

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5242055号  
(P5242055)

(45) 発行日 平成25年7月24日(2013.7.24)

(24) 登録日 平成25年4月12日(2013.4.12)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 21/316 (2006.01)  
 HO 1 L 21/205 (2006.01)  
 HO 5 H 1/24 (2006.01)  
 HO 1 J 37/32 (2006.01)

HO 1 L 21/316 P  
 HO 1 L 21/205  
 HO 5 H 1/24  
 HO 1 J 37/32

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2006-538427 (P2006-538427)  
 (86) (22) 出願日 平成16年10月29日(2004.10.29)  
 (65) 公表番号 特表2007-510311 (P2007-510311A)  
 (43) 公表日 平成19年4月19日(2007.4.19)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2004/036406  
 (87) 国際公開番号 W02005/043599  
 (87) 国際公開日 平成17年5月12日(2005.5.12)  
 審査請求日 平成19年9月27日(2007.9.27)  
 (31) 優先権主張番号 10/698,726  
 (32) 優先日 平成15年10月30日(2003.10.30)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

前置審査

(73) 特許権者 390040660  
 アプライド マテリアルズ インコーポレ  
 イテッド  
 APPLIED MATERIALS, I  
 NCORPORATED  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95  
 054 サンタ クララ パウアーズ ア  
 ベニュー 3050  
 (74) 代理人 100109726  
 弁理士 園田 吉隆  
 (74) 代理人 100101199  
 弁理士 小林 義教

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子ビーム処理装置の稼動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電子を生産できる露出された表面積を有するカソード及び前記カソードから作動距離ほど離隔され、その中にホールを有するアノードを有するチャンバと、前記アノードと対向する前記チャンバの内側に配置されたウエハホルダと、その出力が前記カソードに印加され、カソード電圧を提供する負電圧源と、その出力が前記アノードに印加される電圧源と、ガス源からガス導入速度で前記チャンバにガスが入るようにするガス入口と、ガス導入速度とともにチャンバ内にガス圧力を提供するガス排出速度で前記チャンバからガスを排出するように適合されたポンプとを含む電子ビーム処理装置の稼動方法であって、

前記ウエハホルダ上にウエハを置くステップと、

前記アノードとカソード間の作動距離が、前記カソードによって生産された電子の電子平均自由行路より大きくなるように設定するステップと、

カソード電圧、ガス圧力、及び電子平均自由行路より大きな作動距離において、前記カソードとアノード間にアークがないようにする作動距離の値を提供するように、前記負電圧源、ガス導入速度、ガス排出速度、及び作動距離を設定するステップと、  
 を備える方法。

【請求項 2】

前記カソード電圧が - 0 . 5 K V ~ - 1 0 K V の範囲内にある、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記ガスが Ne、He、Ar、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、Kr、Xe 及び N<sub>2</sub> のうち 1 つ以上を備える、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記ガス圧力が、40 ミリトールより大きい、請求項 1 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の技術分野】

【0001】

本発明の 1 つ以上の実施形態は、電子ビームを使用して膜を処理するための装置、及びこのような装置を稼働させる方法に関する。

【背景】

10

【0002】

例えば、半導体集積回路に限定されない集積回路（以後「IC」という）の製造は、複雑で、より大きい素子速度に対する要求により素子設計に対する必要条件が厳しくなったため、製造がますます複雑になっている。現在の製造設備は、0.13 μm の特徴サイズを有する素子を通常的に生産しており、近いうちに、未来の設備はより小さい特徴サイズを有する素子を生産することになる。

【0003】

0.13 μm 以下の最小特徴サイズを有する IC に対しては、RC 遅延及び漏話問題が重大になる。例えば、素子速度は、相互接続スキームに使用される金属の抵抗によって決定される RC 遅延と、金属相互接続間に使用される絶縁性誘電体の誘電率によってある程度制限される。しかも、幾何学及び素子の大きさを減少させながら、半導体産業は IC の不十分な絶縁層によってもたらされる寄生容量及び漏話を回避しようとしている。IC における所望の低い RC 遅延及びさらに高い性能を達成するための 1 つの方式としては、低い誘電率を有する絶縁層内の誘電体（以後「low-k」材料という）を使用することがある。このような材料は、低い誘電率を有する材料（例えば、カーボンがドーピングされた酸化物に限定されない（以後「CDO」という）ものを堆積することによって、また、例えば、これに限定されない、米国特許第 5,003,178 号（以後「178 特許」という）に開示されたような電子ビーム処理装置によって提供された電子ビームなどの電子ビームを使用された堆積された材料を処理することによって製造される。

20

【0004】

30

例えば、誘電膜に限定されない膜厚が減少されるため、このような膜を処理するために使用される電子のエネルギーも必然的に減少されなければならない。‘178 特許によって製造された電子ビーム処理装置に対して、エネルギーを減少させるためには、カソードとアノード間の発生及び加速領域で発生された電子を加速するために使用されるカソード電圧も減少されなければならない。例えば、約 1.3 g/cm<sup>3</sup> の密度を有する 1 μm 厚の膜に対してはカソード電圧が約 6.5 KV であればよく、5000 厚の膜に対してはカソード電圧が約 4 KV であればよく、2500 厚の膜に対してはカソード電圧が約 2 KV であればよい。しかし、本発明者らは、(i) 特定のカソード - アノード空間、(ii) 特定の電子ビーム電流値、及び (iii) 装置内の特定の種類のガスに対しては、カソード電圧が減少することによって、電子ビーム処理装置内のガスの圧力が増加されなければならないということを見出した。これは、(a) カソード電圧が減少することによって、電子ビーム電流を持続するようにカソードに十分な電子を作成するために、より多くの数のイオンが要求され、(b) より多くの数のイオンの生産を可能にするために、より大きな圧力が要求され、そして (c) カソードからの電子の収率がカソード電圧が低いほど小くなるためだと考えられる。

40

【0005】

しかし、‘178 特許によって示唆されるように、カソード - アノード空間（‘178 特許でも作動距離として言及されている）は、絶縁破壊（すなわち、アークまたはスパーク形成）を防止するためにガス内の電子平均自由行路より小さくしなければならない。周知のように、電子平均自由行路（ ）は：(a) ガス圧力に反比例し、(b) カソード電圧

50

が減少することにしたがって、これも減少する。したがって、‘ 178 特許が示唆するところによると、より薄い膜を処理するためには、カソード電圧が減少し、その圧力が増加し、作動距離が減少しなければならない。しかし、小さい作動距離は、例えば、これに限定されない、300mmウエハを処理し、上記ウエハを加熱する応用などを含む応用のようなある応用に問題になることもある。このような応用においては、小さな作動距離に対して、アノードが大きくなりすぎて曲がりまたは反りが問題になることもある。

#### 【0006】

上述のことを鑑みると、電子平均自由行路より大きな作動距離において稼働できる電子ビーム処理装置が必要である。

#### 【概要】

10

#### 【0007】

本発明の1つ以上の実施形態は、当分野における上記の1つ以上の要求条件を有利に満足する。具体的に、本発明の一実施形態は、(a)チャンバと、(b)上記チャンバの内部に露出される比較的大きい面積を有するカソードと、(c)上記チャンバ内部に配置され、カソードから作動距離ほど離隔されているホールを有するアノードと、(d)上記アノードと対向する上記チャンバの内側に配置されたウエハホルダと、(e)その出力が上記カソードに印加され、カソード電圧を提供する負電圧源と、(f)その出力が上記アノードに印加される電圧源と、(g)上記チャンバ内にガスが導入速度で入るように適合されたガス入口と、(h)上記チャンバからガスを排出速度で排出するように適合されたポンプを備える電子ビーム処理装置であって、上記導入速度及び排出速度は、上記チャンバ内のガス圧力を提供し、カソード電圧、ガス圧力、及び作動距離の値は、カソードとアノード間にアークがなく、作動距離が電子平均自由行路より大きくなるようにする、装置である。

20

#### 【説明】

#### 【0008】

本発明の1つ以上の実施形態は、カソード電圧、ガス圧力、及び発生及び加速領域における電子平均自由行路を超える作動距離(すなわち、電子ビーム処理装置の発生及び加速領域におけるカソードとアノード間の距離)の値で稼働する米国特許第5,003,178号(以後‘178特許という)に開示された種類の電子ビーム処理装置に関する。下に詳細に記載するように、このようなカソード電圧、ガス圧力、及び作動距離の値は、不必要な実験をすることなく、当業者によって容易に決定されることができる。2002年1月21日付けで出願された‘Improved Large Area Source for Uniform Electron Beam Generation’と題する同時係属特許出願(同時係属特許出願及び本特許出願は、共同出願によるものである)第10/301,508号が、参照として本明細書に組み込まれている。

30

#### 【0009】

装置：

図1は、本発明の一実施形態にしたがって製造された電子ビーム処理装置100を示す。図1に示すように、電子ビーム処理装置100は、真空チャンバ120と、大面積カソード122(例えば、約25.8平方cm(4平方インチ)から約4516.1平方cm(700平方インチ)までの範囲内の面積を有するカソードに限定されない)と、アノード126と、ウエハまたは基板ホルダ130を含む。さらに、図1に示したように、アノード126は、(イオン化領域138に設置する)基板ホルダ130とカソード122との間に配置される。アノード126は、(‘稼働’と題されたセクションにおいて、以後、さらに詳細に説明するように)本発明の1つ以上の実施形態によって決定されるカソード122からの作業距離に配置される。

40

#### 【0010】

図1に示したように、電子源100は、(a)カソード122とアノード126との間に配置され、アノード126からカソード122を孤立させるように作用する高電圧絶縁体124と、(b)真空チャンバ120外部に設置し、ユーザに電氣的保護を提供するカ

50

ソードカバー絶縁体128と、(c)当業者に周知である多様な方法のうちいずれか1つによって製造され、ソース107から真空チャンバ120に特定の入力速度でガスが入るようにする機構を提供する入口を有するガスマニホールド127と、(d)チャンバ120からガスを排出して真空チャンバ120内部の圧力を制御する真空ポンプ135(真空ポンプ135は、大気圧から約1ミリトール~約200ミリトールの範囲の圧力で真空チャンバ120をポンピングすることのできる任意の1つ以上の市販される真空ポンプであってもよい)に接続される可変リーク弁132と、(e)カソード122に接続される可変の高電圧電源129と、(f)アノード126に接続される可変の低電圧電源131をさらに含む。

#### 【0011】

本発明の1つ以上の実施形態によると、可変の高電圧電源129からカソード122に高電圧(例えば、約、-500Vと約-30KV以上の間の負電圧)が印加される。本発明の一実施形態によると、高電圧電源129は、Bertan of Hicksville, New Yorkによって製造されたBertan Model #105-30R電源、または、Spellman High Voltage Electronic Corp. of Hauppauge, New Yorkによって製造されたSpellman Model #SL30N-1200X258電源であってもよい。可変の低電圧電源131(例えば、電流を供給するか弱くすることのできる直流電源)は、カソード122に印加された電圧に比べて正のアノード126に電圧を印加するために利用される。例えば、アノード126から印加された電圧は、約0V~約-500V範囲にあってもよい。本発明の一実施形態によると、低電圧電源131は、Acopian of Easton, Pennsylvaniaから入手できるAcopian Model #150PT12電源であってもよい。

#### 【0012】

基板125のような処理されるウエハまたは基板が、ウエハまたは基板ホルダ130上に置かれる。本発明の1つ以上の実施形態によると、基板125は、例えば、当業者に周知である多様な方法のうちいずれか1つによってウエハまたは基板ホルダ130内に配置された抵抗性ヒータ、または当業者に周知である多様な方法のうちいずれか1つによって基板125に照射するために配置された1つ以上の赤外線ランプなどに限定されない加熱装置(本発明を容易に理解するために示さない)によって加熱されてもよい。ランプを利用して加熱機構を提供する実施形態において、ランプから出力される放射線の一部がチャンバ120内でアノード126に反射されることができ、このような放射線に対するアノード126の継続的な露出は、アノード126が過熱され、破損されるようにすることもできる。これによって、本発明の1つ以上のこのような実施形態によると、真空チャンバ120の内部がひびくか、暗くなるか、粗くなるか、またはアノード化され、チャンバの内部の反射率を約0.5より小さく減少させることもできる。このような方式で、ランプから出力される放射線の一部が真空チャンバ120の内部によって吸収されることもできる。

#### 【0013】

ウエハまたは基板ホルダ130は、例えば、電子がウエハ125上のアノード126のイメージに向かうことを防止するために、アノード126から10~30mmに限定されない比較的大きな距離に置かれることもある。ウエハ(125)の照射は、例えば、これに限定されない、'178特許の図3に示したように、真空チャンバ120を囲む偏向コイルによって生産された時間変化磁界を使用することで、ウエハ125を横切って電子ビーム前後にスリーピングするステップをさらに伴うこともある。

#### 【0014】

図2は、本発明の一実施形態によって製造された電子ビーム処理装置400の部分的な断面図を示す。図2に示したように、電子ビーム処理装置400は、(a)真空チャンバ420と、(b)大面積カソード422と、(c)上部絶縁体424aと、(d)下部絶縁体424bと、(e)上部絶縁体424aと下部絶縁体424bとの間に配置された棚

10

20

30

40

50

４１０を含む。アノード４２６上とアノード４２６の境界線の周りに空間４１５が定義されるように真空チャンバ４２０を横切って柵４１０上にアノード４２６が位置する。このような方式で、アノード４２６が空間４１５内に移動するのが自由で、温度変化によって引き起こされるアノード４２６の膨脹及び収縮に係るストレスを減少させる利点がある。このような一実施形態において、アノード４２６は浮遊しており、つまり、柵４１０に機械的に付着されていない。

#### 【００１５】

本発明の１つ以上の実施形態によると、電子ビーム処理装置１００のアノード１２６及び／または電子ビーム処理装置４００のアノード４２６は、例えば、Al、Ti、Ni、Si、Mo、黒鉛、W、Co、及びこれらの合金などに限定されない導電性材料で（全体またはその表面に）製造されることもできる。例えば、約２００～約６００の範囲内の温度のような比較的高温で膜を処理するためには、アルミニウムが黒鉛より適当な材料を提供することもできる。例えば、アルミニウムは一般的に黒鉛より高い熱伝導性を有し、その結果、アルミニウムから形成されたアノードが、黒鉛から形成されたものよりも高温で曲がりが少ない。しかも、アルミニウムは、黒鉛より放射率が低く、これは（例えば、ウエハ１２５から）放射線によるアノードへの熱転送の低下という結果につながる。例えば、約４００の処理温度において、黒鉛アノードの温度は、約２２５に上昇するが、比較できるように位置するアルミニウムアノードの温度は約１００ほどまで上昇することになる。さらに、アルミニウムは、黒鉛よりスパッタリング収率が低く、これによってウエハ１２５上の汚染が少ない。アノード１２６がアルミニウムで作られることに加え、カソード１２２及び真空チャンバ１２２がアルミニウムで作られることもできるということに注目しなければならない。しかし、カソード１２２の表面は、Al、Ti、Ni、Si、Mo、黒鉛、W、Co、及びこれらの合金で製造されることもできる。

#### 【００１６】

アノード１２６は、例えば、そこに配置されたホールのアレイを有するグリッド、メッシュまたはプレートに限定されなくてもよい。例えば、本発明の１つ以上の実施形態によると、ホールの大きさを変化させ、アノード１２６のエッジで生じる場合があるビームの強さの減少を補償することもできる。このような方式で、より完全に均一な電子ビームを発生させることができる。

#### 【００１７】

図３Ａは、アノード５２６の中心からアノード５２６のエッジへ直径が次第に増加するホール５１０のアレイを含むアノード５２６の一実施形態を示す。図３Ｂは、アノード５７６の中心からアノード５７６のエッジへ直径が次第に減少するホール５６０のアレイを含むアノード５７６の別の実施形態を示す。ホールのアレイ及びホールを作る方法に対する例としては、その開示内容が、参照として本明細書に組み込まれている米国特許第６，４０７，３９９号により詳細に記述されている。

#### 【００１８】

図４は、図１の電子ビーム処理装置１００において、フィードバック制御回路３００をさらに含むことを示す。一部の用途においては、異なる電子ビームエネルギーで一定のビーム電流を提供することが望ましい。例えば、底層ではない、基板上に形成された層の上部層を処理することが望ましいともいえる。これは、ビームのエネルギーの大部分が上部層に吸収されるように十分に低いエネルギーを有する電子ビームを利用することによって達成し得る。上部層を処理することに引き続き、膜の上部及び下部層を処理することが望ましい。これは、電子ビームの加速電圧を上昇させることによって膜を通じて完全に侵透できるようにすることもできる。フィードバック制御回路３００は、一定の電子ビーム電流を維持しながらカソード１２２に印加された加速電圧を変えるように構成されている。図４に示したように、フィードバック制御回路３００は、積分器３６６及び感知抵抗器３９０を含み、感知抵抗器３９０は、ウエハホルダ１３０と積分器３６６との間に置かれ、電子ビーム電流をサンプリングする。その代わりに、電子ビームの一部がグリッドアノード１２６で遮断されるため、電子ビーム電流をグリッドアノード１２６でサンプリングす

10

20

30

40

50

ることができる。さらに、図4に示したように、2つの単一利得の電圧フォロア392が感知抵抗器390を横切って得られた信号を緩和させ、これを可変利得の抵抗器394を有する増幅器396に供給する。増幅器396の出力は、電子ビーム電流の増加がグリッドアノード126に印加されたバイアス電圧の減少を引き起こされるようなグリッドアノード126上で電圧を制御する。増幅器396の利得は、加速電圧の変化によって引き起こされる電流のある変化がアノード126に印加されたバイアス電圧の変化によって妨げられるように、可変利得の抵抗器394を調整することによって調整され、これによって、一定の電子ビーム電流を維持させることができる。その代わりに、増幅器396の出力は、制御された電圧に接続されることもでき、可変リーク弁132を制御するための可変リーク弁制御器398がイオン化領域138の圧力を上昇または低下させることによって、放出電流の変化を妨げる。また、電子ビーム電流制御も、可変リーク弁制御器398へ、また、ヘグリッドアノード126へのフィードバック信号を利用する提供されることができる。

10

稼動：

図5は、図1の電子ビーム処理装置100における動作の一部詳細の記述を助けるための断片的な図面を示す。電子ビーム処理装置100内の電子放出を初期化するために、アノード126とウエハホルダ130との間のイオン化領域138のガスをイオン化しなければならない。本発明の1つ以上の実施形態によると、ガスは、例えば、ヘリウム、アルゴン、窒素、水素、酸素、アンモニア、ネオン、クリプトン及びキセノンなどに限定されない1つ以上を含むこともできる。ガスをイオン化するステップは、ガンマ線を自然的に生じさせることによって初期化されることもでき、または、当業者に周知である多様な方法のうちいずれか1つによって真空チャンバ120内部に配置された高電圧スパークギャップで初期化されることもできる。

20

【0019】

アノード126は、例えば、低電圧電源131から、そこに印加される約0V～約-500V範囲内の電圧によって負にバイアスされる。図5に示したように、一旦イオン化が初期化されると、正イオン242が負にバイアスされたアノード126に向かって引かれる。これら正イオン242は、アノード126内のホールを通じてカソード122とアノード26との間の電子発生及び加速領域136内に通過する。領域136において、正イオン242は、高電圧電源129から、そこに印加される電圧（例えば、約-500V～約-30KV以上の範囲内の電圧）の結果としてカソード122に向かって加速される。正イオン242がカソード122の表面にあたり、正イオン242は、アノード126の反対方向に加速される電子244を生産する。一部の電子244がアノード126にあたり、多くはアノード126を通過してウエハまたは基板ホルダ130上に配置されたウエハ125に引き続き衝突する。さらに、一部の電子244がイオン化領域138のガス分子をイオン化する。

30

【0020】

‘178特許で示唆するように、カソード122とアノード126との間の作動距離は、不安定なアークまたは高電圧絶縁破壊を防止するために発生及び加速領域136における電子244の平均自由行路より小さい。‘178特許でまた示唆するように、作動距離に対するこのような制限により、発生及び加速領域136における正イオンの存在をアノード126に印加された電圧で制御することができる。これは、電子放出を可能にし、また、これによる電子ビーム電流がアノード126に印加される電圧を変化させることによって、非常に小さい電流から非常に大きな電流まで引き続き制御可能にする。さらに、‘178特許によって示唆されるように、電子放出を可能にし、また、これによる電子ビーム電流が可変リーク弁132を使用することによって真空チャンバ120内のガス圧力を調整するように制御されることができる（ガス圧力の上昇または低下はイオン化領域138並びに、発生及び加速領域136における分子の数をそれぞれ増加または減少させる）。しかし、真空チャンバ120内のガス圧力を調整するとき、伴われる比較的遅い反応時間のため、ガス圧力を初期に調整することによって名目上の電子ビーム電流を生産し、そ

40

50

の後、アノード１２６に印加された電圧を調整し、電子ビーム電流をさらに制御するのがよい。したがって、‘１７８特許で示唆することによって、電子ビーム処理装置を設計するとき、カソード１２２とアノード１２６との間の作動距離は、特別な処理応用のために最も低い所望のカソード電圧及び関連されたガス圧力によって決定される電子平均自由行路より低いほど十分に小さくしなければならない。

#### 【００２１】

‘１７８特許の示唆にもかかわらず、本発明者らは、カソード電圧、ガス圧力、並びに発生及び加速領域１３６における電子平均自由行路を超える作動距離の値で電子ビーム処理装置１００のアークフリー稼動を持続することができることを発見した。例えば、電子ビーム電流３ｍＡ以上、カソード電圧２ＫＥＶ、そして（ａ）作動距離１０ｍｍ、圧力７０ミリトール以上で、（ｂ）作動距離１５ｍｍ、圧力４５ミリトール以上で、及び（ｃ）作動距離２０ｍｍ、圧力４０ミリトール以上で、アークなしに、電子ビーム処理装置を稼動させることができた。これを踏まえて、本発明の１つ以上の実施形態によると、作動距離を電子平均自由行路より大きな値に増加させることができる。実際、作動距離は、本発明の１つ以上の実施形態によって、（下に記載するように）発生及び加速領域１３６におけるアークまたは絶縁破壊なしに得るものと一致する値に増加されることもできる。本発明者らの発見は、（ａ）薄膜を処理するのに有用に十分小さなカソード電圧値、（ｂ）このように小さな値のカソード電圧で電子ビーム電流を持続するのに十分に高いガス圧力値、及び（ｃ）例えば、アノード（１２６）などのチャンバ要素の加熱によって引き起こされる問題に限定されない問題を緩和するのに十分な作業許容誤差を提供する作動距離の値を利用することができる利点がある。

#### 【００２２】

本発明の１つ以上の実施形態によって高いガス圧力を利用する能力は、様々な理由で有利である。第一に、ヘリウムなどのガスは、ヘリウムが２４Ｖのイオン化電位を有するため、電子ビーム電流を持続するためには高いガス圧力を必要とし、稼動を持続するためにより多くのイオンの発生を必要とする。第二に、例えば、ヘリウム及び水素などの軽いガスを使用することは、そのイオンが、例えば、アルゴンなどの重いガスよりカソード１２２上の衝撃が比較的少ない電子を生産するため、電子ビーム電流を持続するためにさらに高いガス圧力を必要とする。例えば、４ＫＶのカソード電圧、４ｍＡの電子ビーム電流（適当な処理スループットを提供するために特定値の電子ビーム電流が通常的に決定される）、及び１００μＣ／ｃｍ<sup>２</sup>の電子ドースに対し、アルゴンに対するガス圧力の通常的な値は３５ミリトールである一方、ヘリウムに対するガス圧力の比較値は１６０ミリトールである。例えば、ヘリウム及び水素などの軽いガスの使用は、様々な理由で一部処理応用において、例えば、アルゴンなどの重いガスに比べて有利であるということに留意すべきである。第一に、軽いガスのイオンはアノード１２６からのスパッタリング発生がより少なくなり、これによって、処理されるウエハ１２５の汚染物質が減少される。第二に、軽いガスのイオンは処理されるウエハ１２５に対する衝撃によってエネルギーをより移送しないようになる。第三に、水素などのガスの使用は、例えば、ダングリングボンドを完成するなどの処理に化学的効果を追加することによって一部応用において有利になることもできる。

#### 【００２３】

本発明の１つ以上の実施形態によると、電子ビーム処理装置１００または４００の適切な稼動条件は、カソード電圧、ガス圧力、及び電圧絶縁破壊が生じない作動距離の値を利用することを伴い、その作動距離は、電子平均自由行路より大きい。次いで、このようなカソード電圧、ガス圧力及び作動距離の値が本発明の１つ以上の実施形態によって、当業者によって不必要な実験を経ず、どのように容易に決定されることができるかについて説明する。さらに、１つ以上の更なる実施形態によると、下に記載するように、このような決定はパッシェンの法則を参照することによって知られている。

#### 【００２４】

パッシェンの法則には、どのように絶縁破壊電圧が均一な電場の電極ギャップに対して

ガス圧力  $P$  及び作動距離  $d$  によって変化するかが記載されている。ここでギャップ内の電場は均一で、単位は  $V/d$  である。パッシュェンの法則は、ガスでタウンゼント絶縁破壊機構を示し、ギャップの絶縁破壊特性はガス圧力  $P$  及び作動距離  $d$  の積の関数だと述べている（２次電子を素早く再結合するため、高度の電気陰性ガスに対しては一部変形が必要である）。

#### 【 0 0 2 5 】

1889年 *P a s h e n ' s P a p e r* が出版されて以来、この法則の理論的な土台を提供し、絶縁破壊機構をよりよく理解できるように多くの研究が進められている。しかし、多数の因子は、例えば、放射線、表面不規則性などに限定されないギャップの絶縁破壊に対する影響を有する。したがって、このような理論的土台が、なぜギャップが絶縁破壊されるかの理由を理解させているが、ある与えられた状況において、絶縁破壊電圧に対して以下に提供されるものより正確な値を必ず提供するのではない。一般的に、絶縁破壊に対する方程式が誘導され、適当な経験的データによって適当なパラメータが選択される。例えば、絶縁破壊電圧  $V_{b d}$  は、 $V_{b d} = B * P * d / (C + \ln(P * d))$ （ここで、 $C = \ln(A / \ln(1 + 1/y))$ ）； $P$  は圧力； $d$  は電極間のギャップまたは作動距離； $y$  は電極にぶつかるイオン当たり２次電子を生産する効率（カソード材料、及び  $E/N$  の割合（ $E$  は電場で、 $N$  はガス粒子密度）によって決定されるイオンとそのエネルギーに依存する）を表す。また、 $A$  と  $B$  は特定ガスに依存する定数）である。 $V_{b d}$  に対する方程式は、 $P d$  製品に対する絶縁破壊電圧の依存性を与える「パッシュェンの曲線」を発生させるために使用されることができる。

#### 【 0 0 2 6 】

以下に通常的な実験によって適切な動作値を設定することができる。まず、電子ビーム処理装置に対する便利な作動距離を選択する。次に、ウエハを処理するのに要求される電子エネルギーによって決定されるカソード電圧値を選択する。次いで、（例えば、高電圧電源 129 と直列に配置された電流検出器を使用して）電子ビーム電流を測定しながら、ガス圧力を変化させて有効かつ均一な電子ビームを持続させる。電流を測定し、有用なスループットを提供する電流値を決定し、（例えば、電子ビーム電流が約 1 mA ~ 約 40 mA 範囲内にある電子ビーム電流に限定されない）、カソード電圧、ガス圧力、及び使用された作動距離の値が発生及び加速領域（138）において絶縁破壊またはアークが得られないことを保証するために測定される（カソードで、電圧または電流スパイクによって観察できる薄いプラズマまたはアークによって絶縁破壊を立証することができる）。イオン化領域 138 における衝突によって電子エネルギー損失及び/またはビーム指向性を緩和するために低いガス圧力で動作させることが望ましいが、例えば、炭素がドーピングされた酸化物（「CDO」という）膜の処理などの特定応用において、高いガス圧力の使用は処理結果に測定可能なほどに影響を及ぼさないということを見出した。

#### 【 0 0 2 7 】

本発明の１つ以上の更なる実施形態によると、圧力と作動距離の積が、特定ガス、特定カソード材料及び所望の作動距離に対してパッシュェンの曲線を下回る要求条件によって、有用なガス圧力値が近似されることもできる。

#### 【 0 0 2 8 】

当業者は上述の記載内容が単に説明及び記述のために存在するということを認識する。それだけで徹底的に表すか開示された精密な形態で本発明を限定しようとする意図はない。例えば、上述の内容において、ある寸法が論じられたが、単に説明のためのものである。しかも、基板という用語は、集積回路または他のマイクロ電子素子に加工するのに適当なものを含み、単語の広い意味として使用される。本発明に適当な基板は、ガリウムヒ素（GaAs）、ゲルマニウム、シリコン、シリコンゲルマニウム、ニオブ酸リチウム及び結晶質シリコン、ポリシリコン、非晶質シリコン、エピタキシャルシリコン、及びシリコン酸化物などのシリコンを含有する組成物及びそれが組み合わせられた混合物などの半導体材料を包括的に含む。基板は、任意の種類のガラス基板も含む。

#### 【図面の簡単な説明】



【 0 0 2 9 】

【図 1】本発明の一実施形態にしたがって製造された電子ビーム処理装置を示す。

【図 2】本発明の一実施形態にしたがって製造された電子ビーム処理装置の部分的な断面図を示す。

【図 3 A】本発明の一実施形態にしたがって製造されたホールのアレイを有するアノードの断面図を示す。

【図 3 B】本発明の一実施形態にしたがって製造されたホールのアレイを有するアノードの断面図を示す

【図 4】図 1 の電子ビーム処理装置において、フィードバック制御回路をさらに含む図面を示す。

10

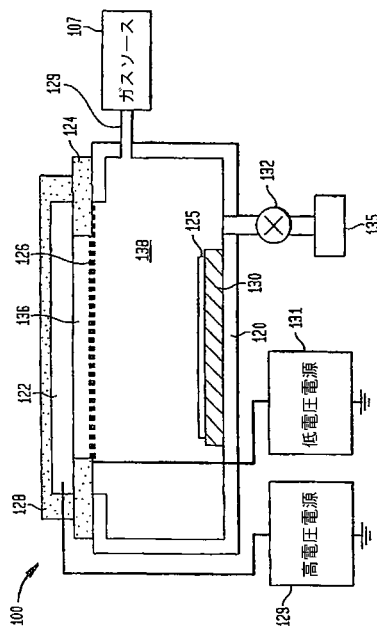
【図 5】図 1 の電子ビーム処理装置において、その稼動の一部を詳細に説明するための断片的な図を示す。

【符号の説明】

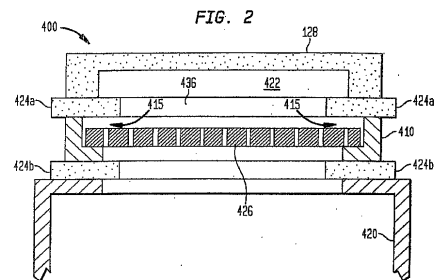
【 0 0 3 0 】

1 2 2 ... カソード、1 2 4 ... 高電圧絶縁体、1 2 5 ... 基板、1 2 6 ... アノード、1 3 0 ... ウエハまたは基板ホルダ、1 3 6 ... 電子発生及び加速領域、1 3 8 ... イオン化領域、2 4 2 ... 正イオン、2 4 4 ... 電子。

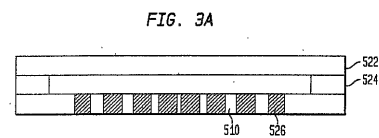
【 図 1 】



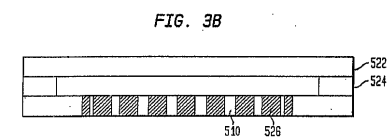
【 図 2 】



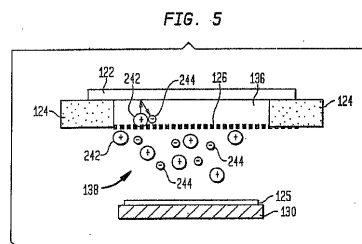
【 図 3 A 】



【 図 3 B 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 デモ, アレキサンダー, ティー.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ラモン, パイン リッジ ドライブ 409
- (72)発明者 ボネカンティ, ハリー, ケー  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, ヴェルナッツァ 3207
- (72)発明者 ザオ, ジュン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, クパティーノ, リッジ クリーク コート 11764
- (72)発明者 アルマー, ヘレン, アール.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, クパティーノ, ティルソン アヴェニュー 19000

審査官 大塚 徹

- (56)参考文献 特開平11-176765(JP,A)  
特表2003-518767(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205  
H01L 21/31  
C23C 16/00~16/56