

(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6月11日(11.06.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/083548 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/28 (2006.01) H01J 37/244 (2006.01)
H01J 37/22 (2006.01) H01L 21/66 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/080661
- (22) 国際出願日: 2014年11月19日(19.11.2014)
- (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 2013-249249 2013年12月2日(02.12.2013) 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: 宍戸 千絵(SHISHIDO Chie); 〒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). 山本 琢磨(YAMAMOTO Takuma); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 山田 慎也(YAMADA Shinya); 〒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). 田

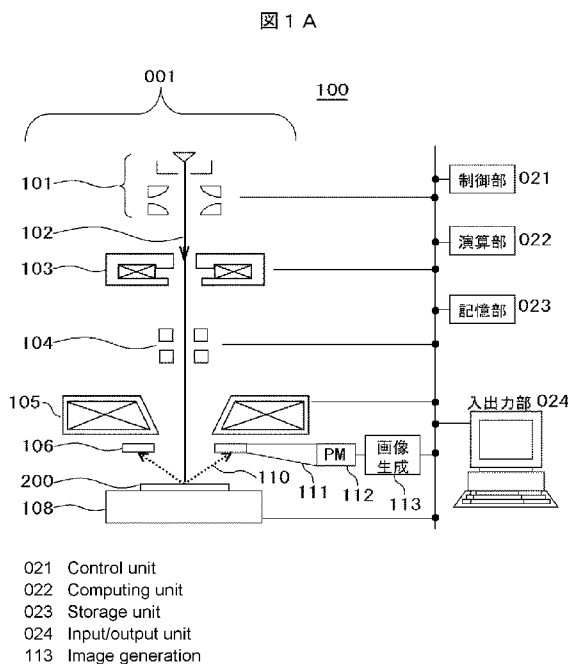
中 麻紀(TANAKA Maki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 青稜特許業務法人(SEIRYO I.P.C.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目2番2号 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, 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, ST, 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,

[続葉有]

(54) Title: SCANNING ELECTRON MICROSCOPE SYSTEM, PATTERN MEASUREMENT METHOD USING SAME, AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

(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) Abstract: This scanning electron microscope irradiates a sample (200) with a primary electron beam (102) of 30 kV or greater in acceleration voltage, and detects a low-angle (for instance, an elevation angle of 5 degrees or wider) back-scattered electron (BSE) generated from the sample. This allows a "punch-through BSE (110)", which is generated at the bottom of a hole portion of the sample and punches through a side-wall (200) of the hole portion, to be used to observe the hole bottom. In addition, to measure the hole depth, a hole depth vs brightness calibration curve is constructed by taking advantage of the property of the image becoming darker when the amount of punch-through BSEs is reduced as a result of the punch-through distance becoming relatively long when the hole is deep. This allows an ultra-high aspect ratio hole, as typified in a 3D-NAND hole-etching process, to be determined as being open/not-open, or, to have the hole top diameter/bottom diameter examined/measured.

(57) 要約: 本発明の走査電子顕微鏡は、加速電圧30kV以上の一次電子線(102)を試料(200)に照射し、前記試料から発生する低角(例えば仰角5度以上)の後方散乱電子(BSE)を検出する。これにより、前記試料の穴部の穴底で発生し、前記穴部の側壁(200)を突き抜けた"突き抜けBSE(110)"を用いて前記穴底の観察を行うことができる。更に、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 v s明るさの検量線を作り、穴深さの計測を行う。これにより、3D-NANDの穴開け工程に代表される、超高アスペクト比の穴の開口/非開口の判定、あるいは、穴のトップ径/ボトム径を検査・計測することが可能となる。

WO 2015/083548 A1



MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, 添付公開書類:
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

明 細 書

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

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、特にアスペ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

[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。

[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されてきたが、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。

[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低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] 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

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。
- [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。

[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。

[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。

[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。

[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。

[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。

[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。

[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。

[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 d_1 、穴深さ h 、ボトム径 d_2 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。

[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。

[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。

[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。

[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、入出力部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 1 C 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。

[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 2 B 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。

[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 4 A 乃至図 4 D に示す。図 4 A 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} : 70 nm、ボトム径 b_{d1} : 70 nm、穴深さ h_{d1} : 3.2 μ m のホール (以下、 $t_{70}b_{70}$ ホールと記す)、また図 4 B 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} : 70 nm、ボトム径 b_{d2} : 30 nm、穴深さ h_{d2} : 3.2 μ m 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 30 kV とし、二次電子像 (Secondary Electron Image: SE 像) は、エネルギーが 50 eV 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 5000 eV 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。

[0030] 図4 A及び図4 Bに示した断面形状が異なる穴4 1 1、4 1 2が形成されたサンプル4 0 1と4 0 2に一次電子ビーム1 0 2を照射したときに検出されるS E像の信号波形を図4 Cに、低角B S E像の信号波形を図4 Dに示す。同図の横軸は穴4 1 1または4 1 2の中心からの距離である。t 7 0 b 7 0ホールにおいては、 $x = 35 \text{ nm}$ が穴底エッジ、t 7 0 b 3 0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 (Y i e l d) である。

[0031] S E像の場合、図4 Cのように、t 7 0 b 7 0ホール (図4 Aの穴4 1 1) が形成された試料4 0 1から検出されたS E像の信号波形4 2 1及び、t 7 0 b 3 0ホール (図4 Bの穴4 1 2) が形成された試料4 0 2から検出された低角B S E像の信号波形4 2 2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。

[0032] 一方、低角B S E像の場合、図4 Dのように、t 7 0 b 7 0ホール (図4 Aの穴4 1 1) が形成された試料4 0 1から検出された低角B S E像4 3 1の信号波形の立ち上がり位置は $x = 35 \text{ nm}$ 付近に、t 7 0 b 3 0ホール (図4 Bの穴4 1 2) が形成された試料4 0 2から検出された低角B S E像4 3 2の信号波形の立ち上がり位置は $x = 15 \text{ nm}$ 付近にあり、S E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5 A乃至図5 Cに示す。図5 Aのように、ホールパターンの低角B S E像5 0 1は、ホール内5 0 2が暗く、ホール外5 0 3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5 B、図5 Cの信号波形5 1 0および5 2 0は、図5 Aのホール5 0 2を横切るA-Aのスライス波形である。図4 D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5 B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 : 5 1 1、Slope line : 5 1 2を当てはめ、これらの交点をボト

ムエッジ端 5 1 3 として検出し、ボトム径 5 1 4 を求める。あるいは、図 5 C のように、信号波形の max 値 5 2 1 と min 値 5 2 2 を適当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 (th 1 : 5 2 3 と th 2 : 5 2 4) を与えて、穴径 1 : 5 2 5 と穴径 2 : 5 2 6 を求めるようにしても良い。穴径 1 : 5 2 5 と穴径 2 : 5 2 6 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。

[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。

[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 1 A に示した走査電子顕微鏡システム 1 0 0 の構成と同じである。

[0037] 図 6 A は、試料に形成した穴の穴深さ 2. 0 μm の場合と 3. 2 μm 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 6 1 1 と 6 1 2 の比較を示したグラフ 6 1 0 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 4 B の td 2 に相当) は 7 0 nm、ボトム径 (図 4 B の bd 2 に相当) は 3 0 nm であり、加速電圧、その他の条件は、図 4 A 乃至図 4 D 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 h_{d2} に相当） $2.0\text{ }\mu\text{m}$ 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 $3.2\text{ }\mu\text{m}$ 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。

[0038] 図6Bは、試料に照射する一次電子の加速電圧が 15 kV と 30 kV と 45 kV 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を検出した信号（図6Aの信号6111および6121に相当）の信号強度（ y_{ield} ）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 $3\text{ }\mu\text{m}$ 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 30 kV 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 1 kV 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 70 nm 、ボトム径 b_{d3} を 30 nm とした。図7Bのグラフ710に、穴深さ h_{d3} が $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 、 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 、 $1.2\text{ }\mu\text{m}$ についての、仰角に対する信号強度の分布を示す。

[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 70.3 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るとしても、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。

[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。

[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S801で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）。

[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（Brightness、Contrast）に基づいて、

穴部 8 1 1 の平均明るさを、変換式: $B_1 = f(B_0, I_p, \text{brightness, constant})$ を用いて B_1 に変換する (S 8 0 3 2)。次に、グラフ 8 2 0 に示すような穴深さと穴の明るさの関係を表す検量線 8 2 1 を参照することで、穴の深さを求める (S 8 0 3 3)。

[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 (yield) 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_2 、 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、そ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 30 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 と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 002 の基本構成を図 11A に示す。第 1 の実施例（図 1A 参照）で説明した撮像光学系 001 との違いは、107 試料から放出される二次電子 120 を検出する検出器 121 が加わった点である。

[0051] 図 2B、あるいは、図 4C、図 4D 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 11B に示すように、穴のトップエッジ 131 付近で放出された二次電子 130 は検出器 121 で検出される。

[0052] 図 12A に示した模式図 130 のように、穴 1311 のトップエッジ 1312 付近で放出された二次電子（図 11B の 130）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 12B のように、信号波形 1320 のピーク 1321, 1322 を検出すれば、ホール（穴）のトップ径 1323 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 12C のように、ホール（穴）1330 のトップ径 d_1 : 1331、穴深さ h : 1333、ボトム径 d_2 : 1332 が求まるので、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 1 4 2 0 である。図 1 3 A の S E 像の模式図 1 4 1 0 におけるホール 1 4 1 1 と図 1 3 B の B S E 像の模式図 1 4 2 0 におけるホール 1 4 2 1 のように、S E 像と B S E 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] S E 像と B S E 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ないが、S E 像と B S E 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 S E 像と B S E 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。

[0056] 本実施の形態によれば、同時に検出した低角 B S E 像と S E 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 0 0 3 の基本構成を図 1 4 A に示す。第 1 の実施例（図 1 参照）で説明した撮像光学系 0 0 1 との違いは、撮像光学系 0 0 3 には、試料 1 0 7 から放出される高角 B S E 1 5 0（試料 1 0 7 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 B S E 1 5 0）を検出する検出器 1 5 1 と高角 B S E 像を生成する画像生成部 1 5 2 が加わった点である。

[0058] 検出器 1 5 1 は、図 1 4 B に示すような、試料 1 0 7 に形成したホール（穴）1 5 0 1 の穴底 1 5 0 3 からほぼ直上に放出され、穴 1 5 0 1 の開口 1 5 0 2 を通過して、穴外に放出される高角の B S E 1 3 0 を検出する。高角の B S E 1 3 0 を検出した検出器 1 5 1 からの出力信号は、高角 B S E 像を生成する画像生成部 1 5 2 に入力されてデジタル画像が生成され、演算部 0 2 2 に入力される。図 7 B において、高角の B S E 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 B S E 像である。

[0059] 図 3 B、及び図 3 C に示したように、穴 2 0 6 乃至 2 0 9 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。まず、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)。

[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 16A 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 16B 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 16C 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。

[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18A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。
- [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18B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18A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。
- [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
108・・・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・・・ストッパ膜 206、207・・・穴開け不足のホール 208、209・・・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 152・・・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。

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
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] 請求項1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、前記試料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3] 請求項1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4] 請求項1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5] 請求項1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。

[請求項6] 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7] 請求項6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、前記試料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8] 請求項6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。
- [請求項9] 請求項6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10] 請求項6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11] 請求項6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。

[請求項12] 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13] 請求項12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、前記試料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14] 請求項12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。

[請求項15] 請求項12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16] 請求項12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17] 請求項12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。

[請求項18] 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19] 請求項18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。

[請求項20] 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、

を有することを特徴とする走査電子顕微鏡。

[請求項21] 請求項20に記載の走査電子顕微鏡であって、

前記後方散乱電子検出手段は、前記試料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。

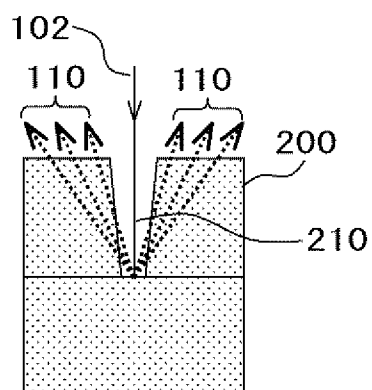
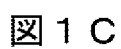
[請求項22] 請求項20に記載の走査電子顕微鏡であって、
前記後方散乱電子検出手段は、前記穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた仰角が5度以上の方向に散乱した後方散乱電子を検出することを特徴とする走査電子顕微鏡。

[請求項23] 請求項20に記載の走査電子顕微鏡であって、
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を更に含むことを特徴とする走査電子顕微鏡。

[請求項24] 請求項20に記載の走査電子顕微鏡であって、
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、を更に含むことを特徴とする走査電子顕微鏡。

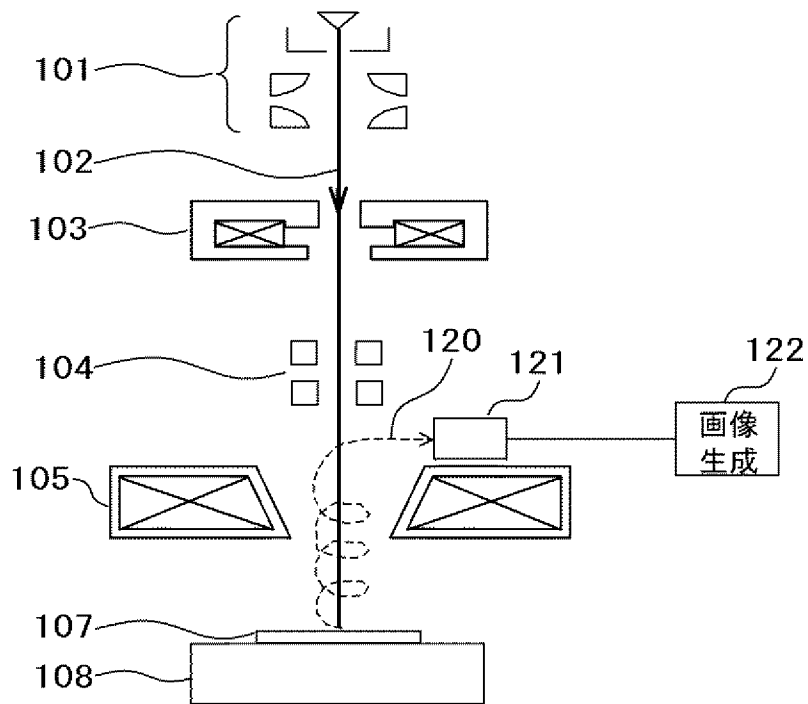
[請求項25] 請求項20に記載の走査電子顕微鏡であって、
前記穴パターン又は溝パターンの側壁を突き抜けた後方散乱電子を検出する後方散乱電子検出手段は、前記後方散乱電子を方位別に検出する複数の検出面を有する検出器を備えたことを特徴とする走査電子顕微鏡。

図 1 A



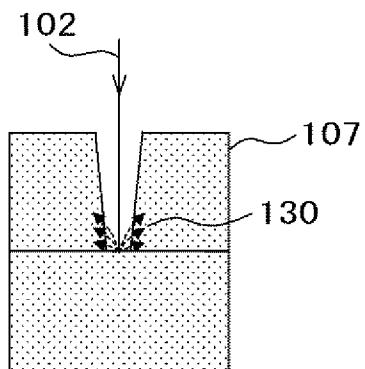
[図2A]

図 2 A



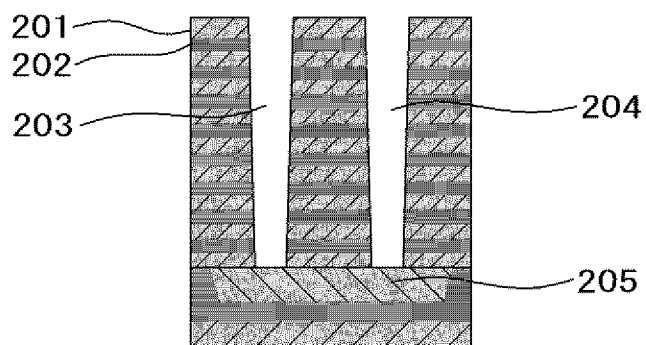
[図2B]

図 2 B



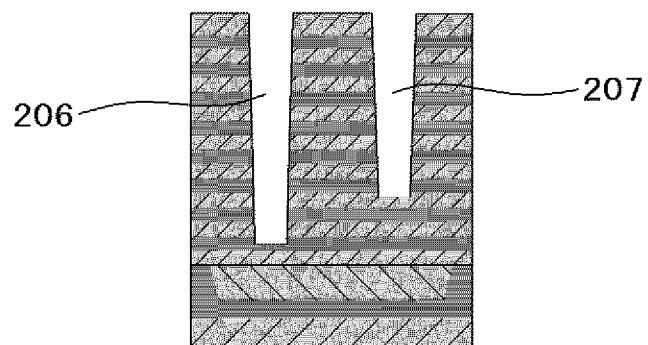
[図3A]

図 3 A



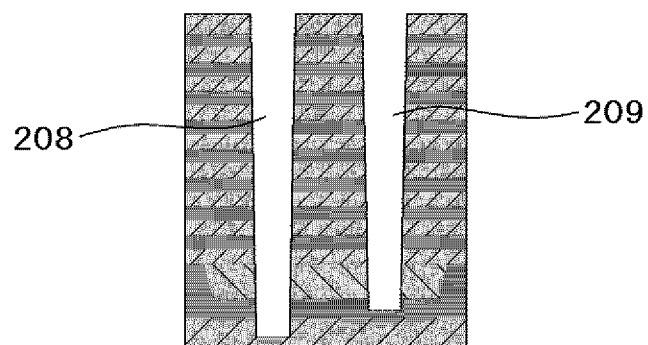
[図3B]

図 3 B



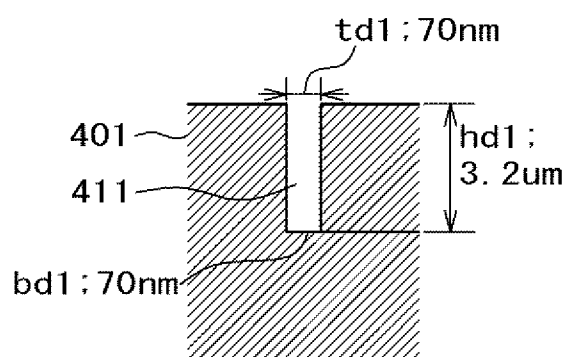
[図3C]

図 3 C



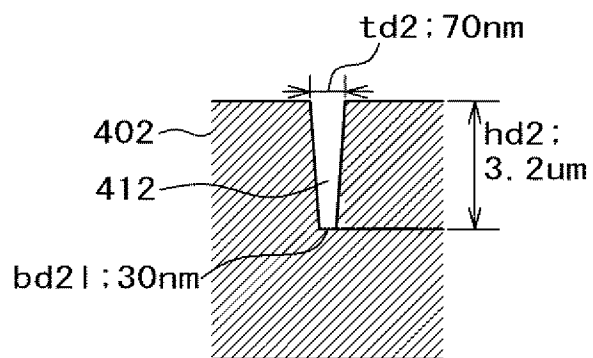
[図4A]

図 4 A



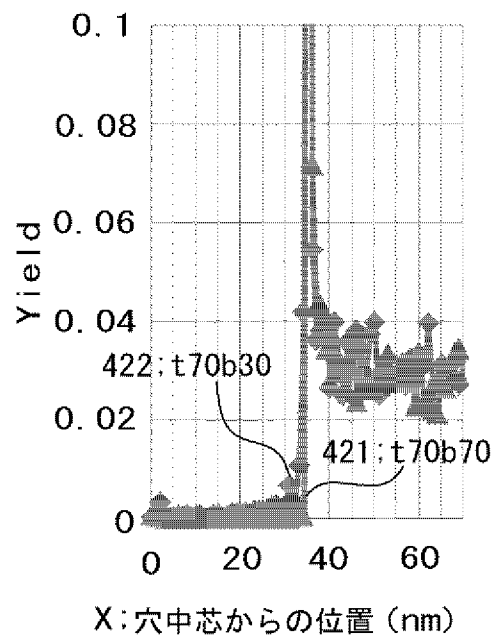
[図4B]

図 4 B



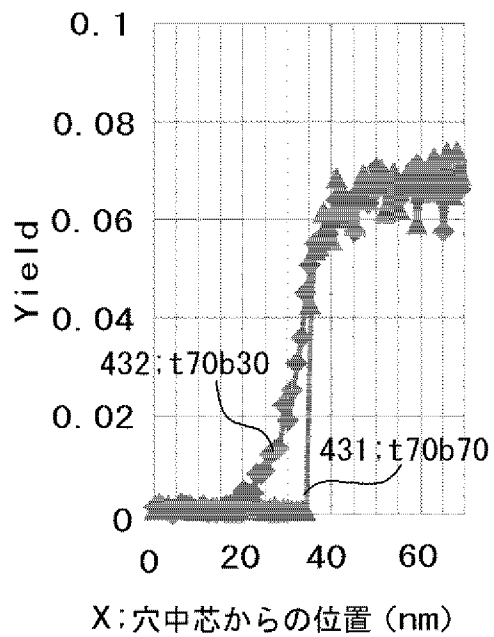
[図4C]

図 4 C



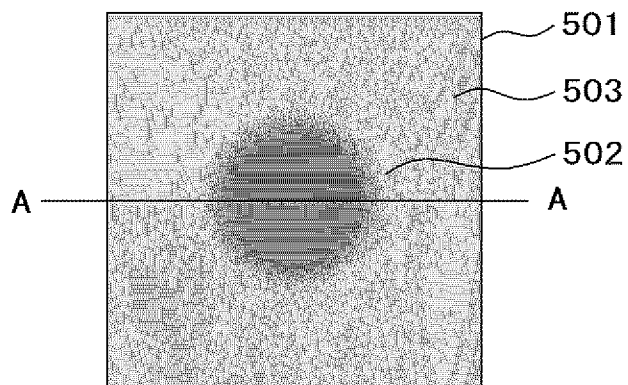
[図4D]

図 4 D



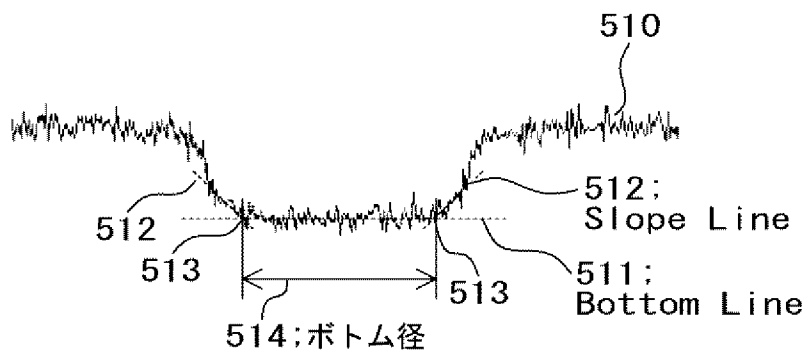
[図5A]

図 5 A



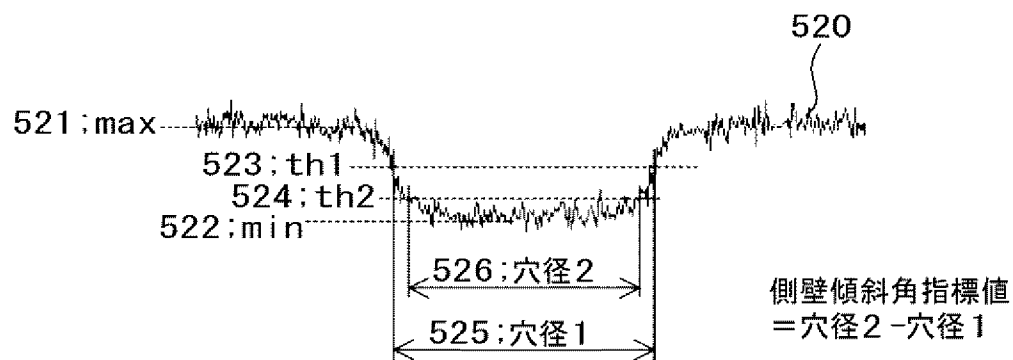
[図5B]

図 5 B



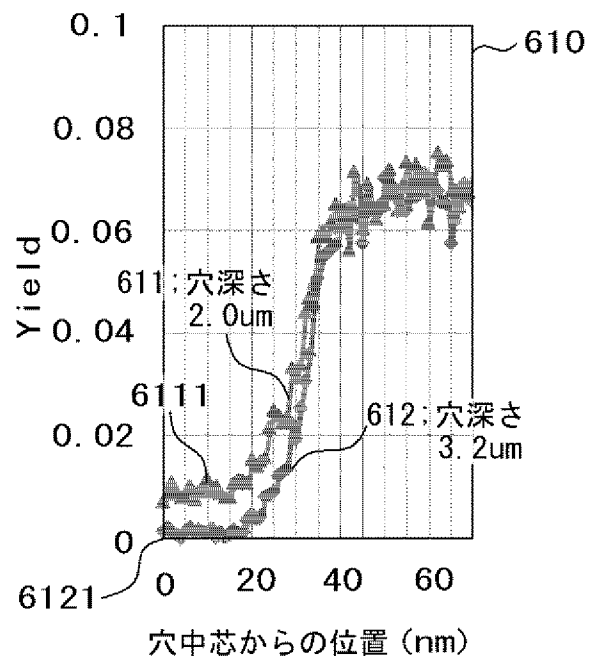
[図5C]

図 5 C



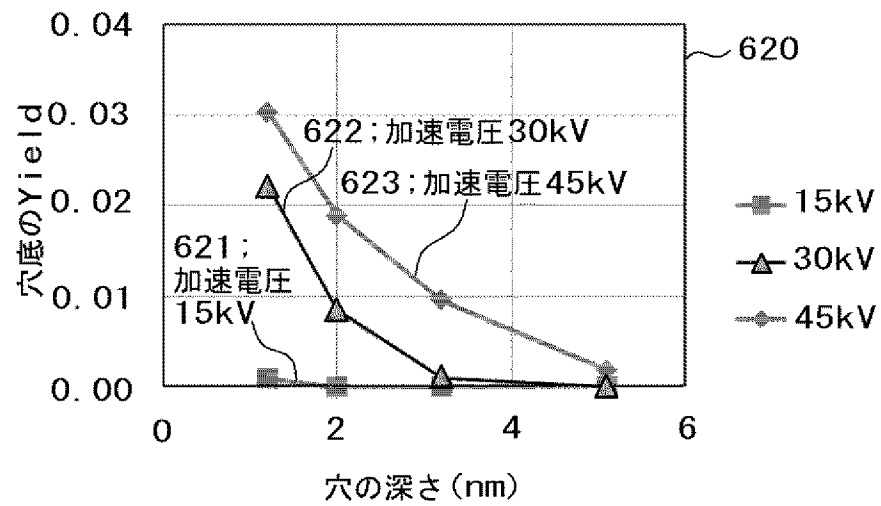
[図6A]

図 6 A



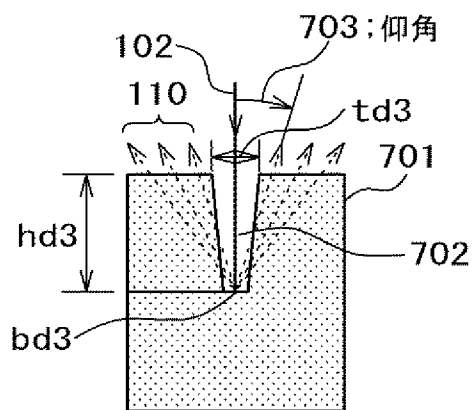
[図6B]

図 6 B



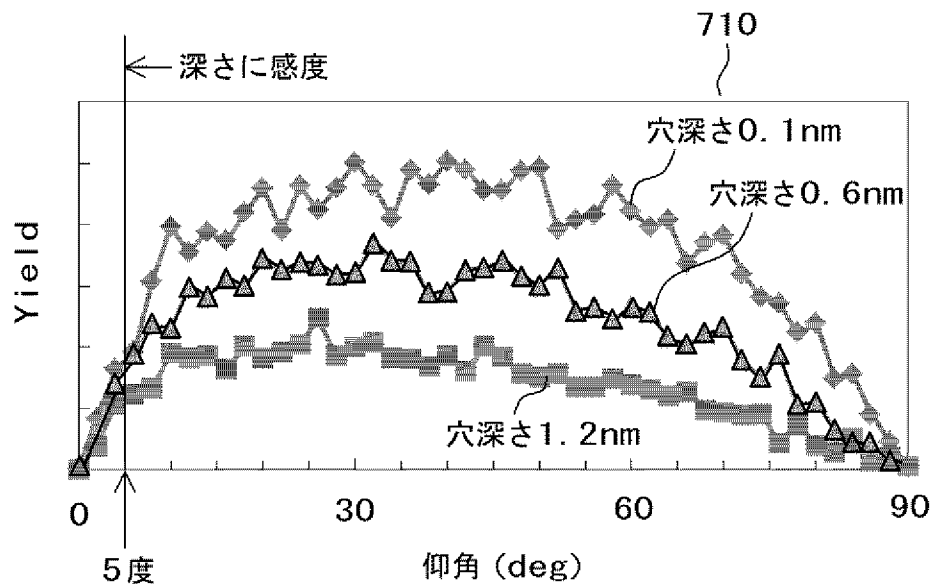
[図7A]

図 7 A



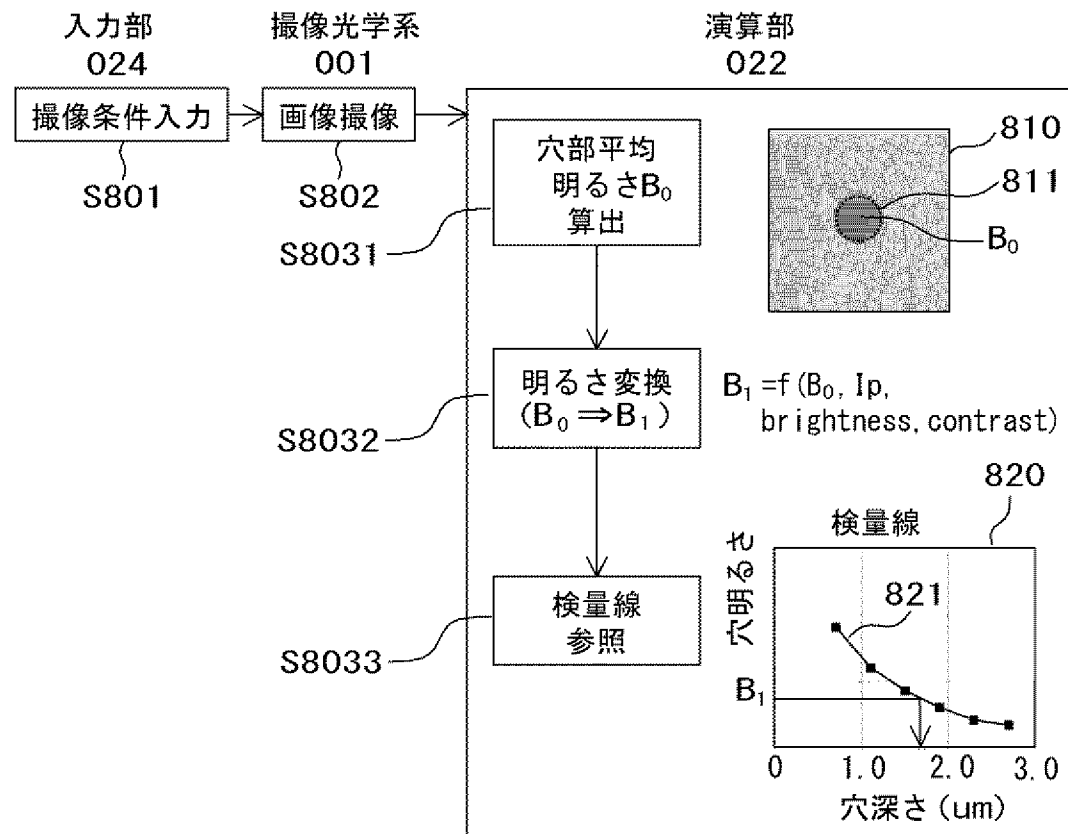
[図7B]

図 7 B



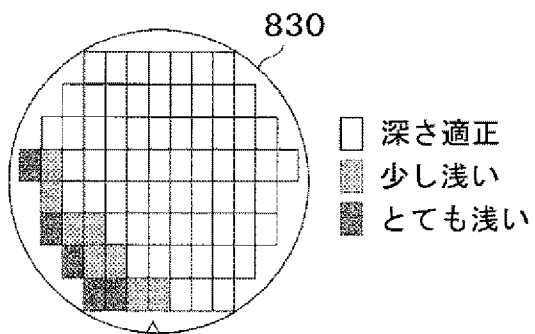
[図8A]

図 8 A



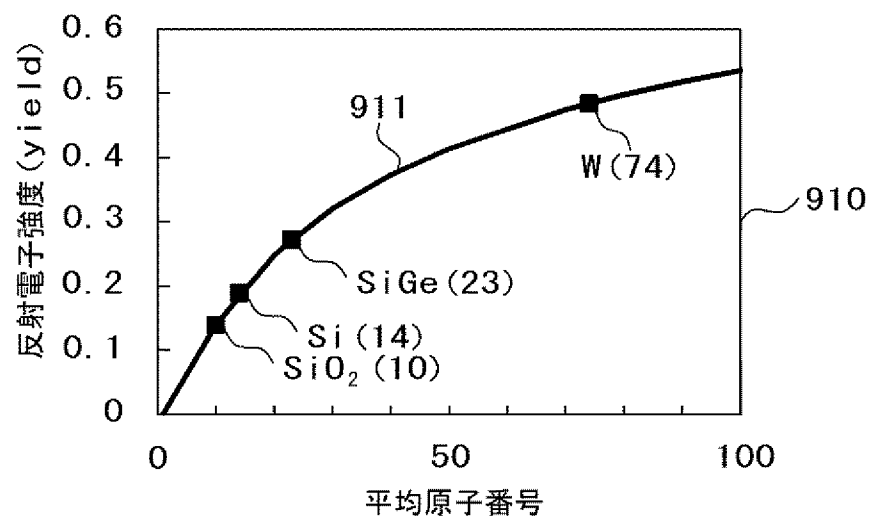
[図8B]

図 8 B



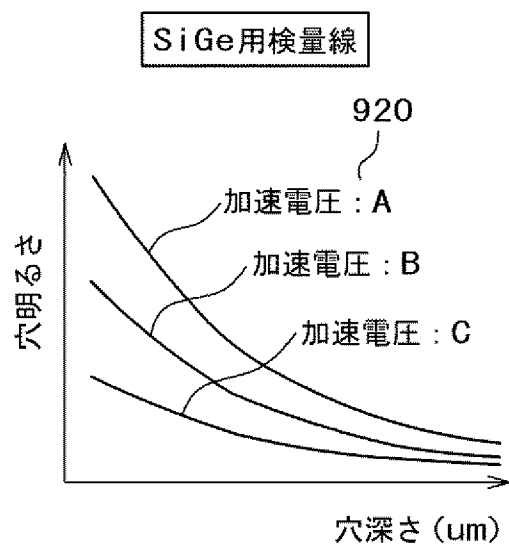
[図9A]

図 9 A



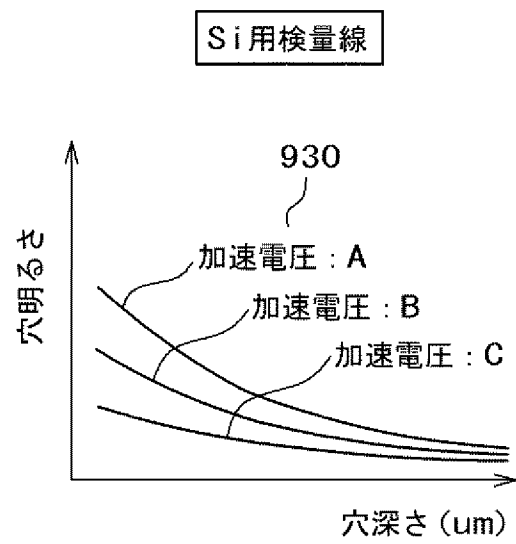
[図9B]

図 9 B



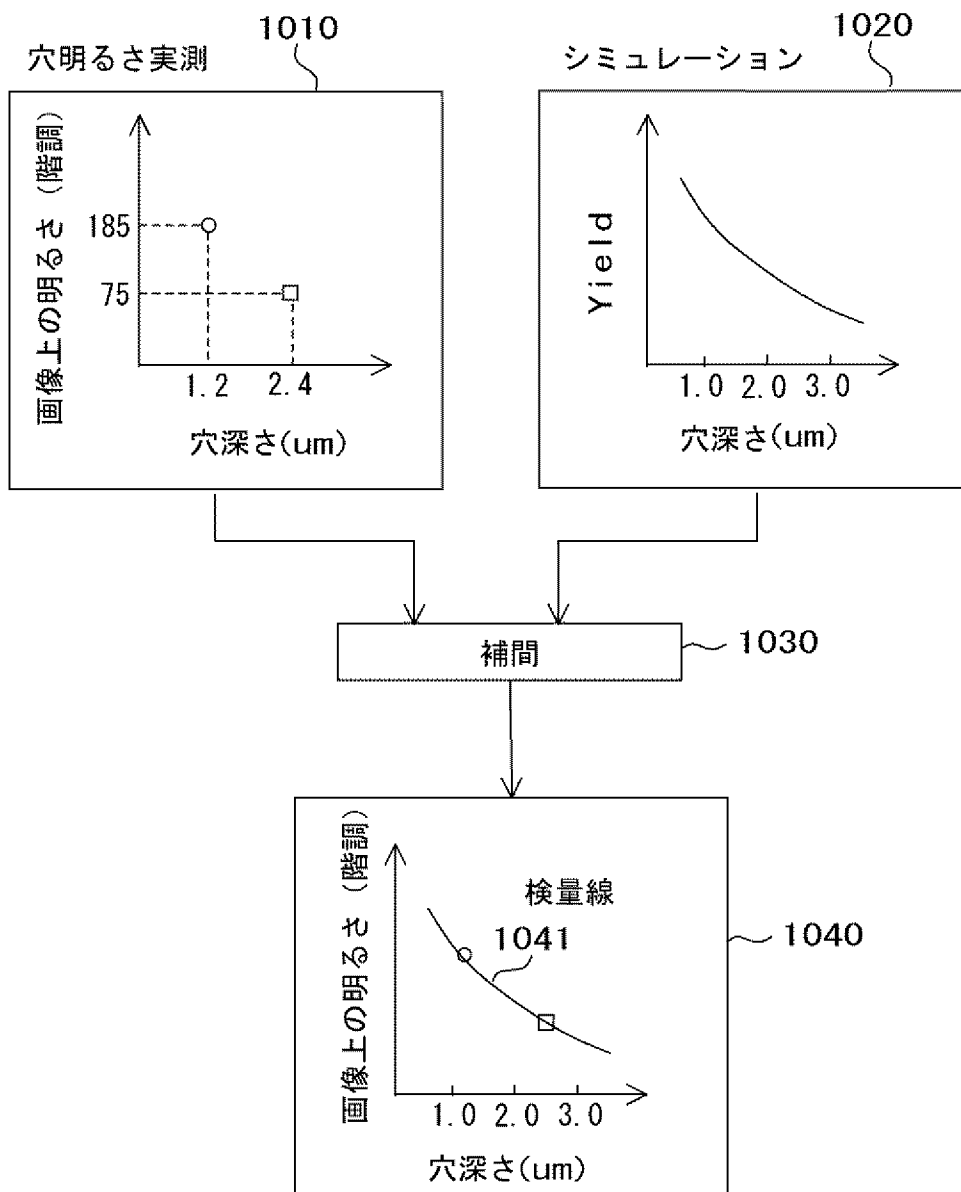
[図9C]

図 9 C



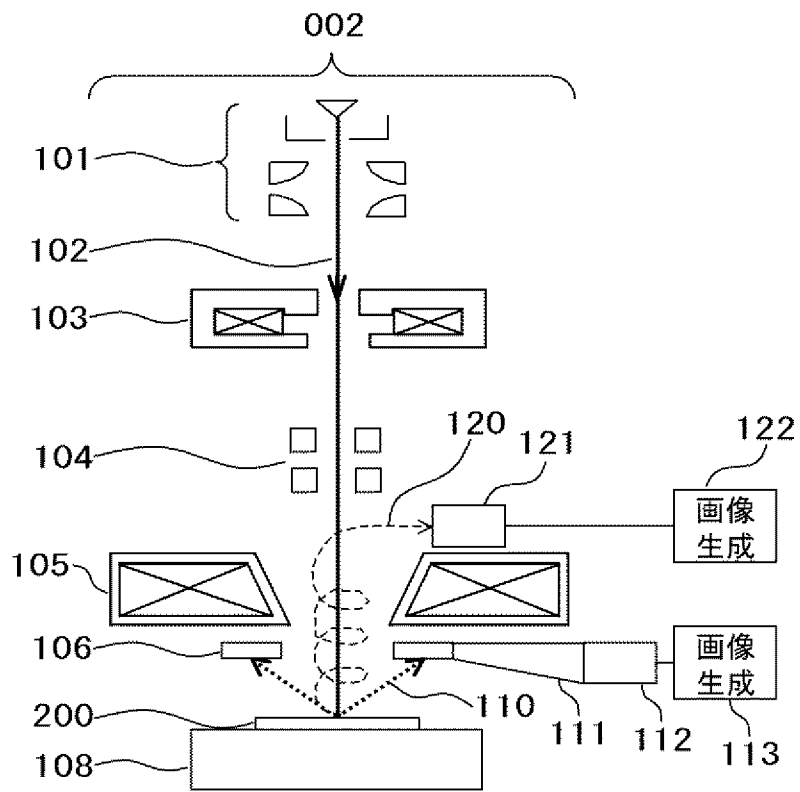
[図10]

図 10



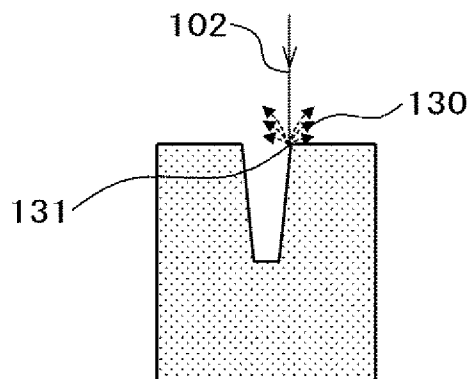
[図11A]

図 1 1 A



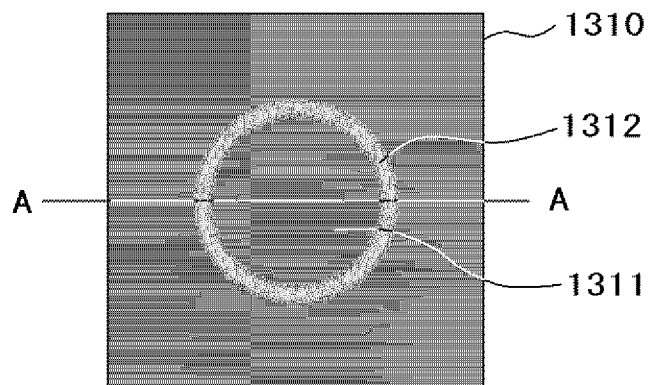
[図11B]

図 1 1 B



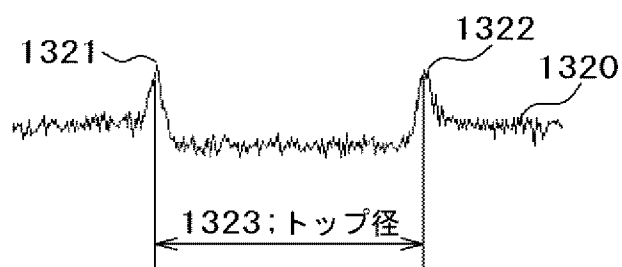
[図12A]

図 1 2 A



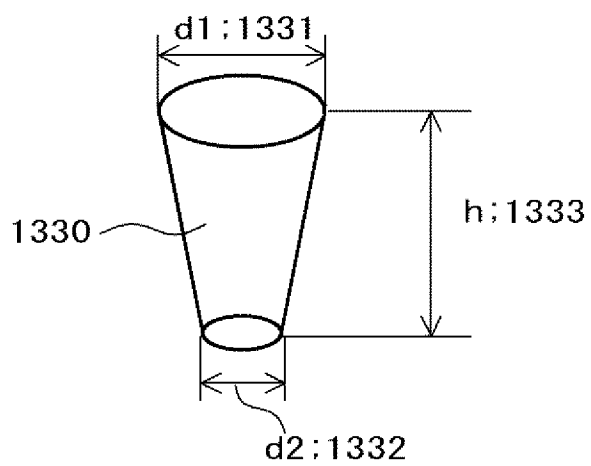
[図12B]

図 1 2 B



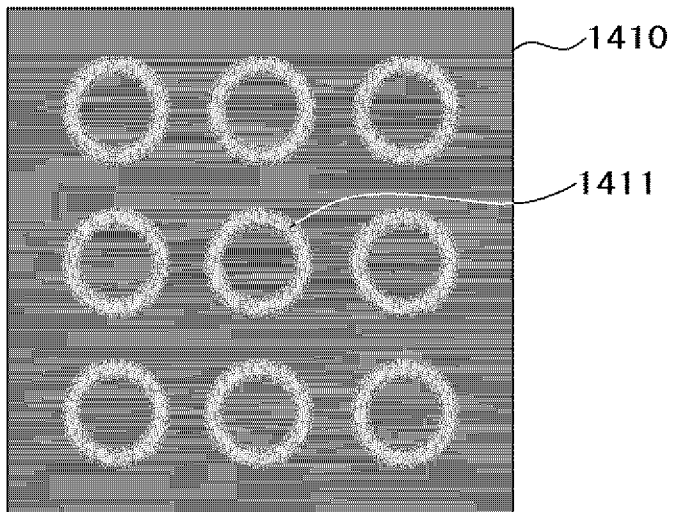
[図12C]

図 1 2 C



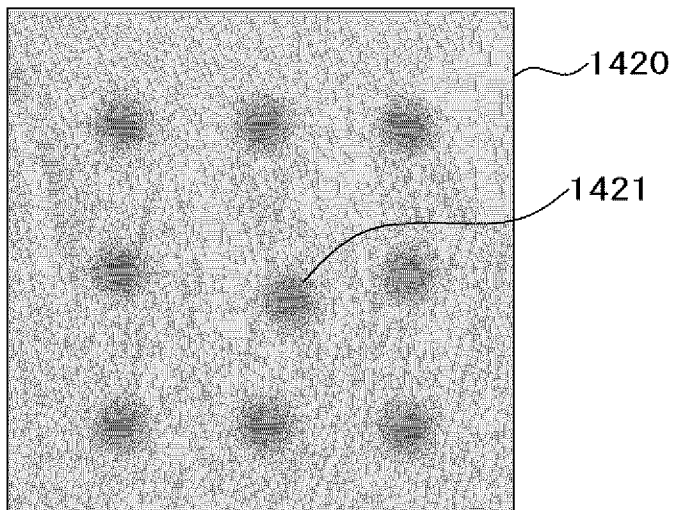
[図13A]

図 1 3 A



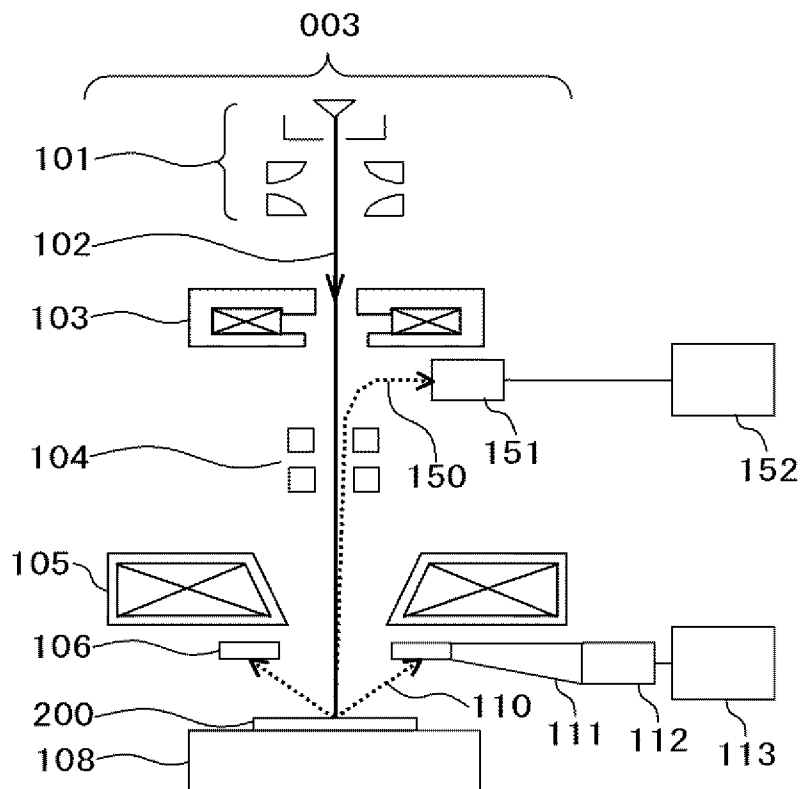
[図13B]

図 1 3 B



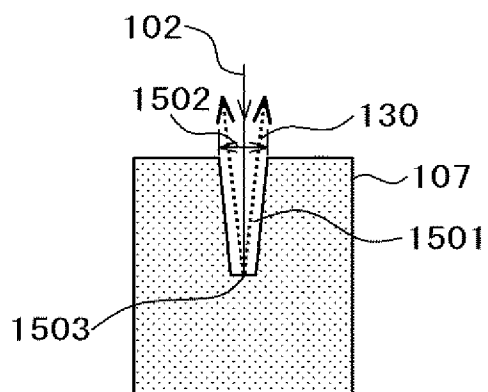
[図14A]

図 1 4 A



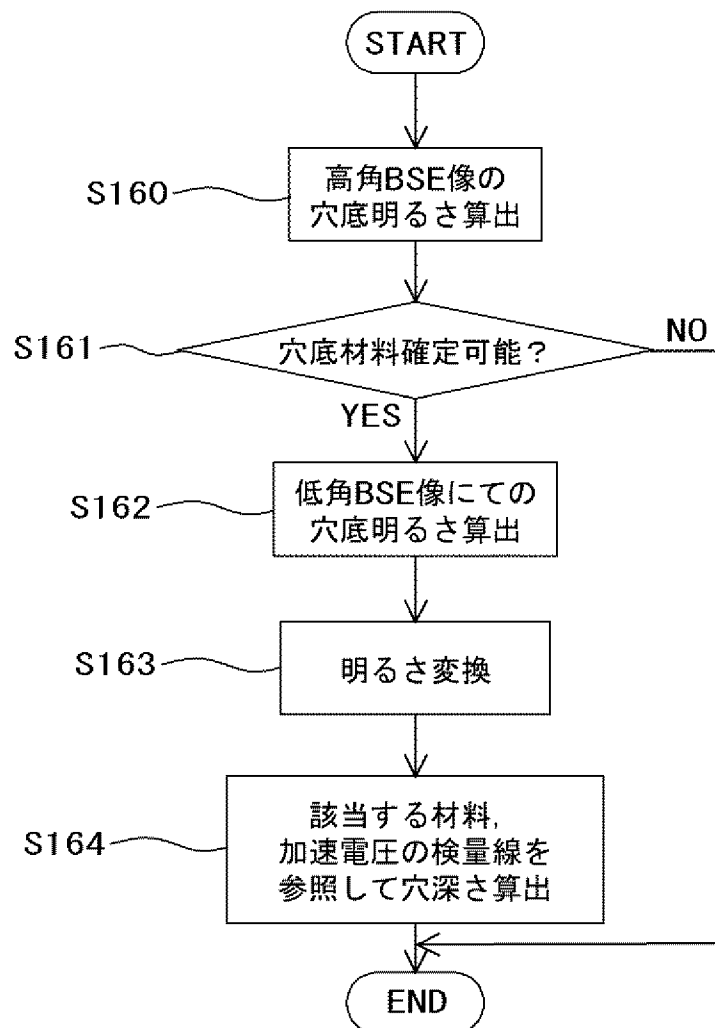
[図14B]

図 1 4 B



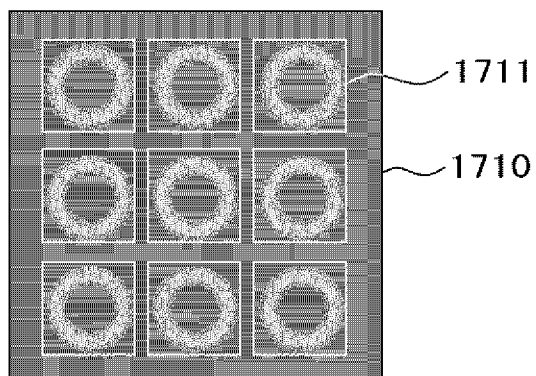
[図15]

図 1 5



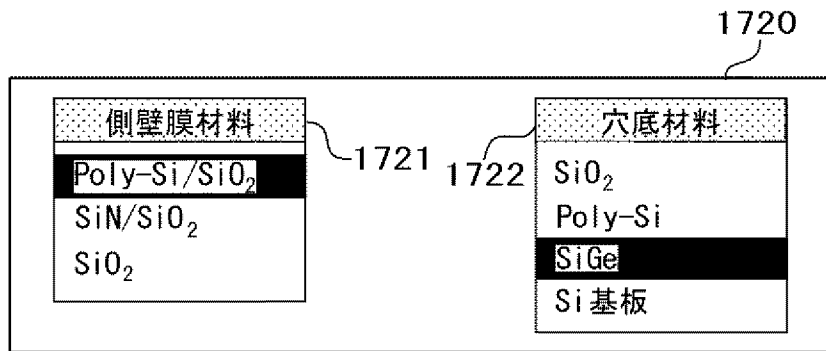
[図16A]

図 1 6 A



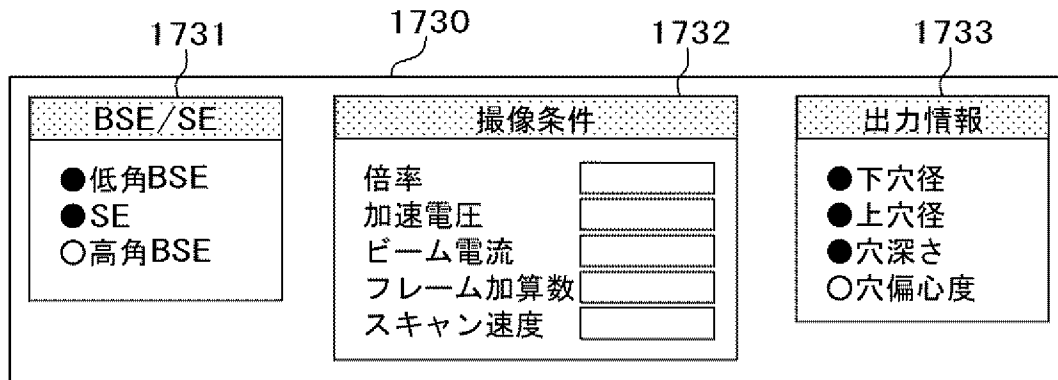
[図16B]

図 1 6 B



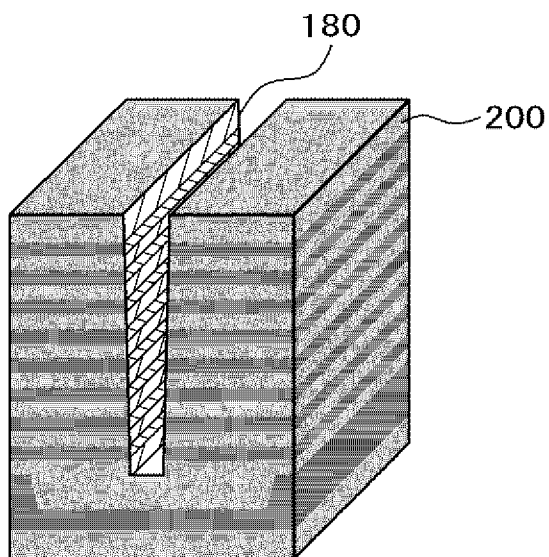
[図16C]

図 1 6 C



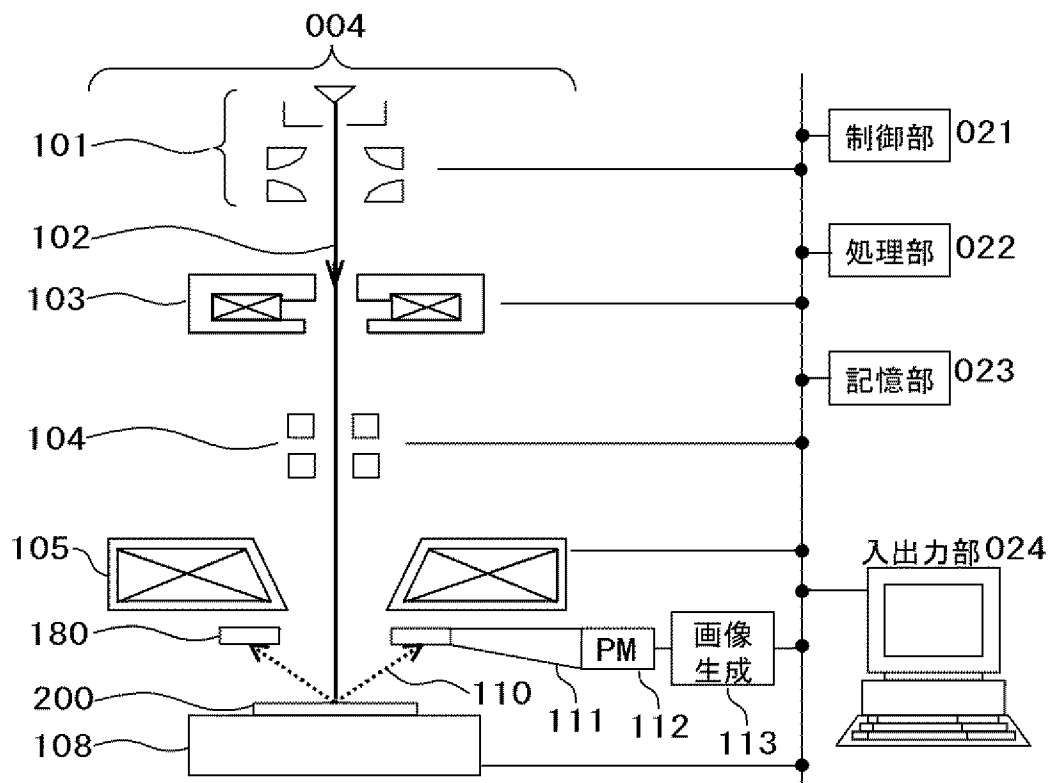
[図17]

図 1 7



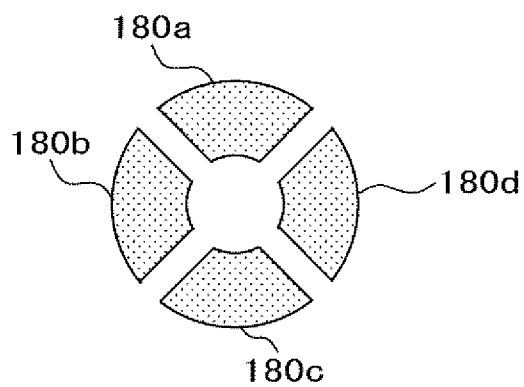
[図18A]

図 1 8 A



[図18B]

図 1 8 B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/080661

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/28(2006.01)i, H01J37/22(2006.01)i, H01J37/244(2006.01)i, H01L21/66(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01J37/28, H01J37/22, H01J37/244, H01L21/66

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
X Y	JP 4-149944 A (Hitachi, Ltd.), 22 May 1992 (22.05.1992), page 2, upper left, line 12 to page 3, upper right, line 6; page 3, upper right, line 17 to lower left, line 8; page 4, upper left, line 10 to lower left, line 15; fig. 7, 10 & US 5412210 A & US 5594245 A & US 5866904 A & US 5969357 A & US 6114695 A & EP 930638 A1 & EP 480424 A2 & DE 69131593 C & DE 69131593 T & DE 69133256 D & DE 69133256 T	20-21 1-3, 5, 22-25

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20 February 2015 (20.02.15)

Date of mailing of the international search report
03 March 2015 (03.03.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/080661

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2013-089514 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 13 May 2013 (13.05.2013), paragraphs [0001] to [0010] & WO 2013/058077 A1	22, 24
Y	JP 6-310075 A (Hitachi, Ltd.), 04 November 1994 (04.11.1994), paragraphs [0019] to [0021]; fig. 4 (Family: none)	3, 23
Y	JP 2002-110079 A (Hitachi, Ltd.), 12 April 2002 (12.04.2002), paragraphs [0021] to [0029]; fig. 1 (Family: none)	24
Y	JP 2013-134879 A (Toshiba Corp.), 08 July 2013 (08.07.2013), paragraphs [0009] to [0036]; fig. 1, 2A, 3A & US 2013/0245989 A1	5, 25
Y	JP 2013-045500 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 04 March 2013 (04.03.2013), paragraphs [0051] to [0057]; fig. 4 & US 2014/0217274 A & WO 2013/027644 A1 & KR 10-2014-0048279 A	1-3, 5
A	JP 2003-157790 A (Advantest Corp.), 30 May 2003 (30.05.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-25
A	JP 2010-175249 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 12 August 2010 (12.08.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-25

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01J37/28(2006.01)i, H01J37/22(2006.01)i, H01J37/244(2006.01)i, H01L21/66(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（I P C））

Int.Cl. H01J37/28, H01J37/22, H01J37/244, H01L21/66

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
X	JP 4-149944 A（株式会社日立製作所）1992.05.22, 第2頁左上第12行～第3頁右上第6行、第3頁右上第17行～左下第8行、第4	2 0 - 2 1
Y	頁左上第10行～左下第15行、第7図、第10図 & US 5412210 A & US 5594245 A & US 5866904 A & US 5969357 A & US 6114695 A & EP 930638 A1 & EP 480424 A2 & DE 69131593 C & DE 69131593 T & DE 69133256 D & DE 69133256 T	1 - 3, 5, 2 2 - 2 5
Y	JP 2013-089514 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）2013.05.13, 段落0001-0010 & WO 2013/058077 A1	2 2, 2 4

☒ 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

「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

「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

「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）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 0 . 0 2 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 3 . 0 3 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

佐藤 仁美

2 G

4 0 7 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 2 6

C (続き) . 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
Y	JP 6-310075 A (株式会社日立製作所) 1994. 11. 04, 段落 0 0 1 9 - 0 0 2 1、図 4 (ファミリーなし)	3, 2 3
Y	JP 2002-110079 A (株式会社日立製作所) 2002. 04. 12, 段落 0 0 2 1 - 0 0 2 9、図 1 (ファミリーなし)	2 4
Y	JP 2013-134879 A (株式会社東芝) 2013. 07. 08, 段落 0 0 0 9 - 0 0 3 6、図 1、図 2 A、図 3 A & US 2013/0245989 A1	5, 2 5
Y	JP 2013-045500 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2013. 03. 04, 段落 0 0 5 1 - 0 0 5 7、図 4 & US 2014/0217274 A & WO 2013/027644 A1 & KR 10-2014-0048279 A	1 - 3, 5
A	JP 2003-157790 A (株式会社アドバンテスト) 2003. 05. 30, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 2 5
A	JP 2010-175249 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2010. 08. 12, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 2 5