペクト比の穴径の計測が可能になるとともに、穴深さの計測が可能となる。

**【図面の簡単な説明】****【0019】**

**【図1A】**本発明の第1の実施例に係る走査電子顕微鏡システムの構成を示すブロック図である。

**【図1B】**本発明の第1の実施例に係るシンチレータの平面図である。

**【図1C】**穴パターンに1次電子ビームを照射したときに穴パターンの底から後方散乱電子(BSE)が発生した状態を模式的に示す穴パターンの断面図である。

**【図2A】**従来の走査電子顕微鏡システムの撮像光学系の構成を示すブロック図である。

**【図2B】**従来の走査電子顕微鏡システムの撮像光学系で、穴パターンに1次電子ビームを照射したときに穴パターンの底から後方散乱電子(BSE)が発生した状態を模式的に示す穴パターンの断面図である。

**【図3A】**本発明の第1の実施例に係る代表的な計測対象である高アスペクト比の穴が正しく形成された状態を示す穴パターンが形成された試料の断面図である。

**【図3B】**本発明の第1の実施例に係る代表的な計測対象である高アスペクト比の穴が浅く形成されて正しく形成されなかった状態を示す穴パターンが形成された試料の断面図で

10

20

30

40

50

ある。

【図3C】本発明の第1の実施例に係る代表的な計測対象である高アスペクト比の穴が深く形成されて正しく形成されなかった状態を示す穴パターンが形成された試料の断面図である。

【図4A】トップ径とボトム径とが同じ寸法で形成された穴パターンが形成された試料の断面図である。

【図4B】トップ径とボトム径とが異なる寸法で形成された穴パターンが形成された試料の断面図である。

【図4C】トップ径とボトム径とが同じ寸法で形成された穴パターンが形成された試料と異なる寸法で形成された穴パターンが形成された試料とのそれぞれ1次電子ビームを照射したときに検出される2次電子(SE)の検出強度分布のシミュレーション結果を示すグラフである。  
10

【図4D】トップ径とボトム径とが同じ寸法で形成された穴パターンが形成された試料と異なる寸法で形成された穴パターンが形成された試料とのそれぞれ1次電子ビームを照射したときに検出される後方散乱電子(BSE)の検出強度分布のシミュレーション結果を示すグラフである。

【図5A】穴パターンから発生した低角BSEによるBSE画像である。

【図5B】穴パターンの低角BSE画像のA-A断面における信号波形にBottom lineとSlope lineとを当てはめて、ボトム径を算出する状態を示す信号波形図である。

【図5C】穴パターンの低角BSE画像のA-A断面における信号波形に第1のしきい値と第2のしきい値とを当てはめて、穴径1と穴径2とを算出する状態を示す信号波形図である。  
20

【図6A】本発明の第2の実施例において、深さの異なる穴パターンに1次電子ビームを照射したときに検出される後方散乱電子(BSE)の強度分布を示すグラフである。

【図6B】本発明第2の実施例において、1次電子ビームの加速電圧ごとの穴パターンの深さと穴底から発生した後方散乱電子(BSE)との関係をプロットしたグラフである。

【図7A】穴パターンが形成された試料に1次電子ビームを照射したときに、穴底から後方散乱電子が発生する状態を模式的に示した穴パターンが形成された試料の顔面図である。

【図7B】穴パターンが形成された試料に1次電子ビームを照射したときに、穴底から発生する後方散乱電子の仰角に応じた分布を、穴深さごとの求めたグラフである。  
30

【図8A】本発明第2の実施例に係る穴パターンの画像の明るさにより穴深さを求める処理の処理フローを示すフロー図である。

【図8B】穴パターンの深さのウェハ内の分布を示すウェハマップである。

【図9A】本発明第2の実施例に係る、平均原子番号と反射電子強度との関係を示すグラフである。

【図9B】本発明第2の実施例に係る、試料の材質がSiGeの場合の穴パターンの穴深さと穴深さとBSE画像における穴パターンの明るさとの関係を1次電子ビームの加速電圧毎に求めたグラフである。

【図9C】本発明第2の実施例に係る、試料の材質がSiの場合の穴パターンの穴深さと穴深さとBSE画像における穴パターンの明るさとの関係を1次電子ビームの加速電圧毎に求めたグラフである。  
40

【図10】本発明第2の実施例に係る、穴深さと明るさの関係を表す検量線の作成方法を説明するフロー図である。

【図11A】本発明第3の実施例に係る走査電子顕微鏡システムの撮像光学系の構成を示すブロック図である。

【図11B】穴パターンに1次電子ビームを照射したときに穴パターンのトップエッジから二次電子が発生した状態を模式的に示す穴パターンの断面図である。

【図12A】穴パターンに1次電子ビームを照射したときに得られる穴パターンの二次電子像図である。  
50

【図12B】図12Aの二次電子像のA-A断面における信号波形を示す信号波形図である。

【図12C】第3の実施例に係るホールパターンのトップ径d1、穴深さh、ボトム径d2を示すホールパターンの斜視図である。

【図13A】本発明第3の実施例に係るSE像の模式図である。

【図13B】本発明の第3の実施例に係るBSE像の模式図である。

【図14A】本発明第4の実施例に係る走査電子顕微鏡システムの撮像光学系の構成を示すブロック図である。

【図14B】穴パターンに1次電子ビームを照射したときに穴底から発生した高角のBSEが穴の開口を通過して穴外に放出される状態を模式的に示す、穴パターンの断面図である。10

【図15】本発明第4の実施例に係る寸法計測アルゴリズムを示すフロー図である。

【図16A】本発明第5の実施例に係るユーザ・インターフェースを説明する図であって、計測すべきパターンを指定する計測ボックスを示す図である。

【図16B】本発明第5の実施例に係るユーザ・インターフェースを説明する図であって、側壁膜材料及び穴底材料を指定する材料指定ボックスを示す図である。

【図16C】本発明第5の実施例に係るユーザ・インターフェースを説明する図であって、BSEとSEの選択光学条件や、出力情報表示部の出力内容の設定を行う条件設定ボックスを示す図である。

【図17】高アスペクト比の溝パターンの断面構造を説明する斜視図である。20

【図18A】本発明の第6の実施例に係る走査電子顕微鏡システムの撮像光学系の構成を示すブロック図である。

【図18B】本発明第6の実施例に係る走査電子顕微鏡システムの撮像光学系の用いる方位方向分割型の低角BSE検出器の平面図である。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0020】

本発明は、試料に高加速電圧の電子線を照射し、低角度（例えば仰角5度以上）の後方散乱電子（BSE）を検出することによって、穴底から放出され側壁を突き抜けた、“突き抜けBSE”で穴底観察を行うようにしたものである。なお、本明細書においては、仰角を、計測対象である試料の表面の法線方向と放出電子の放出方向との成す角度として定義する。30

##### 【0021】

また、穴が深いと突き抜け距離が相対的に長くなるので、突き抜けBSEの量が減って像が暗くなるという特性を利用して、穴深さと明るさの関係を表す検量線を与えて、穴深さの計測を行うようにした。

以下、実施例を図面を用いて説明する。

##### 【実施例1】

##### 【0022】

図1Aは本発明が適用される走査電子顕微鏡システム100の基本構成である。電子顕微鏡システム100は、撮像光学系001、制御部021、演算部022、記憶部023、および入出力部024等から構成される。撮像光学系001は、電子銃101から高加速電圧（例えば30kV以上）の1次電子ビーム102を発生し、この1次電子ビーム102をコンデンサレンズ103で集束し、さらに対物レンズ105に通すことにより試料200の表面に集束する。40

##### 【0023】

1次電子ビーム102は、偏向器104により試料200の上を2次元的に走査される。試料200から放出される低角度方向の後方散乱電子110を環状のYAGシンチレータ106（図1B参照）で受けて光信号に変換し、光ファイバ111により高電子増倍管112に導き、画像生成部113によりデジタル画像を生成する。この際、画像が適正な明るさになるよう、明るさ補正が行われるのが一般的である。撮像された画像は、記憶部50

023に保存される。ステージ108を移動することにより、試料の任意の位置での画像撮像が可能である。

#### 【0024】

制御部021は、電子銃101周辺に印加する電圧、コンデンサレンズ104および対物レンズ105の焦点位置調整、ステージ108の移動、画像生成部113の動作タイミング等を制御する。演算部022では、撮像画像を用いて寸法計測処理を行う。試料情報の入力、撮像条件の入力、寸法計測結果の出力等は、出入力部024により行われる。

#### 【0025】

図1Aに示したような構成を用いて、高エネルギー（高加速電圧）の一次電子線を試料200に照射することにより、試料200からは高エネルギーの後方散乱電子（Back Scattered Electron: BSE）が放出される。この放出されたBSEは、図1Cに示したように、試料200に形成した穴210の側壁を突き抜けて、円環型のシンチレータ106に達する。これにより、穴底の観察が可能となる。10

#### 【0026】

従来技術の場合も、穴底に一次電子が照射されれば、BSEが放出されるが、一次電子が低エネルギー（低加速電圧）なので、BSEのエネルギーも低く、従って、大半のBSEは側壁内を進むうちにエネルギーを失って、突き抜けられない（図2B参照）。

#### 【0027】

本発明は、高加速電圧と低角BSE（試料200の表面の法線方向との成す角度が比較的大きい方向に発生したBSE）を組み合わせることで、“突き抜けBSE”という、従来とは異なる検出原理に基づく穴底観察を可能にしたものといえる。20

#### 【0028】

なお、低角BSEの検出には、YAGシンチレータ106の他、環状の半導体検出器、あるいは、ロビンソン型検出器を用いてもよい。また、環状の代わりに、複数方向に検出器を配置するような構成してもよい。

#### 【0029】

本発明の有効性を電子線シミュレーション（モンテカルロシミュレーション）によって確認した結果を図4A乃至図4Dに示す。図4Aの場合、サンプル401に形成された穴411の断面形状は、トップ径 $t_{d1}$ :70nm、ボトム径 $b_{d1}$ :70nm、穴深さ $h_{d1}$ :3.2umのホール（以下、 $t_{70}b_{70}$ ホールと記す）、また図4Bの場合、サンプル402に形成された穴412の、断面形状は、トップ径 $t_{d2}$ :70nm、ボトム径 $b_{d2}$ :30nm、穴深さ $h_{d2}$ :3.2umのホール（以下、 $t_{70}b_{30}$ ホールと記す）のを示す。加速電圧は30kVとし、二次電子像（Secondary Electron Image: SE像）は、エネルギーが50eV以下の電子を検出することによって、低角BSE像は、エネルギーが5000eV以上、放出電子の仰角（本明細書においては、仰角を試料200の表面の法線方向と放出電子の放出方向との成す角度として定義する）が15-65度の電子を検出することによって得た。30

#### 【0030】

図4A及び図4Bに示した断面形状が異なる穴411、412が形成されたサンプル401と402に一次電子ビーム102を照射したときに検出されるSE像の信号波形を図4Cに、低角BSE像の信号波形を図4Dに示す。同図の横軸は穴411または412の中心からの距離である。 $t_{70}b_{70}$ ホールにおいては、 $x=35\text{ nm}$ が穴底エッジ、 $t_{70}b_{30}$ ホールにおいては、 $x=15\text{ nm}$ がボトムエッジ端に相当する。同図の縦軸は検出信号強度（Yield）である。40

#### 【0031】

SE像の場合、図4Cのように、 $t_{70}b_{70}$ ホール（図4Aの穴411）が形成された試料401から検出されたSE像の信号波形421及び、 $t_{70}b_{30}$ ホール（図4Bの穴412）が形成された試料402から検出された低角BSE像の信号波形422において、穴底部の信号強度が必要に小さく、この信号波形からボトムエッジ位置を検出するのは困難である。50

## 【0032】

一方、低角BSE像の場合、図4Dのように、t70b70ホール(図4Aの穴411)が形成された試料401から検出された低角BSE像431の信号波形の立ち上がり位置はx=35nm付近に、t70b30ホール(図4Bの穴412)が形成された試料402から検出された低角BSE像432の信号波形の立ち上がり位置はx=15nm付近にあり、SE像よりも、穴底エッジ位置の検出に適していることが分かる。

## 【0033】

穴底エッジ位置の具体的な検出方法を図5A乃至図5Cに示す。図5Aのように、ホールパターンの低角BSE像501は、ホール内502が暗く、ホール外503が明るい画像となる。穴側壁が切り立っている場合はエッジがシャープな画像に、穴側壁にテーパがある場合は、エッジがぼけた画像となる。図5B、図5Cの信号波形510および520は、図5Aのホール502を横切るA-Aのスライス波形である。図4Dが示すように、ボトムエッジ端は、信号波形の立ち上がり位置なので、図5Bのように、信号波形のボトム領域と、スロープ領域に対して、それぞれ、Bottom line:511、slope line:512を当てはめ、これらの交点をボトムエッジ端513として検出し、ボトム径514を求める。あるいは、図5Cのように、信号波形のmax値521とmin値522を適當な比で内分するしきい値を与えて、しきい値と信号波形との交点をエッジ点としても良い。この際、大小二つのしきい値(th1:523とth2:524)を与えて、穴径1:525と穴径2:526を求めるようにしても良い。穴径1:525と穴径2:526の差(穴径1-穴径2)を側壁傾斜角指標値として、この側壁傾斜角指標値の大小によって、側壁テーパの大小をモニタすることが可能である。10  
20

## 【0034】

以上述べた、実施例1は本発明の基本構成である。本実施の形態によれば、従来技術では計測不可能であった、高アスペクト比の穴径計測が可能となる。

## 【実施例2】

## 【0035】

本実施例では、穴径だけでなく、穴深さの計測を行う方法を提供する。

本発明は、側壁を突き抜けたBSEを検出することで穴底観察を実現しているが、穴が深くアスペクト比が大きくなると、穴の底から放出された電子が側壁を突き抜けて表面に達するのに要する距離が長くなるため、途中でエネルギーを使い果たして突き抜けられなくなる電子の比率が増加する。換言すると、撮像画像上では、穴が深いほど穴部が暗いという関係を用いることで、穴深さを計測(推定)することが可能である。30

## 【0036】

以下、穴深さの計測を実現するための構成要件を明らかにする。なお、本実施例で用いる走査電子顕微鏡システムの構成は、実施例1で説明した図1Aに示した走査電子顕微鏡システム100の構成と同じである。

## 【0037】

図6Aは、試料に形成した穴の穴深さ2.0μmの場合と3.2μmの場合にそれぞれに一次電子ビームを照射したときに検出される低角BSE像の信号波形611と612の比較を示したグラフ610である。いずれも、試料に形成したホールパターンのトップ径(図4Bのtd2に相当)は70nm、ボトム径(図4Bのbd2に相当)は30nmであり、加速電圧、その他の条件は、図4A乃至図4Dで説明したシミュレーションと共通である。ホールパターンの穴深さ(図4Bのhd2に相当)2.0μmの場合の信号波形611における穴底に対応する部分からBSEを検出した信号6111の信号強度よりも、穴深さ3.2μmの場合の信号波形612における穴底に対応する部分からBSEを検出した信号6121の信号強度の方が明らかに小さいことが分かる。これは、SEを検出する従来技術とは大きく異なる特徴である。40

## 【0038】

図6Bは、試料に照射する一次電子の加速電圧が15kVと30kVと45kVにおける、試料に形成したホールパターンの穴深さと穴底部に対応する部分からBSEを検出し50

た信号（図6Aの信号6111および6121に相当）の信号強度（y i e l d）621、622、623の関係を示すグラフ620である。加速電圧が高い方が信号強度が大きいのは、BSEのエネルギーが高い分、側壁を突き抜けて試料の最上面まで達する電子の数が多いためである。深い穴の底を観察する場合には一次電子を高加速電圧で試料に照射した方が有利であり、本発明が対象とするような、深さ3μm以上の穴（アスペクト比が40を超える穴）の場合、一次電子の加速電圧を30kV以上にすることが望ましいことを示している。従来技術の加速電圧は1kV程度であるから、試料に形成した穴の側壁を突き抜けるようなエネルギーを持った突き抜けBSEを検出することは不可能である。

#### 【0039】

図7A及び図7Bは突き抜けBSEの検出に適した仰角（図7A参照）の範囲を明らかにするために実施したシミュレーションの結果である。図6A及び図6Bで説明した場合と同様に、試料に形成したホールパターンのトップ径 $t_{d3}$ を70nm、ボトム径 $b_{d3}$ を30nmとした。図7Bのグラフ710に、穴深さ $h_{d3}$ が0.1μm、0.6μm、1.2μmについての、仰角に対する信号強度の分布を示す。

10

#### 【0040】

なお、図4A乃至図4Dで説明したシミュレーションでは、図1Bに示したような環状シンチレータ106を想定して、放出電子が検出される仰角703の範囲を15-65度としたが、図7A及び図7Bのシミュレーションにおいては、全仰角を検出するようにしている。同図が示すように、仰角5度以下では、穴深さが異なっていても、信号強度にはあまり差がない。これは、穴底から放射されて直上の穴開口から穴外に脱出した電子が多く含まれるからである（穴深さによって信号強度が変わるのは、側壁内の通過距離の違いに依存するので、側壁を通過していない電子の場合は、穴深さによる信号強度の違いは生じない）。穴深さの計測には、仰角5度以上の低角のBSEを検出することが望ましいことが分かる。

20

#### 【0041】

本実施例においては、BSEの検出に試料200と対物レンズ105の間に設けた、環状のシンチレータ106を用いているので（図1参照）、高角のBSEはシンチレータ106中央の穴1061を通りぬける。したがって、このシンチレータ106中央の穴1061を通りぬけた高角（仰角703が小さい）のBSEはシンチレータ106で検出されないので、この要件は満たされる。

30

#### 【0042】

一方、BSE検出信号の信号量を確保するには、シンチレータ106によるBSEを検出するための仰角のカバー範囲は広い方が有利である。図7Bのグラフ710に示した仰角とBSE信号強度との関係から、少なくとも、BSE検出信号の信号強度が大きい仰角20度から60度の範囲をカバーすることが望ましい。本実施例においては、シンチレータ106の径、およびシンチレータ106と試料200との距離を調整することにより、この要件を満たすことが可能である。

#### 【0043】

図8Aは、穴深さ計測の処理の流れを示すフロー図である。図1Aに示した走査電子顕微鏡システム100における入力部024から、撮像倍率、加速電圧等の撮像条件を入力する（S801）。次に、撮像光学系001にてS801de入力された条件に基づいて試料200の画像を取得する（S802）。撮像光学系001にて試料200を撮像して得られた画像信号は演算部022に入力される（S803）。

40

#### 【0044】

演算部022では、画像810に示すように、穴部811の平均明るさ $B_0$ を算出し（S8031）、撮像時のビーム電流 $I_p$ 、画像生成時に適用された明るさ補正值（ $B_{rightness}$ 、 $Contrast$ ）に基づいて、穴部811の平均明るさを、変換式： $B_1 = f(B_0, I_p, brightness, constant)$ を用いて $B_1$ に変換する（S8032）。次に、グラフ820に示すような穴深さと穴の明るさの関係を表す検量線821を参照することで、穴の深さを求める（S8033）。

50

## 【0045】

S 8 0 3 2において、穴の明るさを  $B_0$  から  $B_1$  に変換するのは、画像上の穴の明るさは、ビーム電流値や明るさ補正值によっても変化するので、基準条件下での明るさに変換しなければ、検量線を参照する意味がないからである。換言すると、検量線 8 2 1 は、基準条件下での、図 8 B のウェハマップ 8 3 0 に示すような穴深さと穴の明るさの関係である必要がある。

## 【0046】

図 9 A 乃至図 9 C を用いて検量線について補足する。図 9 A のグラフ 9 1 0 は、反射電子強度の原子番号依存性 9 1 1 を示す。原子番号（化合物の場合は平均原子番号）が大きいほど、反射電子強度（y i e l d）が高いという関係にある。半導体プロセスで用いられる代表的な材料をグラフにプロットした。括弧内は、平均原子番号である。例えば、SiO<sub>2</sub>、Si は積層膜材料（図 3 A の 2 0 1、2 0 2）に、SiGe はストッパ膜（図 3 A の 2 0 5）に用いられる。反射電子強度に比例して、突き抜け BSE の強度も変化するので、検量線は材料別に加速電圧ごとのデータとして持つ必要がある。また、図 6 B に示したように、試料 2 0 0 に照射する一次電子ビーム 1 0 2 の加速電圧によっても突き抜け BSE の強度は異なる。従って、図 9 B のグラフ 9 2 0、及び図 9 C のグラフ 9 3 0 に示すように、材料別、加速電圧別の検量線のデータを持つことが必要である。

## 【0047】

検量線のデータ作成は、穴の深さが段階的に変わる標準試料が作成可能な場合は、穴の明るさを実測して作成すれば良いが、こうした標準試料の作成が難しい場合もある。この場合は、図 1 0 に示すように、穴深さが既知の実測データ（1 0 1 0）1～2 点を、シミュレーションの結果（1 0 2 0）に基づいて補間する（1 0 3 0）ことによって検量線 1 0 4 0 を得るようにしても良い。このような検量線のデータ 1 0 4 1 を複数の加速電圧毎に求めておけばよい。

## 【0048】

以上述べた、実施例 2 は、ハードウェアの基本構成は実施例 1 と同じであるが、加速電圧 3 0 kV 以上、仰角 5 度以上の要件を満たし、穴深さと穴明るさの関係を表す検量線を用いることにより、穴深さの計測を可能とするものである。

## 【0049】

また、実施例 1 と実施例 2 とは、ハードウェアの構成が同じであることから、同一のシステム構成で、実施例 1 と実施例 2 を実行することが可能である。

## 【実施例 3】

## 【0050】

本発明に係る第 3 の実施例の撮像光学系 0 0 2 の基本構成を図 1 1 A に示す。第 1 の実施例（図 1 A 参照）で説明した撮像光学系 0 0 1 との違いは、1 0 7 試料から放出される二次電子 1 2 0 を検出する検出器 1 2 1 が加わった点である。

## 【0051】

図 2 B、あるいは、図 4 C、図 4 D に示したように、試料に形成された穴の穴底から放出された二次電子（SE）が穴外に脱出することはできないが、図 1 1 B に示すように、穴のトップエッジ 1 3 1 付近で放出された二次電子 1 3 0 は検出器 1 2 1 で検出される。

## 【0052】

図 1 2 A に示した模式図 1 3 0 のように、穴 1 3 1 1 のトップエッジ 1 3 1 2 付近で放出された二次電子（図 1 1 B の 1 3 0）は、エッジ効果によって、画像上では明るいピークとなるので、穴のトップ径の計測に適している。図 1 2 B のように、信号波形 1 3 2 0 のピーク 1 3 2 1, 1 3 2 2 を検出すれば、ホールのトップ径 1 3 2 3 を求めることが可能である。

## 【0053】

実施例 1 と実施例 2 と実施例 3 を組み合わせれば、図 1 2 C のように、ホール（穴）1 3 3 0 のトップ径  $d_1 : 1 3 3 1$ 、穴深さ  $h : 1 3 3 3$ 、ボトム径  $d_2 : 1 3 3 2$  が求まるで、冒頭述べた計測課題であった、穴のトップ径/ボトム径の管理に必要な情報が取得

10

20

30

40

50

可能となる。

**【0054】**

さらに、図11Aに示す撮像光学系002を用いて、検出器106による低角BSE像と、検出器121によるSE像の同時取得を行えば、次のようなメリットもある。図13AはSE像の模式図1410、図13BはBSE像の模式図1420である。図13AのSE像の模式図1410におけるホール1411と図13BのBSE像の模式図1420におけるホール1421のように、SE像とBSE像のホール中心のずれは、穴が垂直にあいていないことを示唆するものである。

**【0055】**

SE像とBSE像との同時取得を行わない場合は、画像撮像時の位置ずれと、穴パターンの偏心の区別ができるが、SE像とBSE像とを同時取得の場合には、この問題がないので、同じ穴パターンについてSE像とBSE像とを比較することにより、穴パターンの偏心度をより正確に求めることができる。10

**【0056】**

本実施の形態によれば、同時に検出した低角BSE像とSE像を併用することにより、穴のトップ径がより正確に計測できると共に、穴の垂直度を管理するのに有効な情報を得ることが可能となる。

**【実施例4】**

**【0057】**

本発明に係る第4の実施例の撮像光学系003の基本構成を図14Aに示す。第1の実施例(図1参照)で説明した撮像光学系001との違いは、撮像光学系003には、試料107から放出される高角BSE150(試料107の表面と成す角度が比較的大きな角度方向に放出されたBSE150)を検出する検出器151と高角BSE像を生成する画像生成部152が加わった点である。20

**【0058】**

検出器151は、図14Bに示すような、試料107に形成したホール(穴)1501の穴底1503からほぼ直上に放出され、穴1501の開口1502を通過して、穴外に放出される高角のBSE130を検出する。高角のBSE130を検出した検出器151からの出力信号は、高角BSE像を生成する画像生成部152に入力されてデジタル画像が生成され、演算部022に入力される。図7Bにおいて、高角のBSE像は、穴深さに対する感度がないことを説明した。言い換えると、穴の深さと関係なく、穴底材料の反射電子強度の情報を持っているのが、高角BSE像である。30

**【0059】**

図3B、及び図3Cに示したように、穴206乃至209が正常に形成されていない場合、一般に、穴底の材料は不定である。シンチレータ106で検出される低角BSE像の場合、穴の深さの変化によっても、穴底の材料の違いによっても信号量が変化するため、これらを判別することができない。一方、検出器151で検出される高角BSE像は、穴の深さには感度がないので、信号強度から、穴底材料を推定することが可能である。

**【0060】**

図15に高角BSE像を併用する場合の演算部022における処理フローを示す。先ず、高角BSE像を生成する画像生成部152から入力された高角BSE像から穴底の明るさを算出し(S160)、この明るさから穴底の材料を推定する。この際、図示しないが、低角BSE像の場合の明るさ変換(図8のS8032)に相当するステップが必要なのは同様である。穴底材料が確定できない場合は、低角BSE像を用いた穴深さ計測を実施する意味がないので処理を終了する。穴底材料が確定できた場合、低角BSE像を生成する画像生成部113から入力された低角BSE像を用いて穴底の明るさを算出し(S162)、明るさ変換(S163)を行った後、該当する材料、加速電圧の検量線を参照することで、穴深さを算出する(S164)。40

**【0061】**

本実施の形態によれば、上記のように、穴底の材料が不確定な場合においても、穴深さ

10

20

30

40

50

の計測が可能となる。

**【実施例 5】**

**【0062】**

実施例 5 は、本発明を実行するためのユーザ・インターフェースである。実施例 1 ~ 実施例 4 に示した計測を自動で行うためには、事前に、種々の条件を指定したレシピを作成する必要がある。レシピでは、図 16 A のように、計測すべきパターン 1711 を指定する計測ボックス 1710 の他、図 16 B に示した、側壁膜材料 1721 及び穴底材料 1722 を指定する材料指定ボックス 1720 、図 16 C に示した BSE と SE の選択光学条件や、出力情報表示部 1735 の出力内容の設定を行う条件設定ボックス 1730 を、入出力部 024 の画面上に表示する。

10

**【0063】**

本実施の形態によれば、本発明を実行するのに、ユーザ入力が必要な項目を指定することが可能となる。

**【実施例 6】**

**【0064】**

本発明に係る第 6 の実施例の撮像光学系の基本構成を図 18 A に示す。実施例 1 ~ 実施例 4 の構成は、穴パターン計測を主な対象とするが、本実施の形態は、高アスペクト比の溝パターン（図 17 の 185）を対象とする。例えば、3D-NAND プロセスにおける、ワードラインのスリット形成工程がこれに相当する。本実施の形態では、撮像光学系 004 に、低角 BSE 検出のための検出器 180 として、方位角方向に分割した検出器 180 を用いる。

20

**【0065】**

計測対象が溝パターンの場合、溝の長手方向に放出された BSE は、突き抜け BSE とはならないため、これを検出しないようにして、溝の短手方向に放出された、突き抜け BSE だけを検出するための検出器 180 が、図 18 B に示すような 4 つの検出素子 180a ~ 180d を備えた方位方向分割型の検出器 180 である。溝の方向に応じて、どの方位の検出器の出力を用いるかを選択する。

**【0066】**

図 18 A に示した撮像光学系 004 を用いることにより、図 17 に示したような試料 200 に形成された溝パターン 185 の深さや溝幅の計測だけでなく、実施例 1 及び 2 で説明したような、穴パターンの深さや径の計測を行いことも可能である。

30

**【0067】**

本実施の形態によれば、高アスペクト比の溝パターンの計測に本発明であるところの、突き抜け BSE 検出を適用することが可能となる。

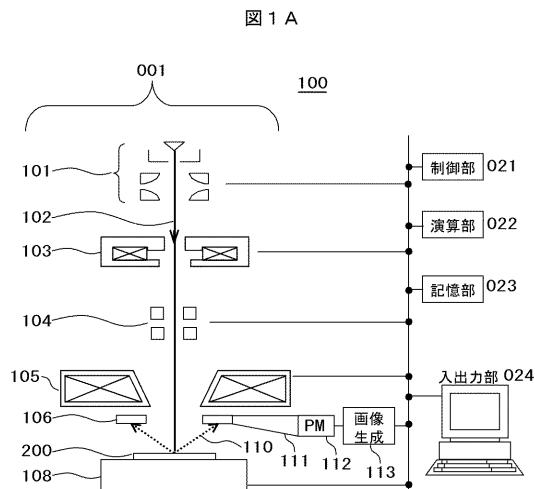
**【符号の説明】**

**【0068】**

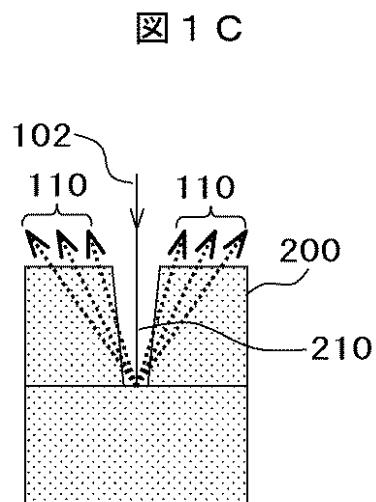
001, 002, 003, 004 . . .	撮像光学系	021 . . . 制御部	022
· · · 演算部	023 . . . 記憶部	024 . . . 入出力部	101 . . . 電子銃
102 . . . 一次電子線	103 . . . コンデンサレンズ	104 . . . 偏向器	
105 . . . 対物レンズ	106 . . . 低角 BSE 検出用環状シンチレータ		1
08 . . . ステージ	110 . . . 低角 BSE	111 . . . 光ファイバ	112
· · · 光電子増倍管	113 . . . 低角 BSE 像を生成する画像生成部		200 . . .
· 試料	201, 202 . . . 積層膜	204 . . . 正常に形成された穴パターン	
205 . . . ストップ膜	206, 207 . . . 穴開け不足のホール		208, 2
09 . . . 穴開け過剰のホール	120 . . . 二次電子	121 . . . 二次電子検出器	
122 . . . 二次電子像を生成する画像生成部		130 . . . 穴底から放射された二次電子	
140 . . . SE 像上のホールパターン		141 . . . 低角 BSE 像上のホールパターン	
150 . . . 高角 BSE		151 . . . 高角 BSE 検出器	1
52 . . . 高角 BSE 像を生成する画像生成部		185 . . . 高アスペクトの溝パターン	
180 . . . 方位方向分割型の低角 BSE 検出器。			50

40

【図 1 A】

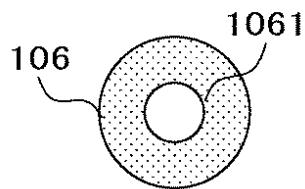


【図 1 C】



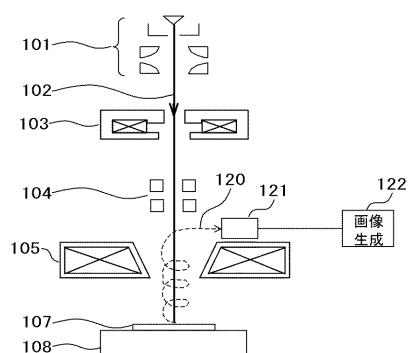
【図 1 B】

図 1 B



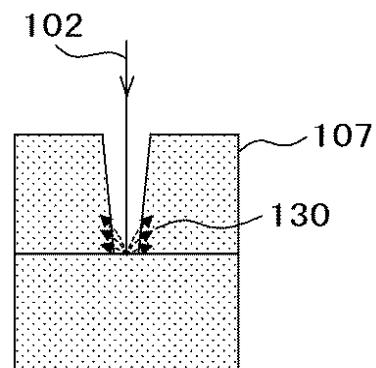
【図 2 A】

図 2 A



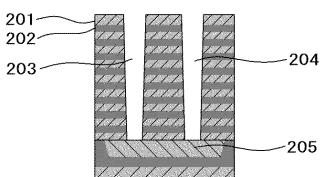
【図 2 B】

図 2 B

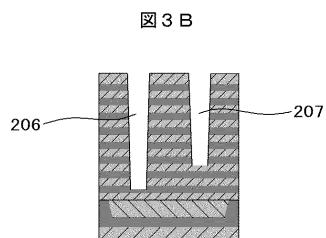


【図 3 A】

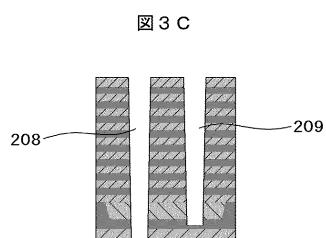
図 3 A



【図3B】

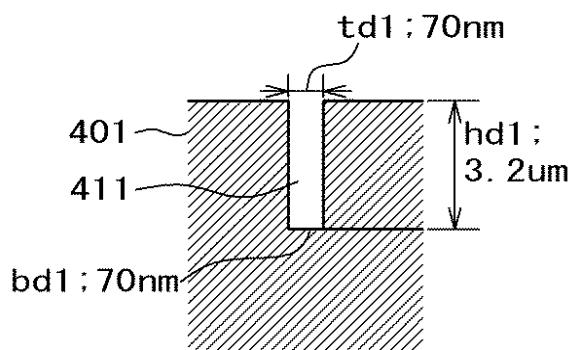


【図3C】



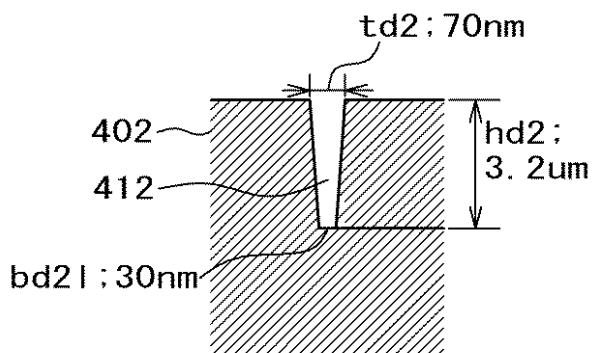
【図4A】

図4A



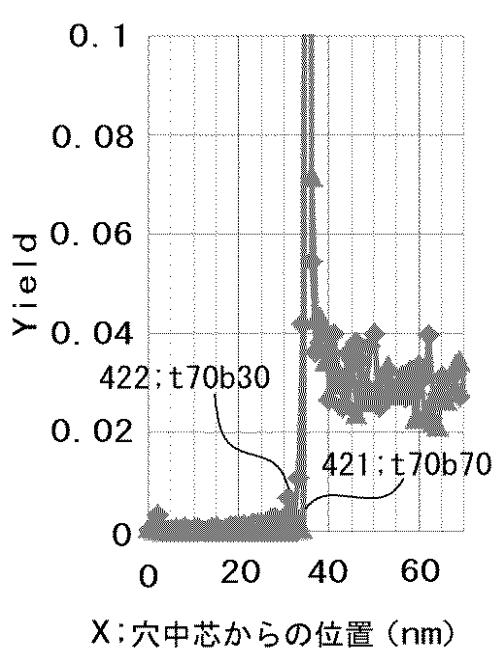
【図4B】

図4B



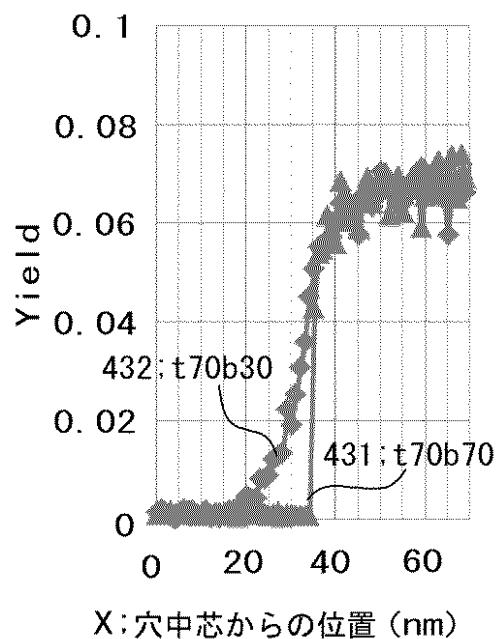
【図4C】

図4C



【図 4 D】

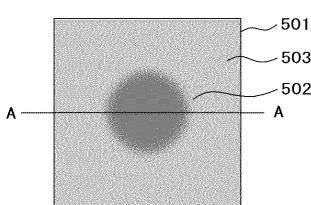
図 4 D



X: 穴中芯からの位置 (nm)

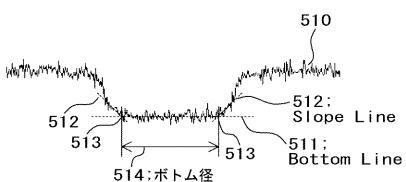
【図 5 A】

図 5 A



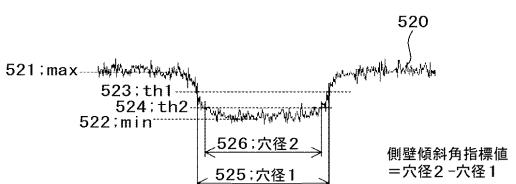
【図 5 B】

図 5 B



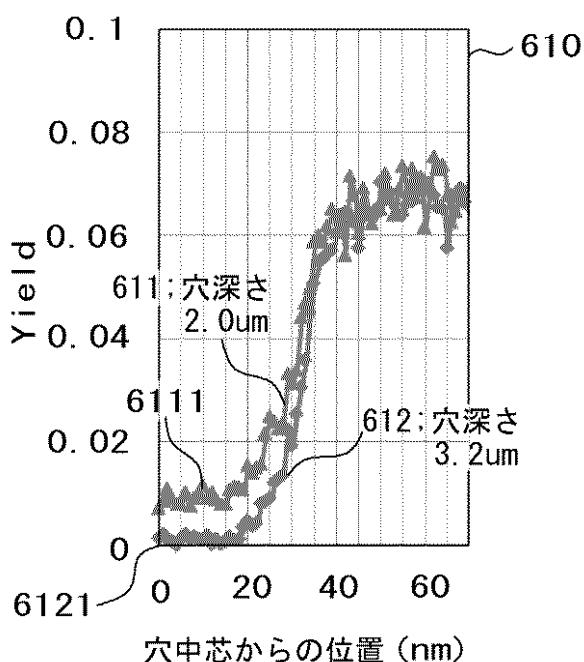
【図 5 C】

図 5 C



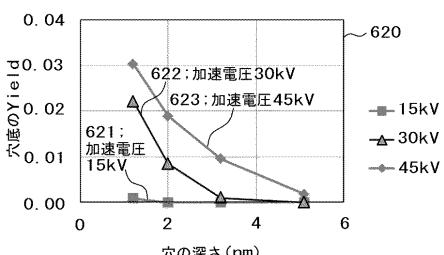
【図 6 A】

図 6 A

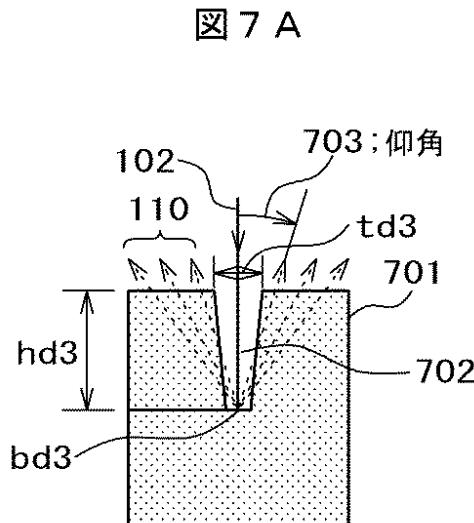


【図 6 B】

図 6 B

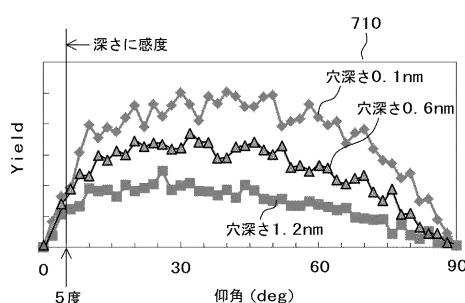


【図 7 A】

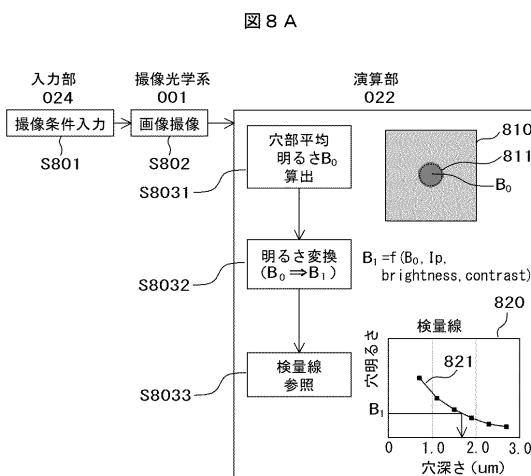


【図 7 B】

図 7 B

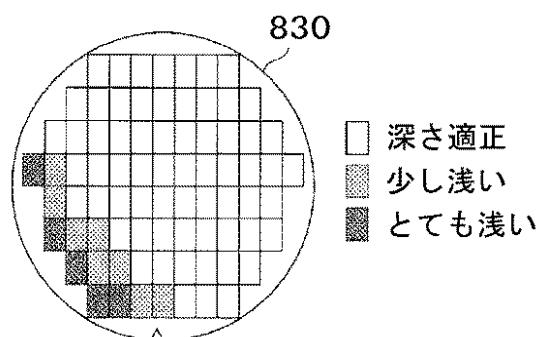


【図 8 A】



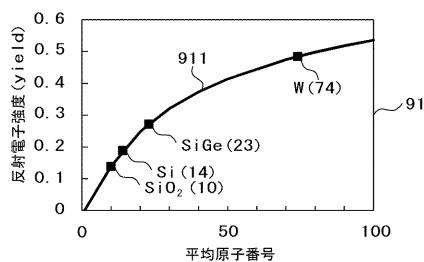
【図 8 B】

図 8 B

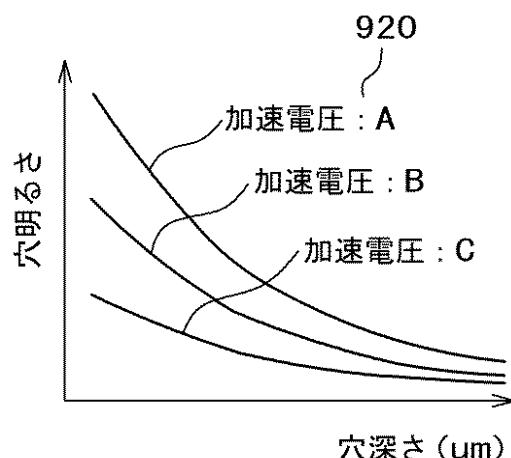


【図 9 A】

図 9 A

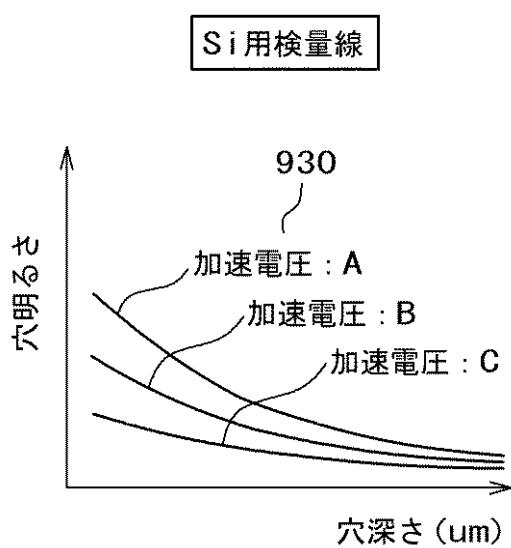


SiGe用検量線



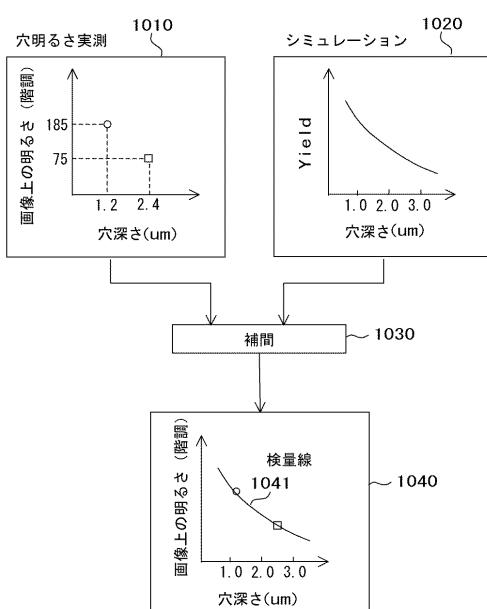
【図 9 C】

図 9 C



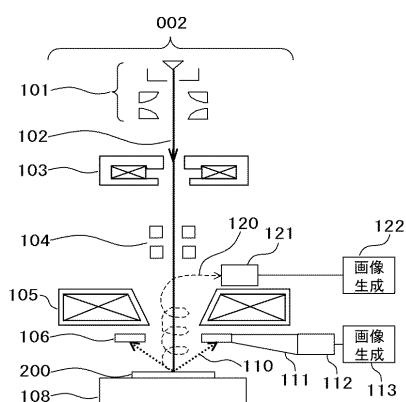
【図 10】

図 10



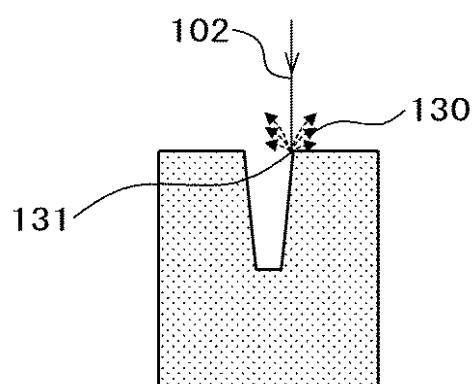
【図 11 A】

図 11 A



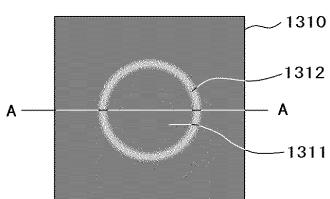
【図 11 B】

図 11 B



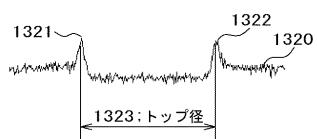
【図 12 A】

図 12 A



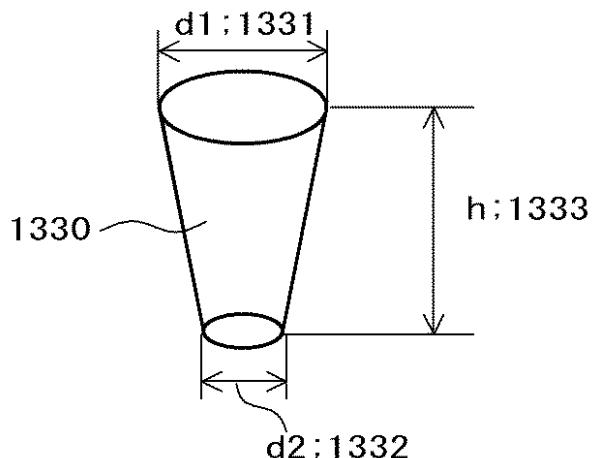
【図 1 2 B】

図 1 2 B



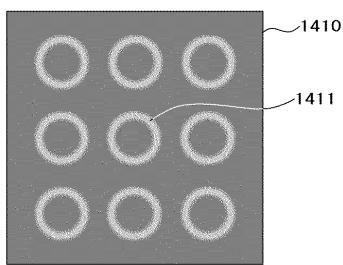
【図 1 2 C】

図 1 2 C



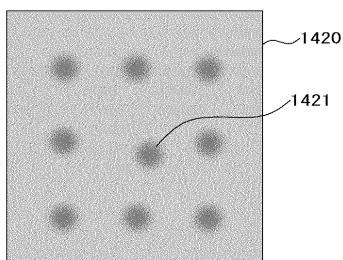
【図 1 3 A】

図 1 3 A



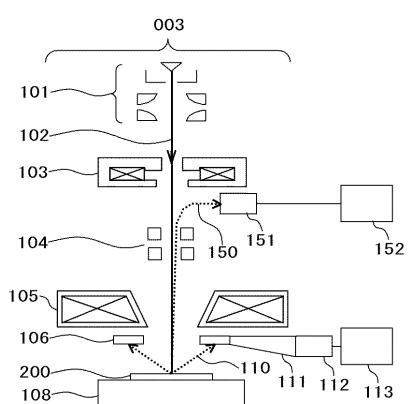
【図 1 3 B】

図 1 3 B



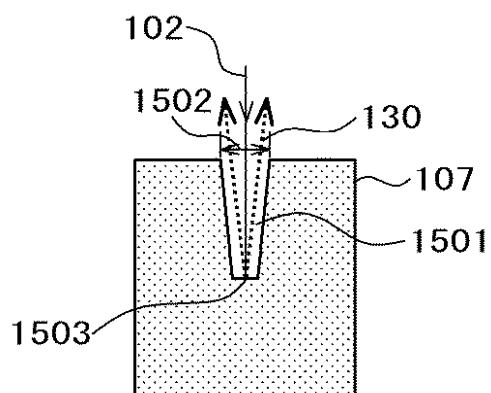
【図 1 4 A】

図 1 4 A

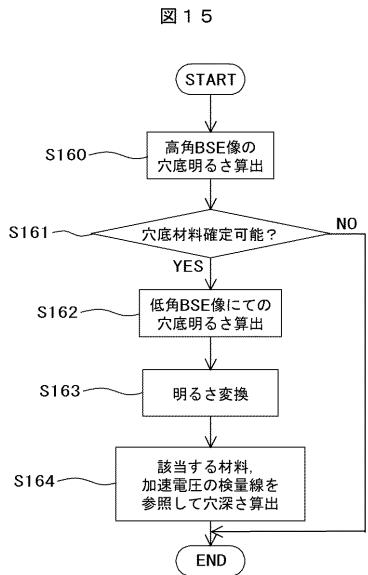


【図 1 4 B】

図 1 4 B

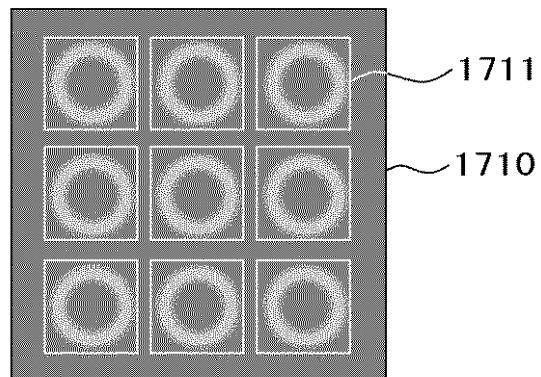


【図15】



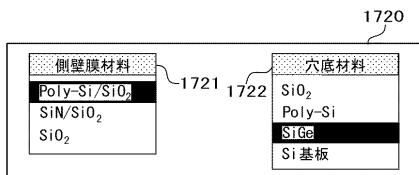
【図16A】

図16A



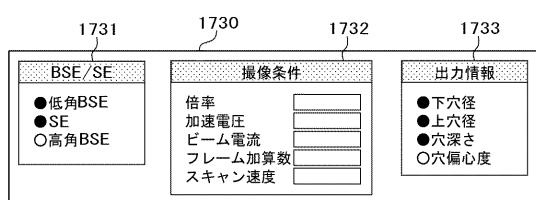
【図16B】

図16B



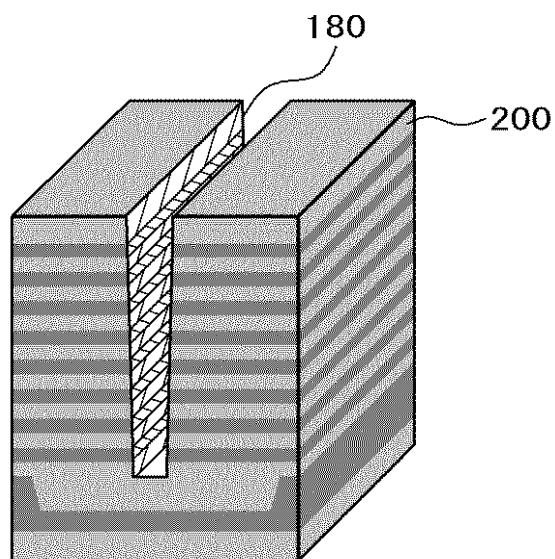
【図16C】

図16C

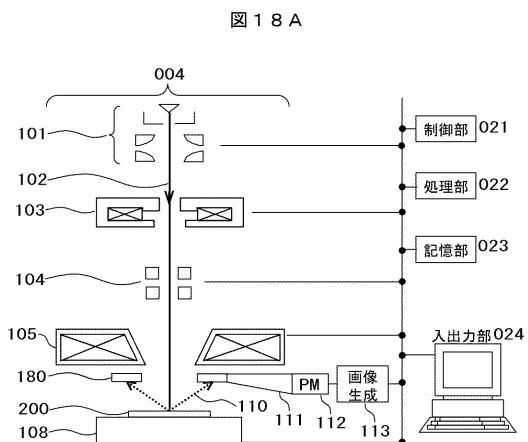


【図17】

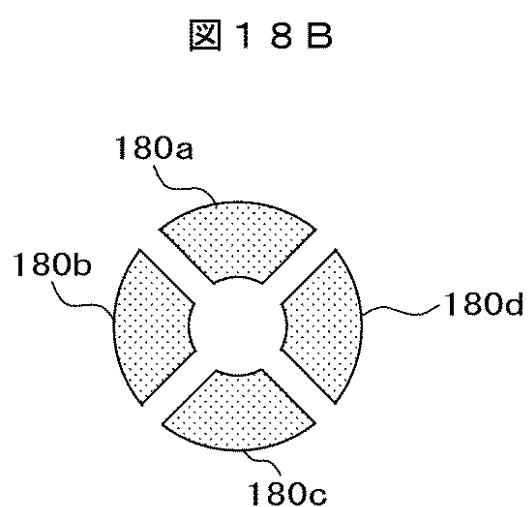
図17



【図 18 A】



【図 18 B】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山田 慎也

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

(72)発明者 田中 麻紀

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

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特開平04-149944(JP,A)

特開平06-310075(JP,A)

特開2013-089514(JP,A)

特開2002-110079(JP,A)

特開2013-134879(JP,A)

特開2013-045500(JP,A)

特開2003-157790(JP,A)

特開2010-175249(JP,A)

国際公開第2012/039206(WO,A1)

米国特許第5412210(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 15/00 - 15/08、

G01N 23/00 - 23/227、

H01J 37/00 - 37/02、37/05、

37/09 - 37/244、37/252 - 37/295、

H01L 21/64 - 21/66