

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5719019号

(P5719019)

(45) 発行日 平成27年5月13日(2015.5.13)

(24) 登録日 平成27年3月27日(2015.3.27)

(51) Int.Cl.	F I		
G03F 1/86	(2012.01)	G03F 1/86	
G03F 1/74	(2012.01)	G03F 1/74	
G03F 1/24	(2012.01)	G03F 1/24	
G03F 7/20	(2006.01)	G03F 7/20	5 2 1
H01L 21/027	(2006.01)	H01L 21/30	5 3 1 Z
請求項の数 15 (全 20 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号	特願2013-512805 (P2013-512805)	(73) 特許権者	504311556
(86) (22) 出願日	平成23年4月29日 (2011.4.29)		カール ツァイス エスエムエス ゲーエムペーハー
(65) 公表番号	特表2013-532307 (P2013-532307A)		ドイツ連邦共和国, ディー・O7745, イェーナ, カール・ツァイス・ブロムナーデ 10
(43) 公表日	平成25年8月15日 (2013.8.15)	(74) 代理人	100092093
(86) 国際出願番号	PCT/EP2011/056869		弁理士 辻居 幸一
(87) 国際公開番号	W02011/151116	(74) 代理人	100082005
(87) 国際公開日	平成23年12月8日 (2011.12.8)		弁理士 熊倉 禎男
審査請求日	平成25年2月8日 (2013.2.8)	(74) 代理人	100067013
(31) 優先権主張番号	61/351,056		弁理士 大塚 文昭
(32) 優先日	平成22年6月3日 (2010.6.3)	(74) 代理人	100086771
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 西島 孝喜
前置審査			
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 フォトリソグラフィマスクの性能を判断する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

露光波長でのフォトリソグラフィマスクの性能を判断する方法であって、

a. フォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分にわたって、複数のビームエネルギーを有する少なくとも1つの電子ビームを繰り返し走査する段階と、

b. 前記少なくとも1つの電子ビームが前記フォトリソグラフィマスクの前記少なくとも一部分と相互作用することによって発生する信号を測定する段階と、

を含み、

前記信号は、前記フォトリソグラフィマスクが欠陥を含む場合には、欠陥の位置情報を含み、さらに、前記方法は、

c. 前記欠陥が、前記フォトリソグラフィマスクの吸収体層の欠陥か、前記フォトリソグラフィマスクの多層構造の欠陥かを判断する段階であって、前記欠陥が、前記フォトリソグラフィマスクの多層構造の欠陥である場合には、測定された前記信号に基づいて露光波長での前記フォトリソグラフィマスクの前記少なくとも一部分の性能を判断する段階と、

d. 判断された前記性能と、所定の性能との間の相違に基づいて、欠陥の修復を必要とするものか否かを判断する段階と、

を含むことを特徴とする方法。

【請求項 2】

複数のビームエネルギーによって前記少なくとも1つの電子ビームを走査する段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記フォトリソグラフィマスクは、反射フォトリソグラフィマスクを含むことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記フォトリソグラフィマスクは、極紫外（EUV）露光波長、特に 13.5 nm 付近の波長に対するフォトリソグラフィマスクを含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

信号を測定する段階は、電子の測定段階、特に後方散乱電子の測定段階を含み、
後方散乱電子の測定段階は、後方散乱電子の収量の測定段階及び / 又は後方散乱電子のエネルギー分布を測定する段階を含む、
ことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

10

【請求項 6】

信号を測定する段階は、光子の測定段階、特にエネルギー分散 X 線分光測定（EDX）を用いて光子を測定する段階を含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

信号を測定する段階は、電子の測定段階及び光子の測定段階、特に、後方散乱電子の測定段階及びエネルギー分散 X 線分光測定を用いる光子の測定段階を含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 8】

前記電子ビームが前記フォトリソグラフィマスクの前記部分と相互作用することによって発生する信号を模擬する段階、及び模擬信号と測定信号を評価して前記露光波長での該フォトリソグラフィマスクの該部分の前記性能を判断する段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

前記フォトリソグラフィマスクの一部分の前記露光波長での前記性能の欠陥を該フォトリソグラフィマスクの異なる部分の測定信号を評価することによって及び / 又は測定信号と模擬信号を評価することによって判断する段階を更に含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

30

【請求項 10】

前記少なくとも 1 つの電子ビームを使用することによって前記欠陥を補正する段階を更に含むことを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記欠陥は、前記フォトリソグラフィマスクの吸収体層の補償修復によって修復される該フォトリソグラフィマスクの多層構造の欠陥であることを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

前記露光波長での前記フォトリソグラフィマスクの前記修復部分の性能を判断するために請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の方法を使用する段階を更に含むことを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

40

【請求項 13】

露光波長でのフォトリソグラフィマスクの性能を判断するための装置であって、
a. 少なくとも 1 つの電子ビームを発生させるための少なくとも 1 つの電子源と、
b. フォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分にわたって、複数のビームエネルギーを有する前記少なくとも 1 つの電子ビームを繰り返し走査するための少なくとも 1 つの調節手段と、

c. 前記少なくとも 1 つの電子ビームが前記フォトリソグラフィマスクの前記少なくとも一部分と相互作用することによって発生する信号を測定するための少なくとも 1 つの検出器であって、前記信号は、前記フォトリソグラフィマスクが欠陥を含む場合には、欠陥の位

50

置情報を含む検出器と、

d. 前記欠陥が、前記フォトリソグラフィマスクの吸収体層の欠陥か、前記フォトリソグラフィマスクの多層構造の欠陥かを判断し、前記欠陥が多層構造の欠陥である場合には、測定された前記信号に基づいて前記露光波長での前記フォトリソグラフィマスクの前記少なくとも一部分の性能を判断し、判断された前記性能と、所定の性能との間の相違に基づいて、欠陥の修復を必要とするものか否かを判断するための少なくとも1つの計算手段と、
を含むことを特徴とする装置。

【請求項14】

前記少なくとも1つの電子源は、複数のエネルギーによって電子ビームを発生させるように作動可能であることを特徴とする請求項13に記載の装置。

【請求項15】

前記電子ビームが前記フォトリソグラフィマスクに当たる位置で少なくとも1つの前駆体ガスを供給するための少なくとも1つの手段を更に含むことを特徴とする請求項13又は請求項14に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトリソグラフィマスクの性能を判断する方法及び装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体産業において絶えず高まる集積密度の結果として、フォトリソグラフィマスクは、益々小さい構造を投影する必要がある。この要求を満たすために、フォトリソグラフィマスクの露光波長は、電磁スペクトルの近紫外領域から中紫外領域を超えて遠紫外領域に移行した。現在では、一般的に193nmの波長が、ウェーハ上のフォトレジストの露光に使用されている。その結果、益々高まる分解能を有するフォトリソグラフィマスクの製造は、より複雑になってきており、従って、より経費負担の大きいものにもなっている。

【0003】

フォトリソグラフィマスクは、透過率、平面度、純度、及び温度の安定性に関して極めて高い要求を満たさなければならない。更に、マスク上の各欠陥は、このフォトリソグラフィマスクによって露光される各ウェーハ上に再現される可能性があるので、フォトリソグラフィマスクは、欠陥のないものでなければならない。しかし、いずれの製造処理も欠陥からの絶対的な解放を保証することはできない。従って、製造された各マスクは、露光処理中にマスク上の欠陥がウェーハに転写されることになるか否かに対して確認又は検査すべきである。フォトリソグラフィマスクの製造はコスト集約的な工程であるので、マスク上の欠陥は、可能である時毎に修復される。修復の後に、フォトリソグラフィマスクは、再度非常に注意深く検査すべきである。この目的のために、通常はAIMS（空間像測定システム）システムが使用される。AIMSは、フォトリソグラフィマスクが露光波長でウェーハ上に作成することになる構造の大幅に拡大された像を作成する。この拡大像は、UV（紫外）感知CCD（電荷結合デバイス）カメラによって記録される。欧州特許出願EP 0 628 806 A2は、そのようなAIMSシステムの設定及び作動を開示している。

【0004】

将来、益々小さい構造をウェーハ上に達成するという要求は、193nmの波長の電磁放射線を用いたフォトリソグラフィシステムではもはや満たすことができなくなる。従って、現在、電磁スペクトルのEUV（極紫外）領域内の13.5nmの波長で作動することになるフォトリソグラフィシステムが開発されている。これらのフォトリソグラフィシステムは、20nmよりも小さい寸法を有する構造をウェーハ上に発生させることを可能にすることになる。欧州特許EP 1 829 052 B1は、そのようなシステムのための反射多層ミラーを開示している。

10

20

30

40

50

【0005】

フォトリソグラフィマスクの検査に現在利用可能なA I M Sシステムは、E U Vマスクに使用することができず、これは、現在のシステムがレンズシステムで作動するからである。これらのレンズは、13.5nmの波長の電磁放射線に対しては透過性を持たない。

【0006】

現時点では、E U Vフォトリソグラフィマスクのための検査システムは利用可能ではない。そのような検査システムにおける開発コストは莫大なものであるので、現在、そのようなシステムがいつか開発されることになるか否かさえも明らかではない。更に、世界規模で必要とされるE U V検査システムの数に限られている。更に、そのようなツールの作動は、非常に複雑で経費負担が大きいと考えられる。

10

【0007】

一方、1桁よりも大きい露光波長の低下(193nmから13.5nmへの)及び新しい種類のフォトリソグラフィマスクに起因して、各E U VマスクをE U Vフォトリソグラフィシステム内でのその適用前に確認又は検査することが必須であることになる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】E P 0 6 2 8 8 0 6 A 2

【特許文献2】E P 1 8 2 9 0 5 2 B 1

【非特許文献】

20

【0009】

【非特許文献1】L . R e i n e r 著「電子顕微鏡の走査(Scanning of electron microscopy)」、Springer Verlag、第2版、1998年10月、101ページ及びそれ以降

【非特許文献2】L . R e i m e r 著「電子顕微鏡の走査(Scanning of electron microscopy)」、Springer Verlag、第2版、1998年10月、138ページ

【非特許文献3】L . R e i m e r 著「電子顕微鏡の走査(Scanning of electron microscopy)」、Springer Verlag、第2版、1998年10月の149ページ

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

従って、本発明は、上述の問題を踏まえて、上述の欠点を少なくとも部分的に回避するE U Vフォトリソグラフィマスクの性能を判断する方法及び装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の第1の実施形態により、上述の問題は、請求項1に記載の方法によって解決される。一部の実施形態では、露光波長でのフォトリソグラフィマスクの性能を判断する方法は、フォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分にわたって少なくとも1つの電子ビームを走査する段階と、少なくとも1つの電子ビームがフォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分と相互作用することによって発生する信号を測定する段階と、測定信号に基づいて露光波長でのフォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分の性能を判断する段階とを含む。

40

【0012】

電子ビームが試料に衝突すると、電子が試料から後方散乱され、光子が試料内に発生する。後方散乱電子及び発生光子は、試料の組成に特定の情報を保持する。その結果、衝突する電子ビームによって発生する電子及び光子の両方は、試料の組成を評価又は分析するのに使用することができる。例えば、入射電子のエネルギーを変更することにより、試料内の異なる深さに到達することができる(L . R e i n e r 著「電子顕微鏡の走査(Sc a

50

nning of electron microscopy)」、Springer Verlag、第2版、1998年10月、101ページ及びそれ以降)。試料内での電子と光子の相互作用を制御する基本的な物理法則は公知であるので、この分析は、実施することができる。それに応じてこれらの物理法則を既知の組成の試料上に入射する所定の波長の光子の挙動を判断するのに適用することができる。すなわち、試料から後方散乱される電子を測定することにより、所定の波長の入射光子に関するこの試料の性能を予想することが可能になる。小さいスポットサイズを有する電子ビームを走査することにより、試料を高い空間分解能で調査することができる。

【0013】

請求項1に定義する方法の適用により、光子ビームの発生が回避され、かつフォトリソグラフィマスクの検査のための露光波長での複雑な光学系の設定が回避される。光子ビームの代わりに、従来の走査電子顕微鏡の電子ビームを使用することができる。

10

【0014】

現在好ましい実施形態では、フォトリソグラフィマスクを走査するのに電子が使用される。上述のように、マスクからの測定データを高分解能で取得することができるように、電子ビームを小さいスポットに集束させることができる。更に、電子ビームは、調査される試料に対して悪影響を与えない。代替的に、フォトリソグラフィマスクを走査するのに、光子及び/又はイオンを使用することができる。更に、粒子ビームによって発生する信号を測定するために、フォトリソグラフィマスクを走査するための異なる粒子、すなわち、電子及び/又は光子及び/又はイオンのビームの組合せを使用するように考えることができる。

20

【0015】

フォトリソグラフィマスクの性能は、一態様ではフォトリソグラフィマスクが、ウェーハ上に配置されたフォトレジスト内に所定の構造又はパターンを実質的にいずれの欠陥もなしに伝達する機能によって定義される。

【0016】

本発明の更に別の態様では、本方法は、複数のビームエネルギーを有する少なくとも1つの電子ビームを走査する段階を更に含むことができる。相互作用容積のサイズ、特に、電子ビームの方向におけるそのサイズは、電子ビーム内の電子の運動エネルギーと共に変化する。従って、フォトリソグラフィマスクの同じ部分にわたる様々なビームエネルギーによる複数の走査は、マスクのこの部分の組成の深さプロファイルをもたらす。

30

【0017】

更に別の態様では、フォトリソグラフィマスクは、反射フォトリソグラフィマスクを含むことができる。更に、好ましい実施形態では、フォトリソグラフィマスクは、極紫外(EUV)露光波長、特に、13.5nm付近の波長に対するフォトリソグラフィマスクを含むことができる。

【0018】

加えて、更に別の態様では、信号を測定する段階は、電子の測定段階、特に、後方散乱電子の測定段階を含むことができ、後方散乱電子の測定段階は、後方散乱電子の収量の測定段階及び/又は後方散乱電子のエネルギー分布を測定する段階を含むことができる。これらの量は、試料の組成による影響を受ける。

40

【0019】

好ましい実施形態では、信号を測定する段階は、光子の測定段階、特に、エネルギー分散X線分光測定(EDX)を用いて光子を測定する段階を含むことができる。エネルギー分散光子スペクトルは、試料の組成に特定の固有X線光子を含む。

【0020】

更に好ましい実施形態では、信号を測定する段階は、電子の測定段階及び光子の測定段階、特に、後方散乱電子の測定段階及びエネルギー分散X線分光測定を用いた光子の測定段階を含むことができる。電子及び光子の同時測定は、複雑な試料の組成の判断を容易にする。

50

【 0 0 2 1 】

更に別の態様では、本方法は、電子ビームがフォトリソグラフィマスクの上述の部分と相互作用することによって発生する信号を模擬し、模擬信号と測定信号を評価して露光波長でのフォトリソグラフィマスクのこの部分の性能を判断する段階を更に含むことができる。電子及び光子と試料との相互作用を制御する基本的な物理法則は公知であるので、試料上に入射する電子ビームの効果を既知の組成を有する試料に対して模擬することができる。従って、測定データとシミュレーションデータを分析することにより、測定試料とシミュレーション試料が実質的に等しい組成を有するか否かを判断することができる。試料の組成を判断し終えると、既知の試料上に所定の波長を伴って入射する光子ビームの効果を模擬することができる。

10

【 0 0 2 2 】

更に別の態様では、本方法は、フォトリソグラフィマスクの一部分の露光波長での性能の欠陥をフォトリソグラフィマスクの異なる部分の測定信号を分析し、及び/又は測定信号と模擬信号とを分析することによって判断する段階を更に含むことができる。これは、EUV光子の露光波長でのフォトリソグラフィマスクの欠陥を電子ビームを用いて分析することができることを意味する。従って、定義する方法は、非常に複雑で時間を消費する経費負担の大きいウェーハプリントを回避する。

【 0 0 2 3 】

更に別の特に好ましい実施形態では、本方法は、少なくとも1つの電子ビームを使用することによって欠陥を補正する段階を更に含むことができる。この実施形態は、欠陥の位置及び欠陥の修復を単一のデバイス内に実施することができ、従って、マスク修復に必要とされる労力及び時間が有意に低減されるという利点を有する。

20

【 0 0 2 4 】

更に別の態様では、欠陥は、フォトリソグラフィマスクの吸収体層の補償修復によって修復されるフォトリソグラフィマスクの多層欠陥である。フォトリソグラフィマスク上には2つの異なる種類の欠陥が存在する。欠損した吸収体材料に起因するか又は余剰吸収体材料に起因して吸収体層の欠陥が発生する可能性がある。余剰吸収体材料は、電子ビームとの組合せでエッチングガスとして機能する前駆体ガスを供給することによって除去することができる。欠損した吸収体材料は、電子ビームによって分解される前駆体ガスを供給し、前駆体ガスの対応する成分が欠損吸収体材料の位置に局所的に堆積されることによって堆積させることができる。一方、フォトリソグラフィマスクの多層構造内の欠陥は、多層構造内で直接補正することができない。代わりに、これらの欠陥は、吸収体層の補償修復によって修復される。これは、多層システム内の欠陥が実質的に補償されるように吸収体層が変更されることを意味する。

30

【 0 0 2 5 】

更に別の態様では、本方法は、露光波長でのフォトリソグラフィマスクの修復部分の性能を判断するために、上述の実施形態のうちのいずれか1つによる方法を使用する段階を更に含むことができる。修復処理の後に、マスクを再度検査すべきである。この再検査をウェーハプリントを必要とせずに検査デバイス内で実施することができる場合、マスク製造の労力を有意に低減することができる。

40

【 0 0 2 6 】

特に、好ましい実施形態では、露光波長でのフォトリソグラフィマスクの性能を判断するための装置は、少なくとも1つの電子ビームを発生させるための少なくとも1つの電子源と、フォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分にわたって少なくとも1つの電子ビームを走査するための少なくとも1つの調節手段と、少なくとも1つの電子ビームがフォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分と相互作用することによって発生する信号を測定するための少なくとも1つの検出器と、測定信号に基づいて露光波長でのフォトリソグラフィマスクの少なくとも一部分の性能を判断するための少なくとも1つの計算手段とを含むことができる。

【 0 0 2 7 】

50

走査電子顕微鏡は十分に発達したデバイスであり、それに対してEUV放射線源は依然として開発段階にある。EUV放射線は、プラズマの発生から得られる。そのようなプラズマは、ガスの強い放電によって発生させることができ、かつガス放電生成プラズマ(GDPP)と呼ばれ、又はレーザ生成プラズマ(LPP)により、すなわち、レーザ放射線を小さい容積に集束させることによって発生させることができる。EUVフォトリソグラフィシステムのビーム形成ミラー光学系におけるEUV放射線の高い光学的損失に起因して、EUVビーム源は、2%の帯域幅を有する13.5nmの露光波長で比較的大きいEUVビームパワーを供給すべきである。

【0028】

更に、EUVスペクトル範囲(波長範囲:約1nm~100nm、光子エネルギー:約12eV~1240eV)のためのビーム形成光学要素は複雑であり、高い光学的損失を有し、経費負担が大きい。

【0029】

その結果、EUVフォトリソグラフィマスクの分析における公知の走査電子顕微鏡の使用は、これらのマスクの開発を有意に容易にして加速するのみならず、これらのマスクの製造コストを大幅に低減することになる。

【0030】

更に別の態様では、少なくとも1つの電子源は、複数のエネルギーを有する電子ビームを発生させるように作動可能である場合がある。

【0031】

更に別の態様では、走査電子顕微鏡は、少なくとも1つの前駆体ガスを電子ビームがフォトリソグラフィマスクに当たる位置に供給するための少なくとも1つの手段を更に含む。この修正により、走査電子顕微鏡をフォトリソグラフィマスクの吸収体層欠陥と多層構造との両方の欠陥を修復するのに使用することができる。

【0032】

以下に続く詳細説明では、本発明の現時点で好ましい実施形態を図面を参照して説明する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】入射電子ビームによって試料内に発生する相互作用容積の概略断面図である。

【図2】試料内の単一電子の2次元の概略的な衝突又は散乱カスケードの図である。

【図3】微細構造なしに最も内側の電子シェルのエネルギーギャップを略例示する図である。

【図4】(a)低い原子番号Zを有する試料に対して及び(b)高い原子番号Zを有する試料に対して低いエネルギーを有する電子ビームによって発生した相互作用容積を略例示する図である。

【図5】(a)低い原子番号Zを有する試料に対して及び(b)高い原子番号Zを有する試料に対して高いエネルギーを有する電子ビームによって発生した相互作用容積を略例示する図である。

【図6】様々な元素の試料に対する後方散乱電子の測定エネルギースペクトルを後方散乱電子のエネルギーの関数として示す図(左)及び135°の射出角度の下での測定エネルギースペクトルを示す図(右)である。

【図7】EUVフォトリソグラフィマスクの概略断面図である。

【図8】異なる欠陥を有するEUVフォトリソグラフィマスクの概略図である。

【図9】電子源、ビーム調節手段、電子及び光子に対する検出器、計算手段、及び前駆体ガスを供給するための手段を有する装置の概略図である。

【図10】100nmの深さを有する金スタック内での電子ビームの電子の相互作用シミュレーションを示す図である。

【図11】SiMo多層システム内で1keVの電子ビームによって生成される後方散乱電子の発生区域のシミュレーションを示す図である。

10

20

30

40

50

【図 1 2】2 k e V の電子ビームエネルギーを用いて図 1 1 のシミュレーションを繰り返した図である。

【図 1 3】(a) 1 0 n m の層厚を有する 5 つの S i M o 層のシステム内で 5 k e V の電子ビームによって生成される後方散乱電子の発生区域のシミュレーション結果を表し、(b) 第 2 の M o 層が 1 0 n m の代わりに 1 5 n m の厚みを有する図 1 3 (a) のシミュレーション結果を表す図である。

【図 1 4】図 1 3 (a) 及び図 1 3 (b) のシミュレーションの後方散乱電子のエネルギー分解分布を示す図である。

【図 1 5】マスク修復方法の実施形態を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

10

【 0 0 3 4 】

以下では、本発明の方法及び本発明の装置の好ましい実施形態を詳細に説明する。

【 0 0 3 5 】

図 1 は、試料 1 0 上に入射する電子ビーム 2 0 の相互作用容積 3 0 の断面を示している。約 1 0 0 電子ボルト (e V) から数十キロ電子ボルト (k e V) の範囲の運動エネルギーを有する電子ビーム 2 0 が試料 1 0 に衝突すると、電子ビーム 2 0 の電子は、試料 1 0 の電子及び原子核と相互作用する。ビーム 2 0 の電子は、試料 1 0 を通じて相互作用容積 3 0 と呼ぶ定義された区域内で散乱することになる。

【 0 0 3 6 】

単一電子 2 1 0 の試料 2 0 0 内の例示的な経路を図 2 に例示している。試料 2 0 0 に入射した後、電子 2 1 0 は、試料 2 0 0 の原子核 2 2 0 の電磁場内で散乱する。相互作用過程の間に、電子 2 1 0 は、原子核 2 2 0 の内部電子シェル内の電子 2 3 0 にエネルギーを転移させる。電子 2 1 0 による電子 2 3 0 へのエネルギー転移は、電子 2 1 0 を減速し、電子 2 3 0 を核 2 2 0 におけるその内側シェルから突き出す。放出電子 2 3 0 は、原子核 2 4 0 の強い電磁場内で散乱し、核 2 4 0 の内側シェルから電子 2 5 0 を放出させる。原子核 2 6 0 及び 2 7 0 の電磁場内で更に別の散乱イベントが行われた後に、電子 2 5 0 は、試料 2 0 0 核 2 7 0 の近くで試料 2 0 0 を離脱する。電子を放出すること以外に、散乱イベント中に異なる波長の光子も発生する。図 2 にはこれらの光子を示していない。図 2 には、核 2 7 0 の電磁場内での散乱イベント中に発生する 1 つの光子 2 8 0 のみを示している。

20

30

【 0 0 3 7 】

ここで図 1 に戻ると、相互作用容積 3 0 内での電子ビーム 2 0 の電子の相互作用中に、2 次電子、後方散乱電子、光子、熱、及び電流のような 2 次生成物が形成される。2 次電子は低いエネルギー (5 0 e V) を有する。これらの 2 次電子は、相互作用容積 3 0 内全域で発生する。しかし、2 次電子は、その低いエネルギーに起因して、試料面の下の小さい層 4 0 からしか試料 1 0 を離脱することができない。破線 8 0 は、層 4 0 の深さを略示している。

【 0 0 3 8 】

電子ビーム 2 0 の電子は、相互作用容積 3 0 内のどこかに後方散乱電子も発生させる。図 2 に示すように、後方散乱電子は、通常は複数の散乱イベントによって生成される。従って、後方散乱電子は、後方散乱過程の間に試料 1 0 内で有意な距離を移動する。破線 9 0 は、相互作用容積 3 0 の上側部分 5 0 である、後方散乱電子が試料 1 0 を離脱することができる領域を複数の散乱イベントに起因して後方散乱電子が試料 1 0 から脱出することができない区域から分離する。この区域は、相互作用容積 3 0 のうちで破線 9 0 の下の部分である。従って、相互作用容積 3 0 は、電子ビーム 2 0 の方向に有意な広がりを持つ可能性があるが、試料を離脱する後方散乱電子は、相互作用容積 3 0 の部分 5 0 からしか発生しない。それによって後方散乱電子の空間分解能は、相互作用容積 3 0 に示すものよりも高い。

40

【 0 0 3 9 】

上述のように、ビーム電子 2 0 と試料 1 0 の電子及び原子核との相互作用中には光子も

50

生じる。光子は、ここでもまた、相互作用容積 30 内の全域で発生する。入射電子ビーム 20 のエネルギー間隔と同じく、発生光子のスペクトル範囲は、数桁を含むことができる。この範囲は以下の 2 つの領域に分割される。

【0040】

(a) 第 1 のものは、最小波長が X 線光子の範囲にあるので連続 X 線と呼ぶ。連続 X 線は、相互作用容積 30 のいずれかの部分 70 内で生成される。連続 X 線は、衝突するビーム電子 20 が、試料 10 内の原子核の強い電磁場によって様々な程度に減速される時に生成される。あらゆる程度の電子減速が可能であり、従って、得られる光子は、いずれかのエネルギーの連続的な範囲を有する。静電減速によって生成される可能性がある最も高い光子エネルギーは、ビーム電子 20 の運動エネルギーに等しいエネルギーを有する。連続的な X 線光子は、相互作用容積 30 の全ての部分 70 から試料 10 を脱出することができる。

10

【0041】

(b) ビーム電子 20 は、内側シェル電離と呼ぶ過程において内側シェル電子軌道から電子のごく一部分を突き出す可能性がある。原子は、極めて短い期間 ($\sim 10^{-14}$ s) の間だけ電離状態に留まり、その後、内側シェルの空隙がシェル電子によって占有され、いわゆる固有 X 線光子が放出される。図 3 は、固有 X 線光子の簡略化したエネルギースペクトルを表している。

【0042】

異なる内側シェル又は内側シェル電子軌道の間のエネルギーギャップは、各元素に特定又は独特のものであり、試料 10 内の異なる元素を同定するのに固有 X 線光子を使用することができる。従って、固有 X 線放射線のスペクトル及び強度分布から、試料 10 の組成を判断することができる。固有 X 線光子は、その高いエネルギーの結果として、相互作用容積 30 の部分 60 から脱出することができる。この容積は、後方散乱電子の部分 50 よりも大きい、連続 X 線放射線の部分 60 よりも小さい。

20

【0043】

図 4 は、相互作用容積の体積が、試料を形成する元素の原子番号 Z に依存することを略示している。原子番号 Z は、それぞれの元素の原子核内の陽子数を示し、従って、原子核の近くの電磁場の強度に比例する。図 4 a は、シリコン層 ($Z = 14$) のような低い Z を有する試料 400 において、低いエネルギー (例えば、500 eV) の電子ビーム 410 によって生成される相互作用容積 460 を示している。低い電子ビームエネルギー 410 にも関わらず、相互作用容積 460 は有意な深さを有する。一方、図 4 b は、高い Z を有する元素、例えば、モリブデン ($Z = 42$) の試料 450 の相互作用容積 470 を表している。この場合、低い電子ビームエネルギー 410 は、モリブデン原子層の強い電磁場との組合せで極めて小さい相互作用容積 470 しかもたらされない。

30

【0044】

図 5 は、高い運動エネルギー、例えば、15 keV を有する電子ビーム 510 を用いて図 4 の条件を繰り返している。高エネルギー電子ビーム 510 により、低い Z の試料に対する相互作用容積 560 は、図 4 の低エネルギーの相互作用容積 460 と比較して有意に拡大される。図 5 b は、高エネルギー電子ビーム 510 が、高い Z の試料 450 の相互作用容積 570 も同じく拡大させることを示している。相互作用容積 570 の深さの増加は、後方散乱電子及び反射光子を検出することができる半径の増加をもたらす。図 4 及び図 5 は、ビームエネルギーを試料の深さプロファイルを調査するためのパラメータとして使用することができることを明らかにしている。

40

【0045】

厚み d の関数としてのフィルム内の後方散乱電子の収量は次式で与えられる (1)。

$$\eta(d) = \frac{\pi e^4 Z^2 N_A}{4(4\pi\epsilon_0)^2 A E^2} \cdot \rho \cdot d$$

ここで、e は素電荷であり、Z は原子番号であり、 N_A はアボガドロ定数であり、 ϵ_0 は誘電率を表し、A は原子量であり、E は入射電子ビームのエネルギーであり、 ρ は試料フィル

50

ムの密度を表している。この式は、L. Reimer 著「電子顕微鏡の走査 (Scanning of electron microscopy)」、Springer Verlag、第2版、1998年10月、138ページから引用したものである。この式は、後方散乱電子の収量が、 Z 、並びに試料フィルム密度の関数であることを示している。従って、後方散乱電子の収量をフィルム厚 d の関数として測定するだけでは、厚み d の変化を Z 及び ρ 又は ρ の変化をもたらす組成変化から区別することができない。

【0046】

しかし、図6に示すように、この収量以外に、後方散乱電子のエネルギー分布又はエネルギースペクトル dN/dE_B を測定することができる。図6のグラフも同じくL. Reimer 著「電子顕微鏡の走査 (Scanning of electron microscopy)」、Springer Verlag、第2版、1998年10月の149ページから引用したものである。後方散乱電子のエネルギー E_B は、実質的に入射電子ビームのエネルギー E に等しい最大可能エネルギー E_{Max} に対して正規化されている。ビームエネルギー E は30keVであり、後方散乱電子の射出角度は、試料面から測定して135°である。図6から分るように、後方散乱電子のエネルギースペクトルは、試料を形成する元素に特定の曲線を辿る。図6から、エネルギー分布は、低 Z 元素では比較的平坦であるが、大きい陽子数を有する元素ではピークを有することが認識される。このピークは、より高い陽子数を有するより重い元素ではより高くなる。更に、ピークは、 Z の増加と共に E_{Max} に向けてシフトする。図4から図6及び式1は、高 Z 元素の強い電磁場が、入射電子の大部分を試料面に向けて弾力的に又はほぼ弾力的に散乱して戻すことを明らかにしている。これは、後方散乱電子の測定値が、試料の組成を判断することを可能にする情報を含むことを意味する。

【0047】

その結果、入射電子ビームによって発生する電子と光子の両方を試料の組成を分析又は判断するのに使用することができる。

【0048】

以下では、EUV波長領域に対するフォトリソグラフィマスクの組成を判断するために電子ビームが印加されることになる。図7は、13.5nmの露光波長に対するフォトリソグラフィマスク700の概略断面図を示している。現在適用されているフォトリソグラフィマスクとは異なり、マスク700は、多層ミラー構造に基づく反射光学要素である。フォトリソグラフィマスク700の多層システムは、シリコンウェーハ又はガラス基板のような適切な基板710上に堆積される。多層システムは、40対の交替するモリブデン(Mo)層720とシリコン(Si)層730とで構成される。各Mo層720の厚みは4.115nmであり、Si層730の厚みは2.80nmである。多層構造を保護するために、深さ7nmの自然酸化物を有するシリコンのキャップ層740が構造の上に配置される。多層システム内では、Mo層720は、EUV放射線に対する高屈折率領域に、かつSi層730は、低屈折率領域にそれぞれ対応する。これらの層は、合わさってEUV放射線に対する誘電体ミラーを形成する。

【0049】

基板710上の多層構造は、EUV電磁放射線に対するミラーとして機能する。フォトリソグラフィマスク700にするために、キャップ層750上にバッファ層760及び吸収体層770が更に堆積される。一部のEUVマスクの種類に対して、バッファ層750を解説する。この層は、吸収体層760とキャップ層740の間に設けられる。バッファ層750は、キャップ層740を損傷することなく吸収体層760の材料をエッチングするのに役立つ。従って、バッファ層750は、プラズマエッチング処理をより簡単にする。バッファ層750の欠点は、スタックの高さを増加させるより複雑なマスクスタックである。高いアスペクト比を有するフォトリソグラフィマスク特徴部では、スタックの高さと共にパターン崩壊の確率が高まる。吸収体層760は、例えば、窒化タンタルのようなEUV波長範囲の光子に対して大きい吸収率を有する材料を含む。吸収体層760上に入射する実質的に全てのEUV光子770を吸収するのに、約70nmの厚みで十分である。

それとは対照的に、キャップ層 740 上に入射する光子 770 の大部分は光子 780 として反射される。この場合、並びに本明細書の更に別の箇所において「実質的に」という用語は、測定限度内の量の数値を意味する。

【0050】

図 8 には、図 7 のフォトリソグラフィマスクのいくつかの可能な欠陥をマスク 800 内に示している。キャップ層 740 の上には、EUV 光子を吸収し、及び/又は入射 EUV 放射線及び/又は反射 EUV 放射線の位相を外乱する可能性がある多層構造上の余剰材料 810 が存在する。多層システム内では、Mo 層厚及び/又は Si 層厚が所定の厚みからバイアスする場合に欠陥が発生する可能性がある。図 8 には、過度に大きい厚みを有する Mo 層 820 を示している。所定の組成を持たない層から更に別の欠陥がもたらされる可能性がある。図 8 には、この種の欠陥を汚染された Mo 層 830 で表している。更に、Mo 層及び Si 層の厚みは数 nm しかないので、多層システム内に埋め込まれたごく僅かな異なる材料であっても、EUV 光子の経路を外乱し、従って、フォトリソグラフィマスクの欠陥として作用する可能性がある。図 8 には、そのような欠陥の存在が表わされ、かつ 840 で示されている。図 8 は、EUV マスク 700 上で発生する可能性がある様々な欠陥のうちから一部の欠陥だけを表している。特に、図 8 は、吸収体層 760 の欠陥を示していない。

【0051】

図 9 は、図 8 に表すフォトリソグラフィマスク 800 の欠陥を分析することができる走査電子顕微鏡 900 を示している。電子源又は電子銃 910 は、調節可能な運動エネルギーを有する電子ビーム 920 を生成する。ビームエネルギーは、調査される試料 940 及び試料 940 内で必要とされる分解能に依存して約 100 eV から約 100 keV まで変更することができる。ビーム流は、約 0.5 pA から約 50 nA まで調節することができる。図 9 では、試料面 930 上に電子ビームのスポット直径を形成して調節するためのビーム形成要素を割愛している。試料面 930 上の最小スポット直径は、約 2 nm である。この寸法は、電子ビーム 920 に対して垂直な平面内の空間分解能を制限する。偏向要素 940 は、試料 930 にわたる電子ビーム 920 の走査を可能にする。試料 930 は、試料ホルダ 950 上に装着される。試料ホルダ 950 は、2 つ又は 3 つの方向に調節可能である場合がある。

【0052】

電子ビーム 920 は、様々なビームエネルギーを伴って試料 930 を繰り返し走査する。後方散乱電子 960 は、検出器 970 を用いて測定される。検出器 970 は、シンチレータ型又は半導体型のものとすることができる。更に、検出器 970 は、異なる角度を伴って試料 930 を離脱する後方散乱電子 960 を収集するために極方向に回転可能にすることができる。それによって後方散乱電子 960 の角度分布を分析することができる。代替的及び/又は追加的に、後方散乱電子 960 を検出器 970 上に集束させるために磁場を使用することができる。更に、検出器 970 は、入射電子ビーム 920 と同心の「ドーナツ」型配列で装着することができる（図 9 には示していない）。更に、ある一定のエネルギーよりも小さい電子が検出器 970 に到達するのを防ぐために妨害電界を印加することができる。

【0053】

図 9 は、試料 930 の面を離脱する光子 980 を測定する検出器 990 も示している。検出器 990 は、ここでもまた、シンチレータ型又は半導体型のものとすることができる。Si(Li) 検出器及びシリコンドリフト検出器 (SDD) という両方の半導体検出器の変形を適用することができ、それによって X 線光子エネルギースペクトルを直接判断することが可能になる。本方法をエネルギー分散 X 線分光測定 (EDX) と呼ぶ。これらの検出器 970、990 のエネルギー分解能を高めるために、両方の検出器を冷却することができる（図 9 には示していない）。後方散乱電子 960 に対する検出器 970 と同じく、発生光子 980 に対する検出器 990 は、走査電子顕微鏡 900 内で移動可能にするか又は異なる配列に装着することができる。

【 0 0 5 4 】

図 9 の走査電子顕微鏡 9 0 0 内には、後方散乱電子 9 6 0 に対する検出器 9 7 0 と発生光子に対する検出器 9 9 0 との両方が設けられる。既に上述のように、両方の検出器 9 7 0、9 9 0 を用いて測定される信号の分析は、複雑な試料 9 3 0 の組成の判断を容易にすることができる。しかし、先に解説したように、検出器 9 7 0、9 9 0 の各々が有する測定信号は、試料 9 3 0 の組成を判断するのに必要な全ての情報を保持しており、従って、検出器 9 7 0 及び検出器 9 9 0 を単独に使用することができる。

【 0 0 5 5 】

検出器 9 7 0 及び検出器 9 9 0 によって測定された信号は、計算手段 1 0 1 0 に送信される。計算手段 1 0 1 0 は、マイクロプロセッサ、汎用プロセッサ、専用プロセッサ、C P U (中央演算処理ユニット)、G P U (グラフィック処理ユニット)などとすることができる。計算手段 1 0 1 0 は、走査電子顕微鏡 9 0 0 の制御ユニットに配置することができる、又は P C (パーソナルコンピュータ)、ワークステーションのような個別のユニットとすることができる。更に、計算手段 1 0 1 0 は、キーボード、タッチパッド、マウス、ビデオ/グラフィックディスプレイ、プリンタのような I / O (入力/出力)ユニットを含むことができる。更に、計算手段 1 0 1 0 は、揮発性メモリ及び/又は不揮発性メモリを含むことができる。計算手段 1 0 1 0 は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、又はこれらのいずれかの組合せで生成することができる。更に、計算手段 1 0 1 0 は、電子源 9 1 0、調節手段 9 4 0、並びに検出器 9 7 0 及び/又は 9 9 0 の設定を制御することができる。図 9 には示していないが、計算手段 1 0 1 0 は、走査電子顕微鏡 9 0 0 内の高い真空度を圧力センサ(図 9 には示していない)及び真空ポンプ 1 0 0 0 を通じて制御することができる。

【 0 0 5 6 】

計算手段 1 0 1 0 は、検出器 9 7 0 及び/又は検出器 9 9 0 の信号を分析して、試料 9 3 0 の組成を判断する。試料 9 3 0 がフォトリソグラフィマスク 7 0 0 である場合には、計算手段 1 0 1 0 は、キャップ層 7 4 0、並びにシリコン部分及び酸素部分の厚みを判断する。更に、計算手段 1 0 1 0 は、検出器 9 7 0 及び/又は検出器 9 9 0 の測定信号から、交替する層の厚み、並びにそのモリブデン含有量及びシリコン含有量を抽出する。更に、計算手段 1 0 1 0 は、バッファ層 7 5 0 及び吸収体層 7 6 0 の位置、厚み、並びに組成を判断する。

【 0 0 5 7 】

試料 9 3 0 が、いくつかの欠陥 8 1 0、8 2 0、8 3 0、及び 8 4 0 を有するマスク 8 0 0 を含む場合には、後方散乱電子 9 6 0 及び/又は発生光子 9 8 0 の測定信号内に含まれる情報は、これらの欠陥を位置し、その組成を分析することを可能にする。更に、マスク 8 0 0 のうちで欠陥を含む部分は、欠陥を伴わない部分と比較することができる。

【 0 0 5 8 】

走査電子顕微鏡 9 0 0 は、更に、第 1 の前駆体ガスを電子ビーム 9 2 0 が試料 9 3 0 に当たる試料 9 3 0 の位置に供給することができるノズル 1 0 2 0 を含むことができる。ノズル 1 0 2 0 を通る第 1 の前駆体ガスの流量は、計量弁 1 0 2 2 によって制御することができる。図 9 に示すように、計量弁 1 0 2 2 は走査電子顕微鏡 9 0 0 の外側に配置することができる。第 1 の前駆体ガスの流れを精密に制御するために、弁 1 0 2 2 は、ノズル 1 0 2 0 の開口部(図 9 には示していない)の近くに配置することができる。第 1 の前駆体ガスは、タンク 1 0 2 4 内に格納される。タンクは温度制御することができる。更に、第 1 の前駆体ガスを所定の温度で供給するために、ノズル 1 0 2 0 の周囲に温度制御ユニットを配置することができる(図 9 には示していない)。第 1 の前駆体ガスは、電子ビーム 9 2 0 との組合せでフォトリソグラフィマスク 8 0 0 の吸収体層 7 6 0 の余剰材料を除去するエッチングガスとすることができる。

【 0 0 5 9 】

更に、走査電子顕微鏡 9 0 0 は、第 2 の前駆体ガスを電子ビーム 9 2 0 が試料 9 3 0 に当たる試料 9 3 0 の位置に供給することができるノズル 1 0 3 0 を含むことができる。2

10

20

30

40

50

つの前駆体ガスは、交替して及び／又は同時に供給することができる。計量弁 1032 は、格納タンク 1034 からノズル 1030 を通る第 2 の前駆体ガスの流れを制御する。前の段落で上述したように、計量弁 1032 は、格納タンク 1034 とノズル 1030 の開口部との間のどこかに配置することができる。格納タンク 1034 は、第 2 の前駆体ガスの温度を制御するユニットを含むことができる。更に、第 2 の処理ガスを所定の温度で電子ビーム 920 が試料 930 に当たる位置に供給するために、格納タンク 1034 と計量弁 1032 の間、及び／又はノズルの開口部の近くに温度制御ユニットを配置することができる。電子ビーム 920 は、フォトリソグラフィマスクの吸収体層 760 が吸収体材料を欠く位置で第 2 の前駆体ガスを分解する。第 2 の前駆体ガスの対応する成分は、吸収体層 760 上に堆積して欠陥を除去する。第 1 及び／又は第 2 の前駆体ガスの揮発性成分を効率的に除去するために、ノズル 1020、1030 の近くにポンプを有する吸引ノズルを付加的に配置することができる（図 9 には示していない）。

10

【0060】

フォトリソグラフィマスク 700、800 の構造及び組成を判断する処理は、試料 930 に対する入射電子ビーム 920 の効果を模擬することによって補助することができる。図 10 は、シリコン基板 1050 上に配置された 100 nm の層厚を有する金属 1060 上に入射する電子ビーム 1080 の衝突又は散乱カスケードを表している。入射電子ビーム 1080 は、10 keV の運動エネルギーを有する。図 10 は、多くの個別電子の散乱カスケードの蓄積を表している。個別電子の散乱カスケードは、図 2 に略示している。

【0061】

20

図 11 は、電子ビームとシリコン (Si) モリブデン (Mo) 多層システムとの相互作用シミュレーションを示している。電子は、多層システムに 1 keV のエネルギーで上方から衝突する。グレー陰影付きの区域は、後方散乱電子が発生する区域を示している。Si の原子番号 ($Z = 14$) と Mo の原子番号 ($Z = 42$) との大きい差に起因して、後方散乱電子は、ほぼ例外なく Mo 層内で発生する。1 keV のエネルギーでは、後方散乱電子の 50% よりも多くが、第 1 の Mo 層内で発生する。

【0062】

図 12 は、図 11 の多層システムのシミュレーションであるが、今度は 2 keV のエネルギーを有する電子ビームによるシミュレーションを示している。図 4 及び図 5 に示すように、より高いエネルギーのビームは、Si Mo 多層システム内により深く侵入する。図 11 と同じく、後方散乱電子の殆どの部分は、ここでもまた Mo 層内で発生する。しかし、図 11 とは異なり、後方散乱電子のうちの 50% の部分は、この場合、最初の 2 つの Mo 層内で発生する。

30

【0063】

図 13 (a) は、各層が 10 nm の厚みを有する 5 つの Si Mo 層システムの後方散乱電子のシミュレーションを表している。入射電子ビームは、5 keV のエネルギーを有する。図 13 (b) では、第 2 の Mo 層は、図 13 (a) における 10 nm の代わりに 15 nm の厚みを有する。図 13 (a) と図 13 (b) の比較によって分るように、第 2 の Mo 層の厚みのずれは、後方散乱電子発生容積の空間分布を変更する。

【0064】

40

後方散乱電子の発生容積の空間分布のこの変更は、図 13 (a) 及び図 13 (b) の 5 つの Si Mo 層システムを離脱する後方散乱電子のエネルギースペクトルにおいても顕在化する。これを図 14 の後方散乱電子のエネルギー分解スペクトルシミュレーションに示している。これは、多層システム内の層の小さい厚みのずれを後方散乱電子の信号内に予め検出することができることを意味する。

【0065】

図 10 ~ 図 14 は、EUV フォトリソグラフィマスクの構造及び組成を分析するのにシミュレーションが貴重なツールであることを明らかにしている。特に、EUV マスク内の欠陥を解決するために、シミュレーションを後方散乱電子及び／又は発生光子との組合せで適用することができる。

50

【 0 0 6 6 】

E U Vマスクの組成が判断されると、E U V光子がマスク上に入射する時のマスクの性能を判断するために計算手段 1 0 1 0 を再度適用することができる。E U V光子の相互作用は、吸収及び散乱又は反射という実質的に2つの効果に依存する。両方の効果の基本的な物理法則は公知である。従って、上述のように解説した入射電子ビームのシミュレーションと同じく、E U Vマスク上でのE U V光子ビームの相互作用を模擬することができる。従って、E U Vマスクの組成が既知である場合には、その性能を判断することができる。

【 0 0 6 7 】

本説明は、電子ビーム走査、及び従ってE U Vマスク又はより一般的には試料を調査することに着目している。しかし、本発明の方法は、試料を走査するのに電子の使用に限定されない。電子以外に、ある一定のスペクトル範囲にわたって調整可能な既知の波長を有する光子ビームをE U Vマスクを走査するのに適用することができる。更に、実質的に試料を損傷しないエネルギーを有するイオンビームは、試料を走査し、及び従って試料を分析するのにその後使用される後方散乱電子及び/又は発生光子を生成するために利用することができる。

【 0 0 6 8 】

走査電子顕微鏡 9 0 0 におけるE U Vマスクの分析が、マスクが欠陥 8 1 0、8 2 0、8 3 0、8 4 0、又はいずれかの他のものを有することを示す場合には、識別された欠陥を修復するのに、走査電子顕微鏡 9 0 0 又は調整可能な電子ビーム 9 2 0 を有する修正された装置を使用することができる。図 1 5 の流れ図 1 5 0 0 は、この方法を示している。本方法は、試料又はE U Vマスクが走査電子顕微鏡 9 0 0 内に挿入される段階 1 5 1 0 で始まる。段階 1 5 2 0 では、S E M (走査電子顕微鏡) 画像を用いて、欠陥を吸収体層 7 6 0 の欠陥として判断することができるか否かが判断される。この判断が真である場合には、それ以上いずれの分析も行う必要はなく、欠陥は、ブロック 1 5 3 0 において修復される。修復は、走査電子顕微鏡 9 0 0 の電子ビーム 9 2 0 で欠陥区域を走査し、同時にそれぞれの前駆体ガスをノズル 1 0 2 0、1 0 3 0 を通じて欠陥の位置に供給することによって実施される。電子ビーム 9 2 0 の電子は、前駆体ガスのガス分子と吸収体欠陥の面との化学反応を誘発する。欠陥の種類に基づいて、第 1 の前駆体ガス、第 1 の前駆体ガスの組合せ、第 2 の前駆体ガス、又は第 2 の前駆体ガスの組合せを用いて、フォトリソグラフィマスク 8 0 0 の吸収体層 7 6 0 の欠陥場所において余剰吸収体材料が除去されるか、又は欠損した吸収体材料が堆積される。

【 0 0 6 9 】

判断ブロック 1 5 2 0 において欠陥が吸収体層 7 6 0 の欠陥ではないことが検出された場合には、1 5 4 0 において、フォトリソグラフィマスク 8 0 0 の面が電子 9 2 0 で走査され、後方散乱電子及び/又は発生光子が測定及び分析される。ブロック 1 5 5 0 では、このデータセットからフォトリソグラフィマスク 8 0 0 の性能が判断される。この性能判断は、例えば、走査電子顕微鏡 9 0 0 の計算手段 1 0 1 0 によって実施することができる。次に、判断ブロック 1 5 6 0 において、フォトリソグラフィマスク 8 0 0 の判断された性能と所定の性能の間の相違が、識別された多層構造欠陥の修復を必要とするか否かが判断される。欠陥の修復が必要ではない場合には、多層構造又はM o S i 構造の識別された欠陥に対してそれ以上いずれの手順も必要とされず、本方法は、ブロック 1 5 9 0 で終了する。多層構造欠陥を修復する必要がある場合には、ブロック 1 5 7 0 において補償修復が計算される。例えば、この計算は、ここでもまた走査電子顕微鏡 9 0 0 の計算手段 1 0 1 0 によって実施することができる。計算修復は、フォトリソグラフィマスク 8 0 0 の吸収体層 7 6 0 を多層構造内の欠陥を補償するように変更する。最後に、ブロック 1 5 8 0 において、ここでもまた走査電子顕微鏡 9 0 0 の電子ビーム 9 2 0 を用いて、かつ前駆体ガスをノズル 1 0 2 0、1 0 3 0 を通じて供給することによって補償修復が実施され、本方法は、識別された多層欠陥に関してブロック 1 5 9 0 で終了する。

【 符号の説明 】

10

20

30

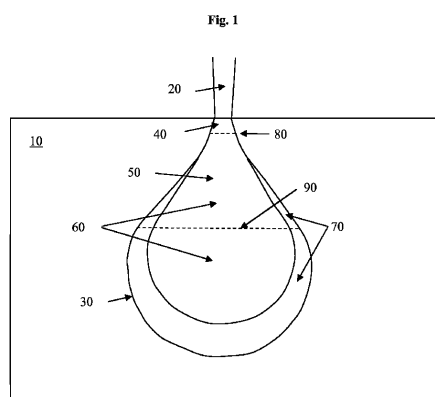
40

50

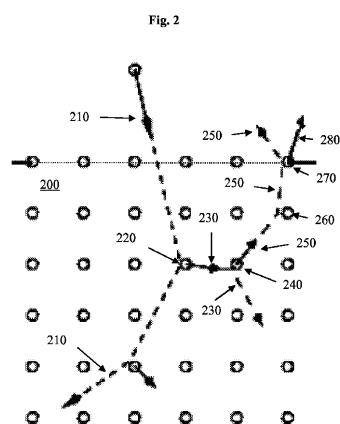
【 0 0 7 0 】

- 1 5 1 0 試料又はE U Vマスクが走査電子顕微鏡内に挿入される段階
 1 5 2 0 S E M画像を用いて欠陥を吸収体層 7 6 0 の欠陥として判断することができる
 可否かが判断される段階
 1 5 3 0 欠陥が修復されるブロック

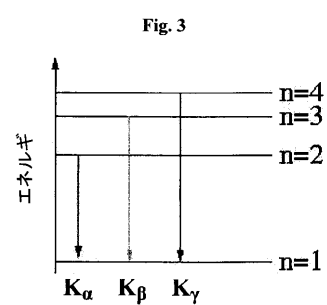
【 図 1 】



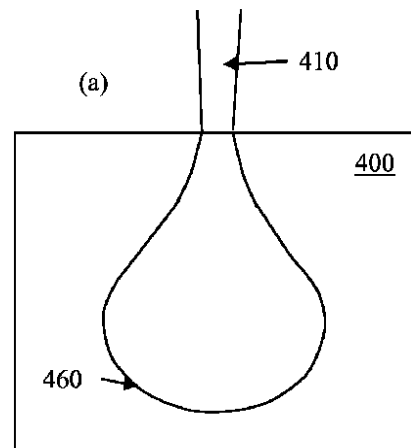
【 図 2 】



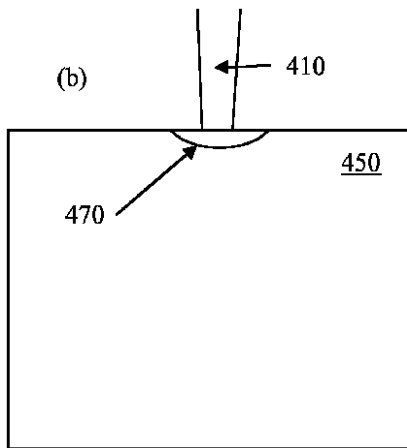
【 図 3 】



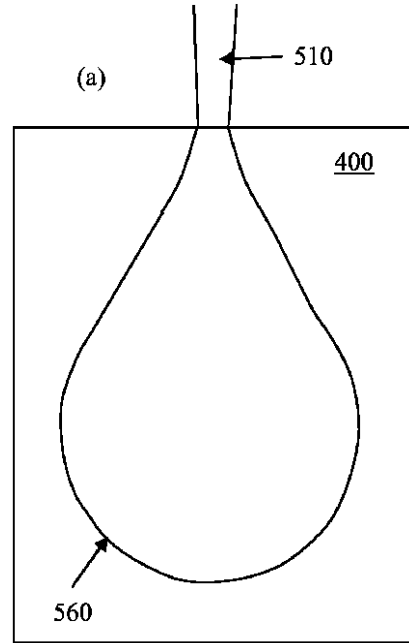
【 図 4 (a) 】



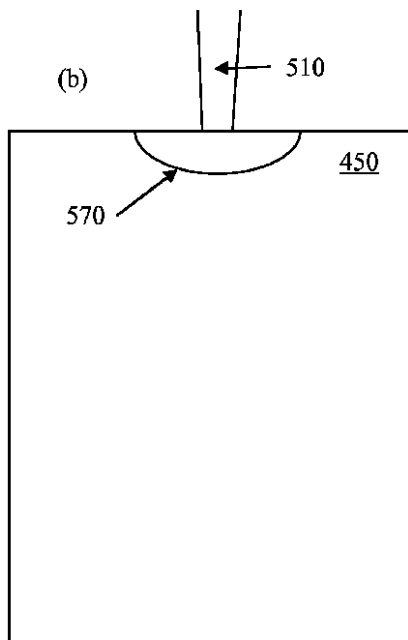
【図 4 (b)】



【図 5 (a)】

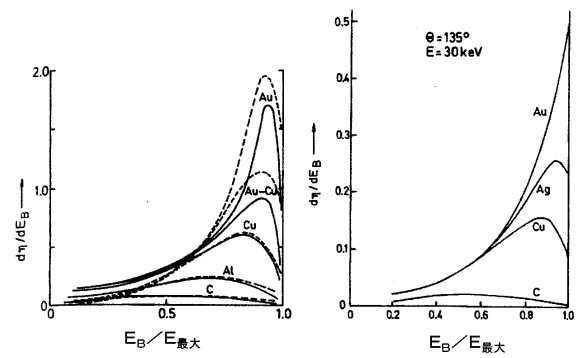


【図 5 (b)】



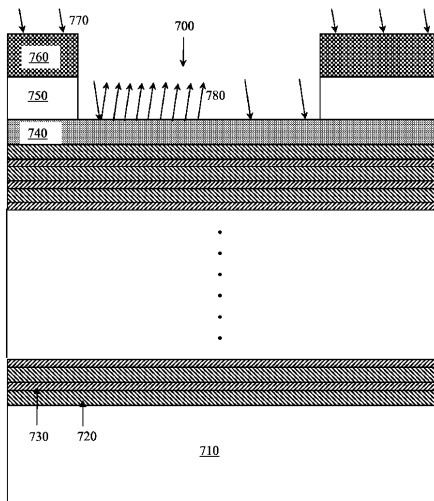
【図 6】

Fig. 6



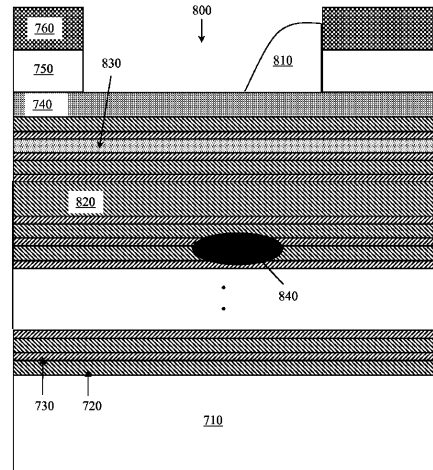
【図 7】

Fig. 7



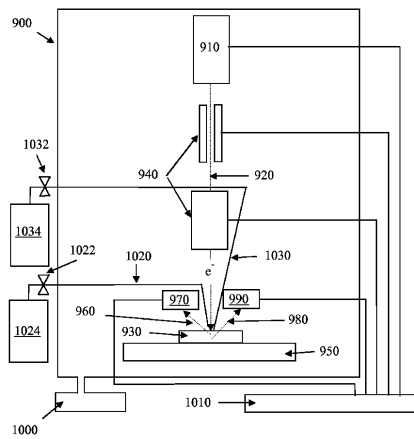
【図 8】

Fig. 8



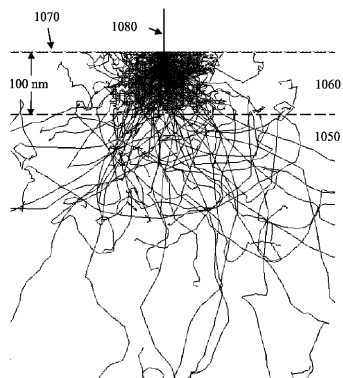
【図 9】

Fig. 9



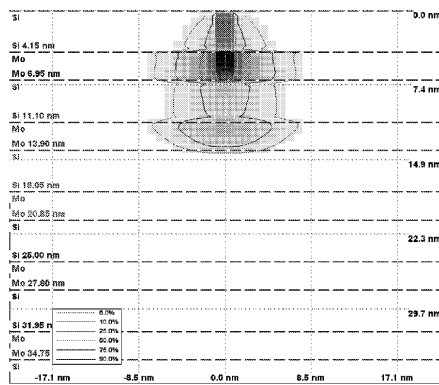
【図 10】

Fig. 10



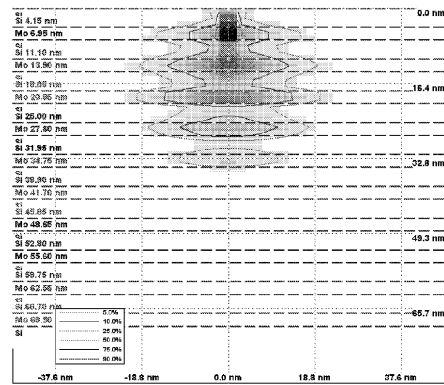
【図 1 1】

Fig. 11



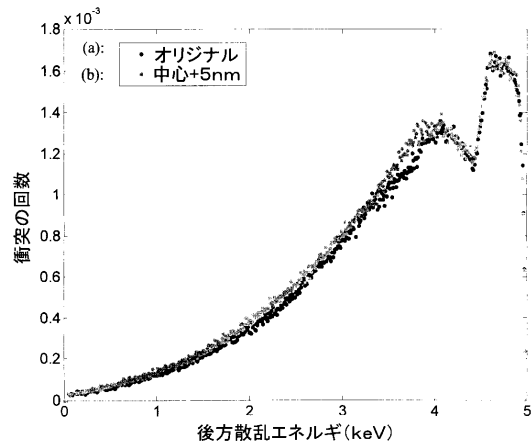
【図 1 2】

Fig. 12



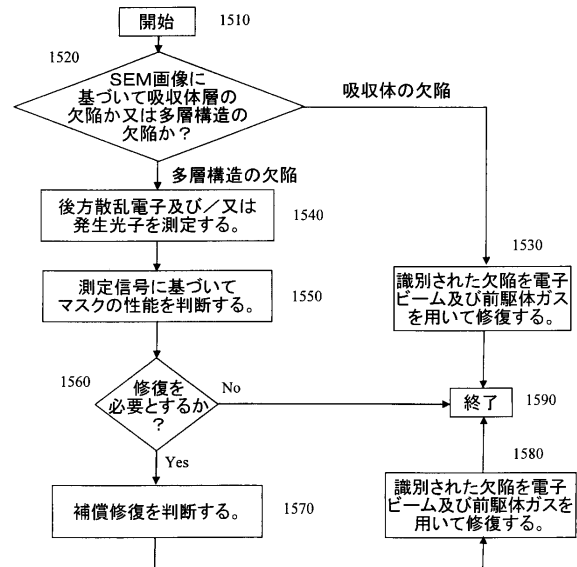
【図 1 4】

Fig. 14



【図 1 5】

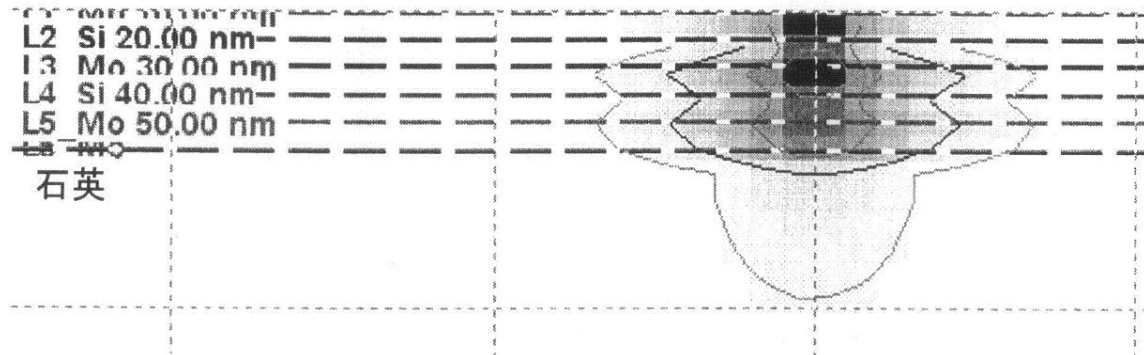
Fig. 15



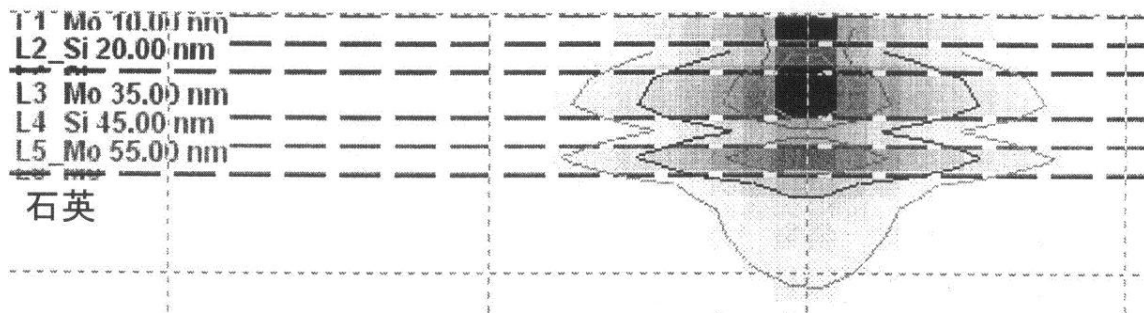
【図 13】

Fig. 13

(a)



(b)



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 1 N 23/225 (2006.01) G 0 1 N 23/225

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525

弁理士 近藤 直樹

(74)代理人 100164530

弁理士 岸 慶憲

(72)発明者 ヴァイプリンガー マルクス

ドイツ連邦共和国 7 8 4 6 5 コンスタンツ リンクシュトラッセ 4 4

(72)発明者 ブダッハ ミハエル

ドイツ連邦共和国 6 3 4 5 6 ハーナウ フリーダーシュトラッセ 4 2

(72)発明者 シェリュープル トーマス

ドイツ連邦共和国 0 7 7 4 5 イェーナ ゾンネンブルメンヴェーク 1 0

(72)発明者 バイアー デイルク

ドイツ連邦共和国 9 9 4 2 3 ヴァイマー ミューラーハルトウंकシュトラッセ 1 1

審査官 佐野 浩樹

(56)参考文献 特開2010-025788(JP,A)

特開2010-002772(JP,A)

特開2010-109164(JP,A)

特開昭63-266754(JP,A)

特開2009-270976(JP,A)

特開2008-262148(JP,A)

特開2010-206177(JP,A)

特表2003-500821(JP,A)

特開2007-225351(JP,A)

特開2008-203109(JP,A)

特表2005-518638(JP,A)

特開2009-187928(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 N 2 3 / 0 0 - 2 3 / 0 8 、 2 3 / 0 9 - 2 3 / 2 2 7、

G 0 3 F 1 / 0 0 - 1 / 8 6 、

H 0 1 L 2 1 / 0 2 7、2 1 / 3 0