

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-534360
(P2004-534360A)

(43) 公表日 平成16年11月11日(2004.11.11)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 J 37/06	HO 1 J 37/06 A	2 G 0 0 1
GO 1 N 23/225	GO 1 N 23/225	4 M 1 0 6
HO 1 J 37/04	HO 1 J 37/04 B	5 C 0 3 0
HO 1 J 37/12	HO 1 J 37/12	5 C 0 3 3
HO 1 J 37/147	HO 1 J 37/147 B	

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 115 頁) 最終頁に続く

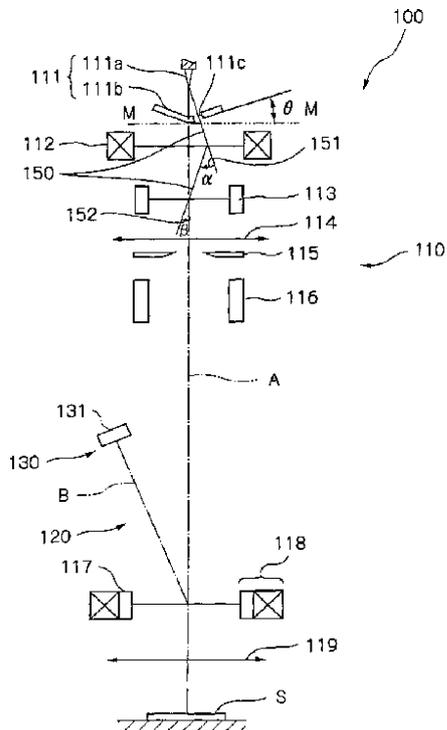
(21) 出願番号	特願2003-505604 (P2003-505604)	(71) 出願人	000000239 株式会社荏原製作所 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
(86) (22) 出願日	平成14年6月11日 (2002. 6. 11)	(74) 代理人	100089705 弁理士 社本 一夫
(85) 翻訳文提出日	平成15年12月2日 (2003. 12. 2)	(74) 代理人	100080137 弁理士 千葉 昭男
(86) 国際出願番号	PCT/JP2002/005786	(74) 代理人	100092967 弁理士 星野 修
(87) 国際公開番号	W02002/103337	(74) 代理人	100093713 弁理士 神田 藤博
(87) 国際公開日	平成14年12月27日 (2002. 12. 27)	(74) 代理人	100093805 弁理士 内田 博
(31) 優先権主張番号	特願2001-181955 (P2001-181955)	(74) 代理人	100106208 弁理士 宮前 徹
(32) 優先日	平成13年6月15日 (2001. 6. 15)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2001-192597 (P2001-192597)		
(32) 優先日	平成13年6月26日 (2001. 6. 26)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2001-269880 (P2001-269880)		
(32) 優先日	平成13年9月6日 (2001. 9. 6)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子線装置及びその電子線装置を用いたデバイスの製造方法

(57) 【要約】

カソード及びアノードを有する電子銃から放出された電子線を試料上に集束させて照射し、試料から放出された二次電子を検出器へ入射させる電子線装置であって、電子銃から試料へ放出される電子線の照射を最適化する手段を備え、該最適化手段は、電子銃に近接して配置された二段の偏向器より構成することができ、該二段の偏向器は、カソードの結晶方位のうち電子線放出が大きい結晶方位が光軸方向を向いていないことにより光軸に対して角度をなす方向に放出された電子線を、電子線装置の光軸方向に向かわせるよう偏向及び指向するようにした電子線装置。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

カソード及びアノードを有する電子銃から放出された電子線を試料上に集束させて照射し、前記試料から放出された二次電子を検出器へ入射させる電子線装置において、前記電子銃から試料へ放出される電子線の照射を最適化する手段を備えたことを特徴とする電子線装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の電子線装置において、前記最適化手段は、前記電子銃に近接して配置した二段の偏向器を含み、該二段の偏向器は前記カソードの結晶方位のうち電子線放出が大きい結晶方位が光軸方向を向いていないことにより前記光軸に対して角度をなす方向に放出された電子線を、光軸方向に向かわせるように偏向及び指向することを特徴とする電子線装置。

10

【請求項 3】

請求項 2 に記載の電子線装置において、前記二段の偏向器のうち電子銃側に配置された偏向器を電磁偏向器とし、試料側に配置された偏向器を静電偏向器としたことを特徴とする電子線装置。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の電子線装置において、前記カソードの結晶は、遷移金属の炭化物、ホウ化物又は窒化物からなる結晶であることを特徴とする電子線装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の電子線装置において、前記最適化手段はカソード、カソード電位に近いアノード及びアノードを備え、前記電子銃から複数の方向に放出された電子線のうち、特定の方向に放出された電子線のみを前記試料上に導き、その他の方向に放出された電子線は前記カソード電位に近いアノードに吸収させて捨てるようにしたことを特徴とする電子線装置。

20

【請求項 6】

請求項 1 に記載の電子線装置において、試料面上の電子線照射部から放出される前記二次電子を検出して該試料の評価を行い、該試料は試料面の一部に、電子線照射による絶縁破壊に関して比較的弱い領域を有し、前記最適化手段は、前記弱い領域には電子線を照射せず、その他の領域のみを電子線により照射するよう電子線の照射を制御する手段として構成されている、ことを特徴とする電子線装置。

30

【請求項 7】

請求項 6 に記載の電子線装置において、前記絶縁破壊に関して比較的弱い領域として、トランジスタのゲート酸化膜が形成されている領域と、その領域に電氣的に接続された領域とが選択されるようになされていることを特徴とする電子線装置。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の電子線装置において、電子線の走査は試料面全面に対して実施されるようになされており、前記絶縁破壊に関して比較的弱い領域を電子線が走査する際に電子線がブランピングされるようになされていることを特徴とする電子線装置。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の電子線装置において、試料面上の電子線照射部から放出される前記二次電子を検出して該試料の評価を行い、試料面を、前記絶縁破壊に関して比較的弱い領域とその他の領域とに区分し、前記最適化手段は、双方の領域にそれぞれ異なるドーズレベルの電子線照射を行って試料面を評価すべく前記電子線の照射を制御する手段として構成されていることを特徴とする電子線装置。

40

【請求項 10】

請求項 1 に記載の電子線装置において、熱カソードを有する前記電子銃から放出された電子線を開口に照射し、該開口を通過した電子線を試料に縮小投影し、二段の偏向器で上記試料を走査し、該試料から放出された二次電子を対物レンズが作る電界で加速し、E × B 分離器で二次電子検出器に導くようになされており、前記最適化手段は、上記対物レンズ近

50

傍の偏向色収差が最小になる位置に、上記二段の偏向器の偏向支点を設定する手段として構成されていることを特徴とする電子線装置。

【請求項 1 1】

請求項 1 の電子線装置において、上記電子銃は、空間電荷制限条件で動作することを特徴とする電子線装置。

【請求項 1 2】

請求項 1 0 に記載の電子線装置において、上記開口は、正方形形状であることを特徴とする電子線装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 1 に記載の電子線装置において、上記試料には負の電圧が印加され、上記対物レンズの下極には上記試料よりもさらに低い電位の電圧が与えられることを特徴とする電子線装置。 10

【請求項 1 4】

請求項 1 に記載の電子線装置において、対物レンズと試料との間に一次電子線に対する減速電界を形成し、集束した電子線で該試料面を走査する電子光学系を備え、該試料から放出された二次電子が前記対物レンズを通過した後、該電子光学系から逸らせて検出されるようになっており、前記最適化手段は、前記対物レンズの作動距離を W 、該対物レンズの前記試料側に最も近い電極のポア径を D としたとき、

$$W + D / 2 \leq 5 \text{ mm}$$

の寸法関係を設定する手段として構成されていることを特徴とする、電子線装置。 20

【請求項 1 5】

請求項 1 に記載の電子線装置において、該装置は、減速電界対物レンズを有する電子光学系を用いて平坦なウェーハの周辺から $R \text{ mm}$ 以上内側の領域を評価可能な電子線装置であり、前記最適化手段は、前記対物レンズの作動距離を W 、該対物レンズの前記試料側に最も近い電極のポア径を D としたとき、

$$W + D / 2 \leq R \text{ mm}$$

の寸法関係を設定する手段として構成されていることを特徴とする、電子線装置。

【請求項 1 6】

請求項 1 に記載の電子線装置において、少なくとも前記対物レンズが、絶縁物材料から形成した軸対称構造の表面に選択的に金属をコーティングして作った電極を有することを特徴とする、電子線装置。 30

【請求項 1 7】

請求項 1 4 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の電子線装置であって、1 枚の試料上に前記請求項 1 6 の特徴を有する電子光学系を複数並設したことを特徴とする電子線装置。

【請求項 1 8】

請求項 1 に記載の電子線装置において、該装置は、熱電子放出カソードから放出された電子線を試料に照射し、上記試料から放出された二次電子、反射電子、あるいは、吸収電子のいずれか一つを検出系へ検出するよう構成された電子光学鏡筒を有し、前記最適化手段は、上記熱電子放出カソードの加熱電力を変化させながら上記電子線を上記試料に照射したときの、上記検出系での信号 / 雑音比、あるいは雑音量の評価を行って上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定する手段として構成されていることを特徴とする電子線装置。 40

【請求項 1 9】

請求項 1 8 に記載の電子線装置において、上記熱電子放出カソードから放出された電子線から試料に一定のビーム電流を流したとき、上記信号 / 雑音比が所定の値を超えるか、あるいは、上記雑音量が所定の値以下になるように、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することを特徴とする電子線装置。

【請求項 2 0】

請求項 1 8 に記載の電子線装置において、上記熱電子放出カソードから放出された電子線から試料に一定のビーム電流を流したとき、上記信号 / 雑音比の加熱電力に対する増加率 50

が所定の値以下になるか、あるいは、上記雑音量の減少率が所定の値以下になるように、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することを特徴とする電子線装置。

【請求項 2 1】

請求項 1 8 に記載の電子線装置において、雑音電流 / ビーム電流比の評価を行うことにより、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することを特徴とする電子線装置。

【請求項 2 2】

請求項 1 8 に記載の電子線装置において、上記熱電子放出カソードの加熱電力を変化させたときの電子銃電流の変化が緩やかになるように、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を仮決定し、該仮決定後に、上記検出系での信号 / 雑音比、あるいは雑音量の評価に基づいて上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することを特徴とする電子線装置。 10

【請求項 2 3】

請求項 1 8 に記載の電子線装置において、上記熱電子放出カソードの加熱電力と上記信号 / 雑音比との関係と、上記熱電子放出カソードの加熱電力と上記熱電子放出カソードの寿命との関係とを考慮して、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することを特徴とする電子線装置。

【請求項 2 4】

請求項 1 乃至 2 3 のうちのいずれか 1 項に記載の電子線装置を用いて、加工中又は完成品のウェーハを評価することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は電子線装置及びその電子線装置を用いたデバイスの製造方法に関し、詳しくは、最小線幅が $0.1 \mu\text{m}$ 以下のデバイスパターンを有する試料を高いスループットでかつ高い信頼性で評価する電子線装置並びにその電子線装置を用いてプロセス途中のウェーハを評価することにより歩留りを向上させることができるデバイスの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

これまで、検査対象物の表面上に形成されたパターンの欠陥を検出するため電子線に基づく検査装置、より特別には、例えば、検査対象物を電子線で照射し、画像データを形成すべく表面の特性によって変化する二次電子を検出し、画像データに基づき検査対象物の表面に形成されたパターンを高スループットで検査することを含む半導体製造プロセスにおけるウェーハ上の欠陥検査に有用な検査装置、及び、かかる検査装置を用いて高歩留まりで装置を製造する方法が提案されている。

30

そのような検査装置では、半導体装置の高集積化とパターンの微細化に伴って、高解像度及び高スループットを有する検査装置が要望されている。

【0003】

電子線を細く集束して形成した電子ビームを試料の上に走査して照射し、最小線幅が $0.1 \mu\text{m}$ 以下のデバイスパターンを有する試料の評価を行う電子線装置は既に提案されており、このような装置に使用される電子銃ではビーム径を細くかつ電流を大きくとることが必要であるので、カソードの温度を上げて輝度の高い状態で使用される。従って、カソードの特性として、一般的に、仕事関数が低いこと、融点が高く蒸気圧が低いこと、高温で物理的・化学的に安定であること等が要求されている。そのような特性を有する材料として、従来から LaB6 の単結晶体が利用されており、また、炭化タンタル (TaC) の単結晶体を利用することも検討されている。

40

【0004】

LaB6 と TaC とを比較すると、仕事関数については、LaB6 の場合は 2.6 eV で TaC の場合は 3.4 eV であるが、一方、カソード材料の評価の目安の一つとされているフィギュア・オブ・メリット (figure of merit)、その仕事関数を蒸気圧が 10^{-5} トル (Torr) になる温度で割ったもので、これが小さいほど有利である) は、LaB6 では 1.27×10^{-3} であるのに対して、TaC では 1.2×10^{-3}

50

と、T a Cの方がL a B 6よりも良いことが知られている。従って、高温ですぐれた安定性を有する観点からT a Cをカソードの材料として使用することが望ましい。

【0005】

しかしながら、T a Cチップを用いて電界放出を行うと、T a Cチップの結晶方位のうち電子線放出が大きい結晶方位が光軸方向を向いていないことにより、強度の大きい電子線が、電子線装置の光軸方向に放出されず、光軸に対して19度の方向と34度の方向にそれぞれ4回対称の位置(すなわち、光軸まわりに90度ずつ離れた方向)に放出される。

【0006】

従って、T a Cの使用は、そのまま電子線装置に利用できないという問題点があった。従って、本発明の第1の目的は、上記課題を解決することにより、光軸方向以外の方向に放出された電子線の内の一つを収差を最小にして光軸方向に導くことにより、フィギュアー・オブ・メリットが小さいにもかかわらず、光軸方向に強度の大きい電子線が放出されないため利用することが困難な材料についても、カソードの材料として利用できるような電子線装置を提供することにある。 10

【0007】

また、従来、M O Sトランジスタを含んだ試料を、電子線を用い高信頼性をもって、非破壊方式で評価を行う装置、及びそのような装置を用いて各プロセス終了後のウェーハを評価するデバイス製造方法は公知である。

【0008】

電子線で試料上の全面をラスタ走査し、露光が必要な小領域のみビームを出し、その他の領域はビームをブランキングする技術は、電子線描画装置として公知である。また、トランジスタのゲート酸化膜は年々薄くなっていくので、電子線の照射量が多くなると酸化膜の両面間に電位差が生じ、絶縁破壊を起こす場合があることも知られている。 20

【0009】

従来の電子線を用いた欠陥検査装置(電子線装置)では、試料ウェーハの限られた面積の領域全体を電子線照射して、二次電子の検出が行われていた。従来の電子線を用いた欠陥検査装置では、ゲート酸化膜が1nm以下になると、電子線照射量を比較的多くした場合に該電子線照射によって酸化膜が破壊される確率が無視できなくなる。しかしながら、一方で、電子線照射量を小さくすると画像形成時の信号のS/N比が悪くなり、信頼性の高い欠陥検出ができなくなるという問題点があった。 30

【0010】

そこで上記の事情に鑑み、本発明の第2の目的は、ゲート酸化膜等の試料部分を破壊させないで、しかも信頼性の高い欠陥検査等を含む評価を行うことが可能な電子線装置を提供することを目的とする。

【0011】

また、試料の欠陥等を検査する電子線装置の分野では、T F E電子銃を使用して電子銃のクロスオーバを試料上に集束、走査し、試料からの二次電子を検出する電子線装置が知られている。

【0012】

そのような電子線装置において、T F E電子銃が使用される場合には、ビーム径が100nmで100nA程度のビーム電流を得ることができるが、100MHzのクロックで駆動させると、ショット雑音 i_N は、二次電子の透過率が50%の場合、 40

$$i_N = (2 \times i_b \times f)^{1/2}$$

$$= (2 \times 50 \times 10^{-9} \times 100 \times 10^6)^{1/2}$$

$$= 1.265 \times 10^{-9} \text{ A}$$

となり、(ここで、eは電子の電荷、iはビーム電流、fは二次電子検出器の周波数帯域)

従って、S/Nは、

$$S/N = i_b / i_N$$

$$= 50 \times 10^{-9} / 1.265 \times 10^{-9} = 39.5$$

となり、欠陥検査等を行うのに必要な $S/N > 45$ を満たさず、数回走査を行い、平均加算処理を行う必要があった。

【0013】

従って、上述のような従来技術の問題点に鑑み、本発明の第3の目的は、100MHzで走査を行い、平均加算処理を行わないで、100nmの解像度を $S/N > 45$ で得るためのビームを得ることができる電子線装置を提供することにある。

【0014】

また、従来、減速電界型対物レンズを用いた電子線装置は、軸上色収差係数及び球面収差を小さくできるので有用であることが知られている。これに対し、減速電界型でない対物レンズを用いた場合、ウェーハの端部まで欠陥検出等の評価を行うことができることも公知である。

10

【0015】

しかしながら、上記減速電界型対物レンズを備える電子線装置では、対物レンズとウェーハとの間に減速電界が形成されているので、ウェーハの端が光軸近くに来ると、ウェーハ周辺エッジによる電界の乱れで収差が発生し、正しい評価を行うことができないという問題がある。とくに最近の $0.1 \mu\text{m}$ 以下のパターンの評価を行うには、ウェーハの周辺エッジから15mm以上内側へ入った場所でないと評価を行うことができないといった問題があった。

【0016】

一方、減速電界型でない対物レンズを用いる場合、軸上色収差が大きくビームを細く絞るとビーム電流が極端に小さくなるという問題があった。

20

従って、本発明の第4の目的は、軸上色収差係数の小さい対物レンズを用いて、ウェーハの評価の必要な領域は収差の影響を受けずに評価を行うことができる電子線装置を提供することにある。

【0017】

赤外線検出器に I_0 の電流が流れている場合におけるショット雑音 i_f^2 は、

【0018】

【数1】

$$\overline{i_f^2} = 2e \cdot I_0 \cdot \Gamma^2 \cdot \Delta f$$

30

【0019】

で表すことができ、また、電子銃が温度制限条件の場合は、上記 Γ は、1.0であり、また、電子銃が空間電荷制限条件の場合は、上記 Γ は、0.1から1.0までの間であることが従来において知られている (R. A. Smith et al, "THE DETECTION AND MEASUREMENT OF INFRARED RADIATION" OXFORD AT THE CLARENDON PRESS 1968, P195を参照)。

【0020】

また、真空管雑音としてのショット雑音 i_n^2 は、

40

【0021】

【数2】

$$\overline{i_n^2} = \Gamma^2 \cdot 2e \cdot I_p \cdot B_f$$

【0022】

で表されることが知られている。但し、 i_n^2 = 雑音電流の2乗平均値、 e = 電子の電荷、 I_p = アノード直流電流、 B_f = 信号増幅器の周波数帯域で、上記 Γ^2 は、カソード温度 T_k の減少関数であり、0.16 ~ 0.018の値が実測されている (電気通信学会編「通信工学ハンドブック」P. 471 (1957年)を参照)。

50

【0023】

しかしながら、電子線装置での信号検出に関しては、上述のような赤外線技術や電子管技術の情報が有効に利用されておらず、ショット雑音は、 $\gamma = 1$ として扱われている。そして、電子銃のカソード温度を上げるとショット雑音を減少させることができるにも拘わらず、カソード温度は、ショット雑音を考慮せずに決められている。

【0024】

従って、本発明の第5の目的は、ショット雑音を考慮してカソード温度を設定することにより、ショット雑音を減少させてS/N比を高くし、もって、試料から放出される二次電子等を効率よく検出することができる電子線装置を提供することにある。

【0025】

更に、本発明は、上記電子線装置を用いて製造途中若しくは完成品の半導体デバイスを検査することによって、検査精度及びスループットの向上を図ったデバイス製造方法を提供することを別の目的とする。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0026】

上記目的は、カソードおよびアノードを有する電子銃から電子線を試料上に集束させて照射し、該試料から放出された二次電子を検出器へ入射させる電子線装置において、該装置が電子銃から試料へ放出される電子線の照射を最適化する手段を備えた電子線装置からなる本発明の特徴によって達成することができる。

【0027】

この構成によって、上記した問題点が解決することができ、それによって試料への電子線の照射効率が増大し、したがって、電子線装置のS/N比が改善され、電子線装置の高スループット及び高信頼性に結びつく。

【0028】

より詳細には、本発明の第1の目的は、第1の発明により達成され、該第1の発明では、カソード及びアノードを有する電子銃から放出された電子線を試料上に集束させて照射し、前記試料から放出された二次電子を検出器へ入射させる電子線装置において、前記最適化手段は、前記電子銃に近接して配置した二段の偏向器を含み、該二段の偏向器は、前記カソードの結晶方位のうち電子線放出が大きい結晶方位が光軸方向を向いていないことにより前記光軸に対して角度をなす方向に放出された電子線を、光軸方向に向かわせるように偏向及び指向するように構成されている。このように構成したことにより、光軸方向以外の方向に放出された電子線の内の一つを収差を最小にして光軸方向に導くことが可能となる。

【0029】

また、第1発明の一つの実施形態において、前記二段の偏向器のうち電子銃側に配置された偏向器を電磁偏向器とし、試料側に配置された偏向器を静電偏向器として構成されている。このように構成したことにより、光軸方向以外の方向に放出された電子線を、偏向色収差を発生させずに光軸方向に導くことが可能となる。

【0030】

第1発明の別の実施形態では、前記カソードの結晶は、遷移金属の炭化物、ホウ化物又は窒化物からなる結晶としている。

第1発明の別の態様では、電子銃から放出される電子線を試料上に集束させて照射し、前記試料から放出された二次電子を検出器へ入射させる電子線装置において、前記最適化手段は、カソードと、カソードの電位に近い電位を持つアノードと、アノードとを備え、前記電子銃から複数の方向に放出された電子線のうち、特定の方向に放出された電子線のみを前記試料上に導き、その他の方向に放出された電子線は前記カソード電位に近いアノードに吸収させて捨てるように構成されている。

【0031】

前記第2の目的を達成するために、第2の発明によれば、試料に電子線を照射し、試料面

10

20

30

40

50

上の電子線照射部から放出される二次電子を検出して該試料の評価を行う電子線装置において、試料面が、電子線照射により生じ得る絶縁破壊に関して比較的弱い領域が存在し、前記最適化手段は、前記弱い領域には電子線が照射されず、その他の領域のみが電子線により照射されるよう電子線の照射を制御する手段として構成されている、ことを特徴とする。

【0032】

上記第2発明の電子線装置において、前記絶縁破壊に関して比較的弱い領域として、トランジスタのゲート酸化膜が形成されている領域と、その領域に電氣的に接続された領域とが選択されるようにすることができる。

【0033】

また、上記第2発明の電子線装置において、電子線の走査は試料面全面に対して実施されるようになされており、前記絶縁破壊に関して比較的弱い領域を電子線が走査する際に電子線がブランピングされるようにすることができる。

【0034】

第2発明の他の態様によれば、試料面を、前記絶縁破壊に関して比較的弱い領域とその他の領域とに区分するとき、前記最適化手段は、各領域にそれぞれ異なるドーズレベルの電子線照射を行って試料面を評価するよう電子線の照射を制御する手段として構成されることを特徴とする。

【0035】

本発明の第3の目的を達成するため、第3の発明によれば、熱カソードを有する電子銃から放出された電子線を開口に照射し、該開口を通過した電子線を試料に縮小投影し、二段の偏向器で上記試料を走査し、該試料から放出された二次電子を対物レンズが作る電界で加速し、E×B分離器で二次電子検出器に導く電子線装置において、前記最適化手段は、上記対物レンズ近傍の偏向色収差が最小になる位置に、上記二段の偏向器の偏向支点を設定する手段として構成されていることを特徴とする。

【0036】

上記第2発明において、上記電子銃は、空間電荷制限条件で動作することができる。また、上記開口は、正方形形状にすることができる。また、上記試料には負の電圧が印加され、上記対物レンズの下極には上記試料よりもさらに低い電位の電圧を与えることができる。

【0037】

本発明の第4の目的を達成するため、第4発明によれば、対物レンズと試料との間に一次電子線に対する減速電界を形成し、集束した電子線で該試料面を走査する電子光学系を備え、該試料から放出された二次電子が前記対物レンズを通過した後、該電子光学系から逸らせて該二次電子の検出を行う電子線装置において、前記最適化手段は、対物レンズの作動距離をW、該対物レンズの試料側に最も近い電極のボア径をDとしたとき、

$$W + D / 2 \leq 5 \text{ mm}$$

の寸法関係を設定する手段であることを特徴とする。

【0038】

第4の発明によれば、対物レンズの設計が上記式に従ってなされたので、少なくとも試料の周辺エッジから内側に5mm以上の被検査領域については、周辺エッジによる静電界の乱れの影響を実質的に受けることなく、収差の少ない状態で高精度に試料を評価できる。通常は、5mm角より大きいチップを作る場合が大部分であるので、ウェーハ周辺エッジから5mm以上離れた領域を評価できる第4発明の装置を用いることによって、大部分の試料の評価に対応できる。

【0039】

第2発明の第2の態様によれば、減速電界対物レンズを有する電子光学系を用いて平坦なウェーハの周辺からRmm以上内側の領域を評価可能な電子線装置において、前記最適化手段は、対物レンズの作動距離をW、該対物レンズの試料側に最も近い電極のボア径をDとしたとき、

10

20

30

40

50

$W + D / 2 \quad R \text{ mm}$

の寸法関係を設定する手段であることを特徴とする。

【0040】

第2発明の第2の態様によれば、対物レンズの設計が上記式に従ってなされたので、少なくとも試料の周辺エッジから内側にR mm以上の被検査領域については、周辺エッジによる静電界の乱れの影響を実質的に受けることなく、収差の少ない状態で高精度に試料を評価できる。また、上記の式より、レンズのボア径Dを小さくすれば、Rの値を小さく取って被検査領域を広げられ、よって、対物レンズの外径を小さくすることができるがわかる。

【0041】

第2発明の第3の態様によれば、上記各態様において、少なくとも対物レンズが、絶縁物材料から形成した軸対称構造の表面に選択的に金属をコーティングして作った電極を有することを特徴とする。

【0042】

第2発明の第3の態様によれば、対物レンズの径を更に小さくすることができるので、電子光学系を収容する鏡筒径を小さくすることができる。

第2発明の第4の態様によれば、1枚の試料上に電子光学系を複数並設したことを特徴とする。これによって、各々の電子光学系は、試料の異なる領域の夫々の電子画像を得ることができるので、試料評価のスループットを電子光学系の数分だけ向上させることができる。上記各態様では、対物レンズの径を小さくする設計が可能なので、電子光学系を複数並設することが可能となるが、第3の態様が最も対物レンズの外径を小さくすることができるので特に好ましい。

【0043】

本発明の第5の目的を達成するため、第5の発明によれば、熱電子放出カソードから放出された電子線を試料に照射し、上記試料から放出された二次電子、反射電子、あるいは、吸収電子のいずれか一つを検出系に結像するよう構成された電子光学鏡筒を有する電子線装置において、前記最適化手段は、上記熱電子放出カソードの加熱電力を変化させながら上記電子線を上記試料に照射したときの、上記検出系での信号/雑音比、あるいは雑音量の評価を行って上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定する手段であることを特徴とする。

【0044】

第5発明の第2の態様によれば、上記熱電子放出カソードから放出される電子線から試料に一定のビーム電流を流したとき、上記信号/雑音比が所定の値を超えるか、あるいは、上記雑音量が所定の値以下になるように、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することができる。

【0045】

また、第5発明の第3の態様によれば、上記熱電子放出カソードから放出される電子線から試料に一定のビーム電流を流したとき、上記信号/雑音比の加熱電力に対する増加率が所定の値以下になるか、あるいは、上記雑音量の減少率が所定の値以下になるように、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することができる。

【0046】

また、第5発明の第4の態様によれば、雑音電流/ビーム電流比の評価を行うことにより、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することができる。

また、第5発明の第5の態様によれば、上記熱電子放出カソードの加熱電力を変化させたときの電子銃電流の変化が緩やかになるように、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を粗調整し、該粗調整後に、上記検出系での信号/雑音比、あるいは雑音量の評価に基づいて上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定する精密調整を行うことができる。

【0047】

また、第5発明の第6の態様によれば、上記熱電子放出カソードの加熱電力と上記信号/雑音比との関係と、上記熱電子放出カソードの加熱電力と上記熱電子放出カソードの寿命

10

20

30

40

50

との関係とを考慮して、上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定することができる。

【0048】

また、第6の発明によると、上記電子線装置のいずれかを用いて、加工中又は完成品のウェーハを評価することを特徴とするデバイス製造方法を提供する。

本発明の上記及び他の態様、並びに作用、効果は、添付図と共に以下の記載を参照することにより理解されるであろう。

【発明の実施の形態】

【0049】

以下図面を参照して本発明による電子線装置の好適な実施形態を説明する。

10

(第1発明の実施の形態)

図1には、本発明の第1発明による実施形態の電子線装置100が模式的に示されている。この電子線装置100は、第一次光学系110と、第二次光学系120と、検査装置130とを備えている。第一次光学系110は、電子線を試料Sの表面(試料面)に照射する光学系で、電子線を放出する電子銃111と、電子銃から放出された電子線を偏向させる電磁偏向器112及び静電偏向器113と、電子線を集束するコンデンサレンズ114と、開口角を決定するアパーチャ115と、電子線を試料上で走査する静電偏向器116及び117と、E×B分離器118と、対物レンズ119とを備え、それらは、図1に示すように電子銃111を最上部にして第一次光学系110の光軸Aに沿って順に配置されている。

20

【0050】

電子銃111は、<100>方位の単結晶TaCカソードを熱電界放出(TFE)カソード111aとして使用し、アノード111bで電子線を引き出すようにされている。電子線の放出方向と光軸Aとのなす角度は約18.5°であるので、アノード111bは光軸Aに垂直な面M-Mに対して18.5°の傾斜角度を有する円錐形の形状で形成され、かつ4本のビームのうち的一本が通る孔111cが設けられている。

【0051】

第二次光学系120は、第一次光学系110のE×B分離器118の近くで第一次光学系の光軸Aに対して傾斜している光軸Bに沿って配置されている。

検査装置130は検出器131を備えている。

30

【0052】

上記の電子線装置において、電子銃111のカソード111aから放出された電子線は、アノード111bによって加速され、アノードの孔111cから出た電子線150は電磁偏向器112により偏向角だけ矢印151の方向に(即ち、光軸方向へ)偏向され、更に、静電偏向器113により偏向角だけ矢印152の方向に振り戻すことにより、光軸Aと一致する方向に電子線150を方向付けすることができる。このように、単結晶TaCカソードの結晶方位のうち電子線放出が大きい結晶方位が光軸方向を向いていないことにより前記光軸に対して角度をなす方向に放出された電子線150を、二段の偏向器112, 113で光軸方向に向かわせる(即ち、光軸方向に沿った方向に向かわせる)ことができる。

40

【0053】

電子線は、次に、コンデンサレンズ114により集束され、対物レンズ119の電子銃側にクロスオーバーを形成し、更に対物レンズ119で試料Sに合焦される。この場合、電子線は静電偏向器116とE×B分離器118の静電偏向器117とで偏向され、試料S上に走査して照射される。

【0054】

この電子線による照射により試料Sから放出された二次電子は、対物レンズ119と試料S間に印加された加速電界により加速・集束され、対物レンズ119を通過する。対物レンズを通過した二次電子はE×B分離器118により第二次光学系120の光軸Bに沿う方向に偏向され、検査装置130の検出器131で検出されて試料Sの評価がなされる。

50

【0055】

上記のような電子線装置において、光学系の分解能を向上させるためには上記二段の偏向器の偏向色収差を小さくすることが必要である。そこで、カソード111aの先端部及び電磁偏向器112の間の距離と、電磁偏向器112及び静電偏向器113の間の距離とを等しくすることにより、偏向角は偏向角の二倍になり偏向色収差を小さくすることができる。T a Cは角電流密度が10 mA / srという大きい値が得られるので100 nmで800 nAの電子線を得ることができ、カソードの結晶として好ましいが、カソードの結晶はこれに限定されるものではなく、炭化物、ホウ化物及び窒化物からなる他の遷移金属の結晶であってもよい。

【0056】

また、遷移金属の種類に応じて、偏向器の数量、アノード111bの傾斜角度、及びアノードの孔111cの位置を適宜変更して、電子銃から複数の方向に放出された電子線のうち、特定の方向に放出された電子線のみを試料S上に導き、その他の方向に放出された電子線は全て捨てるようにすることも可能である。

【0057】

図2は第1発明の第2の実施形態を示す図である。本実施形態においては、第一次光学系のコンデンサレンズ、アパーチャ、静電偏向器、E x B分離器及び対物レンズ、第二次光学系の各構成要素、並びに検査装置は第1の実施形態と同じ構成であり、従って、図2ではそれらの構成要素は省略し、第1の実施形態と異なる部分のみを示している。また、第1の実施形態と同じ構成要素については同じ符号を付して示している。本実施形態では、電子銃111のアノードを通常のアノード111dとは別にカソード電位に近いアノード111eを設けて、二段のアノード111d, 111eを配置している。アノード111eは第1の実施形態におけるアノード111bと同様な形態となっている。このような構成において、カソード111aから放出された捨てる方位の電子線はカソード電位に近いアノード111eで吸収される。それにより、アノードで発生する熱が少なくなり、電子銃電源111fを小さい容量のものにすることができる。本実施形態のその他の作用については、図1の第1の実施形態において説明したものと同様である。

【0058】

なお、上記第2の実施の形態において、よりレベルの高い電子線放出を可能とする結晶方向を光軸方向に一致するように選択できるので、電磁偏向器112, 113は必ずしも不可欠ではない。

【0059】

上記第1発明によれば、以下のような効果を奏することが可能である。

- (1) 単結晶T a Cカソードによる強度が大きい電子線を有効に第一次光学系の光軸に導くことができる。
- (2) 電子線の100 nmのビーム寸法で800 nAの電子線電流を得ることが可能になったため、電子線装置のスループットが向上する。
- (3) 偏向色収差を殆ど発生させることなく、電子線を38°程度偏向させることができる。
- (4) L a B 6と比較してフィギュア・オブ・メリットが小さいT a Cを使用することにより、長寿命でかつ高輝度の電子銃を得ることができる。
- (5) 第2の実施形態のように、アノードを二段にする場合には、エミッション電流の大部分をカソードに近い電流のアノードに吸収させるため、アノードでの熱吸収は小さく、電子銃電源を小さい容量のものにすることができる。

【0060】

(第2発明の実施の形態)

図3には、本発明の第2発明の実施形態に係る電子線装置の概略図が示されている。

本実施形態に係る電子線装置200は、一次電子ビームを射出するためウェーネルト221、カソード222及びアノード223からなる3電極電子銃201、後段のレンズに対し一次電子ビームの軸合わせを行う軸合わせ静電偏向器224、225、コンデンサレン

10

20

30

40

50

ズ 238、静電偏向器 227、E×B分離器(229, 230)、対物レンズ 231、軸対称電極 232、並びに、試料 233 から放出された二次電子線を検出する検出器 228 を含む。また、試料 233 は、試料を XY 平面内で移動させるためのステージ上に配置される。これにより、試料 233 の被検査領域全体の二次電子画像を得ることができる。

【0061】

電子銃 201 から放出された電子線は、コンデンサレンズ 238 で集束され、ブランキング偏向器 238 の偏向中心 242 にクロスオーバを作り、さらに対物レンズ 231 で集束され、試料 233 の表面上に微小なスポットを形成する。偏向器 227 と E×B 分離器 229、230 の内の電磁偏向器 229 とでビームを偏向し、試料 233 上をラスト走査する。試料 233 の走査点から発生した二次電子は、対物レンズ 231 が作る加速電場で加速され、集束され、E×B 分離器 229、230 で図 3 における右方へ偏向され、二次電子検出器 228 で検出され、走査信号と共に試料面上の SEM 画像を形成する。なお、この画像形成の前にレジストレーションを行い、試料 233 のどの位置を走査しているかを精度良く把握しておくものとする。

10

【0062】

対物レンズ 231 及び試料 233 の間に設けられた軸対称電極 232 は、後述するように、試料面の電圧より更に低い電圧を与えることによって、軸上ポテンシャルを一部で試料面より下げ、高い電圧のパターンから出た二次電子を試料側へ追い返し、電位コントラストを測定可能にするためのものである。

【0063】

コンデンサレンズ 238 は、一体のセラミックを加工して軸対称に基体 226 を作り、その表面を選択的に金属コーティング 239 を施すことによって、上部電極 234、中央電極 235 及び下部電極 236 が形成される。これによって、外径の小さいコンデンサレンズを作ることが可能になった。コンデンサレンズ 238 は、リード線取り付け金具 237 を介して中央電極 235 に電圧が印加される。

20

【0064】

対物レンズ 231 も、コンデンサレンズ 238 と同様に、一体のセラミックを軸対称に加工し、その表面を選択的に金属コーティングを施すことによって、上部電極 243、中央電極 244 及び下部電極 245 が形成される。これによって、外径の小さい対物レンズを作ることが可能になった。対物レンズ 231 は、リード線取り付け金具 246 を介して中央電極 244 に電圧が印加され、このとき、対物レンズ 231 のレンズ作用と共に、該対物レンズ 231 と試料 233 との間に一次電子線に対する減速電界が形成される。

30

【0065】

被評価試料 233 上に、ゲート酸化膜が形成されている場所のように、電子線照射による絶縁破壊に関して比較的弱い部分がある場合には、パターンデータから上記弱い領域とそれ以外の領域とを区分してパターンメモリ 240 に記憶させておく。そして、走査がその弱い領域に入るタイミングでブランキング制御回路 239 に信号を与え、上記弱い領域内の走査中にはブランキング偏向器 238 でビームを偏向させてブランキング開口 241 内を通過しないようにする。これによりビームは遮断され、試料 233 上へと行くことを防止される。このようなブランキングの方法は、試料台連続移動でラスト走査しながらパターン描画を行う電子線描画装置 (Herriott et al., EBES: A Practical Electron Lithography System, IEEE Transactions on Electron Devices Vol.-ED-22, No. 6, Jul. 1975 P385-391) に応用されているものと共通する技術であるので、特に詳細な説明を要しない。

40

【0066】

図 4 には、前述した弱い領域とそれ以外の領域(すなわち強い領域)との代表的な区分例を示す。図 4 は TEG (Test Element Group) 上の MOS トランジスタを抜き出したものである。MOS トランジスタは、ドレイン 211、ソース 212 およびゲート 213 から成っている。電子線照射による絶縁破壊に関して比較的弱い領域として、ゲート酸化膜が薄い状態である、点線で囲まれた領域 215 と、ゲート 213 の、

50

ゲート電極と接続されている領域を内側を含む、一点鎖線で囲まれた領域 214 とを区分した。ゲート 213 のパターンは斜めの線を含んでいるが、斜めの線が入るとデータ量が極端に増えるので、矩形のみで弱い領域を区画したものである。

【0067】

ラスト走査を符号 216、217 で示したように行う。すなわち、実線の部分 216 ではビームを通常の強度とし、破線の部分 217 ではブランキングしてビームが通過しないようにした。領域 214、215 のみを、ビームを弱くして再走査するか、あるいは、通常のビーム強度で且つ通常より速い走査速度で再走査してもよい。再走査の場合は、実線の部分 216 ではビームはブランキングされる。

【0068】

代りに、領域 214、215 を前以てパターンメモリ 240 に記憶しておき、これらの領域 214、215 を走査するとき、これらの領域のみを弱いビームで走査するか、或いは、通常のビーム強度でかつ通常より速い走査速度で走査してもよい。

【0069】

第 2 発明の電子線装置によれば、電子線照射による絶縁破壊に関して比較的弱い領域は、小さいドーズになるようにするか、あるいは、電子線照射が行われないようにビームを制御したので、ゲート酸化膜等を破壊させることなくウェーハの評価ができる。

【0070】

一般に、上記弱い領域は、面積的にはごく小さい割合しかないので、その領域における欠陥を見落とすことになっても、実際に欠陥が存在する確率は全体から見れば無視できるくらい小さい。

【0071】

また、どうしても評価もれがあると困る場合には、電子ビームのドーズを小さくし、S/N 比が悪いのを我慢して検査することもできる。代りに、上記弱い領域へのドーズを通常のドーズ量と比べ、0 とするかあるいは 1/3、1/2 等と選択できるようにすることもできる。

(第 3 の実施の形態)

第 3 発明にかかる電子線装置の好適な実施の形態を図 5、6 を参照しながら述べる。図 5 (a) に示すように、第 3 発明による電子線装置 300 は、電子銃 350 と、一次電子線の軸合わせを行うための軸合わせ偏向器 304、305 と、コンデンサレンズ 306 と、板状のものにあけられた正方形形状の開口 307 と、NA 開口 319 と、コンデンサレンズ 309 と、NA 開口 319 とコンデンサレンズ 309 の軸合わせを行うための軸合わせ偏向器 308、320 と、一次電子線走査用の静電偏向器 310 と、静電偏向器 311 と電磁偏向器 312 とから構成された E × B 分離器 313 と、上部電極 314 と中央電極 315 と下部電極 316 とから構成された対物レンズ 360 と、試料 317 から放出された二次電子の検出信号を検出する検出系の二次電子検出器 318 とを有している。

【0072】

上記電子銃 350 は、熱電子放出カソード 301 と、ウェーネルト 302 と、アノード 303 とから主に構成されており、一次電子線を放出して試料 317 に照射するためのものである。熱電子放出カソード 301 は、表面の結晶方位が <100> の単結晶 LaB₆ を先端部の直径が 50 μm になるように研磨されて形成されている。ウェーネルト 302 には、直径が 1.5 mm の開口を有する平坦ウェーネルトが用いられている。また、アノード 303 は、直径が 8 mm の開口を有しており、ウェーネルト 302 から光軸方向に 5 mm 離れた位置に配置されている。

【0073】

電子銃 350 の熱電子放出カソード 301 から放出された一次電子線は、軸合わせ偏向器 304、305 によってコンデンサレンズ 306 に対して軸合わせが行われて、開口 307 に照射され、開口 307 によって正方形形状のビーム径に形成される。開口 307 を通過した一次電子線は、軸合わせ偏向器 308、320 によって NA 開口 319 とコンデンサレンズ 309 に対して軸合わせが行われ、コンデンサレンズ 306 によって集束されて

10

20

30

40

50

NA開口319にクロスオーバを形成する。NA開口319を通過した一次電子線は、コンデンサレンズ309（縮小レンズ）によって対物レンズ360上に集束される。コンデンサレンズ309によって試料317上に集束された一次電子線は、対物レンズ360によって試料317に100nm角のビーム径として縮小投影されて結像される。

【0074】

上記試料317には、-4000Vの負の電圧が印加され、対物レンズ360の下部電極316には-4100Vの負の電圧が印加される。すなわち、対物レンズ360の下部電極316には試料317に印加された負の電圧よりもさらに低い電位の電圧が与えられる。このようにすることにより、試料317面上の高電位パターンから放出された二次電子を追い戻し、低電位パターンから放出された二次電子を選択的に対物レンズ360を通過させることができるので、試料317上の電位コントラストを良いS/N比で得ることができる。

10

【0075】

対物レンズ360の中央電極315には、20KVの電圧が印加されるため、通常動作では試料317の走査点から放出された二次電子は、対物レンズ360の中央電極315に印加された正の高電圧で引かれて加速（対物レンズ360が作る電界で加速）・集束され、E×B分離器313によって一次光学系から分離され、二次電子検出器318に集められる。このE×B分離器313は、8極の静電偏向器311の外側にサドル型偏向器を巻き、その外側にパーマロイリングでコアを形成したものである。

【0076】

試料317上の走査は、静電偏向器310とE×B分離器313の静電偏向器311との二段の偏向器による二段偏向によって行われる。このとき、対物レンズ360近傍の偏向色収差が最小になる位置に、上記二段の偏向器の偏向支点が設定されている。より具体的には、上記二段の偏向器の偏向支点は、対物レンズ360の上部電極314の少し上方に設定されており、これによって、対物レンズ360近傍の偏向色収差を最小にしている。

20

【0077】

例えば、図5(b)に示されるように、第1の静電偏向器310の偏向量を固定したまま第2の静電偏向器311の偏向量を変化させた場合、一次電子線の軌道は矢印A、B、Cで示したように変化し、したがって、二段の偏向器の偏向支点はa、b、cで示したように変化する。偏向色収差が最小になる位置は、最適位置を見出すべく二段偏向器の偏向量を変化させながらビームのボケを測定することによって決定することができる。

30

【0078】

検出器318は、結像された二次電子を検出し、その強度を表す電気信号（二次電子の検出信号）として図示しない画像形成部へ出力する。また、該画像形成部には、静電偏向器310及び静電偏向器311に与えられた一次電子線を偏向させるための走査信号がさらに供給される。画像形成部は、走査信号と電気信号とから画像データを合成して、試料317の被走査面を表す画像（SEM像）を構成しないしは表示することができる。この画像データを、欠陥の存在しない試料の基準データと比較することにより、試料317の欠陥を検出することができる。

【0079】

E×B分離器313の複数の電極は、機械加工可能なセラミックスを加工して形成し、その表面に選択的に金属コーティングを施すことによって形成されているため、外径を小さくすることができる。また、電磁偏向器312はサドル型偏向器であるため、外径を小さくすることができる。このためE×B分離器313は、直径が略40mmの外径にすることができ、スルーブットを向上させることができる。すなわち、例えば、一枚の試料317上に12本の電子光学鏡筒を配置すれば、12倍の高スルーブットを得ることができる。

40

【0080】

また、上述のように、対物レンズ360近傍の偏向色収差を最小にすることにより、直径が110nmのビーム径で、20nA以上のビーム電流を得ることができる。以下、これ

50

についてより具体的に述べる。図6には、二段偏向器による偏向支点が対物レンズ360の近傍で偏向色収差が最小となるように設定され、かつ、対物レンズ360の下部電極316と試料317との光軸方向の距離を2mmとした場合における、上記光学系で得られるビーム電流を算出したグラフを示している。

【0081】

より詳細には、上部電極314，中央電極315，下部電極316の穴径は、それぞれ4mm，2mm，3mmであり、これら三つの電極の各スペースは2mmであり、また、各電極の厚みは2mmである。二段の偏向器310，311の偏向支点はほぼ上部電極314の下面位置に設定され、また、物点は中央電極315の上面より100mm上方に設定されている。

10

【0082】

図6において、 C_t は偏向色収差を示し、 C_{ax} は軸上色収差を示し、 C_o はコマ収差を示し、 S_p は球面収差を示し、 A_s は非点収差を示している。また、 T は、直径が110nmのビーム径を得るときの試料317上での収差のないビーム直径であり、

$$T^2 = 110^2 - C_t^2 - C_{ax}^2 - C_o^2 - S_p^2 - A_s^2$$

から得ることができ、図6に示すように曲線になる。また、符号390は、右下がり45度の傾斜をもつ直線であり、この直線90と曲線 T との接点が最適値、すなわち、直径110nmのビームで最大のビーム電流が得られる状態となる。すなわち、開口半角 = 33mrad、 $T_{opt} = 76.4$ nmであり、ビーム電流 I は、

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} B \cdot (d/2)^2 \\ &= \frac{1}{2} (33 \times 10^{-3})^2 \times (76.4 \times 10^{-5} / 2)^2 \times 1.5 \times 10^5 \\ &= (1.26 \times 10^{-5} \times 1 \times 10^{-2})^2 \times 1.5 \times 10^5 \\ &= 23.5 \text{ nA} \end{aligned}$$

20

(ただし、 θ ：開口半角、 d ： T_{opt} 、 B ：輝度)

となり、20nA以上のビーム電流が得られることがわかる。以上は、クロスオーバー像を縮小してプローブとした場合の計算であり、開口を通過した電子線の縮小像をプローブとした場合は、さらに大きいビーム電流が得られる。

【0083】

また、電子銃350は、空間電荷制限条件で動作させることができる。この場合、ショット雑音 I_N は、TFE電子銃と同様に二次電子の透過率を50%とすると、

30

$$\begin{aligned} I_N &= \sqrt{2eI} \cdot f \\ (\text{ただし、} f &= 0.13 \quad I = 20 \times 0.5 \times 10^{-9} = 10 \times 10^{-9}) \\ &= 0.13 \times (2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 10^{-9} \times 100 \times 10^6)^{1/2} \\ &= 7.35 \times 10^{-11} \text{ A} \end{aligned}$$

となり、従って、 S/N は、

$$S/N = 10 \times 10^{-9} / 7.35 \times 10^{-11} = 136$$

となり、ショット雑音を小さくすると共に、欠陥検査等を行うのに必要な $S/N > 45$ を満たし、従来のように、2回あるいは4回等の走査を行って平均加算処理を行う必要がなく、1回の走査で100MHz以上の周波数で動作しても十分な信号を得ることができると共に、100nmの解像度を $S/N > 45$ で得るためのビームを得ることができる。

40

【0084】

第3発明の第1の態様によれば、熱カソードを有する電子銃から放出された電子線を開口に照射し、該開口を通過した電子線を試料に縮小投影し、該試料から放出された二次電子を対物レンズが作る電界で加速し、 $E \times B$ 分離器で二次電子検出器に導く電子線装置において、二段の偏向器で上記試料を走査するとき、上記対物レンズ近傍の偏向色収差が最小になる位置に、上記二段の偏向器の偏向支点が設定されているため、偏向してもビーム径が大きくなる。また、開口の縮小像をビームとしているので、大きなビーム電流を得ることができる。

【0085】

第3発明の他の態様によれば、第3発明の第1の態様において、上記電子銃を、空間電荷

50

制限条件で動作するようにしたため、ショット雑音を小さくすると共に、欠陥検査等を行うのに必要な $S/N > 45$ を満たし、平均加算処理を行う必要がなく、1回の走査で十分な信号を得ることができると共に、 100 nm の解像度を $S/N > 45$ で得るためのビームを得ることができる。

【0086】

第3発明の第3の態様によれば、第3発明の第1の態様において、上記開口を、正方形形状にしたため、小さな輝度で大きなビーム電流を得ることができる。

第3発明の第4の態様によれば、第3発明の第1の態様において、上記試料には負の電圧が印加され、上記対物レンズの下極には上記試料よりもさらに低い電位の電圧が与えられるため、試料上の電位コントラストを良い S/N 比で得ることができる。

10

(第4発明の実施の形態)

図7には、第4発明の第1の実施形態に係る電子線装置の側断面図及び上面図が各々示されている。

【0087】

図7の上面図に示すように、本実施形態に係る電子線装置は、同様構成の複数の鏡筒402(図7の例では8個)をウェーハ408上に並設して構成されている。このうちの1つの鏡筒401は、図7の側断面図に示すように、一次電子ビームを射出するためウェーネルト421、カソード422及びアノード423からなる3電極電子銃420、後段のレンズに対し一次電子ビームの軸合わせを行う軸合わせ静電偏向器424、425、コンデンサレンズ438、静電偏向器427、 $E \times B$ 分離器(429, 430)、対物レンズ431、軸対称電極432、並びに、ウェーハ408から放出された二次電子線を検出する検出器428を含む。また、ウェーハ408は、該ウェーハをXY平面内で移動させるためのステージ447上に配置される。これにより、ウェーハ408の被検査領域全体の二次電子画像を得ることができる。

20

【0088】

各々の鏡筒では、電子銃420から放出された一次電子ビームが、コンデンサレンズ438により $E \times B$ 分離器(429, 430)の電子銃側に一度クロスオーバーを結像し、更に対物レンズ431で試料面433に合焦される。このとき、静電偏向器427と電磁偏向器429とで一次電子ビームを試料面433上で走査する。ウェーハの走査点から放出された二次電子ビームを対物レンズ431で加速し、該レンズを通過した後、 $E \times B$ 分離器(429, 430)により図の点線方向に偏向し、検出器428で検出する。検出器428の出力信号は、図示しない画像処理部に送られ、そこで試料面433の二次電子画像が形成される。

30

【0089】

対物レンズ431及びウェーハ408の間に設けられた軸対称電極432は、後述するように、試料面の電圧より更に低い電圧を与えることによって、軸上ポテンシャルを一部で試料面より下げ、高い電圧のパターンから出た二次電子を試料側へ追い返し、電位コントラストを改善するためのものである。トポロジー像や物質差の像を得るときには、軸対称電極432には、ウェーハ408より高い電圧を与えて二次電子検出効率を高めるようにしている。

40

【0090】

コンデンサレンズ438は、一体のセラミックを加工して軸対称に基体426を作り、その表面を選択的に金属コーティング439を施すことによって、上部電極434、中央電極435及び下部電極436が形成される。これによって、外径の小さいコンデンサレンズを作ることが可能になった。コンデンサレンズ438は、リード線取り付け金具437を介して中央電極435に電圧が印加される。

【0091】

対物レンズ431も、コンデンサレンズと同様に、一体のセラミックを軸対称に加工し、その表面を選択的に金属コーティングを施すことによって、上部電極440、中央電極442及び下部電極443が形成される。これによって、外径の小さい対物レンズを作るこ

50

とが可能になった。対物レンズ431は、リード線取り付け金具445を介して中央電極442に電圧が印加され、このとき、対物レンズ431のレンズ作用と共に、該対物レンズ431とウェーハ408との間に一次電子線に対する減速電界が形成される。

【0092】

このように本実施形態では、コンデンサレンズ438及び対物レンズ431に、外径の小さい電極を使用することが可能となったので、鏡筒401全体の外径を小さくすることができ、よって図7に示すように複数の鏡筒を並設することが可能となった。各々の鏡筒は、ウェーハ408の異なる領域の夫々の二次電子画像を得ることができるので、ウェーハ評価のスループットを鏡筒数分だけ向上させることができる。

【0093】

図8は、対物レンズ431の作動距離 W と、該対物レンズ431のウェーハ側に最も近い下部電極432のボア(bore; 開口)径 D とをパラメータとし、ウェーハ試料面の外径寸法を変えた時の対物レンズの合焦条件を満たす中央電極に与える電圧をシュミレーション計算した結果である。ここで、対物レンズ431の作動距離 W とは、試料面433と、対物レンズ431のウェーハ側に最も近い下部電極432の下面との間の距離をいう。

【0094】

同図に示すように、縦軸は、試料面の外径寸法が十分大きい場合の合焦条件を満たす中央電極442に与える電圧 V_{20} とし、試料面外径寸法を R mmとしたときの合焦条件を満たす中央電極に与える電圧を V_R としたとき、両者の差を V_{20} で正規化した値、即ち $|V_{20} - V_R| / V_{20}$ である。

【0095】

合焦条件が変わることは、試料面の外径の影響を受けて軸上ポテンシャル分布が変化していることを意味する。 $|V_{20} - V_R| / V_{20}$ の値が 10^{-4} 以下では、試料面の外径の影響は無視できると判断した。

【0096】

図8から明らかなように、 $W = 2$ mmとしたとき、ボア径が14 mmのときは、試料面外径寸法 R が9 mm以上、ボア径が10 mmの場合は、 R が7 mm以上、ボア径が4 mmの場合は4 mm以上、2 mmの場合は R が3 mm以上で合焦条件を示す電圧差が 10^{-4} 以下になっている。従って、作動距離 $W + \text{ボア径} D / 2 - R$ であれば試料面の外径の影響が実質的に無いと判断できる。

【0097】

以上の結果より、ウェーハ8の周辺エッジから R mm以上内側の領域を評価可能にしたい場合、

$$W + D / 2 - R \quad (1)$$

となるように軸対称の対物レンズ431を製作すれば、ウェーハ周辺エッジより内側に R mm以上離れた試料面433の被検査領域を、ウェーハ408の周辺エッジの影響を実質的に回避して適切に評価できると考えられる。

【0098】

また、8" (インチ) ウェーハや12" (インチ) ウェーハで評価を行う必要のある領域は、5 mm角のチップを作る場合でもウェーハ端から5 mm以内しか離れていない領域を評価する必要はない。通常は、5 mm角より大きいチップを作る場合が大部分であるので、ウェーハ周辺エッジから5 mm以上離れた領域を評価できれば十分である。従って、この場合、(1)式は、

$$W + D / 2 - 5 \text{ mm} \quad (2)$$

とすれば良い。

【0099】

本実施形態に係る電子線装置は、得られた二次電子画像に基づいて、例えば、以下のようにウェーハ408の評価を行う。

パターンマッチングによるウェーハ408のパターン欠陥検査法では、電子線装置を制御する図示しない制御部が、そのメモリに予め蓄えられていた欠陥の存在しないウェーハの

10

20

30

40

50

二次電子線基準画像と、実際に検出された二次電子線画像とを比較照合し、両者の類似度を算出する。例えば、類似度が閾値以下になった場合、「欠陥有り」と判定し、閾値を超える場合には「欠陥無し」と判定する。このとき、図示しないディスプレイに検出画像を表示してもよい。これによって、オペレータは、ウェーハ408が実際に欠陥を持つか否かを最終的に確認、評価することができる。更に、画像の部分領域毎を比較照合し、欠陥が存在する領域を自動的に検出してもよい。

【0100】

また、同じダイを多数有するウェーハの場合、上記のように基準画像を用いる必要無しに、検出されたダイ同士の検出画像を比較することによっても欠陥部分を検出できる。例えば、1番目に検出されたダイの画像と2番目に検出された他のダイの画像とが非類似であり、3番目に検出された別のダイの画像が1番目の画像と同じか又は類似と判断されれば、2番目のダイ画像が欠陥を有すると判定される。更に詳細な比較照合アルゴリズムを用いれば、2番目のダイ画像の欠陥部分を検出することも可能である。

10

【0101】

また、本電子線装置は、ウェーハ上に形成されたパターンの線幅を測定する線幅測定装置として用いることができる。ウェーハ上の実際のパターンをある一定の方向に走査したときの実際の二次電子の強度信号が予め較正して定められたスレッシュホールドレベルを連続的に超える部分の幅を当該パターンの線幅として測定することができる。このように測定された線幅が所定の範囲内でない場合、当該パターンが欠陥を有すると判定することができる。

20

【0102】

上記線幅測定法は、ウェーハ408が複数の層から形成されているときの各層間の合わせ精度の測定にも応用することができる。例えば、一層目のリソグラフィで形成される第1のアライメント用パターンの近傍に、2層目のリソグラフィで形成される第2のアライメント用パターンを予め形成しておく。これらの2本のパターン間隔を上記線幅測定方法を応用して測定し、その測定値を設計値と比較することにより2層間の合わせ精度を決定することができる。勿論、3層以上の場合にも適用することができる。この場合、第1及び第2のアライメント用パターンの間隔を、電子線装置の複数の一次電子線の隣接するビーム間隔とほぼ等しい間隔に取っておけば、最小の走査量で合わせ精度を測定できる。

30

【0103】

更に、本電子線装置は、ウェーハ408上に形成されたパターンの電位コントラストを測定する装置としても使用できる。例えばウェーハ電位0Vに対して軸対称電極432に-10Vの電位を与えたとき、ウェーハに形成された2つのパターンは、夫々-4Vと0Vの電位であるとする。この場合、低電位のパターンから放出された二次電子は-2V等電位面で2eVの運動エネルギーに相当する上向き速度を持っているので、このポテンシャル障壁を越え、軸対称電極432から脱出し、検出器で検出される。一方、高電位パターンから放出された二次電子は-2Vの電位障壁を越えられず、ウェーハ面に追い戻されるので、検出されない。従って、低電位のパターンの検出画像は明るく、高電位パターンの検出画像は暗くなる。かくして、ウェーハ408の被検査領域の電位コントラストが得られる。検出画像の明るさと電位とを予め較正しておけば、検出画像からパターンの電位を測定することができる。そして、この電位分布からパターンの欠陥部分を評価することができる。

40

【0104】

更に、本電子線装置にブランキング偏向器を設け、この偏向器によって一次電子線をクロスオーバー結像点付近に設けられた図示しないストッパーに所定周期で偏向させ、当該ビームを短時間のみ通して他の時間は遮断することを繰り返すことによって、短いパルス幅のビーム束を作ることが可能となる。このような短パルス幅ビームを用いて上記したようなウェーハ上の電位測定等を行えば、高時間分解能でデバイス動作を解析可能となる。即ち、本電子線装置をいわゆるEBテスターとして使用することができる。

【0105】

50

以上が第4発明の好適な実施形態であるが、第4発明は、上記例にのみ限定されるものではない。

例えば、対物レンズ作動距離 W 及びボア径 D として、ウェーハに最も近い下部電極432に関する値を用いたが、この下部電極が設けられていないか或いは作動していない場合、対物レンズ431の電極443に基づいて対物レンズ作動距離 W 及びボア径 D を決定することができる。

【0106】

また、上記例では、被検査試料として半導体ウェーハを例に掲げたが、本発明の被検査試料はこれに限定されず、電子線によって欠陥を検出可能なパターン等が形成された任意の試料、例えばマスク等を評価対象とすることができる。

10

【0107】

また、電子線装置の構成は任意好適に変更可能であり、小径のレンズは、コンデンサレンズ及び対物レンズに限らず、適用することができる。

更に、ウェーハ408のパターンを検査することができる限り、電子以外の荷電粒子を用いてもよい。

【0108】

以上詳細に説明したように第4発明の電子線装置によれば、軸上色収差係数及び球面収差を小さくできる減速電界型対物レンズを用いた電子線装置において、試料の周辺エッジの影響を実質的に受けることなく高精度に試料の評価を行うための対物レンズの設計指針が得られた、という優れた効果がある。

20

【0109】

また、第4発明の一つの態様によれば、少なくとも対物レンズが、絶縁物材料から形成した軸対称構造の表面に選択的に金属をコーティングして作った電極を有するようにしたので、レンズ径を小さくすることができる、という優れた効果が得られる。

【0110】

更に、第4発明の別の態様によれば、1枚の試料上に電子光学系を複数並設したので、試料の評価のスループットを向上させることができる、という優れた効果が得られる。

(第5発明の実施の形態)

図9は、第5発明に係る電子線装置の一つの実施の形態を概略的に示す図である。図9に示すように、電子線装置は、構成が同じ複数の電子光学鏡筒560(図示の例では8個)を試料512上に並設して構成されている。このうちの一つの電子光学鏡筒561は、電子銃550と、一次電子線の軸合わせを行うための軸合わせ偏向器504、505と、コンデンサレンズ506と、一次電子ビーム走査用の静電偏向器507と、電磁偏向器509と静電偏向器510とから構成されたE×B分離器551と、対物レンズ511と、試料512から放出された二次電子、反射電子、あるいは、吸収電子のいずれか一つの検出信号を検出する検出系の検出器508とを有している。

30

【0111】

電子銃550は、ウェーネルト502と、熱電子放出カソード501と、アノード503とで構成され、一次電子線を放出して試料512に照射するためのものである。上記熱電子放出カソード501は、単結晶LaB₆で形成されている。電子銃550の熱電子放出カソード501から放出された一次電子線は、軸合わせ偏向器504、505によってコンデンサレンズ506に対して軸合わせが行われ、コンデンサレンズ506によって試料512に集束される。コンデンサレンズ506によって集束された一次電子線は、対物レンズ511によって試料512に結像される。これと同時に、静電偏向器507とE×B分離器551の電磁偏向器509とで、試料512の面上を走査するように偏向される。電磁偏向器509による偏向角は、静電偏向器507の偏向角の略二倍になるように設定されているため、偏向色収差は、ほとんど生じない。

40

【0112】

試料512上の走査点から放出された二次電子、反射電子、あるいは、吸収電子のいずれか一つは、対物レンズ511の中央電極519に印加された正の高電圧で引かれて加速・

50

集束され、E × B分離器 5 5 1によって一次光学系から分離され、二次光学系に投入されて、検出器 5 0 8に結像される。

【 0 1 1 3 】

検出器 5 0 8は、結像された二次電子、反射電子、あるいは、吸収電子のいずれか一つを検出し、その強度を表す電気信号（二次電子、反射電子、あるいは、吸収電子のいずれか一つの検出信号）として図示しない画像形成部に出力する。また、該画像形成部には、静電偏向器 5 0 7及び電磁偏向器 5 0 9に与えられた一次電子線を偏向させるための走査信号がさらに供給される。画像形成部は、走査信号と電気信号とから画像データを合成して、試料 5 1 2の被走査面を表す画像（SEM像）を構成しないしは表示することができる。この画像データを、欠陥の存在しない試料の基準画像データと比較することにより、試料 5 1 2の欠陥を検出することができる。

10

【 0 1 1 4 】

また、図 9に示すように、コンデンサレンズ 5 0 6は、一体の絶縁材料としてのセラミックを加工して複数の電極を形成し、その表面に選択的に金属コーティングを施すことによって形成されたレンズである。コンデンサレンズ 5 0 6の複数の電極は、上部電極 5 1 4、中央電極 5 1 5、及び下部電極 5 1 6で構成されており、コンデンサレンズ 5 0 6は、リード線取付金具 5 5 2を介して電圧が印加される。また、対物レンズ 5 1 1も、コンデンサレンズ 5 0 6と同様に、一体の絶縁材料としてのセラミックを加工して複数の電極を形成し、その表面に選択的に金属コーティングを施すことによって形成されたレンズである。対物レンズ 5 1 1の複数の電極は、上部電極 5 1 8、中央電極 5 1 9、及び下部電極 5 2 0で構成されており、対物レンズ 5 1 1は、リード線取付金具 5 5 3を介して電圧が印加される。このように、加工されたコンデンサレンズ 5 0 6及び対物レンズ 5 1 1は、外径の小さいレンズにすることができるため、電子光学鏡筒 5 6 1の外径を小さくすることができる。一枚の試料 5 1 2上に数多くの電子光学鏡筒 5 6 1を並設させることができる。

20

【 0 1 1 5 】

次に、第 5 発明の特徴について説明する。上記熱電子放出カソード 5 0 1の加熱電力を、熱電子放出カソード 5 0 1の両側に押しつけられたグラフィイト（図示せず）に流す電流によって調整する。熱電子放出カソード 5 0 1の加熱電力の粗調整は、従来において行われているように、熱電子放出カソード 5 0 1の加熱電力を増加させたときの、電子銃 5 5 0のエミッション電流の増加率が小さくなるように設定する。その後、軸合わせ偏向器 5 0 4、5 0 5、及び静電偏向器 5 0 7によってレンズに対する軸合わせを行い、前述のように一次電子線を試料 5 1 2に照射し、静電偏向器 5 0 7とE × B分離器 5 5 1の電磁偏向器 5 0 9とに走査電圧及び走査電流を重畳することによって、試料 5 1 2の面上を走査する。そして、ペアシリコン等の平坦な試料 5 1 2上をライン走査したときの二次電子信号（検出信号）をCRT（陰極線管）に表示すると共に、雑音計 5 6 2でショット雑音の実効値を測定する。雑音計 5 6 2は、二次電子信号をバンドパスフィルターを通し、その帯域に含まれる雑音電流を整流、平滑してメータを振らせ、実効値を表示する様設計されている。

30

【 0 1 1 6 】

次に、熱電子放出カソード 5 0 1に一定のビーム電流を流し、熱電子放出カソード 5 0 1の加熱電力を変化させながら一次電子線を試料 5 1 2に照射したときの、検出器 5 0 8での信号 / 雑音比（S / N比）、あるいは、雑音量の評価を行って熱電子放出カソード 5 0 1の加熱電力の値を決定する。

40

【 0 1 1 7 】

図 1 0のグラフには、熱電子放出カソード 5 0 1に一定のビーム電流を流し、熱電子放出カソード 5 0 1の加熱電力を変化させながら一次電子線を試料 5 1 2に照射したときの、検出器 5 0 8での信号 / 雑音比（S / N比）及び雑音量の測定値を示している。図 1 0において、符号 5 2 1で示す曲線は、熱電子放出カソード 5 0 1に一定のビーム電流を流したときの S / N比を表す曲線を示している。符号 5 2 2で示す曲線は、熱電子放出カソ

50

ド501の電力と温度との関係から推定した熱電子放出カソード501の寿命を表す曲線を示している。符号523で示す曲線は、電子銃550のエミッション電流を表す曲線を示している。符号524で示す曲線は、熱電子放出カソード501に一定のビーム電流を流したときの雑音量を表す曲線を示している。なお、熱電子放出カソード501の加熱電力の粗調整は、電子銃550の電子銃電流が飽和する領域（符号525から符号525'までの領域）で設定している。

【0118】

図10に示すグラフからわかるように、熱電子放出カソード501の加熱電力を上げると、すなわち、熱電子放出カソード501の温度を上昇させると、ショット雑音（電子数が統計的にばらつくことに起因する雑音量）が減少し、これによって、S/N比が高くなっている。従って、熱電子放出カソード501から放出される電流から一定のビーム電流を試料に流し、熱電子放出カソード501の加熱電力を変化させながら一次電子線を試料512に照射したときの、検出器508での信号/雑音比（S/N比）、あるいは、雑音量の評価を行って熱電子放出カソード501の加熱電力の値を決定することにより、ショット雑音を減少させてS/N比を高くし、もって、試料から放出される二次電子等をS/N比よく検出することができる。また、熱電子放出カソード501の温度を必要以上の高い温度にならないようにすることができるので、熱電子放出カソード501の寿命を長くすることができる。また、従来のエミッション電流が飽和する条件でカソード温度を容易に仮設定することにより、S/N比の高くなる条件を比較的短時間で設定することができる。最適のカソード加熱電流を容易に設定することができる。さらに、従来の方法で熱電子放出カソード501の加熱電力の粗調整を行い、上述した本発明の方法で熱電子放出カソード501の加熱電力の微調整を行うことにより、短時間で最適のカソード加熱条件を設定することができる。

【0119】

また、熱電子放出カソード501から放出される電子流から試料に一定のビーム電流を流したとき、S/N比が所定の値を超えるか、あるいは、雑音量が所定の値以下になるように、熱電子放出カソード501の加熱電力の値を決定することができる。例えば、図10において、S/N比が符号528で示す値を超えるように熱電子放出カソード501の加熱電力（カソードの加熱電流×カソード加熱電圧）の値を、符号529で示す値に決定する。また、雑音量が符号526で示す値以下になるように熱電子放出カソード501の加熱電力の値を、符号527で示す値に決定する。

【0120】

また、熱電子放出カソード501から放出されるビームから試料に一定のビーム電流を流したとき、S/N比の加熱電力に対する増加率が所定の値以下になるか、あるいは、雑音量の減少率が所定の値以下になるように、熱電子放出カソード501の加熱電力の値を決定するとよい。例えば、図10において、符号530、531で示す、S/N比の加熱電力に対する増加率が、符号531で示す増加率の値以下になるように熱電子放出カソード501の加熱電力の値を、符号534で示す値に決定する。また、符号532、533で示す雑音量の減少率が、符号533で示す減少率の値以下になるように熱電子放出カソード501の加熱電力の値を、符号535で示す値に決定する。

【0121】

また、雑音電流/ビーム電流比の評価を行うことにより、熱電子放出カソード501の加熱電力の値を決定してもよい。すなわち、雑音電流をビーム電流で正規化し、その値が一定値以下になるように、熱電子放出カソード501の加熱電力の値を決定してもよい。

【0122】

第5発明によれば、熱電子放出カソードから放出された電子線を試料に照射し、上記試料から放出された二次電子、反射電子、あるいは、吸収電子のいずれか一つを検出系に結像するよう構成された電子光学鏡筒において、上記熱電子放出カソードの加熱電力を変化させながら上記電子線を上記試料に照射したときの、上記検出系での信号/雑音比、あるいは雑音量の評価を行って上記熱電子放出カソードの加熱電力の値を決定するようにしたた

10

20

30

40

50

め、ショット雑音を減少させてS/N比を高くし、もって、試料から放出される二次電子等をS/N比よく検出することができる。

(第6発明の実施形態)

本実施形態は、上記実施形態で示した電子線装置を半導体デバイス製造工程におけるウェーハの評価に適用したものである。

【0123】

デバイス製造工程の一例を図11のフローチャートに従って説明する。

この製造工程例は以下の各主工程を含む。

(1) ウェーハを製造するウェーハ製造工程(又はウェーハを準備する準備工程)(ステップ600)

(2) 露光に使用するマスクを製作するマスク製造工程(又はマスクを準備するマスク準備工程)(ステップ601)

(3) ウェーハに必要な加工処理を行うウェーハプロセッシング工程(ステップ602)

(4) ウェーハ上に形成されたチップを1個ずつ切り出し、動作可能にらしめるチップ組立工程(ステップ603)

(5) 組み立てられたチップを検査するチップ検査工程(ステップ604)

なお、各々の工程は、更に幾つかのサブ工程からなっている。

【0124】

これらの主工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼす主工程がウェーハプロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウェーハ上に順次積層し、メモリやMPUとして動作するチップを多数形成する。このウェーハプロセッシング工程は以下の各工程を含む。

(1) 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程(CVDやスパッタリング等を用いる)

(2) 形成された薄膜層やウェーハ基板を酸化する酸化工程

(3) 薄膜層やウェーハ基板等を選択的に加工するためにマスク(レチクル)を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィ工程

(4) レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程(例えばドライエッチング技術を用いる)

(5) イオン・不純物注入拡散工程

(6) レジスト剥離工程

(7) 加工されたウェーハを検査する検査工程

なお、ウェーハプロセッシング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。

【0125】

上記ウェーハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィ工程を図12のフローチャートに示す。このリソグラフィ工程は以下の各工程を含む。

(1) 前段の工程で回路パターンが形成されたウェーハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程(ステップ610)

(2) レジストを露光する露光工程(ステップ611)

(3) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程(ステップ612)

(4) 現像されたパターンを安定化させるためのアニール工程(ステップ613)

以上の半導体デバイス製造工程、ウェーハプロセッシング工程、リソグラフィ工程には周知の工程が適用される。

【0126】

上記(7)のウェーハ検査工程において、本発明の上記各実施形態に係る電子線装置を用いた場合、微細なパターンを有する半導体デバイスでも、高スループットで高精度に評価することができるので、製品の歩留向上及び欠陥製品の出荷防止が可能となる。

10

20

30

40

50

【0127】

第6発明のデバイス製造方法によれば、上記電子線装置を用いてプロセス途中又は完成後のウェーハを高スループットで高精度に評価することができるので、製品の歩留向上及び欠陥製品の出荷防止が可能となる、という優れた効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0128】

【図1】本発明の第1発明の実施形態における電子線装置の光学系を模式的に示した説明図である。

【図2】本発明の第1発明の他の実施形態における電子線装置の主要部を模式的に示した説明図である。

【図3】本発明の第2発明の一つの実施の形態による電子線装置の概略図である。

【図4】試料における、電子線照射による絶縁破壊に関して比較的弱い領域区分する例を示す概略部分平面図である。

【図5】図5(a)は、本発明の第3発明の実施の形態にかかる電子線装置を示す概略構成図である。

【0129】

図5(b)は、図5(a)の電子線装置における偏向支点の設定を示す線図である。

【図6】図5の実施の形態における光学系で得られるビーム電流を算出したグラフである。

【図7】本発明の第4発明の実施形態に係る電子線装置の概略構成を示す側断面図及び上面図である。

【図8】第4発明の原理を示すため、ウェーハ試料の外径の影響を評価したシュミレーション結果を示す線図である。

【図9】本発明の第5発明の実施の形態にかかる電子線装置を示す概略構成図である。

【図10】図9の実施の形態におけるS/N比及び雑音量の測定値を示すグラフである。

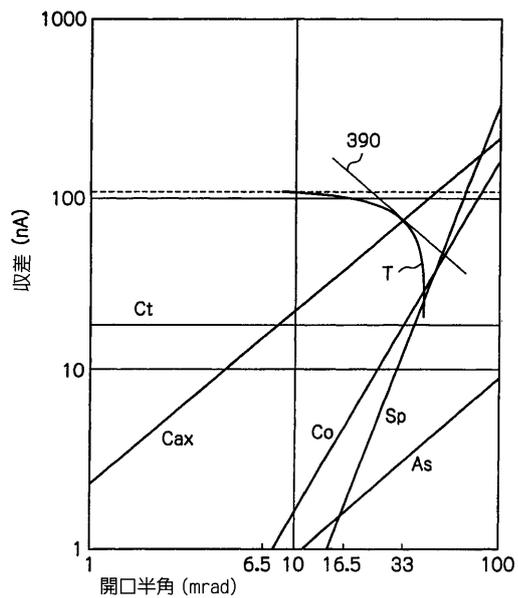
【図11】本発明の第6発明による半導体デバイスの製造方法を示すフローチャートである。

【図12】図11の半導体デバイスの製造方法の一部であるリソグラフィ工程を示すフローチャートである。

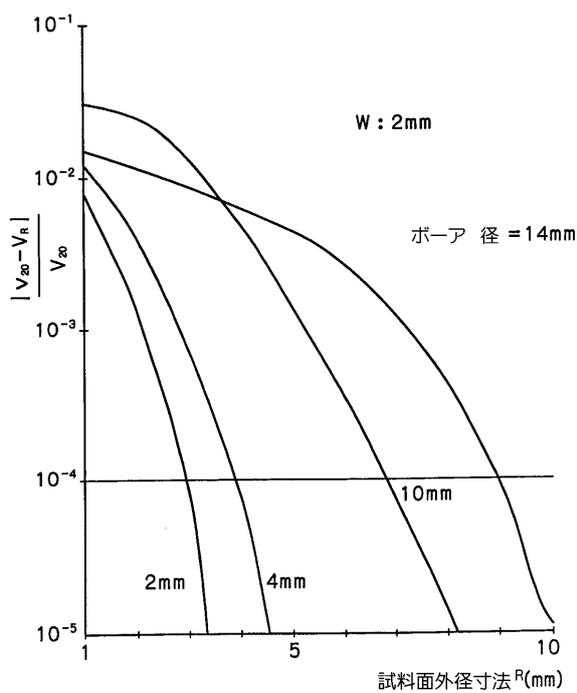
10

20

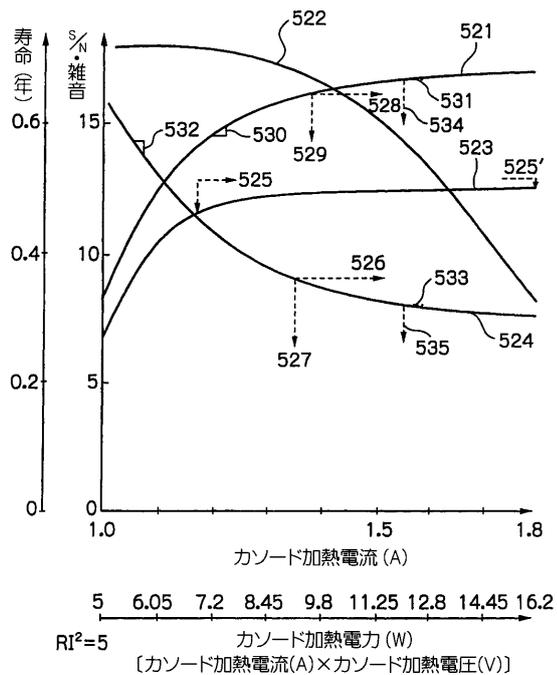
【 図 6 】



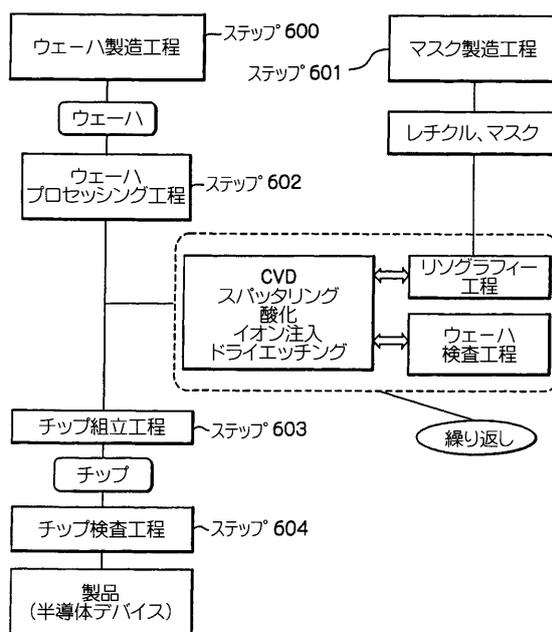
【 図 8 】



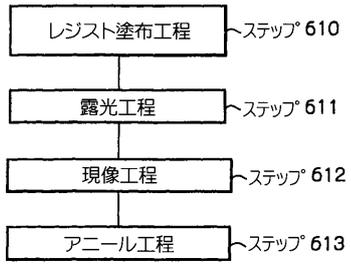
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 1 2 】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
27 December 2002 (27.12.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/103337 A2

- (51) International Patent Classification: **G01N 23/00** [JP/JP]: 3-32-2, Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo 150-0001 (JP); **NOJI, Nobuharu** [JP/JP]: 8-2-7, Iisagi, Zushi-shi, Kanagawa 249-0001 (JP); **SATAKE, Tohru** [JP/JP]: 14-47, Higashi-kaigankita 2-chome, Chigasaki-shi, Kanagawa 253-0053 (JP); **MURAKAMI, Takeshi** [JP/JP]: 1-10-2-305, Higashinakano, Shinagawa-ku, Tokyo 142-0052 (JP); **WATANABE, Kenji** [JP/JP]: 1-9-2-2-411, Inari, Fujisawa-shi, Kanagawa 251-0862 (JP).
- (21) International Application Number: PCT/JPO2/05786
- (22) International Filing Date: 11 June 2002 (11.06.2002)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:
2001-181955 15 June 2001 (15.06.2001) JP
2001-192597 26 June 2001 (26.06.2001) JP
2001-269880 6 September 2001 (06.09.2001) JP
2001-270935 6 September 2001 (06.09.2001) JP
2001-273078 10 September 2001 (10.09.2001) JP
- (74) Agent: **CHIBA, Akio, YUASA AND HARA**, Section 206, New Ohtemachi Bldg., 2-1, Ohtemachi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004 (JP).
- (81) Designated States (*national*): JP, US.
- (84) Designated States (*regional*): European patent (DE, FR, GB, NL).
- (71) Applicant (*for all designated States except US*): **EBARA CORPORATION** [JP/JP]: 11-1, Haneda Asahi-cho, Ohta-ku, Tokyo 144-8510 (JP).
- (72) Inventors; and
(75) Inventors/Applicants (*for US only*): **NAKASUJI, Mamoru** [JP/JP]: 2-15-11, Serigaya, Konan-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 233-0006 (JP); **KATO, Takao**
- Published:**
without international search report and to be republished upon receipt of that report
- For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.*



WO 02/103337 A2

(54) Title: AN ELECTRON BEAM APPARATUS AND A DEVICE MANUFACTURING METHOD BY USING SAID ELECTRON BEAM APPARATUS

(57) Abstract: ABSTRACTAn electron beam apparatus, in which an electron beam emitted from an electron gun having a cathode and an anode is focused and irradiated onto a sample, and secondary electrons emanated from the sample are directed into a detector, the apparatus further comprising means for optimizing irradiation of the electron beam emitted from the electron gun onto the sample, the optimizing means may be two-stage deflectors disposed in proximity to the electron gun which deflects and directs the electron beam emitted in a specific direction so as to be in alignment with the optical axis direction of the electron beam apparatus, the electron beam emitted in the specific direction being at a certain angle with respect to the optical axis due to the fact that, among the crystal orientations of said cathode, a specific crystal orientation allowing a higher level of electron beam emission out of alignment with the optical axis direction.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

DESCRIPTION

5 AN ELECTRON BEAM APPARATUS AND
A DEVICE MANUFACTURING METHOD BY USING
SAID ELECTRON BEAM APPARATUS

FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates to an electron beam apparatus and a device manufacturing method by using the electron beam apparatus, and more specifically to an
10 electron beam apparatus which can evaluate a sample containing a device pattern having a minimum line width not greater than 0.1 μm with high throughput and high reliability, and to a device manufacturing method which can improve a yield of products by using the electron beam
15 apparatus to evaluate a wafer in the course of processing.

DESCRIPTION OF THE RELATED ART AND PROBLEMS TO BE SOLVED BY THE INVENTION:

There has been suggested such an electron beam based
20 inspection apparatus for inspecting defects in patterns formed on a surface of an object to be inspected, and more particularly, an inspection apparatus useful, for example, in inspecting defects on a wafer in a semiconductor manufacturing process, which includes irradiating an object
25 to be inspected with an electron beam, detecting secondary electrons which vary in accordance with the properties of the surface thereof to form image data, and inspection patterns formed on the surface of the object to be

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

inspected based on the image data at a high throughput, and a method of manufacturing devices at a high yield rate using the inspection apparatus.

In such an electron beam apparatus, in conjunction
5 with a high integration of semiconductor device and a micro-fabrication of pattern thereof, an inspection apparatus with higher resolution and throughput has been desired.

So far, for example, there has been already suggested
10 an electron beam apparatus in which an electron beam formed by focusing electron beam into fine flux is irradiated onto a sample so as to scan a surface thereof for evaluation; the sample having a device pattern with a line width not greater than 0.1 μm , wherein since an electron gun to be
15 used in this kind of apparatus is required to produce the electron beam with a narrower diameter and a higher current, the temperature of a cathode is increased so that the electron gun may be used with an intensified brightness. Accordingly, the cathode is typically required to have such
20 properties as including, a lower work function, a higher fusing point and a lower vapor pressure and also an excellent physical and chemical stability at high temperature. Conventionally, a mono-crystal of LaB6 has been used as a material having such properties, and the use
25 of mono-crystal of tantalum carbide (TaC) is also under consideration.

In comparison between LaB6 and TaC, the work function is 2.6eV for LaB6 and 3.4eV for TaC, while to the contrary,

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

a figure of merit (which is considered to be one of major measures for evaluating the material for the cathode and determined from the work function divided by a temperature at which the vapor pressure indicates to be 10^{-5} Torr, wherein a smaller figure of merit is considered more advantageous) is 1.27×10^{-3} for LaB6 and 1.2×10^{-3} for TaC, demonstrating that TaC is superior to LaB6. Accordingly, from the viewpoint of excellent stability at high temperatures, preferably TaC should be used as a material for making the cathode.

However, if a TaC chip is used to cause a field emission, due to the fact that among the crystal orientations of the TaC chip, a specific crystal orientation allowing a higher level of electron beam emission is not in alignment with an optical axis direction, such an intensified electron beam could not be emitted along a direction of the optical axis of the electron beam apparatus but emitted in directions at an angle of 19 degrees and an angle of 34 degrees symmetrically with respect to the optical axis by four times (i.e. 90 degrees spaced positions about the optical axis), respectively. Due to this, the use of the TaC chip has been problematic in that it can not be applied to the electron beam apparatus without modification.

Therefore, a first object of the present invention is to solve the above problem and to provide an electron beam apparatus, in which one of the electron beams emitted toward the directions other than the optical axis is guided

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

in the direction of the optical axis with minimized aberration, whereby even such a material may be utilized as the cathode material, that has favorably a smaller figure of merit but has been considered difficult to be used as
5 the material for making the cathode because of the reason that the intensified electron beam is not emitted in the direction of the optical axis.

Also, there has been known an apparatus for evaluating a sample containing MOS transistor with non-destructive method by using electron beam with high
10 reliability, and also a device manufacturing method for evaluating a wafer by using the same apparatus each time respective processes are finished.

Such a technology has been known as an electron beam
15 lithography system that uses an electron beam to raster-scan an entire surface of a sample, in which the beam is emitted exclusively onto a small region to be exposed but blocked to the other regions.

It has been also recognized in the trend of a gate
20 oxide film of transistors becoming thinner and thinner every year that a large dose of electron beam may cause a potential difference between respective surfaces of the oxide film, sometimes leading to a dielectric breakdown.

In a prior-art defect inspection apparatus (an
25 electron beam apparatus) using an electron beam, the electron beam has been irradiated over an entire region of a limited area of a sample wafer, to detect secondary electrons.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

In the prior-art defect inspection apparatus using the electron beam, however, there arises a problem that if the gate oxide film with a thickness of 1 nm or less is subjected to a relatively high dose level of electron beam, non-negligible probability of breakdown of the oxide film could be caused by the electron beam irradiation. On the other hand, there has been a problem, however, that if the dose level of the electron beam is insufficient, a signal could not have sufficient S/N ratio in forming the image, which leads to a failure in accomplishing a highly reliable defect inspection.

Accordingly, a second object of the present invention is to provide an electron beam apparatus which enables a highly reliable evaluation, including a defect inspection, to be carried out without causing any breakdowns in a portion of the sample, such as the gate oxide film or the like.

Further, in the field of electron beam apparatus for inspecting a sample for any defects, there has been known an electron beam apparatus that uses a TFE electron gun and focuses an electron beam therefrom into a crossover on a sample thus to scan a surface thereof and to detect secondary electrons emanated from the sample.

In such an electron beam apparatus, if the TFE electron gun is used, a beam current as high as 100 nA is obtainable with a beam diameter of 100 nm, and if it is driven by a clock of 100 MHz, then a shot noise, I_N , for a secondary electron yield η of 50%, will be expressed as;

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

$$\begin{aligned}
 i_n &= (2\eta \times i_b \times \Delta f)^{1/2} \\
 &= (2e \times 50 \times 10^{-9} \times 100 \times 10^6)^{1/2} \\
 &= 1.265 \times 10^{-9} \text{ A,}
 \end{aligned}$$

(where, e= charge of an electron, i_b = a beam current, and
 5 Δf = a frequency band of a secondary electron detector)
 and accordingly, a S/N ratio will be expressed as:

$$\begin{aligned}
 S/N &= i_b/i_n \\
 &= 50 \times 10^{-9} / 1.265 \times 10^{-9} = 39.5,
 \end{aligned}$$

which can not satisfy a condition of $S/N > 45$ required to
 10 perform an defect inspection or the like, and consequently
 scanning should be repeated by several times and then an
 averaging and adding operation applied.

Accordingly, a third object of the present invention
 is to provide an electron beam apparatus in which a beam is
 15 obtainable that enables a resolution of 100 nm to be
 obtained with the condition of $S/N > 45$ for the scanning at
 100 MHz without the need for the averaging and adding
 operation.

Further, conventionally, it has been known that an
 20 electron beam apparatus employing an objective lens of a
 decelerating electric field type is useful, because it can
 effectively reduce an axial chromatic aberration
 coefficient and a spherical aberration. On the other hand,
 it has been also well known that, if an objective lens of a
 25 non-decelerating electric field type is used, it may be
 possible to evaluate a wafer over a surface including its
 edge portion.

However, there has been such a problem with the

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

electron beam apparatus comprising the objective lens of the above-mentioned decelerating electric field type, in which a decelerating electric field is produced between the objective lens and the wafer, that if the edge portion of the wafer is located adjacent to an optical axis, an aberration is induced by turbulence in the electric field caused by the peripheral edge of the wafer, which leads to an erroneous evaluation. Specifically there has been such a problem in the case of evaluating a pattern with dimensions not greater than 0.1 μm , which is commonly used nowadays, that the evaluation is effective only for a region defined as an inner side with respect to the peripheral edge of the wafer by a distance not smaller than 15 mm.

On the other hand, there has also been a problem with a use of the objective lens of the non-decelerating electric field type that the axial chromatic aberration is rather intensified and if the beam is converged to be made narrower, then a beam current may be greatly lowered.

Therefore, a fourth object of the present invention is to provide an electron beam apparatus which can evaluate any region of the wafer requiring an evaluation without any effect from the chromatic aberration by using an objective lens having a smaller axial chromatic aberration coefficient.

It has been conventionally known that a shot noise, i_r^2 , in the case of a current of I_0 being applied to an infra-red detector can be expressed by an equation;

$$\tilde{i}_r^2 = 2e \cdot I_0 \cdot \Gamma^2 \cdot \Delta f$$

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

and that if an electron gun is under a temperature limited condition, said Γ is 1.0, and if the electron gun is under a space charge limited condition, said Γ falls in a range of 0.1 to 1.0 (see R. A. Smith, et. al, "*The Detection and Measurement of Infra-red Radiation*" Oxford at the Clarendon Press 1968, p195).

Further, it has been known that a shot noise, i_n^2 , as a electron tube noise is expressed by an equation;

$$\bar{i}_n^2 = \Gamma^2 \cdot 2e \cdot I_p \cdot B_f$$

10 where, i_n^2 = a mean square of a noise current, e = charge of an electron, I_p = an anode current, and B_f = a frequency band of a signal amplifier, and said Γ^2 is a decreasing function with respect to a cathode temperature T_c , for which a value in a range of 0.16 to 0.018 has been actually
15 measured (see "*Communication Engineering Handbook*" edited by Institute of Telecommunications Engineers, p471, 1957).

However, so far as the signal detection in the electron beam apparatus is concerned, the information with regard to the infra-red technology and the electron tube
20 technology has not been utilized effectively, and the shot noise has been treated as $\Gamma=1$. Besides, in spite of the fact that if the cathode temperature of the electron gun is increased, the shot noise could be decreased, the cathode temperature has been determined in practice without taking
25 the shot noise into account.

Accordingly, a fifth object the present invention is to provide an electron beam apparatus which can decrease the shot noise and thus increase the S/N ratio by

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

determining the cathode temperature with the shot noise taken into account, so that the secondary electrons or the likes emanated from the sample may be detected efficiently.

Another object of the present invention is to provide
5 a device manufacturing method aiming for improving inspection accuracy and throughput by using said electron beam apparatus to inspect a semiconductor device in the course of processing or to inspect a finished product.

10 SUMMARY OF THE INVENTION

The objects of the above described may be accomplished by the features of the present invention, which comprises an electron beam apparatus, in which an electron beam emitted from an electron gun having a cathode
15 and an anode is focused and irradiated onto a sample and secondary electrons emanated from the sample are directed into a detector, wherein the electron beam apparatus characterized in further comprising means for optimizing irradiation of the electron beam emitted from the electron
20 gun onto the sample.

By these arrangements, the problems described above may be dissolved and thereby irradiation efficiency of the electron beam onto the sample is increased and, thus, S/N ratio of the electron beam apparatus is improved, which
25 results in high throughput and high reliability of the electron beam apparatus.

More specifically, the first object of the present invention described above may be accomplished by the first

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

invention of the present invention, wherein the electron beam apparatus is constituted in such a way that an electron beam emitted from an electron gun having a cathode and an anode is focused and irradiated onto a sample and secondary electrons emanated from said sample are directed into a detector, wherein the optimizing means includes two-stage deflectors disposed in the proximity to the electron gun, wherein the two-stage deflectors are adapted so as to deflect and direct an electron beam emitted in a specific direction so as to be in alignment with an optical axis direction, the electron beam emitted in the specific direction being at a certain angle with respect to the optical axis due to the fact that, among crystal orientations of the cathode, a specific crystal orientation allowing a higher level of electron beam emission is out of alignment with the optical axis direction. With this configuration, it is possible to orient one of the electron beams emitted in the specific directions other than that of the optical axial, so as to be in alignment with the optical axial direction while minimizing any aberration.

Further, in one mode of the first invention, one deflector of the two-stage of deflectors, which has been disposed in a closer location to the electron gun, is designed to be an electromagnetic deflector and the other deflector of the two-stage deflectors, which is disposed in a closer location to the sample, is designed to be an electrostatic deflector. This configuration enables the electron beams emitted in the direction other than that of

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

the optical axis to be guided into the optical axial direction without causing any chromatic aberrations.

In another mode of the first invention, the crystal of the cathode is defined as such crystal that is composed
5 of carbide, boride or nitride of transition metals.

According to a further aspect of the first invention, the electron beam apparatus is constituted as a one, in which an electron beam emitted from an electron gun is focused and irradiated into a sample and a secondary
10 electrons emanated from the sample are directed into a detector, wherein the optimizing means comprises the cathode, an anode having a potential near to that of the cathode and the anode, wherein only an electron beam that has been emitted in a particular direction among a
15 plurality of electron beams emitted in different directions from the electron gun is directed onto the sample, and the electron beams emitted in the directions other than the particular direction are absorbed into said anode having potential near to that of the cathode and thus discarded.

In order to accomplish the second object described
20 above, according to the second invention, the electron beam apparatus is constituted in such a way that an electron beam is irradiated against a sample and secondary electrons emanated from an electron beam irradiated region on a
25 surface of the sample are detected so as to evaluate the sample, wherein the sample has a partial region on the surface thereof which is relatively weak against or susceptible to dielectric breakdown possibly caused by

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

electron beam irradiation, wherein the optimizing means is constituted as means for controlling irradiation of the electron beam so as not to irradiate the susceptible region but to irradiate the other regions exclusively.

5 In the electron beam apparatus of the second invention, a region having a gate oxide film of transistor formed thereon and a region having an electric connection with the region of gate oxide film may be selected as the region relatively weak against dielectric breakdown.

10 Further, in the electron beam apparatus of the second invention, a scanning operation of the electron beam may be adapted to be applied over an entire surface of the sample, but the electron beam may be blanked when the electron beam is to scan the region relatively weak against dielectric
15 breakdown.

According to another aspect of the second invention, when a surface of a sample is segmented into a region relatively weak against dielectric breakdown and the other regions, the optimizing means is constituted as means for
20 controlling the irradiation of the electron beam so that a different dose level of electron beam is applied to each of the respective different regions so as to evaluate the surface of the sample.

In order to accomplish the third object of the
25 present invention, according to the third invention of the present invention, the electron beam apparatus is constituted in such a way that an electron beam emitted from an electron gun having a hot cathode is irradiated

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

against an aperture and the electron beam after having passed through the aperture is contracted and projected onto a sample, two-stage of deflectors are operated to scan the sample, and secondary electrons emanated from the sample are accelerated by an electric field produced by an objective lens and guided by an $E \times B$ separator into a secondary electron detector, wherein the optimizing means is constituted as means for setting a pivot point of deflection by the two-stage of deflectors in such a location that can minimize a transverse chromatic aberration in the proximity of said objective lens.

In the second invention, the electron gun can be operative under a space charge limited condition. In addition, the aperture can be formed in a square shape. Furthermore, a negative voltage can be applied to the sample and a voltage having a lower potential than that of the sample can be applied to a lower electrode of the objective lens.

In order to accomplish the fourth object of the present invention described above, according to the fourth invention of the present invention, the electron beam apparatus comprises an electron optical system which produces a decelerating electric field for a primary electron beam between an objective lens and a sample so that a focused electron beam can scan a surface of the sample, in which secondary electrons emanated from said sample, after having passed through the objective lens, are deflected from the electron optical system so as to be

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

detected, wherein the optimizing means is constituted as means for establishing such a dimensional relationship as represented by an expression:

$$W+D/2 \leq 5 \text{ mm}$$

5 where "W" is a working distance of the objective lens, and "D" is a bore diameter of an electrode of the objective lens disposed in a closest location to the sample.

According to the fourth invention as described above, since the objective lens has been designed based on the
10 above expression, at least a region of a sample subject to the inspection defined as an inner side with respect to the peripheral edge of the sample by a distance not smaller than 5 mm is substantially free from the interference of the turbulence in the electrostatic field caused by the
15 peripheral edge of the sample, and thereby the sample can be evaluated in that region with high accuracy in the lower aberration condition. Since, typically, chips larger than 5 mm squares are fabricated in most cases, with the apparatus according to the fourth invention which can
20 evaluate a region 5 mm or more distant from a peripheral edge of a wafer, almost all samples can be properly handled for accurate evaluation.

According to the second aspect of the second invention, the electron beam apparatus is composed to be
25 able to evaluate a flat wafer within a range defined as an inner side with respect to a periphery of the wafer by a distance not less than "R" mm, by using an electron optical system having an objective lens of a decelerating electric

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

field type, wherein the optimizing means is constituted as a means for establishing such a dimensional relationship as represented by an expression:

$$W+D/2 \leq R_{mm}$$

5 where "W" is a working distance of the objective lens, and "D" is a bore diameter of an electrode of the objective lens disposed in location closest to said sample.

According to the second aspect of the second invention, since the objective lens has been designed based
10 on the basis of above expression, at least a region of a sample subject to the inspection defined as an inner side with respect to the peripheral edge of the sample by a distance not smaller than "R"mm is substantially free from
15 interference of the turbulence in the electrostatic field caused by the peripheral edge of the sample, and thereby the sample can be evaluated in that region with high accuracy in the lower aberration condition. Further, it can
20 be seen from the above expression that as the bore diameter "D" reduced, a smaller value for "R" may be determined to extend the region subject to the inspection, and thus an outer diameter of the objective lens can be reduced.

According to a third aspect of the second invention, in accordance with either one of the above-described aspects, at least the objective lens has an electrode of
25 axisymmetric structure made of an insulating material with a metal coating applied selectively onto a surface thereof.

According to the third aspect of the second invention, the diameter of the objective lens may be further reduced,

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

whereby a diameter of a optical column for accommodating the electron optical system can be made smaller.

According to a fourth aspect of the second invention, a plurality of electron optical systems having the features
5 of either one of the above described aspect is arranged in parallel above a sheet of sample. With this configuration, since different electron images for different regions on the sample can be obtained in respective electron optical systems, the throughput of the sample inspection may be
10 improved in proportion to the number of employed electron optical systems. In the above respective aspects of the present invention, in which the diameter of the objective lens can be adaptively made smaller in design, a plurality of electron optical systems can be accommodated in parallel,
15 and the third aspect of the present invention is especially preferable, in which the diameter of the objective lens can be made smallest.

In order to accomplish the fifth object of the present invention, according to the fifth invention, the
20 electron beam apparatus has an electron optical lens column configured such that an electron beam emitted from a thermionic emission cathode may be irradiated against a sample and either one of secondary electrons, back scattered electrons or absorbed electrons, which has been
25 emanated from the sample, may be focused onto a detecting system, wherein the optimizing means is constituted as means for determining a value for a heating electric power of the thermionic emission cathode by evaluating a

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

signal/noise ratio or a noise level detected in the detecting system during a period when said electron beam is irradiated against the sample while changing a heating electric power of the thermionic emission cathode.

5 According to a second aspect of the fifth invention, a value for the heating electric power of the thermionic emission cathode can be determined in such a manner that a signal/noise ratio exceeds a predetermined value, or such that a noise level is not greater than a predetermined
10 value when a certain level of beam current is applied to the sample from the electron beam emitted from the thermionic emission cathode.

 According to a third aspect of the fifth invention, the value for the heating electric power of the thermionic
15 emission cathode can be determined in such a manner that an increase in rate of the signal/noise ratio with respect to the heating electric power is not greater than a predetermined value, or a decreasing rate of said noise level is not greater than a predetermined value when a
20 certain level of beam current is applied to the sample from the electron beam emitted from the thermionic emission cathode.

 According to a fourth aspect of the fifth invention, the value for the heating electric power of said thermionic
25 emission cathode may be determined by evaluating a noise current/beam current ratio.

 According to a fifth aspect of the fifth invention, the value for the heating electric power of the thermionic

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

emission cathode may be roughly tuned in such a manner that a variation in an electron gun current observed during a period when the heating electric power of the thermionic emission cathode is changed may be moderate, and following
5 this roughly tuning, the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode can be finely tuned based on an evaluation of the signal/noise ratio or the noise level detected in the detecting system.

According to a sixth aspect of the fifth invention,
10 the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode can be determined in consideration of a relationship between the heating electric power of the thermionic emission cathode and the signal/noise ratio and another relationship between the heating electric power of
15 the thermionic emission cathode and a lifetime of the thermionic emission cathode.

According to a sixth invention, a device manufacturing method may be implemented, which is characterized by evaluating a wafer in the course of
20 processing or after completion of processing by using either one of the electron beam apparatuses described above.

These and other aspects and actions and effects of the present invention may be further understood by reading the following description with reference to the attached
25 drawings.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

Fig. 1 is a schematic diagram of an optical system of

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

an electron beam apparatus according to an embodiment of a first invention of the present invention;

Fig. 2 is a schematic diagram of the main parts of an optical system of an electron beam apparatus according to another embodiment of the first invention of the present invention;

Fig. 3 is a schematic diagram of an electron beam apparatus according to an embodiment of a second invention of the present invention;

Fig. 4 is a schematic partial plan view illustrating an example for identifying a region relatively weak against a dielectric breakdown due to an electron beam irradiation;

Fig. 5(a) is a schematic diagram of an electron beam apparatus according to an embodiment of a third invention of the present invention and Fig. 5(b) is a diagram illustrating a setting of a pivot point of deflection in the electron beam apparatus of Fig. 5(a);

Fig. 6 is a graphic chart indicating a calculation result of a beam current to be obtained in an optical system in the embodiment of Fig. 5;

Fig. 7 is a side sectional view and a top view illustrating a schematic configuration of an electron beam apparatus according to an embodiment of a fourth invention of the present invention;

Fig. 8 is a diagram illustrating a simulation result obtained by evaluating an effect of outer diameter of a wafer sample in order to demonstrate a principle of the fourth invention;

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

Fig. 9 is a schematic diagram of an electron beam apparatus according to an embodiment of a fifth invention of the present invention;

Fig. 10 is a graphic chart indicating measured values for a S/N ratio and a noise level in the embodiment shown in Fig.9;

Fig. 11 is a flow chart showing a series of semiconductor device manufacturing processes according to a sixth invention of the present invention; and

Fig. 12 is a flow chart showing a lithography process as a part of the semiconductor device manufacturing processes of Fig. 11.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

Preferred embodiments of an electron beam apparatus according to the present invention will be described below with reference to the attached drawings.

(Embodiments of a first Invention)

Fig. 1 schematically shows an electron beam apparatus 100 of an embodiment according to a first invention of the present invention. This electron beam apparatus 100 comprises a primary optical system 110, a secondary optical system 120 and an inspection unit 130. The primary optical system 110 is an optical system for irradiating an electron beam against a surface of a sample S (a sample surface), and comprises an electron gun 111 for emitting the electron beam, an electromagnetic deflector 112 and an electrostatic deflector 113 for deflecting the electron beam emitted from

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

the electron gun, a condenser lens 114 for focusing the electron beam, an aperture 115 defining an numerical aperture, electrostatic deflectors 116 and 117 for controlling the electron beam so as to scan a surface of the sample, an E x B separator 118 and an objective lens 19, wherein those components described above are arranged along an optical axis "A" of the primary optical system 110 in a sequential order with the electron gun 111 at the topmost location as shown in Fig. 1.

10 In the electron gun 111, a mono-crystal TaC cathode of <100> orientation is employed as a thermal field emission (TFE) cathode 111a, and an anode 111b is used to draw out the electron beam. Since the emission direction of the electron beam is defined at the angle of about 18.5°
15 with respect to the optical axis A, the anode 111b is formed in a conical shape inclined at an angle θ of 18.5° with respect to a plane M-M normal to the optical axis A and is provided with an aperture 111c formed therein for allowing one of the four beams to pass through.

20 The secondary optical system 120 is arranged along an optical axis B inclined with respect to the optical axis A of the primary optical system 110 in a location proximal to the E x B separator 118 of the primary optical system 110.

The inspection unit 130 comprises a detector 131.

25 In the electron beam apparatus as described above, the electron beam emitted from the cathode 111a of the electron gun 111 is accelerated by an anode 111b, and the electron beam 150, after having exited from the aperture

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

111c of the anode, is deflected at an angle of deflection α into the direction indicated by the arrow 151 (i.e. toward the optical axial direction) by the electromagnetic deflector 112 and further deflected back at an angle of

5 deflection β in the direction indicated by the arrow 152 by the electrostatic deflector 113, so that the electron beam 150 may be oriented in the direction in alignment with the optical axis A. In this way, the electron beam 150, which has been emitted in the direction at a certain angle with

10 respect to the optical axis, due to the fact that among the crystal orientations of the mono-crystal TaC cathode, a specific crystal orientation allowing a higher level of electron beam emission is out of alignment with said optical axis direction, can be oriented in a direction in

15 alignment with the optical axial direction (i.e., directed along the optical axial direction) by using the two-stage of deflectors 112 and 113.

The electron beam is then focused by the condenser lens 114 to be formed into a crossover in the electron gun

20 side of the objective lens 119 and further focused by the objective lens 119 onto the sample S. At that time, the electron beam is deflected by the electrostatic deflector 116 and the electrostatic deflector 117 of the E x B separator 118 and irradiated onto the sample S so as to

25 scan the surface thereof.

The secondary electrons emanated from the sample S by the irradiation of this electron beam are accelerated and focused by an accelerating electric field applied between

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

the objective lens 119 and the sample S, and then pass through the objective lens 119. The secondary electrons, after having passed through the objective lens, are deflected by the E x B separator 118 in the direction in alignment with that of the optical axis B and then detected by the detector 131 of the inspection unit 130 for evaluating the sample S.

In such an electron beam apparatus as described above, it is required to reduce any chromatic aberration caused by the deflection in the two-stage of deflectors in order to improve a resolution of the optical system. To achieve this, a distance between a tip end portion of the cathode 111a and the electromagnetic deflector 112 is set to be equal to a distance between the electromagnetic deflector 112 and the electrostatic deflector 113, thereby making the angle of deflection α twice that of the angle of deflection β and thus reducing chromatic aberration caused by the deflection. Although the TaC is favorable from the fact that if the TaC is used, since an angular current density value as large as 10mA/sr can be obtained, the electron beam of 800 nA with 100 nm ϕ is obtainable, yet the crystal of the cathode is not limited to this but may be a crystal of other transition metals composed of carbide, boride or nitride.

Further, it is also possible to appropriately change the number of deflectors, the angle of inclination θ of the anode 111b, and the location of the aperture 111c of the anode, depending on the kinds of the transition metals employed, so that only an electron beam that has been

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

emitted in a specific direction among a plurality of electron beams emitted in different directions can be guided onto the sample S and those electron beams emitted in the directions other than the specific direction may be
5 all discarded.

Fig. 2 shows a second embodiment of the first invention. In this embodiment, a condenser lens, an aperture, an electrostatic deflector, an E x B separator and an objective lens included in a primary optical system,
10 respective components included in a secondary optical system and an inspection unit, all of them have the same configurations as those of the first embodiment, and accordingly those components are omitted in Fig. 2 but only the components different from those of the first embodiment
15 are shown in Fig. 2. In addition, such components as equivalent to those of the first embodiment are designated with the same reference numerals. In this embodiment, an anode of an electron gun 111 has a unique configuration, in which an anode 111e having a potential near to that of a
20 cathode 111a is independently provided in addition to a typical anode 111d so as to form a two-stage of anodes 111d and 111e. The anode 111e has been made in a similar form to the anode 111b of the first embodiment. In such a configuration, those electron beams emitted from the
25 cathode 111a in the direction of discarding are absorbed into the anode 111e having a potential near to that of the cathode. Thereby, heat generated in the anode may be reduced, which allows a small capacity of power supply 111f

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

to be used for the electron gun. Other operations of the electron beam apparatus according to this embodiment are similar to those explained with reference to the first embodiment of Fig. 1.

5 Incidentally, in the second embodiment described above, the electrostatic deflectors 112 and 113 are not necessarily indispensable since a specific crystal orientation allowing a higher level of electron beam emission can be selected so as to be in alignment with the
10 optical direction.

According to the first invention described above, advantageously the following effects can be obtained.

(1) An intensified electron beam obtained by means of a mono-crystal TaC cathode may be effectively guided to an
15 optical axis of a primary optical system.

(2) Since an electron beam with a beam size of 100 nm ϕ and an electron beam current of 800 nA is obtainable, the throughput of the electron beam apparatus can be improved.

(3) The electron beam can be deflected at an angle in
20 the range of 38° without substantially causing chromatic aberration.

(4) With a use of TaC, which has a smaller figure of merit as compared to LaB6, such an electron gun having a longer operating life and an intensified brightness can be
25 obtained.

(5) As is the case in the second embodiment, if an anode is provided in the form of two-stage of anodes, majority of emission current can be absorbed into an anode

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

having a potential near to that of the cathode and accordingly heat generation in the anode can be reduced, which allows a smaller capacity of power supply for the electron gun to be employed.

5

(Embodiments of a second Invention)

Fig. 3 is a schematic diagram of an electron beam apparatus according to an embodiment of a second invention of the present invention.

10 The electron beam apparatus 200 according to the present embodiment comprises a three-electrode type electron gun 201 comprising a Wehnelt 221, a cathode 222 and an anode 223, for emitting a primary electron beam; axial aligning electrostatic deflectors 224, 225 for
15 aligning an axis of the primary electron beam with respect to a subsequent lens; a condenser lens 238; an electrostatic deflector 227; an E x B separator (229, 230); an objective lens 231; an axisymmetric electrode 232; and a detector 228 for detecting a secondary electron beam
20 emanated from a sample 233. The sample 233 is mounted on a stage for transferring the sample 233 within an X-Y plane. By way of this, secondary electron images of the sample 233 for an overall region to be inspected can be obtained.

An electron beam emitted from the electron gun 201 is
25 focused by the condenser lens unit 238 so as to form a crossover in a deflection center 242 of a blanking deflector 238, and then is further focused by the objective lens 231 to form a small spot on a surface of the sample

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

233. The deflector 227 and an electromagnetic deflector 229 within an E x B separator 229, 230 function cooperatively to deflect the beam so as to raster-scan the sample 233. Secondary electrons emanated from scanned points of the sample 233 are accelerated and focused by an accelerating electric field produced by the objective lens 231, deflected by the E x B separator 229, 230 in the right hand direction in Fig. 3, and then detected by the secondary electron detector 228, which combines the detection result with a scanning signal to form a SEM image. It is to be noted that prior to this image formation, registration should be performed so as to determine accurately which location on the sample 233 is being scanned.

The axisymmetric electrode 232 disposed between the objective lens 231 and the sample 233 is functioning for providing a voltage further lower than a voltage on the sample surface and thereby partially decreasing an axial potential to a lower level than that on the sample surface, so that the secondary electrons emanating from a pattern having a higher voltage may be reflected back to the sample side, and thus a potential contrast can be measured.

The condenser lens 238 is made of a single ceramic piece, which is processed into an axisymmetric base body 226 with a metal coating 239 applied selectively onto the surface thereof, thus forming; an upper electrode 234; a central electrode 235; and a lower electrode 236. By this design, it becomes possible to fabricate a condenser lens having a smaller diameter. In the condenser lens 238, the

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

voltage is applied to the central electrode 235 via a lead fitting 237.

As for the objective lens 231, as similarly to the condenser lens 238, one piece of ceramic is processed into an axisymmetric shape and the metal coating is applied selectively onto the surface thereof, thereby forming an upper electrode 243, a central electrode 244 and a lower electrode 245. With this design, it becomes possible to fabricate an objective lens having a smaller diameter. In the objective lens 231, a voltage is applied to the central electrode 244 via a lead fitting 246, and upon application of this voltage, the decelerating electric field for the primary electron beam is produced between the objective lens 231 and the sample 233, as well as the lens effect provided by the objective lens 231.

If there is a region on the sample 233 to be evaluated that is relatively weak against a dielectric breakdown possibly caused by the electron beam, for example, a location in which a gate oxide film is formed, then said weak region and the other regions should be identified separately from the pattern data and stored in a pattern memory 240. Then, a signal is applied to a blanking control circuit 239 in synchronism with a scanning timing for that weak region, so that the beam may be deflected by the blanking deflector 238 so as not to pass through the blanking aperture 241 during scanning within said weak region. Thus, the beam is blocked and prevented from proceeding to the sample 233. Since such a blanking method

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

is a technology common with the one applied to an electron beam lithography system, in which a pattern writing is performed with raster scanning being applied to a sample while successively moving the sample table (Herriott et al.,

5 EBES: *A practical Electron Lithography System*, IEEE Transactions on Electron Devices Vol.-ED-22, No. 6, July, 1975 pp385-391), detailed description will not be given here.

Fig. 4 shows typical segmentation between the above-

10 stated weak region and the other regions (i.e., robust regions). Fig. 4 is an extracted view of a MOS transistor on a TEG (Test Element Group). The MOS transistor comprises a drain 211, a source 212 and a gate 213. A region 215 surrounded by the dotted line where the gate oxide film is

15 formed to be thinner and a region 214 of the gate 213 surrounded by the chain line, and containing therein a region connected to the gate electrode, are identified separately as regions relatively weak against the dielectric breakdown. Although the pattern of the gate 213

20 includes a diagonal line, the weak region has been defined by using exclusively a rectangular shape because if the diagonal line is used to define the region, data volume greatly increases.

The raster scanning is applied to the region denoted

25 by reference numerals 216 and 217. That is, the beam has a regular intensity for the portion 216 indicated by the solid line, and the beam is blanked for the portion 217 indicated by the broken line, so as to prevent the beam

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

from passing through that portion. Only the regions 214, 215
can be scanned again with a weakened beam, or scanned again
with a beam having a regular intensity but at a higher
scanning rate than usual. In the case of re-scanning, the
5 beam is blanked for the portion defined by the solid line
216.

Alternatively, a pattern of the regions 214 and 215
are stored in the pattern memory 240 in advance, and when
the regions 214 and 215 are scanned, only the regions
10 214, 215 can be scanned with a weakened beam or scanned with
a beam having a regular intensity but at a higher scanning
rate than usual.

In the electron beam apparatus according to the
second invention, the beam is controlled in such a manner
15 that a low dose level of electron beam or no electron beam
irradiation can be applied specifically to a region
relatively weak against dielectric breakdown possibly
caused by the electron beam irradiation, so that the wafer
can be evaluated without damaging any portions such as a
20 gate oxide film or the like formed thereon.

In general, since said relatively weak region is
small in area by ratio, even if a defect in that region
were overlooked, a possibility that there is actually a
defect in such a region is negligible from the viewpoint of
25 taking all the regions into consideration.
Further, if there should be no skipped evaluation without
exception, the lower dose level of electron beam may be
applied to the wafer for evaluation with a tolerance for

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

undesirable S/N ratio. Alternatively, the dose level of the beam to be applied onto said weak region may be chosen to be 0, 1/3, 1/2 and so forth, in comparison with the normal dose level.

5

(Embodiment of a third Invention)

A preferred embodiment of an electron beam apparatus according to the third invention will now be described with reference to Figs.5 and 6. Referring to Fig. 5(a), an
10 electron beam apparatus 300 according to the third invention comprises an electron gun 350, axial aligning deflectors 304 and 305 for an axial-aligning of a primary electron beam, a condenser lens 306, an aperture 307 of square shape formed in a plate-like material, an NA
15 aperture 319, a condenser lens 309, axial aligning deflectors 308 and 320 for axial aligning between the NA aperture 319 and the condenser lens 309, an electrostatic deflector 310 for controlling a scanning operation of the primary electron beam, an E x B separator 313 consisting of
20 an electrostatic deflector 311 and an electromagnetic deflector 312, an objective lens 360 consisting of an upper electrode 314, a central electrode 315 and a lower electrode 316, and a secondary electron detector 318 of a detecting system functioning for detecting a detection
25 signal for secondary electrons emanated from a sample 317.

The electron gun 350 is composed mainly of a thermionic emission cathode 301, a Wehnelt 302 and an anode 303 and functions to emit a primary electron beam so as to

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

be irradiated against the sample 317. The thermionic emission cathode 301 is formed by polishing a mono-crystal of LaB_6 having a crystal orientation $\langle 100 \rangle$ on a surface thereof so that a diameter of a tip end portion of the

5 crystal may be 50 μm . A flat Wehnelt having an aperture with a diameter of 1.5 mm is employed as the Wehnelt 302. Further, the anode 303 has an aperture with a diameter of 8 mm, and is disposed in a location distant from the Wehnelt 302 by 5 mm along an optical axis direction.

10 The primary electron beam emitted from the thermionic emission cathode 301 of the electron gun 350 is controlled by the axial aligning deflectors 304 and 305 so as to be axially aligned with an optical axis of the condenser lens 306, and irradiated against the aperture 307, where the

15 primary electron beam is formed to have a square shaped section profile. The primary electron beam, after having passed through the aperture 307, is axially aligned by the axial aligning deflectors 308 and 320 with respect to the NA aperture 319 and the condenser lens 309, and then

20 focused by the condenser lens 306 to form a crossover in the NA aperture 319. The primary electron beam, after having passed through the NA aperture 319, is focused by the condenser lens 309 (a reducing lens) onto the objective lens 360. The primary electron beam to be focused on the

25 sample 317 by the condenser lens 309 is further contracted by the objective lens 360 so as to be projected and thus focused into an image on the sample 317 as the beam size of 100 nm square.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

A negative voltage of -4000V is applied to the sample 317 and a negative voltage of -4100V is applied to the lower electrode 316 of the objective lens 360. This means that a voltage having a lower potential than that of the
5 negative voltage applied to the sample 317 is applied to the lower electrode 316 of the objective lens 360. With this voltage condition, secondary electrons emanated from the higher potential pattern on the surface of the sample 317 are reflected back and only the secondary electrons
10 emanated from the lower potential pattern are selectively allowed to pass through the objective lens 360, which make it possible to obtain a potential contrast on the sample 317 with a high S/N ratio.

Since a voltage of 20KV is applied to the central
15 electrode 315 of the objective lens 360, the secondary electrons emanated from the scanned points on the sample 317 are, under a normal operation, attracted and thus accelerated and focused by the high positive voltage applied to the central electrode 315 of the objective lens
20 360 (accelerated by an electric field produced by the objective lens 360), and the secondary electrons are then separated by the E x B separator 313 from a primary optical system and collected in the secondary electron detector 318. This E x B separator 313 comprises the electrostatic
25 deflector 311 with eight poles, and a saddle-type deflector wound on the outside of said electrostatic deflector 311, and further a core is formed on the outside of said saddle-type deflector by a permalloy ring.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

The scanning operation of the primary electron beam on the sample 317 is controlled through a two-stage deflection by the two-stage of deflector consisting of the electrostatic deflector 310 and the electrostatic deflector 311 of the E x B separator 313. Upon this operation, a pivot point of deflection of the two-stage deflectors is set in a location that may minimize the transverse chromatic aberration in the proximity of the objective lens 360. More specifically, the pivot point of deflection of the two-stage deflectors is set at a point slightly above the upper electrode 314 of the objective lens 360, thereby minimizing chromatic aberration due to deflection in the proximity of the objective lens 360. For example, as shown in Fig.5(b), when a deflection amount of the second electrostatic deflector 311 is varied while a deflection amount of the first electrostatic deflector 310 is fixed, the trajectory for a principal ray of the electron beam changes as shown by arrows A,B and C, and, accordingly, the pivot point of deflection of the two-stage of deflectors changes as shown by points a, b and c. The location where the transverse chromatic aberration is minimum is determined by measuring a blur of the beam while varying the deflection amount of the two-stage deflectors to find an optimal point.

The detector 318 detects the condensed secondary electrons and outputs a detection result as an electric signal representing intensity thereof (a detection signal of the secondary electron) to an image forming section.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

though not shown. The image forming section is additionally supplied with a scanning signal applied to the electrostatic deflector 310 and the electrostatic deflector 311 for deflecting the primary electron beam. The image forming section can synthesize the scanning signal and the electric signal to form image data, thus to make up and/or display an image (SEM image) representing a scanned surface of the sample 317. This image data may be compared with reference data for an indefectible sample so as to detect any defects in the sample 317.

Since a plurality of electrodes of the E x B separator 313 is formed by processing a machine-processable ceramic and thereafter applying a metal coating selectively to the surface thereof, an outer diameter of the E x B separator 313 can be made smaller. In addition, since the electromagnetic deflector 312 is a saddle-type deflector, the outer diameter thereof can also be made smaller. Owing to these facts, the E x B separator 313 can have an outer diameter of about 40 mm, thereby contributing to an increase of the throughput. That is, for example, if a total of twelve sets of electron optical column is disposed over a sheet of sample 317, a throughput increased by 12 times can be obtained.

Further, by minimizing the transverse chromatic aberration through a optimum pivot point of deflection in the proximity of the objective lens 360 as described above, the beam current of 20 nA or higher is obtainable with a beam diameter of 110 nm. This will be explained more

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

specifically. Fig. 6 shows a graphic chart for calculating the beam current to be obtained in the above-described optical system when a pivot point of deflection by the two-stage deflectors is set in a location that minimize transverse chromatic aberration in the proximity of the objective lens 360, and a distance between the lower electrode 316 of the objective lens 360 and the sample 317 is assumed to be 2 mm in the optical axis direction. More specifically, a bore diameter of the upper electrode 314, the central electrode 315 and the lower electrode 316 is 4 mm, 2 mm and 3 mm, respectively, each space between these three electrodes is 2 mm, and a thickness each of these electrodes is 2 mm.

A deflection point of the two-stage deflectors 310 and 311 is set substantially at a position of lower surface of the upper electrode 314 and an object point is set at 100 mm above the upper surface of the central electrode 315. In Fig. 6, "Ct" designates transverse chromatic aberration, "Cax" designates axial chromatic aberration, "Co" designates coma aberration, "Sp" designates spherical aberration and "As" designates astigmatic aberration. Further, "T" denotes a diameter of a beam without any aberration measured on the sample 317 upon obtaining a beam diameter of 110 nm, and T may be determined from the expression:

$$T^2 = 110^2 - Ct^2 - Cax^2 - Co^2 - Sp^2 - As^2,$$

which will be shown as a curve in Fig. 6. Reference numeral 390 designates a straight line inclined down in the

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

rightward direction at an angle of 45°, and a contact point of this straight line 390 with the curve T may be defined to show an optimal value, i.e. a condition where a maximum beam current is obtained with the beam diameter of 110 nm.

5 That is, the half-angle of aperture = 33mrad, $T_{opt} = 76.4$ nm, and the beam current I may be expressed as:

$$\begin{aligned} I &= \pi \alpha^2 B \cdot \pi (d/2)^2 \\ &= \pi^2 (33 \times 10^{-3})^2 \times (76.4 \times 10^{-9} / 2)^2 \times 1.5 \times 10^5 \\ &= (\pi \times 1.26 \times 10^{-5} \times 1 \times 10^{-2})^2 \times 1.5 \times 10^5 \\ 10 &= 23.5 \text{ nA,} \end{aligned}$$

(where, α : the half-angle of aperture, d: T_{opt} , B: brightness)

indicating that a beam current equal to or more than 20nA can be obtained. It is to be appreciated that the above
15 result comes from a calculation where the crossover image has been contracted to be a probe, and a higher beam current may be obtained for the case where a contracted image of the electron beam having passed through the aperture is used as the probe.

20 Further, the electron gun 350 may be activated with a space charge limited condition. In this case, assuming the yield (transmittance) of the secondary electron to be 50% similarly to that with the TFE electron gun, the shot noise, I_N , is expressed as:

$$\begin{aligned} 25 \quad I_N &= \Gamma \times (2eI\Delta f)^{1/2} \quad (\text{where, } \Gamma=0.13 \text{ and } I=20 \times 0.5 \times \\ &10^{-9}=10 \times 10^{-9}) \\ &= 0.13 \times (2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 10^{-9} \times 100 \times 10^6)^{1/2} \\ &= 7.35 \times 10^{-11} \text{ A} \end{aligned}$$

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

and accordingly, the S/N will be expressed as:

$$S/N = 10 \times 10^{-9} / 7.35 \times 10^{-11} = 136,$$

meaning that the shot noise can be reduced so as to satisfy the condition of $S/N > 45$, which is required to perform
5 defect inspection or the like; and there is no need to repeat the scanning, e.g. two or four times, and then to apply the averaging and adding operation as is the case in the prior art. However, but a sufficient signal can be obtained with one-time scanning in the operation at a
10 frequency level of 100 MHz or higher, and a beam can be obtained that enables a resolution of 100 nm with the condition of $S/N > 45$.

According to a first aspect of the third invention as described above, since an innovative electron beam
15 apparatus has been provided, in which an electron beam emitted from the electron gun having a hot cathode is irradiated against the aperture and the electron beam after having passed through said aperture is contracted and projected onto the sample, and secondary electrons emanated
20 from the sample are accelerated by the electric field produced by the objective lens and guided by the E x B separator into the secondary electron detector, wherein when the two-stage of deflectors is operated to scan the sample, the pivot point of deflection by said two-stage of
25 deflectors is set in such a location that may minimize a transverse chromatic aberration due to the optimum deflection pivot in the proximity of said objective lens, therefore the beam diameter will not become larger even

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

after the beam has been deflected. Further, since the contracted image of the aperture is used as the beam, a higher beam current can be obtained.

According to another aspect of third invention, since
5 in the first aspect of the third invention as described above, said electron gun is adapted to be operative under the space charge limited condition, a shot noise can be reduced so as to satisfy the condition of $S/N > 45$, which is required to perform defect inspection or the like, and
10 there is no need for applying the averaging and adding operation. Rather, a sufficient signal can be obtained with one-time scanning, and a beam can be obtained that enables a resolution of 100 nm with the condition of $S/N > 45$.

According to a third aspect of the third invention,
15 since in the first aspect of the third invention as described above, said aperture is square shaped, therefore a higher beam current can be obtained with a lower brightness.

According to a fourth aspect of the third invention,
20 since in the first aspect of the third invention as described above, a negative voltage is applied to the sample and a voltage having a lower potential than that of said sample is applied to the lower electrode of the objective lens, therefore a voltage contrast on the sample
25 can be obtained with a preferable S/N ratio.

(Embodiment of a fourth Invention)

Fig. 7 shows a side sectional view and a top view,

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

respectively, of an electron beam apparatus according to an embodiment of a fourth invention.

As shown in the top view of Fig. 7, the electron beam apparatus according to the present embodiment comprises a plurality of similarly configured optical column 402 (eight optical columns in the example shown in Fig. 7) arranged in parallel with one another above a wafer 408. One optical column 401 among those optical columns 402 comprises, as shown in the side sectional view of Fig. 7, a three-electrode type electron gun 420 comprising a Wehnelt 421, a cathode 422 and an anode 423, for emitting a primary electron beam; axial aligning electrostatic deflectors 424, 425 for aligning an axis of the primary electron beam with respect to a subsequent lens; a condenser lens 438; an electrostatic deflector 427; an E x B separator (429, 430); an objective lens 431; an axisymmetric electrode 432; and a detector 428 for detecting a secondary electron beam emanated from the wafer 408. The wafer 408 is mounted on a stage 447 for transferring the wafer 408 within an X-Y plane. By way of this, secondary electron images of the wafer 408 for an overall region to be inspected can be obtained.

In each of the optical columns, the primary electron beam emitted from the electron gun 420 is once focused by the condenser lens 438 into a crossover image in the electron gun side of the E x B separator (429, 430) and further focused through the objective lens 431 onto the sample surface 433. During this process, the electrostatic

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

deflector 427 and the electromagnetic deflector 429 cooperate to make the primary beam scan the sample surface 433. The secondary electron beam emanated from a scanned point of the wafer is accelerated by the objective lens 431, and the secondary electron beam, after having passed through said lens 431, is deflected by the E x B separator (429, 430) toward the direction indicated by the dotted line in the drawing to be detected by the detector 428. An output signal from the detector 428 is sent to an image processing section, though not shown in the drawing, where the secondary electron image of the sample surface 433 is generated.

The axisymmetric electrode 432 disposed between the objective lens 431 and the wafer 408 functions to provide a voltage lower than a voltage on the sample surface, thereby partially decreasing an axial potential to a lower level than that on the sample surface, so that the secondary electrons emanated from a pattern having a higher voltage may be reflected back to the sample side, and thus a voltage contrast can be improved. This will be explained later. To obtain a topology image or an image representing a difference in the material, a higher voltage than the wafer 408 may be applied to the axisymmetric electrode 432 so as to increase a detecting yield of the secondary electron.

The condenser lens 438 is made of a single ceramic piece, which is processed into an axisymmetric base body 426 with a metal coating 439 applied selectively onto the

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

surface thereof, thus forming an upper electrode 434, a central electrode 435 and a lower electrode 436. With this design, it becomes possible to fabricate such a condenser lens having a smaller diameter. In the condenser lens 438, a voltage is applied to the central electrode 435 via a lead fitting 437.

As for the objective lens 431, similar to the condenser lens 438, a single ceramic piece is processed into an axisymmetric shape, and the metal coating is applied selectively onto the surface thereof, thereby forming an upper electrode 440, a central electrode 442 and a lower electrode 443. With this design, it becomes possible to fabricate an objective lens having a smaller diameter. In the objective lens 431, a voltage is applied to the central electrode 442 via a lead fitting 445, and upon this voltage application, a decelerating electric field for the primary electron beam is produced between the objective lens 431 and the wafer 408, as well as the lens effect provided by the objective lens 431.

Thus in this embodiment, since it has become possible to use the electrodes having a smaller diameter for the condenser lens 438 and the objective lens 431, which allows an overall outer diameter of the optical column 401 to be made much smaller, therefore it is possible to install a plurality of optical columns arranged in parallel with one another, as shown in Fig. 7. Since in respective optical columns, different secondary electron images corresponding to different regions of the wafer 408 can be obtained,

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

throughput of the wafer evaluation may be improved in proportion to the number of employed optical columns.

Fig. 8 is a diagram illustrating a result of simulation by calculating a voltage to be applied to the central electrode which can satisfy a focusing condition of the objective lens, as a function of the outer diameters of the wafer sample, by using a parameter W representing a working distance of the objective lens 431 and another parameter D representing a bore diameter of the lower electrode 432 of said objective lens 431 disposed most proximal to the wafer. In this context, the working distance of the objective lens 431, W , is meant to be a distance between the sample surface 433 and the under surface of the lower electrode 432 of the objective lens 431 disposed most proximal to the wafer.

As shown in Fig. 8, assuming that a voltage to be applied to the central electrode 442, which can satisfy the focusing condition for the sample surface with a sufficiently large outer diameter, is denoted as V_{20} and a voltage to be applied to the central electrode, which can satisfy the focusing condition for the sample surface with an outer diameter of R mm, is denoted as V_R , then the Y-axis indicates a value representing a difference between those two values which has been normalized by V_{20} , i.e., $(V_{20} - V_R) / V_{20}$.

Variation in focusing condition means that the axial potential distribution is varied due to the effect depending on a different outer diameter of the sample

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

surface. It has been judged that if the value for $V_{20}-V_R$
/ V_{20} is not greater than 10^{-4} , the effect from the outer
diameter of the sample surface is negligible.

As can be seen from Fig. 8, under the given
5 condition of $W=2$ mm, the voltage difference representing
the focusing condition falls into a range not greater than
 10^{-4} with the sample surface outer diameter size R equal to
or greater than 9 mm for the bore diameter of 14 mm; with
the R equal to or greater than 7 mm for the bore diameter
10 of 10 mm; with the R equal to or greater than 4 mm for the
bore diameter of 4 mm; and with the R equal to or greater
than 3 mm for the bore diameter of 2 mm. Accordingly, if
“(the working distance W) + (half of the bore diameter $D/2$)
 $\leq R$ ”, then it is determined that there would be
15 substantially no effect from the outer diameter of the
sample surface.

From the above result, it is considered that, in
order to evaluate the region on the wafer 408 defined as
the inner side with respect to the peripheral edge of the
20 wafer 408 by a distance not smaller than R mm, if the
axisymmetric objective lens 31 is fabricated so as to
satisfy the condition:

$$W + D/2 \leq R$$

expression (1), then the region of the sample surface 433
25 subject to the inspection, which is defined as the inner
side with respect to the wafer peripheral edge by a
distance not smaller than R mm, may be appropriately
evaluated yet with avoiding substantially any effects by

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

the peripheral edge of the wafer 408.

As for the region requiring an evaluation in an 8" (inch) wafer or a 12" (inch) wafer, it is not necessary to evaluate such a region that is distant from the wafer edge
5 by an amount not greater than 5 mm even in the case of fabricating 5 mm square chips. Typically, chips greater than 5 mm square are fabricated in most cases, and therefore even if the evaluation could be successfully applied only to a region distant from the wafer peripheral
10 edge by a distance of not less than 5 mm, it would be considered sufficient. Accordingly, in that case, the above expression (1) may be;

$$W + D/2 \leq 5 \text{ mm}$$

expression(2)

15 The electron beam apparatus according to this embodiment evaluates the wafer 408 based on the obtained secondary electron image in a manner, for example, as described below.

In a pattern defect inspecting method by way of the
20 pattern matching applied to the wafer 408, a control section(not shown) controls the electron beam apparatus, compares a secondary electron beam reference image for the wafer, which has no defect and has been stored in a memory in advance, to an actually detected secondary electron beam
25 image and then calculates a similarity between them. For example, if the similarity falls below a threshold value, then it is determined that "a defect exists", and a similarity exceeding the threshold value is determined as

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

"no defect". At this stage, the detected image can be indicated in a display, though not shown. This will allow an operator to confirm and evaluate ultimately whether or not the wafer 408 actually has a defect. Further, images
5 for partial regions may be compared for matching to one another, so that the particular region including a defective pattern may be automatically detected.

Further, for such a wafer that includes a plurality of the same dies, by comparing detected images of the dies
10 to one another, a defective portion can be detected without the need for using the reference image as in the case above. For example, if it is determined that a first detected die image is not similar to a second detected die image, and a third detected die image is the same or similar to the
15 first detected die image, then it may be determined that the second detected die image does have a defect. If a further precise algorithm for the comparative matching is used, it may become possible to detect the defective portion defined in the second detected die image.

20 Further, the electron beam apparatus according to this embodiment can also be used as a line width measuring apparatus for measuring a line width of a pattern formed on a wafer. A width of a part where an actual intensity signal of a secondary electron obtained by scanning an actual
25 pattern on the wafer in a specific direction continuously exceeds a threshold level, which has been determined in advance through calibration, can be measured as the line width of that specific pattern. If the thus measured line

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

width falls out of the predetermined range, then it may be determined that said pattern does have a defect.

The above line width measuring method can be applied to measurement of an aligning accuracy between respective
5 layers of a wafer 408 containing a plurality of layers. For example, a second aligning pattern to be formed by the lithography applied to a second layer should be formed in advance in the proximity of a first aligning pattern to be formed by the lithography applied to a first layer. Said
10 line width measuring method is used to measure a pattern interval between those two patterns, and then the measured value is compared with a design value so as to determine aligning accuracy between those two layers. It is a matter of course that this method may be applied to a wafer
15 containing three or more layers. In that case, if the interval between the first and the second aligning patterns is set to be approximately equal to a beam interval between any adjacent beams of a plurality of primary electron beams, accuracy can be measured with a minimum scanning amount.

20 Further, the electron beam apparatus according to this embodiment may be used as an apparatus for measuring a voltage contrast between patterns formed on the wafer 408. For example, it is assumed that if a potential of -10V had been applied to the axisymmetric electrode 432 with respect
25 to a wafer potential of 0V, those two patterns formed on the wafer have potentials of -4V and 0V, respectively. In that case, since the secondary electron emanated from the lower potential pattern has an upward speed corresponding

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

to a kinetic energy of 2eV on the equipotential surface of
-2V, therefore the secondary electron can run over the
potential barrier and escape from the axisymmetric
electrode 432, which will be detected by the detector. On
5 the other hand, the secondary electron emanated from the
higher potential pattern cannot overcome the potential
barrier of -2V but is pushed back toward the wafer surface,
which would not be detected. Accordingly, the detected
image of the lower potential pattern is brighter, while the
10 detected image of the higher potential pattern is darker.
Thus, the voltage contrast for the region to be inspected
on the wafer 408 can be accomplished. If the brightness and
the potential for the detected image had been calibrated in
advance, the potential of the pattern may be measured from
15 the detected image. Also from the potential distribution, a
defective portion of the pattern can be evaluated.

If a blanking deflector is arranged in the electron
beam apparatus of this embodiment so as to deflect the
primary electron beam to a stopper (not shown) disposed in
20 the vicinity of the crossover focused point at a
predetermined cycle and thereby to permit said beam to pass
through for a short period and to block it for the rest of
the period, which will be repeated, then it will be
possible to form a bundle of beams having a short pulse
25 width. If such a beam having a short pulse width is used to
measure the potential on the wafer as described above, the
device operation can be analyzed with high time resolution.
That is, the electron beam apparatus of the present

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

invention can be used as what is called an EB tester.

The preferred embodiments of the fourth invention have been described as above, but the fourth invention is not limited only to the above-discussed examples.

5 For example, although the objective lens working distance and the bore diameter have been denoted W and D, respectively, and the values relating to the lower electrode 432 disposed most proximal to the wafer have been used in the above embodiments, for a case where this lower
10 electrode has not been provided or not been operative, the objective lens working distance W and the bore diameter D may be determined with respect to the electrode 443 of the objective lens 431.

Further, although in the above examples, the
15 semiconductor device has been used as the sample to be inspected, the fourth invention is not limited to this, but an arbitrary sample including, for example, a mask having a pattern formed thereon, for which a defect may be detected by using the electron beam, may be an object to be
20 evaluated.

Further, a configuration of the electron beam apparatus may be modified as desired, and the small-diameter lenses may be used in the apparatus without being limited to the condenser lens or the objective lens.

25 Further, as far as the pattern of the wafer 408 can be inspected, a charged particle beam other than the electron beam may be used.

As has been described above in detail, according to

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

the electron beam apparatus of the fourth invention, for such an electron beam apparatus that uses an objective lens of a decelerating electric field type that can reduce an axial chromatic aberration coefficient and a spherical
5 aberration, advantageously a design scheme of the objective lens aiming for a highly accurate evaluation of a sample by eliminating substantially any effect from a peripheral edge of the sample has been obtained.

Further, according to one aspect of the fourth
10 invention, since at least objective lens has been designed to have such an electrode that is made of insulating material formed into an axisymmetric structure with a metal coating applied selectively onto a surface thereof, advantageously a lens diameter may be successfully reduced.

15 Further, according to another aspect of the fourth invention, since a plurality of electron optical systems has been installed above a single sheet of wafer, advantageously a throughput of the sample evaluation may be improved.

20

(Embodiment of a fifth invention)

Fig. 9 is a schematic diagram showing an embodiment implementing an electron beam apparatus according to a fifth invention. As shown in Fig. 9, the electron beam
25 apparatus comprises a plurality of similarly configured electron optical columns 560 (eight optical columns in the illustrated example) arranged in parallel with one another above a sample 512. One electron optical column 561 among

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

those optical columns comprises an electron gun 550, axial aligning deflectors 504, 505 functioning for axial aligning of a primary electron beam, a condenser lens 506, an electrostatic deflector 507 for controlling a scanning
5 operation of the primary electron beam, an E x B separator 551 consisting of an electromagnetic deflector 509 and an electrostatic deflector 510, an objective lens 511, and a detector 508 for detecting a detection signal of either one of secondary electrons, back scattered electrons or
10 absorbed electrons, which have emanated from the sample 512.

The electron gun 550 comprises a Wehnelt 502, a thermionic emission cathode 501 and an anode 503, and functions for emitting a primary electron beam so as to be irradiated onto the sample 512. The thermionic emission
15 cathode 501 is made of a mono-crystal of LaB6. The primary electron beam emitted from the thermionic emission cathode 501 of the electron gun 550 is axially aligned by the axial aligning deflectors 504 and 505 with respect to the condenser lens 506, which then focuses the primary electron
20 beam onto the sample 512. The primary electron beam, after having been focused by the condenser lens 506, is then formed into an image on the sample 512 by the objective lens 511. At the same time with this step, the electrostatic deflector 507 and the electromagnetic
25 deflector 509 of the E x B separator 551 cooperate to deflect the primary beam so as to scan the surface of the sample 512. Since the angle of deflection by the electromagnetic deflector 509 has been set approximately

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

twice as much as the angle of deflection by the electrostatic deflector 507, therefore there will be little transverse chromatic aberration.

5 Either one of the secondary electrons, back scattered electrons or absorbed electrons emanated from a scanned point on the sample 512 is attracted by a high positive voltage applied to a central electrode 519 of the objective lens 511 and thereby accelerated and focused, and subsequently separated from a primary optical system by the
10 E x B separator 551 and introduced into a secondary optical system thus to be focused on the detector 508.

The detector 508 detects either one of the focused secondary electrons, back scattered electrons or absorbed electrons, and then sends an electric signal representing
15 the intensity thereof (a detection signal for either one of the secondary electrons, back scattered electrons or absorbed electrons) to an image forming section, though not shown in the drawing. The image forming section is further supplied with a scanning signal which has been given to the
20 electrostatic deflector 507 and the electromagnetic deflector 509 for deflecting the primary electron beam. The image forming section can synthesize the scanning signal and the electric signal to make the image data so that the image (SEM image) representing the scanned surface area of
25 the sample 512 may be formed or displayed. The image data is compared with reference image data representing a normal sample without any defects thus to detect any defective portion of the sample 512.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

Further, as shown in Fig. 9, the condenser lens 506 is a lens made of a single ceramic piece as an insulating material, which has been processed to include a plurality of electrodes with a metal coating applied selectively to a surface thereof. The plurality of electrodes of the condenser lens 506 consists of an upper electrode 514, a central electrode 515 and a lower electrode 516, and a voltage is applied to the condenser lens 506 via a lead fitting 552. Further, the objective lens 511 is, similar to the condenser lens 506, a lens made of single ceramic piece as an insulating material, which has been processed to include a plurality of electrodes with a metal coating applied selectively to a surface thereof. The plurality of electrodes of the objective lens 511 consists of an upper electrode 518, a central electrode 519 and a lower electrode 520, and a voltage is applied to the objective lens 511 via a lead fitting 553. As discussed above, the condenser lens 506 and the objective lens 511 can be processed as lenses with smaller outer diameters and thus the electron optical column 561 can be fabricated with a smaller outer diameter, whereby a large number of electron optical columns 561 may be accommodated in side-by-side arrangement over a sheet of sample 512.

A feature of the fifth invention will now be described. A heating electric power of said thermionic emission cathode 501 is adjusted by means of a current to be applied to graphite (not shown) compressed against both sides of the cathode 501. In a coarse tuning of the heating

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

electric power of the thermionic emission cathode 501, as practiced in the prior art, the heating electric power is set such that a lower increasing rate of the emission current of the electron gun 550 may be accomplished during

5 the period when the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 is increased. Then, after the axial alignment having been applied to the primary electron beam with respect to the lens by the axial aligning deflectors 504 and 505 and the electrostatic

10 deflector 507, the primary electron beam is irradiated against the sample 512, as described above, so as to scan the surface of the sample 512 by superposing the scanning voltage and the scanning current onto the electrostatic deflector 507 and the electromagnetic deflector 509 of the

15 E x B separator 551. Then, a secondary electron signal (a detection signal) obtained at a time of line scanning on the sample 512 such as a flat sample of bare silicon or the like is indicated on the CRT (cathode-ray tube), while an effective value for the shot noise is measured by a noise

20 meter 562. The noise meter 562 has been designed with such a configuration, in which the secondary electric signal is passed through a band-pass filter, and the noise current included in that band is commutated and smoothed so as to cause a wave in the meter to indicate the effective value.

25 Subsequently, a certain level of beam current is applied to the thermionic emission cathode 501, and the signal/noise ratio (the S/N ratio) or the noise level measured in the detector 508 during the period when the

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

primary electron beam is irradiated against the sample 512 while changing the heating electric power of the thermionic emission cathode, is evaluated thus to determine a value for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501.

Fig. 10 shows the measured values of the signal/noise ratio (the S/N ratio) and the noise level measured in the detector 508 during a period when the primary electron beam is irradiated against the sample 512 while changing the heating electric power of the thermionic emission cathode 501. In Fig. 10, a curve designated by reference numeral 521 represents the S/N ratio when a certain level of beam current is applied to the thermionic emission cathode 501. A curve designated by reference numeral 522 represents a lifetime of the thermionic emission cathode 501, which has been estimated from a relationship between the electric power and the temperature in the thermionic emission cathode 501. A curve designated by reference numeral 523 represents an emission current of the electron gun 550. A curve designated by reference numeral 524 represents the noise level measured when a certain level of beam current is applied to the thermionic emission cathode 501. It is to be noted that in the coarse tuning, the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 is set within a range in which the electron gun current of the electron gun 550 is saturated (the range defined by and between reference numerals 525 and 525').

As can be seen from Fig. 10, as the heating electric

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

power of the thermionic emission cathode 501 is increased, that is, as the temperature of the thermionic emission cathode 501 is increased, the shot noise (the noise level resultant from a statistical variation in the number of
5 electron) is decreased, thereby increasing the S/N ratio. Accordingly, by evaluating the signal/noise ratio (the S/N ratio) or the noise level measured in the detector 508 during a period when a certain level of beam current is applied to the sample from the current emitted from the
10 thermionic emission cathode 501 and the primary electron beam is irradiated against the sample 512 while changing the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 and thereby determining the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode
15 501, the shot noise can be reduced and the S/N ratio can be increased and thereby the secondary electrons or the like emanated from the sample can be detected with an improved S/N ratio. Further, since the temperature of the thermionic emission cathode 501 can be controlled so as not to reach
20 an undesirable high temperature, the operating lifetime of the thermionic emission cathode 501 can be extended. In addition, by tentatively setting the cathode temperature easily under the condition by the prior art where the emission current is saturated, a condition accomplishing a
25 higher S/N ratio can be established in a relatively short time to facilitate easy setting of the optimal cathode heating electric power. Furthermore, by applying firstly the coarse tuning of the heating electric power of the

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

thermionic emission cathode 501 and secondly the fine tuning of the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 according to the method of the present invention described above, an optimal cathode heating condition can be established in a short time.

Alternatively, the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 can be determined in such a manner that the S/N ratio may exceed a predetermined value or the noise level may fall onto or below a predetermined value when a certain level of beam current is applied to the sample from the electron flow emitted from the thermionic emission cathode 501. For example, the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 (the heating current of the cathode x the cathode heating voltage) may be determined to be a value designated by reference numeral 529 such that the S/N ratio can exceed the value designated by reference numeral 528 in Fig. 10. Alternatively, the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 may be determined to be a value designated by reference numeral 527 such that the noise level is not greater than a value designated by reference numeral 526.

Alternatively, the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 may be determined in such a manner that the increasing rate of the S/N ratio to the heating electric power can fall onto or below a predetermined value or the decreasing rate of the noise level can fall onto or below a predetermined value

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

when a certain level of beam current is applied to the sample from the beam emitted from the thermionic emission cathode 501. For example, the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 may
5 be determined to be a value designated by reference numeral 534 such that the increasing rate of the S/N ratio to the heating electric power defined by reference numeral 530 or 531 can be within the range of increasing rate defined by reference numeral 531 in Fig. 10. Alternatively, the value
10 for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 may be determined to be a value designated by reference numeral 535 such that the decreasing rate of the noise level as designated by reference numeral 532 or 533 can fall within a range of decreasing rate defined by
15 reference numeral 533.

In an alternative way, the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode 501 may be determined by evaluating the noise current/beam current ratio. That is, the value for the heating electric power of
20 the thermionic emission cathode 501 may be determined such that the value defined by normalizing the noise current by the beam current may not be greater than a predetermined value.

According to the fifth invention, since such an
25 innovative electron optical column has been provided, which is configured such that the electron beam emitted from the thermionic emission cathode is irradiated onto the sample and either one of the secondary electrons, the back

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

scattered electrons or the absorbed electrons, which has been emanated from the sample, is focused onto the detecting system, wherein the value for the heating electric power of the thermionic emission cathode is
5 determined based on the evaluation of the signal/noise ratio or the noise level measured in the detecting system during the period when the electron beam is irradiated onto the sample while changing the heating electric power of the thermionic emission cathode, therefore the shot noise is
10 decreased and the S/N ratio is increases, so that the secondary electron or the like emanated from the sample can be detected with an improved S/N ratio.

(Embodiment of a sixth Invention)

15 The present embodiment uses an electron beam apparatus as described in the preceding embodiments to be applied to an evaluation of a wafer in a semiconductor device manufacturing process.

An example of the device manufacturing process will
20 now be described with reference to a flow chart of Fig. 11.

The manufacturing process includes the following main processes.

(1) A wafer manufacturing process for manufacturing a wafer (or wafer preparing process for preparing a wafer).
25 (Step 600)

(2) A mask manufacturing process for fabricating a mask to be used in the exposure (or a mask preparing process). (Step 601)

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

(3) A wafer processing process for performing any processing treatments necessary for the wafer. (Step 602)

(4) A chip assembling process for cutting out those chips formed on the wafer one by one to make them operative.

5 (Step 603)

(5) A chip inspection process for inspecting an assembled chip. (Step 604)

It is to be appreciated that each of those processes further comprises several sub-processes.

10 Among those main processes, the principal process that gives a critical affection to the performance of the semiconductor device is the wafer processing process. In this wafer processing process, the designed circuit patterns are stacked on the wafer one on another, thus to
15 form many chips, which will function as memories and MPUs. This wafer processing process includes the following sub-processes.

(1) A thin film deposition process for forming a dielectric thin film to be used as an insulation layer
20 and/or a metallic thin film to be formed into a wiring section or an electrode section, or the likes (by using the CVD process or the sputtering).

(2) An oxidizing process for oxidizing the formed thin film and/or the wafer substrate.

25 (3) A lithography process for forming a pattern of the resist by using a mask (reticle) in order to selectively process the thin film layer and/or the wafer substrate.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

(4) An etching process for processing the thin film layer and/or the wafer substrate in accordance with the pattern of the resist (by using, for example, the dry etching technology).

5 (5) An ions/impurities implant and diffusion process.

(6) A resist stripping process.

(7) An inspection process for inspecting the processed wafer.

10 It should be noted that the wafer processing process must be performed repeatedly as desired depending on the number of layers contained in the wafer, thus to manufacture the device that will be able to operate as designed.

15 Fig. 12 shows the lithography process included as a core process in said wafer processing process. The lithography process comprises the respective processes as described below.

(1) A resist coating process for coating the wafer having a circuit pattern formed thereon in the preceding stage with the resist. (Step 610)

(2) An exposing process for exposing the resist. (Step 611)

(3) A developing process for developing the exposed resist to obtain the pattern of the resist. (Step 612)

25 (4) An annealing process for stabilizing the developed pattern. (Step 613)

Known procedures may be applied to all of the semiconductor manufacturing process, the wafer processing

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

process, and the lithography process described above.

When the electron beam apparatus according to the above-described respective embodiments is applied to the wafer inspection process (7) described above, such a
5 semiconductor device having a minute pattern can be evaluated with high throughput and high precision, thus improving the yield of the products and prohibiting any defective products from being delivered.

According to the device manufacturing method of the
10 sixth invention, since a wafer in the course of processing or after completion of the process can be evaluated reliably with a high throughput by using the electron beam apparatus described above, advantageously it becomes possible to improve a yield of products and to prevent
15 defective products from being delivered.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

CLAIMS

1. An electron beam apparatus, in which an electron beam emitted from an electron gun having a cathode and an anode is focused and irradiated onto a sample and secondary electrons emanated from said sample are directed into a detector, said electron beam apparatus characterized in further comprising means for optimizing irradiation of said electron beam from said electron gun onto said sample.
2. An electron beam apparatus claimed in Claim 1, wherein said optimizing means includes two-stage deflectors disposed in proximity to said electron gun, wherein said two-stage deflectors are adapted to deflect and direct an electron beam emitted from said cathode in a specific direction so as to be in alignment with an optical axis direction of said electron beam apparatus, said electron beam emitted in the specific direction being at a certain angle with respect to the optical axis due to the fact that, among crystal orientations of said cathode, a specific crystal orientation allowing a higher level of electron beam emission is out of alignment with the optical axis direction.
3. An electron beam apparatus as claimed in claim 2, wherein one deflector of said two-stage of deflectors, which is disposed closer to said electron gun, is designed to be an electromagnetic deflector and the other deflector of said two-stage of deflectors, which is disposed in closer to said sample, is designed to be an electrostatic

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

deflector.

4. An electron beam apparatus as claimed in claim 2, wherein the crystal of said cathode is composed of carbide, boride or nitride of transition metals.
- 5 5. An electron beam apparatus as claimed in claim 1, wherein said optimizing means comprises said cathode, an anode having a potential near to that of said cathode and said anode, wherein only an electron beam that has been emitted in a particular direction among a plurality of
10 electron beams emitted in different directions from said electron gun is guided onto said sample, and the electron beams emitted in the directions other than said particular direction are absorbed into said anode having a potential near to that of said cathode and thus discarded.
- 15 6. An electron beam apparatus as claimed in claim 1, wherein said secondary electrons emanated from an electron beam irradiated region on a surface of the sample are detected so as to evaluate the sample, wherein said sample has a partial region on the surface thereof which is
20 relatively weak against dielectric breakdown which may be caused by electron beam irradiation, wherein said optimizing means is constituted as means for controlling irradiation of said electron beam so as not to be irradiated onto said weak region but to be irradiated
25 exclusively onto the other regions.
7. An electron beam apparatus as claimed in claim 6, wherein a region having a gate oxide film of a transistor formed thereon and a region having an electric connection

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

with said region of gate oxide film are selected as said relatively weak regions against said dielectric breakdown.

8. An electron beam apparatus as claimed in claim 6, wherein scanning operation of the electron beam is adapted to be applied over an entire surface of the sample, while said electron beam may be blanked when said electron beam is to scan said region relatively weak against said dielectric breakdown.

9. An electron beam apparatus as claimed in claim 1, wherein said secondary electrons emanated from an electron beam irradiated region on a surface of the sample are detected so as to evaluate the sample, wherein a surface of a sample is segmented into a region relatively weak against dielectric breakdown and the other regions, wherein said optimizing means is constituted as means for controlling said irradiation of said electron beam so that a different dose levels of electron beam is applied to each of said respective different regions so as to evaluate the surface of the sample.

10. An electron beam apparatus as claimed in claim 1, wherein said electron beam emitted from said electron gun having a thermionic emission cathode is irradiated against an aperture and the electron beam after having passed through said aperture is contracted and projected onto said sample, two-stage of deflectors is operated to scan said sample, and secondary electrons emanated from the sample are accelerated by an electric field produced by an objective lens and guided by an $E \times B$ separator into said

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

detector, wherein said optimizing means is constituted as means for setting a pivot point of deflection by said two-stage deflectors in such a location that minimizes a transverse chromatic aberration in the proximity of said objective lens.

5

11. An electron beam apparatus as claimed in claim 1, wherein said electron gun is operative under a space charge limited condition.

12. An electron beam apparatus as claimed in claim 10, wherein said aperture is square shaped.

10

13. An electron beam apparatus as claimed in claim 11, wherein a negative voltage is applied to said sample and a voltage having a lower potential than that of said sample is applied to a lower electrode of said objective lens.

15

14. An electron beam apparatus as claimed in claim 1, wherein said electron beam apparatus comprises an electron optical system which produces a decelerating electric field for a primary electron beam between an objective lens and said sample so that a focused electron beam can scan a

20

surface of said sample, in which secondary electrons emanated from said sample, after having passed through said objective lens, are deflected from said optical system so as to be detected, wherein said optimizing means is constituted as means for establishing such a dimensional

25

relationship as represented by an expression:

$$W+D/2 \leq 5 \text{ mm}$$

where "W" is a working distance of said objective lens, and "D" is a bore diameter of an electrode of said objective

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

lens disposed in a location closest to said sample.

15. An electron beam apparatus as claimed in claim 1,
wherein said electron beam apparatus is composed as a one
which can evaluate a flat wafer within a range defined as
5 an inner side with respect to the periphery of said wafer
by a distance not smaller than "R" mm, by using an electron
optical system having an objective lens of decelerating
electric field type, wherein said optimizing means is
constituted as means for establishing such a dimensional
10 relationship as represented by an expression:

$$W+D/2 \leq Rmm.$$

where "W" is a working distance of said objective lens, and
"D" is a bore diameter of an electrode of said objective
lens disposed in a closest location to said sample.

15 16. An electron beam apparatus as claimed in claim 1,
wherein at least said objective lens has an electrode of
axisymmetric structure made of an insulating material with
a metal coating applied selectively onto a surface thereof.

17. An electron beam apparatus as claimed in any of
20 claims 14 to 16, wherein a plurality of electron optical
systems having the features of claim 16 is arranged in
parallel above a sheet of sample.

18. An electron beam apparatus as claimed in claim 1,
wherein said electron beam apparatus has an electron
25 optical column configured such that an electron beam
emitted from a thermionic emission cathode may be
irradiated against said sample and either one of secondary
electrons, back scattered electrons or absorbed electrons.

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

- which has been emanated from said sample, is detected in a detecting system, wherein said optimizing means is constituted as means for determining a value for a heating electric power of said thermionic emission cathode by
- 5 evaluating a signal/noise ratio or a noise level detected in said detecting system during a period when said electron beam is irradiated against said sample while changing the heating electric power of said thermionic emission cathode.
19. An electron beam apparatus as claimed in claim 18,
- 10 wherein the value for the heating electric power of said thermionic emission cathode is determined in such a manner that said signal/noise ratio exceeds a predetermined value or said noise level is not greater than a predetermined value when a certain level of beam current is applied to
- 15 the sample from the electron beam emitted from said thermionic emission cathode.
20. An electron beam apparatus as claimed in claim 18, wherein the value for the heating electric power of said thermionic emission cathode is determined in such a manner
- 20 that an increasing rate of said signal/noise ratio with respect to the heating electric power is not greater than a predetermined value or a decreasing rate of said noise level is not greater than a predetermined value when a certain level of beam current is applied to the sample from
- 25 the electron beam emitted from said thermionic emission cathode.
21. An electron beam apparatus as claimed in claim 18, wherein the value for the heating electric power of said

WO 02/103337

PCT/JP02/05786

thermionic emission cathode is determined by evaluating a noise current/beam current ratio.

22. An electron beam apparatus as claimed in claim 18, wherein the value for the heating electric power of said thermionic emission cathode is tentatively determined in such a manner that a variation in an electron gun current observed during the period when the heating electric power of said thermionic emission cathode being changed is moderate, and following the tentative determination, the value for the heating electric power of said thermionic emission cathode is ultimately determined based on an evaluation of the signal/noise ratio or the noise level detected in said detecting system.

23. An electron beam apparatus as claimed in claim 18, wherein the value for the heating electric power of said thermionic emission cathode is determined in consideration of a relationship between the heating electric power of said thermionic emission cathode and said signal/noise ratio and another relationship between the heating electric power of said thermionic emission cathode and a lifetime of said thermionic emission cathode.

24. A device manufacturing method, wherein an electron beam apparatus as defined in either of claim 1 to 23 is used to evaluate a wafer in the course of processing or a wafer of a finished product.

Fig. 2

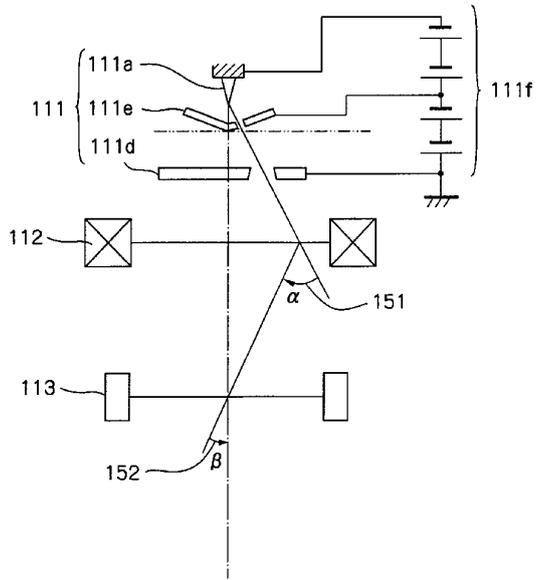


Fig. 3

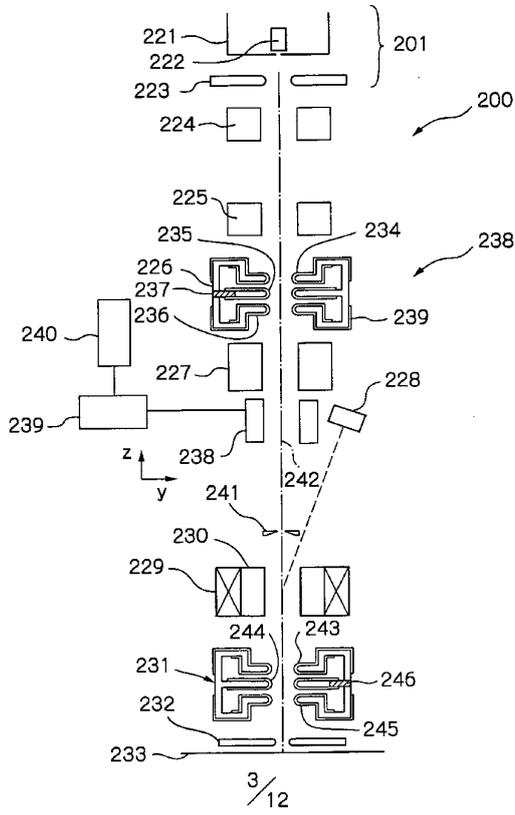


Fig. 4

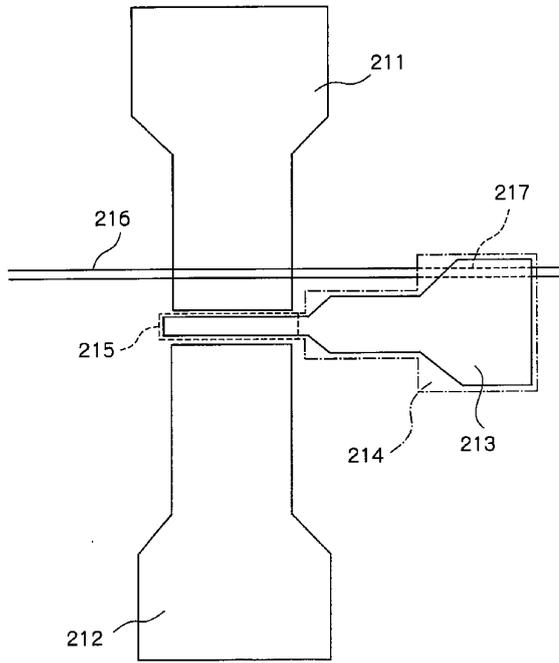


Fig. 5 (a)

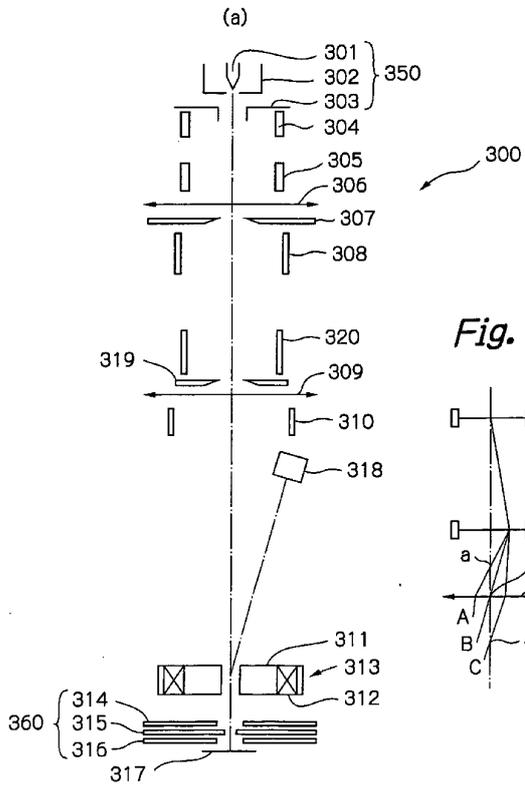


Fig. 5 (b)

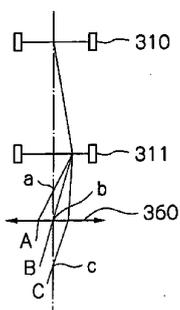


Fig. 6

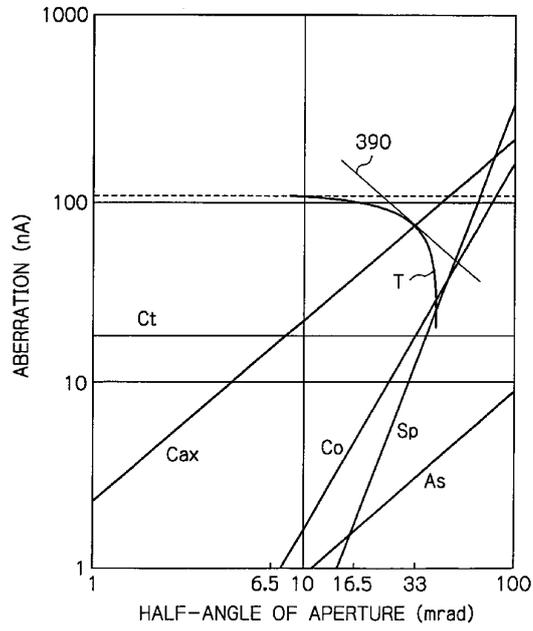


Fig. 7

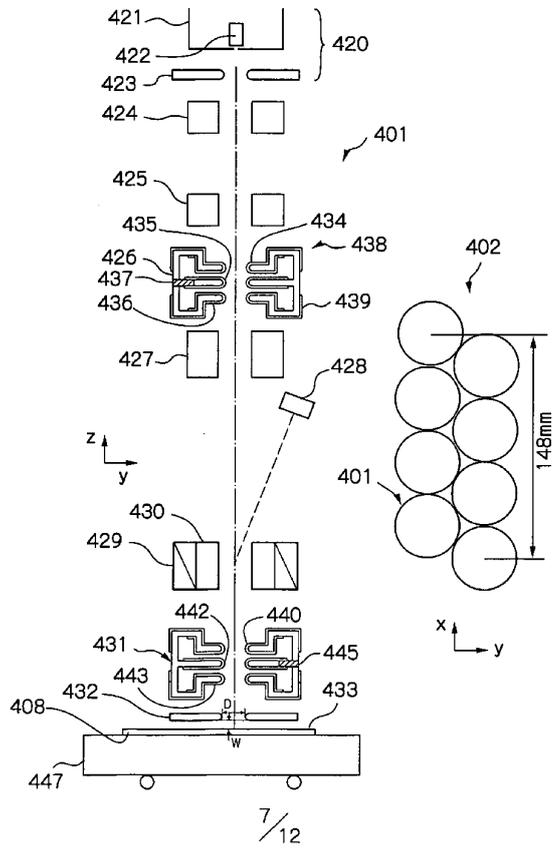


Fig. 8

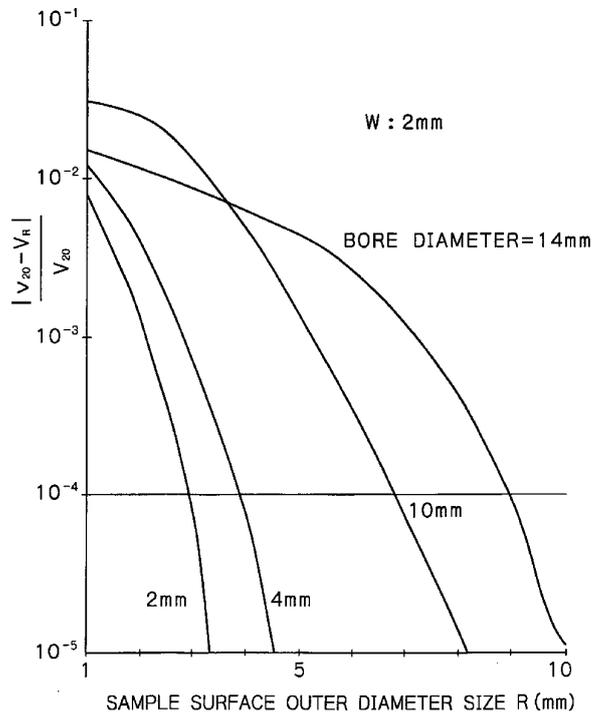


Fig. 9

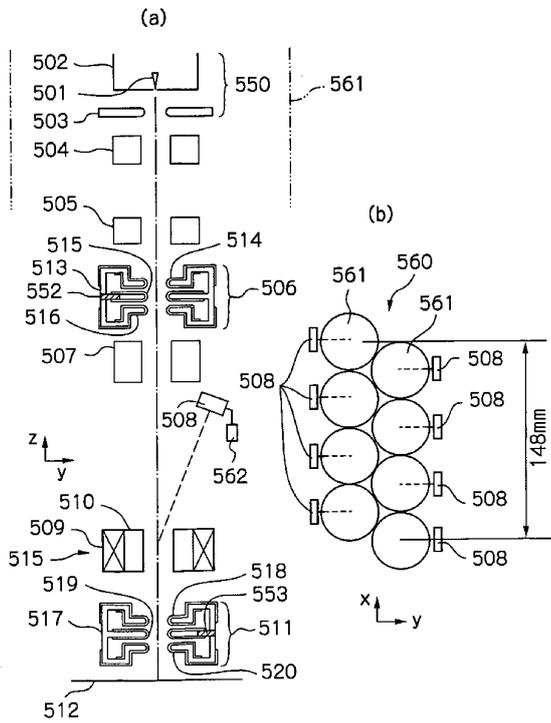


Fig. 10

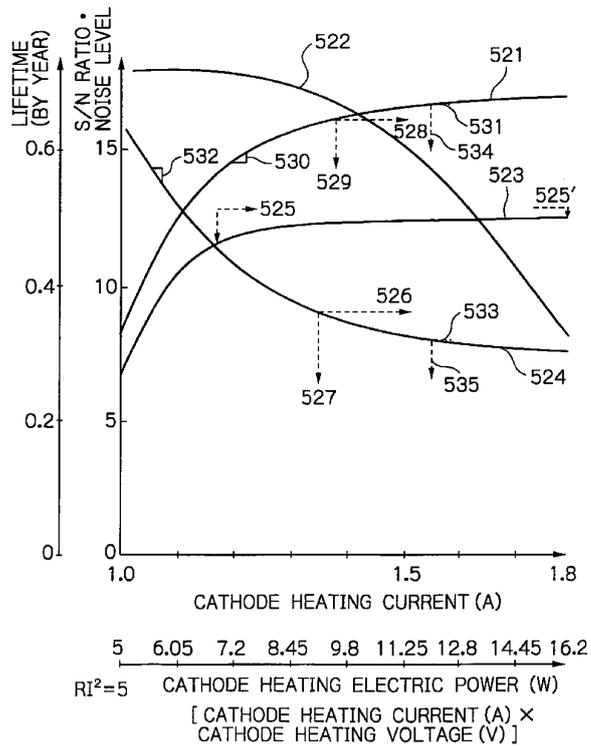


Fig. 11

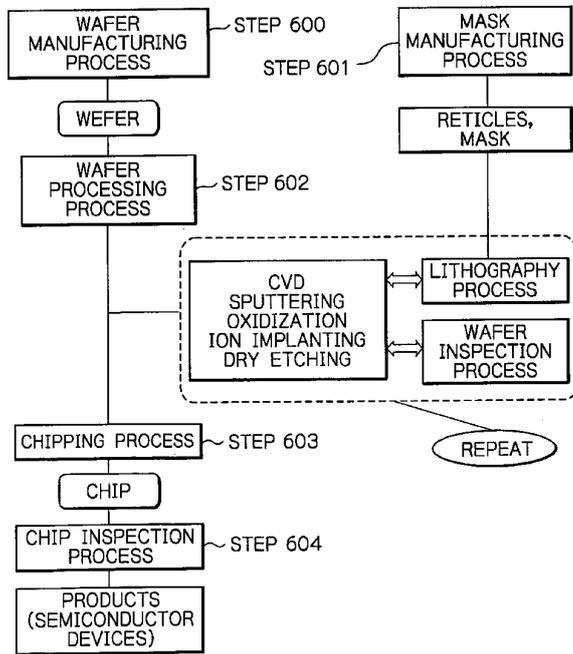
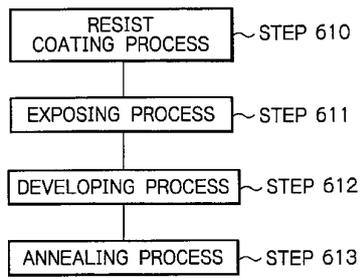


Fig. 12



【国際公開パンフレット(コレクション)】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
27 December 2002 (27.12.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/103337 A3

(51) International Patent Classification: G01N 23/225, H01J 37/06, 37/47, 37/26 (71) Applicant (for all designated States except US): EBARA CORPORATION [JP/JP]; 11-1, Haneda Asahi-cho, Ohta-ku, Tokyo 144-8510 (JP).

(21) International Application Number: PCT/JP02/05786

(22) International Filing Date: 11 June 2002 (11.06.2002)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data:
2001-181955 15 June 2001 (15.06.2001) JP
2001-192597 26 June 2001 (26.06.2001) JP
2001-269880 6 September 2001 (06.09.2001) JP
2001-270935 6 September 2001 (06.09.2001) JP
2001-273078 10 September 2001 (10.09.2001) JP

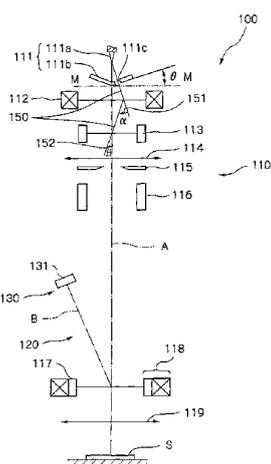
(72) Inventors; and
(75) Inventors/Applicants (for US only): NAKASUJI, Mamoru [JP/JP]; 2-15-11, Setigaya, Konan-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 233-0006 (JP); KATO, Takao [JP/JP]; 3-32-2, Jingumae, Shibuya-ku, Tokyo 150-0001 (JP); NOJI, Nobuharu [JP/JP]; 8-2-7, Hisagi, Zushi-shi, Kanagawa 249-0001 (JP); SATAKE, Tooru [JP/JP]; 14-47, Higashikatagankita 2-chome, Chigasaki-shi, Kanagawa 253-0053 (JP); MURAKAMI, Takeshi [JP/JP]; 1-10-2-305, Higashimakanoha, Shimagawa-ku, Tokyo 142-0052 (JP); WATANABE, Kenji [JP/JP]; 1-9-2-2-411, Inari, Fujisawa-shi, Kanagawa 251-0862 (JP).

[Continued on next page]

(54) Title: ELECTRON BEAM APPARATUS AND METHOD FOR USING SAID APPARATUS



WO 02/103337 A3



(57) Abstract: An electron beam apparatus, in which an electron beam emitted from an electron gun having a cathode and an anode is focused and irradiated onto a sample, and secondary electrons emanated from the sample are directed into a detector, the apparatus further comprising means for optimizing irradiation of the electron beam emitted from the electron gun onto the sample, the optimizing means may be two-stage deflectors disposed in proximity to the electron gun which deflects and directs the electron beam emitted in a specific direction so as to be in alignment with the optical axis direction of the electron beam apparatus, the electron beam emitted in the specific direction being at a certain angle with respect to the optical axis due to the fact that, among the crystal orientations of said cathode, a specific crystal orientation allowing a higher level of electron beam emission out of alignment with the optical axis direction.

WO 02/103337 A3

(74) Agent: CHIBA, Akio, YUASA AND HARA, Section
206, New Ohtemachi Bldg., 2-1, Ohtemachi 2-chome,
Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004 (JP).

Published:
— with international search report

(81) Designated States (national): JP, US.

(88) Date of publication of the international search report:
3 July 2003

(84) Designated States (regional): European patent (DE, FR,
GB, NL).

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/JP 02/05786
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01N23/225 H01J37/06 H01J37/147 H01J37/26		
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) IPC 7 G01N H01J		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 363 995 A (TAKIGAWA TADAHIRO ET AL) 14 December 1982 (1982-12-14) column 1, line 7 - line 15; figure 1 column 2, line 40 - line 42; figure 8 column 4, line 52 - line 64	1,2,4,5
Y	---	3
X	WO 01 09922 A (APPLIED MATERIALS INC) 8 February 2001 (2001-02-08) abstract; figure 6	1
A	the whole document	2-5,24
X	US 3 777 211 A (KUIJPERS W) 4 December 1973 (1973-12-04) column 2, line 43 - line 54; figure 3	1,2

	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 document 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, each contribution being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
29 November 2002		20. 02. 03
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patendaan 2 NL - 2200 HV The Hague Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Savage, J

Form PCTISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/JP 02/05786

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 854 490 A (YAMADA AKIO ET AL) 29 December 1998 (1998-12-29) abstract	1,24
Y	US 6 107 636 A (MURAKI MASATO) 22 August 2000 (2000-08-22) column 21, line 57 - line 59; claim 5	3
A	EP 1 102 303 A (ETEC SYSTEMS INC) 23 May 2001 (2001-05-23) abstract; figure 3	1-5,24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP 02/05786**Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)**

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-5, 24

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/JP 02/05786

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. Claims: 1-5,24

A 2-stage deflector for aligning an off-axis electron beam down the optical axis

2. Claims: 6-9

Means for controlled irradiation of areas of a sample

3. Claims: 10,12

Means for minimising chromatic aberration in the proximity of an objective lens

4. Claims: 11,13

Operation of an electron gun in a space charge limited condition

5. Claims: 14-17

Means for establishing a dimensional relationship

6. Claims: 18-23

Means for determining a value for a heating electric power of a thermionic emission cathode

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/JP 02/05786

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4363995 A	14-12-1982	JP 1498025 C	29-05-1989
		JP 56048028 A	01-05-1981
		JP 63046942 B	19-09-1988
		EP 0026427 A	08-04-1981

WO 0109922 A	08-02-2001	US 6288401 B	11-09-2001
		AU 7138500 A	19-02-2001

US 3777211 A	04-12-1973	NL 7012671 A	29-02-1972
		CA 946985 A	07-05-1974
		DE 2138766 A	02-03-1972
		FR 2106022 A	28-04-1972
		GB 1367940 A	25-09-1974

US 5854490 A	29-12-1998	JP 3324915 B	17-09-2002
		JP 9102449 A	15-04-1997
		JP 9213257 A	15-08-1997
		JP 9260237 A	03-10-1997
		KR 241995 B	01-02-2000
		KR 242926 B	15-03-2000
		KR 273128 B	15-11-2000
		US 5949078 A	07-09-1999
US 5872366 A	16-02-1999		

US 6107636 A	22-08-2000	JP 11026349 A	29-01-1999
		JP 10321508 A	04-12-1998
		JP 10321509 A	04-12-1998
		JP 10321510 A	04-12-1998
		US 6337485 B	08-01-2002
US 6472672 B	29-10-2002		

EP 1102303 A	23-05-2001	JP 2001189144 A	10-07-2001

フロントページの続き

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 J 37/28	H 0 1 J 37/28	B
H 0 1 L 21/66	H 0 1 L 21/66	J

(31) 優先権主張番号 特願2001-270935(P2001-270935)

(32) 優先日 平成13年9月6日(2001.9.6)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(31) 優先権主張番号 特願2001-273078(P2001-273078)

(32) 優先日 平成13年9月10日(2001.9.10)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(81) 指定国 EP(DE,FR,GB,NL),JP,US

(72) 発明者 中筋 護

神奈川県横浜市港南区芹が谷 2 - 1 5 - 1 1

(72) 発明者 加藤 隆男

東京都渋谷区神宮前 3 - 3 2 - 2

(72) 発明者 野路 伸治

神奈川県逗子市久木 8 - 2 - 7

(72) 発明者 佐竹 徹

神奈川県茅ヶ崎市東海岸北 2 丁目 1 4 - 4 7

(72) 発明者 村上 武司

東京都品川区東中延 1 - 1 0 - 2 - 3 0 5

(72) 発明者 渡辺 賢治

神奈川県藤沢市稲荷 1 - 9 - 2 - 2 - 4 1 1

Fターム(参考) 2G001 AA03 BA07 CA03 GA01 GA06 JA03 KA03 LA11 MA05

4M106 AA01 BA02 CA39 DB05

5C030 AA06 AB02 BB02 BB05 BB06 BB17 BC02 BC06

5C033 CC01 FF01 FF03 FF09 UU01 UU02