

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4078043号  
(P4078043)

(45) 発行日 平成20年4月23日(2008.4.23)

(24) 登録日 平成20年2月8日(2008.2.8)

(51) Int.Cl. F I  
 HO 1 L 21/3065 (2006.01) HO 1 L 21/302 I O 3  
 GO 1 N 21/94 (2006.01) GO 1 N 21/94  
 GO 1 N 21/956 (2006.01) GO 1 N 21/956 A

請求項の数 19 (全 30 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2001-190584 (P2001-190584)</p> <p>(22) 出願日 平成13年6月25日(2001.6.25)</p> <p>(65) 公開番号 特開2003-7681 (P2003-7681A)</p> <p>(43) 公開日 平成15年1月10日(2003.1.10)</p> <p>審査請求日 平成17年2月9日(2005.2.9)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 503121103 株式会社ルネサステクノロジ 東京都千代田区大手町二丁目6番2号</p> <p>(74) 代理人 100080001 弁理士 筒井 大和</p> <p>(72) 発明者 中野 博之 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内</p> <p>(72) 発明者 中田 俊彦 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所生産技術研究所内</p> <p>審査官 今井 淳一</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置内の浮遊異物検出方法及びその装置並びに半導体デバイスの処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体デバイスを処理するプラズマ処理装置の内部に浮遊する異物を検出する装置であって、

レーザを出力し、放熱用のヒートシンクを備えた励起光源一体形のレーザ光源部と、  
 該レーザ光源部から発射されたレーザを受けて前記半導体デバイスを処理する装置の内部にレーザを走査して照射するレーザ照射光学系部と、

該レーザ照射光学系部により走査して照射されて前記半導体デバイスを処理する装置の内部に浮遊する異物で散乱されたレーザを検出する散乱光検出光学系部と、

該散乱光検出光学系部の検出信号を処理して前記半導体デバイスを処理する装置の内部に浮遊する異物に関する情報出力する信号処理部と、

を備え、

前記レーザ照射光学系部と前記散乱光検出光学系部とは、一つのユニットで構成され、

前記レーザ光源部は励起光源と波長変換部とを有し、該励起光源と波長変換部とは分離されて光ファイバで接続されており、該波長変換部は前記一つのユニットで構成された前記散乱光検出光学系部と前記レーザ照射光学系部と同じユニット内に配置されていることを特徴とするプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項2】

前記散乱光検出光学系部は、半導体製造装置の内壁面からの反射光を遮光する遮光部を備えていることを特徴とする請求項1記載のプラズマ処理装置内の

10

20

浮遊異物検出装置。

【請求項 3】

前記半導体デバイス进行处理する装置の内部に走査して照射するレーザが、所望の周波数で強度変調されていることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 4】

前記信号処理部は、前記半導体デバイス进行处理する装置の内部に浮遊する異物の個数と大きさ、分布に関する情報を出力することを特徴とする請求項 1 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 5】

プラズマを用いて半導体デバイス进行处理するプラズマ処理装置の内部に浮遊する異物を検出する装置であって、

レーザを出力し、放熱用のヒートシンクを備えた励起光源一体形のレーザ光源部と、

該レーザ光源部から出力されたレーザを受けて前記プラズマ処理装置の内部に該プラズマ処理装置の観察用窓を介してレーザを照射して前記プラズマ処理装置の内部に浮遊する異物から散乱された散乱光を前記観察用窓を介して検出するモニタ光学系部と、

該モニタ光学系部で前記散乱光を検出した検出信号を処理する信号処理部と、

を備え、

前記レーザ光源部は励起光源と波長変換部とを有し、該励起光源と波長変換部とは分離されて、該波長変換部は前記モニタ光学系部の内部に配置されており、前記励起光源と前記波長変換部および前記モニタ光学系部と前記信号処理部とはそれぞれ光ファイバで接続されていることを特徴とするプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 6】

前記レーザ光源部は励起用レーザを出力し、前記モニタ光学系部は該レーザ光源部から出力された励起用レーザにより励起されたレーザを前記プラズマ処理装置の内部に照射することを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 7】

前記モニタ光学系部は、前記プラズマ処理装置の観察用窓に着脱自在な構成であることを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 8】

前記信号処理部は、前記プラズマ処理装置の内部に浮遊する異物の個数と大きさ、分布に関する情報を出力することを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 9】

前記モニタ光学系部は、前記半導体デバイス进行处理する装置の内部に円偏光を照射し、異物により散乱された円偏光を検出することを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 10】

前記モニタ光学系部は、前記プラズマ処理装置の内部に照射したレーザによる前記半導体デバイス进行处理する装置の内壁面からの反射光を遮光して、前記プラズマ処理装置の内部に浮遊する異物による散乱光を検出することを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 11】

前記プラズマ処理装置の内部に走査して照射するレーザが、所望の周波数で強度変調されていることを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出装置。

【請求項 12】

プラズマ処理装置の内部に浮遊する異物を検出する方法であって、

放熱用のヒートシンクを備えた励起光源と該励起光源とは分離されて該励起光源と光ファイバで接続された波長変換部とを備えた励起光源一体形のレーザ光源部における前記励起光源からレーザを発射し、

10

20

30

40

50

該発射されたレーザを前記光ファイバを介して前記波長変換部を内部に設置したレーザ照射光学系部に入射させ、

該レーザを入射させたレーザ照射光学系部からプラズマにより半導体デバイス进行处理するプラズマ処理装置の観察用窓を介して該プラズマ処理装置の内部にレーザを走査して照射し、

該レーザを前記プラズマ処理装置の内部に走査して照射することにより前記プラズマ処理装置の内部に浮遊する異物で散乱された散乱光を前記観察用窓を介して検出し、

該検出した散乱光の信号を第2の光ファイバを介して信号処理部に送信し、

該第2の光ファイバを介して信号処理部で受信した前記散乱光の信号を処理することにより前記プラズマ処理装置の内部に浮遊する異物の情報を得ることを特徴とするプラズマ処理装置内の浮遊異物検出方法。

10

【請求項13】

前記プラズマ処理装置の内壁面からの反射光を遮光して前記異物で散乱された散乱光を検出することを特徴とする請求項12記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出方法。

【請求項14】

前記プラズマ処理装置の内部に走査して照射するレーザが、所望の周波数で強度変調されていることを特徴とする請求項12記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出方法。

【請求項15】

前記検出した散乱光の信号を処理することにより、前記プラズマ処理装置の内部に浮遊する異物の個数と大きさ、分布に関する情報を得ることを特徴とする請求項12記載のプラズマ処理装置内の浮遊異物検出方法。

20

【請求項16】

内部を観察可能な窓部と前記内部に被処理基板を載置する載置部と前記内部を所定の圧力に維持する圧力設定部とを備えた処理室と、

所定の圧力に維持された前記処理室の内部にプラズマを発生させて前記載置部に載置した被処理基板进行处理するプラズマ処理手段と、

放熱用のヒートシンクを備えた励起光源と該励起光源とは分離されて該励起光源と第1の光ファイバで接続された波長変換部とを備えた励起光源一体形のレーザ光源部と、

前記波長変換部を内部に配置して、前記レーザ光源部の前記励起光源から出力されて前記第1の光ファイバを介して前記波長変換部に入射して該波長変換部から出射したレーザ

30

を受けて前記プラズマ処理手段で被処理基板进行处理している前記処理室の内部に前記処理室の観察可能な窓部を介してレーザを照射し該照射により前記処理室の内部に浮遊する異物から散乱された散乱光を前記観察可能な窓部を介して検出するモニタ光学系部と、

該モニタ光学系部の検出信号を第2の光ファイバを介して前記処理室から離れた場所で受信し処理することにより前記処理室の内部に浮遊する異物に関する情報を得る信号処理部と、

を備えたことを特徴とする半導体デバイスの処理装置。

【請求項17】

前記モニタ光学系部は、前記処理室の前記観察可能な窓部に着脱自在な構成であることを特徴とする請求項16記載の半導体デバイスの処理装置。

40

【請求項18】

前記モニタ光学系部は、前記処理室の内部に照射したレーザによる前記処理室の内壁面からの反射光を遮光して前記処理室の内部に浮遊する異物による散乱光を検出することを特徴とする請求項16記載の半導体デバイスの処理装置。

【請求項19】

前記信号処理部は、前記処理室の内部に浮遊する異物の個数と大きさ、分布に関する情報を出力することを特徴とする請求項16記載の半導体デバイスの処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

50

本発明は、エッチング、スパッタリング、CVD等のプラズマを用いて半導体基板上に所望の薄膜や回路パターン等を形成する半導体デバイスの処理装置の処理室内部に浮遊する微細な粒子（異物）を検出する方法及びその装置、及び、プラズマ処理技術により薄膜や回路パターン等を形成する過程で処理室内に発生する異物を、処理中にリアルタイムで計測する機能を備えた半導体デバイスを処理する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

エッチング装置を始めとして、プラズマを用いた処理が半導体デバイスの処理（製造）工程や液晶表示装置用基板処理（製造）工程に広く適用されている。

【0003】

プラズマを用いた処理装置の1例として、図25に示す平行平板形プラズマエッチング装置がある。この種の装置は、図25に示すように、シグナルジェネレータ83からの高周波信号によりパワーアンプ84の出力電圧を変調し、この高周波電圧を分配器85により分配して、処理室内において互いに平行に配置した上部電極81と下部電極82の間に印加し、両電極間81、82での放電によりエッチング用ガスからプラズマ71を発生させ、その活性種で被処理体としての、例えば半導体基板（ウェハ）Wをエッチングするようになっている。

【0004】

高周波信号としては、例えば400kHz程度の周波数が用いられる。エッチング処理に際しては、エッチングの進行状況を監視し、その終点をできるだけ正確に判定して、所定のパターン形状及び深さだけエッチング処理を行うようにしている。終点が検出されると、パワーアンプの出力を停止し、半導体ウェハが処理室から排出される。

【0005】

上記プラズマエッチング装置では、プラズマ処理によるエッチング反応によって生成された反応生成物が、プラズマ処理室の壁面あるいは電極に堆積し、これが時間経過に伴い、剥離して浮遊異物となることが知られている。この浮遊異物は、エッチング処理が終了しプラズマ放電が停止した瞬間に、ウェハ上に落下して付着異物となり、回路の特性不良やパターン外観不良を引き起こす。そして、最終的には、歩留まりの低下や素子の信頼性低下の原因となる。

【0006】

上記ウェハ表面に付着した異物を検査する装置は、多数報告され実用化されているが、これらは、プラズマ処理装置から一旦ウェハを抜き出して検査を行うもので、異物が多く発生していると判った時点では、既に他のウェハの処理が進んでおり、不良の大量発生による歩留まりの低下の問題がある。また、処理後の評価では、処理室内の異物発生の分布、経時変化などは判らない。

【0007】

従って、処理室内の汚染状況を*in-situ*でリアルタイムモニタする技術が、半導体製造や液晶製造等の分野で求められている。

【0008】

処理室内で浮遊する異物の大きさは、サブミクロンから数百 $\mu\text{m}$ の範囲であるが、256 Mbit DRAM (Dynamic Random Access Memory)、さらには1 Gbit DRAMへと高集積化が進む半導体の分野においては、回路パターンの最小線幅は0.25~0.18 $\mu\text{m}$ と微細化の一途を辿っており、検出すべき異物の大きさもサブミクロンオーダが要求されている。

【0009】

プラズマ処理室等の処理室（真空処理室）内に浮遊した異物をモニタする従来技術としては、特開昭57-118630号公報（従来技術1）、特開平3-25355号公報（従来技術2）、特開平3-147317号公報（従来技術3）、特開平6-82358号公報（従来技術4）、特開平6-124902号公報（従来技術5）、特開平10-213539（従来技術6）に開示された技術が挙げられる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 0 】

上記従来技術 1 には、反応空間における自己発光光のスペクトルと異なったスペクトルを有する平行光を反応空間に照射する手段と、上記平行光の照射を受けて上記反応空間において発生する微粒子からの散乱光を検出する手段とを、具備した蒸着装置が開示されている。

## 【 0 0 1 1 】

また、上記従来技術 2 には、半導体装置用基板表面に付着した微細粒子及び浮遊している微細粒子を、レーザ光による散乱を用いて測定する微細粒子測定装置において、波長が同一で相互の位相差がある所定の周波数で変調された 2 本のレーザ光を発生させるレーザ光位相変調部と、上記 2 本のレーザ光を上記の測定対象である微細粒子を含む空間において交差させる光学系と、上記 2 本のレーザ光の交差された領域において測定対象である微細粒子により散乱させた光を受光し、電気信号に変換する光検出部と、この散乱光による電気信号の中で上記レーザ光位相変調部での位相変調信号と周波数が同一または 2 倍で、かつ上記位相変調信号との位相差が時間的に一定である信号成分を取り出す信号処理部とを、備えた微細粒子測定装置が開示されている。

10

## 【 0 0 1 2 】

また、上記従来技術 3 には、コヒーレント光を走査照射して反応容器内で散乱する光をその場で発生させるステップと、上記反応容器内で散乱する光を検出するステップとを含み、それにより上記散乱光を解析することで、上記反応容器内の汚染状況を測定する技術が記載されている。

20

## 【 0 0 1 3 】

また、上記従来技術 4 には、レーザ光を生成するレーザ手段と、観測されるべき粒子を含むプラズマ処理ツールの反応室内の領域を上記レーザ光で走査するスキャナ手段と、上記領域内の粒子によって散乱したレーザ光のビデオ信号を生成するビデオカメラと、上記ビデオ信号のイメージを処理し表示する手段とを、有する粒子検出器が記載されている。

## 【 0 0 1 4 】

また、上記従来技術 5 には、プラズマ処理室内のプラズマ発生領域を観測するカメラ装置と、該カメラ装置により得られた画像を処理して目的とする情報を得るデータ処理部と、該データ処理部にて得られた情報に基づいてパーティクルを減少させるように排気手段、プロセスガス導入手段、高周波電圧印加手段及びパージガス導入手段のうち少なくとも 1 つを制御する制御部とを、備えたプラズマ処理装置が記載されている。

30

## 【 0 0 1 5 】

また、上記従来技術 6 には、測定体積を横切って照射する光ビームを送出する光送出器と、光検出器と上記測定体積からの散乱光を集光してその光を上記光検出器に向ける光学系とを含み、その光検出器に向けられた光の強度を表す信号をその光検出器が発生するように構成した検出器と、前記光検出器からの信号を分析するように相互接続され、前記光検出器からの信号の中のパルスを検出するパルス検出器と、微粒子に対応しその微粒子が前記測定体積の中を動く間の前記ビームによる複数回の照射に伴う前記微粒子による散乱光に起因する一連のパルスを特定する事象検出器とを含む信号処理手段とを含む微粒子センサが記載されている。

40

## 【 0 0 1 6 】

上記した各従来技術は、処理装置の側面に設けられた観測用窓からレーザ光を照射し、対向した側面あるいはその他の側面に設けられた上記レーザ照射用観測窓とは異なる観測用窓から、レーザ前方散乱光や側方散乱光を検出するものである。したがって、これらの前方散乱光や側方散乱光を検出する方式では、照射光学系と検出光学系とが各々異なるユニットで形成され、これらを取り付ける観測用窓も 2 つ必要であり、また、光軸調整等も、照射・検出光学系で各々行わなければならない、取り扱いが面倒なものとなっていた。

## 【 0 0 1 7 】

また、通常、プラズマ処理室などの処理室の側面の観測用窓は、プラズマ発光などをモニタするためにほとんどの機種に設けられているが、この観測窓は 1 つのみしか備え付けら

50

れていない場合も少なくない。従って、観測用窓を2つ必要とする従来手法は、観測用窓を1つしか備えていない処理室をもつ製造装置には、適用することができないという問題がある。

【0018】

さらに、前方散乱光や側方散乱光を検出する従来方式においては、処理室へ照射する照射ビームを回転走査させて、ウェハ等の被処理体の全面上の異物発生状況を観測しようとした場合には、多数の観測窓と検出光学系とを必要とし、大幅なコストアップ要因となる上、多数の観測窓や検出光学系を設けることも、スペースファクター上の制約から実際には非常に困難であると予想される。

【0019】

また、上記した従来技術の手法はいずれも、固定のレーザ光を用いてウェハ上の一部の領域を観測するものであり、ウェハ全面にわたってプラズマ中の浮遊異物を計測することは困難である。

【0020】

プラズマ処理室内に浮遊した異物をウェハ全面にわたって *in-situ* 計測する機能を備えた半導体製造方法及び装置も提案されており、例えば、特開平9-24359号公報（従来技術7）がある。

【0021】

上記従来技術7には、処理室内の上下方向、水平方向、または上下および水平方向にレーザ光を照射し、処理室内のパーティクルにより散乱したレーザ光を検出し、検出したレーザ光の強度から処理チャンバ内のパーティクルをリアルタイムでモニタすることを特徴とするパーティクルモニタ方法が記載されている。

【0022】

しかし、これらの手法はいずれも、レーザ照明光学系と、散乱光検出光学系が分離している。そのため、レーザ光を処理室内に照射し、散乱光を検出するための観測窓を二つ以上備えている装置に適用が限定されたうえ、レーザ照明光学系および散乱光検出光学系の光軸調整を個別に行う必要があるため、取扱が不便であった。更に、プラズマ処理室内に浮遊した異物をウェハ全面にわたって *in-situ* 計測する機能を備えた半導体製造方法及び装置として、特開平11-251252号公報（従来技術8）には、プラズマ励起周波数とは異なる周波数で強度変調したレーザビームをプラズマ処理室の観察用の窓からプラズマ処理室の内部に照射し、異物からの後方散乱光を検出して浮遊異物を検出する方法及びその装置が開示されている。

【0023】

しかし、この従来技術8には、レーザ光源を小型化して操作性をよくすることについては配慮されていない。

【0024】

また、従来技術8には、後方散乱光を検出する場合の特有の課題の一つである、処理室内壁面からの反射光の影響を受けないようにすることについても、配慮されていない。

【0025】

【発明が解決しようとする課題】

一方、256 Mbit DRAM、さらには1 Gbit DRAMへと高集積化が進む半導体の分野においては、回路パターンの最小線幅は0.25 ~ 0.18  $\mu\text{m}$ と微細化の一途を辿っており、検出すべき異物の大きさもサブミクロンオーダーが要求されている。しかし、従来技術では、異物散乱光とプラズマ発光の分離が困難であるため、比較的大きな異物の観測に適用が限定され、サブミクロンオーダーの微小異物を検出することは困難であると考えられる。

レーザ照明光学系及び散乱光検出光学系を一体化し、一つの観測窓に取り付け可能な異物モニタを実現するには、照射したレーザ光と同じ光軸を後ろ方向に伝搬し、レーザ照射光学系へと戻る、後方散乱光を検出する方法が有効である。

【0026】

更に、モニタの小形化を実現するには、モニタを構成する各々の部品を小型化することが重要となる。

【0027】

一般に、レーザー光源は、その他の光学素子と比較すると大きい。また、光学素子は、外部から物理的な力が加わったり、表面に付着したゴミがレーザー光により焼き付く等の現象が起こらなければ破損する確率は低い。それに比べ、レーザー光源の寿命は短い。従って、*in-situ*モニタのレーザー光源としては、例えば、高寿命および小形な半導体レーザー、もしくは、半導体レーザー励起の固体レーザーが有効である。ここで、異物粒径が同じであれば、異物により生じる散乱光の強度は、照射するレーザー光の出力に比例し、波長の自乗に比例する。従って、半導体レーザーよりも、非線形光学結晶により波長を短波長化する半導体レーザー励起の固体レーザーの方がレーザー散乱法による異物検出にとっては有効である。

10

【0028】

しかしながら、半導体レーザーは、雰囲気温度、もしくは、半導体結晶の温度温度変化により、その出力及び波長が変動するため、温度制御が必須となることである。出力が高くなるにつれて発熱量が増加するため、発生した熱を外部に放出する必要があることである。通常、ペルチェ素子を用いた冷却が行われ、付随して放熱用のヒートシンクが使用される。このヒートシンクの大きさは、半導体レーザー自身が小型であるのに対して、数倍から数十倍の体積になる。以上のことから、小形モニタの実現のためには、ヒートシンクを含めたレーザー光源の小形化が必須となる。

【0029】

外部にレーザー光源を設置し光ファイバでレーザーを導く方法もあるが、同じ光軸上を伝搬する照射光と散乱光を分離するためには偏光分離が有効である。偏光したレーザー光を偏波面保存ファイバで導くことは可能である。しかしながら、出力が高い場合、コア系の細い偏波面保存ファイバに入射させようとしても、入射端面がダメージを受け、結合損失が増加してしまう。更には、レーザー出力が大きすぎた場合には、ファイバには入射するどころか、反射されてしまう。ビーム径を拡大し、数本のファイバを束ねたバンドルファイバにより導くことは可能であるが、偏波面を保存するには1本1本のファイバの方向を揃える必要があり、実現はかなり困難である。

20

本発明は上記の点に鑑みなされたもので、本発明の目的は、レーザー照明光学系及び散乱光検出光学系が一体化され、一つの観測窓に取り付け可能な、小形で且つ光軸調整などの取扱が簡便で、更に、メンテナンス効率が高い異物モニタにより、半導体製造装置内に浮遊した異物を半導体処理に何ら影響を及ぼすことなく、処理中に*in-situ*計測する機能を備えた浮遊異物検出装置を提供することにある。

30

【0030】

また、本発明の他の目的は、1つの観測用窓を照射光学系と検出光学系で兼用し、処理室内に浮遊した異物の検出を、1つのユニットで構成された光学系によって行えるようにすることにある。また、本発明の他の目的は、限られた狭いスペースに取り付けができるように、コンパクトな照射・検出光学系を構成する方法および装置を実現することにある。また、本発明の他の目的は、微弱な異物散乱光を精度良く検出できる、信頼性の高い方法および装置を実現することにある。また、本発明の他の目的は、ウェハ等の被処理体の全面上の異物発生状況を判定できる方法および装置を実現することにある。また、本発明の他の目的は、上記の構成を備えた半導体デバイスの処理装置を提供することにある。

40

【0031】

【課題を解決するための手段】

上記した目的を達成するために本発明では、半導体製造装置の内部に浮遊する異物を検出する装置を、レーザー光源部と、このレーザー光源部から発射されたレーザーにより励起されたレーザーを半導体製造装置の内部に照射するレーザー照射光学系部と、このレーザー照射光学部により照射されて異物で散乱されたレーザーを検出する散乱光検出光学系部と、信号処理・制御部とを備えて構成し、レーザー光源部が光ファイバでレーザー照射光学系部と接続されている構成とした。

50

また、上記した目的を達成するために本発明では、プラズマを用いた半導体製造装置の内部に浮遊する異物を検出する装置を、レーザ光源部と、このレーザ光源部からの出力に基づいてレーザを半導体製造装置の内部に照射して異物で散乱されたレーザを検出するモニタ光学系部と、このモニタ光学系部の検出信号を処理する信号処理・制御部とを備えて構成し、モニタ光学系部がレーザ光源部と信号処理・制御部とにそれぞれ光ファイバで接続されている構成とした。

【0032】

また、上記した目的を達成するために本発明においては、例えば、処理室内の被処理体に所望の薄膜生成または加工処理を施す際に、外部のレーザ光源から光ファイバにより導いたレーザ光を、観測用窓を通して、処理室内へ照射する。そして、処理室内の異物によって散乱された後方散乱光を、上記同一の観測用窓を通して、検出光学系において受光し、上記検出信号から、異物の個数、大きさ、分布を判別して、この判別結果をディスプレイ上に表示する。

10

【0033】

また、上記観測用窓を通して上記処理室内に照射する照射ビームを、水平方向に回転走査するようにして、異物の2次元分布を判定する。

【0034】

また、上記した目的を達成するために本発明においては、半導体デバイスを処理する装置を、内部を観察可能な窓と内部に被処理基板を載置する載置部と内部を所定の圧力に維持する圧力設定部とを備えた処理室と、所定の圧力に維持された処理室の内部にプラズマを発生させて載置部に載置した被処理基板を処理するプラズマ処理手段と、処理室の外部に配置されたレーザ光源部と、このレーザ光源部から発射されたレーザを光ファイバを介して受けて窓から処理室の内部にレーザを走査して照射するレーザ照射光学系部と、このレーザ照射光学部でレーザを走査して照射することによりプラズマ処理手段で被処理基板を処理している最中に処理室の内部に浮遊する異物で散乱された散乱光を観察用窓部を介して検出する散乱光検出光学系部と、この散乱光検出光学系部で検出した散乱光の信号を光ファイバを介して受信し処理することにより処理室の内部に浮遊する異物に関する情報を出力する信号処理手段とを備えて構成した。

20

【0035】

また、上記した目的を達成するために本発明では、半導体デバイスを処理する装置を、内部を観察可能な窓と内部に被処理基板を載置する載置部と内部を所定の圧力に維持する圧力設定部とを備えた処理室と、所定の圧力に維持された処理室の内部にプラズマを発生させて載置部に載置した被処理基板を処理するプラズマ処理手段と、処理室の外部に配置されたレーザ光源部と、このレーザ光源部から発射されたレーザを光ファイバを介して受けて窓から処理室の内部にレーザを走査して照射するレーザ照射光学系部と、このレーザ照射光学部でレーザを走査して照射することによりプラズマ処理手段で被処理基板を処理している最中に処理室の内部に浮遊する異物で散乱された散乱光を前記観察用窓部を介して検出する散乱光検出光学系部と、この散乱光検出光学系部で検出した散乱光の信号を光ファイバを介して受信し処理することにより処理室の内部に浮遊する異物に関する情報を出力する信号処理手段とを備えて構成した。

30

40

【0036】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図1～図24を用いて説明する。

なお、以下に述べる本発明の各実施形態では、プラズマドライエッチング装置に利用されている、平行平板形プラズマエッチング装置への適用例を示すが、本発明の適用範囲はこれに限定されるものではなく、本発明は、スパッタ装置やCVD装置などの薄膜生成(成膜)装置、あるいは、ECREッチング装置やマイクロ波エッチング装置、またはアッシング装置などの各種薄膜生成、加工装置への適用が可能である。

まず、本発明の第1の実施形態を説明する。図1は、第1の実施形態におけるエッチング装置とプラズマ中浮遊異物計測装置を示すものである。プラズマ中浮遊異物計測装置は

50

、レーザ照射光学系 2010、散乱光検出光学系 3010、信号処理・制御系 6010 から成る。レーザ照射光学系 2010 と散乱光検出光学系 3010 とは一つのユニットで構成され、それぞれ光ファイバでレーザ光源 120 および信号処理・制御系 6010 と接続されている。

図 1 に示すように、エッチング装置では、シグナルジェネレータ 83 からの高周波信号によりパワーアンプ 84 の出力電圧を変調し、この高周波電圧を分配器 85 により分配し、プラズマ処理室 86 内に互いに平行に配置した上部電極 81 と下部電極 82 の間に印加し、両電極間での放電によりエッチング用ガスからプラズマ 71 を発生させ、その活性種で被処理体としての半導体ウェハ 70 をエッチングする。シグナルジェネレータ 83 で発生する高周波信号としては、例えば 400 kHz 程度が用いられる。エッチング処理に際しては、エッチングの進行状況を監視し、その終点をできるだけ正確に検出して、所定のパターン形状及び深さだけエッチング処理を行うようにしている。終点が検出されると、パワーアンプ 84 の出力を停止し、半導体ウェハ 70 がプラズマ処理室 86 から排出される。

10

レーザ照射光学系 2010 では、モニタ光学系本体から離れた場所に設置された励起用レーザ光源 120 からのレーザ光（例えば、赤外半導体レーザ光、波長；809 nm）を、励起光用光ファイバ 132 により、モニタ光学系本体に設置された利得媒体 121（例えば、ネオジウム・バナデート（Nd:YVO<sub>4</sub>））に照射される。ネオジウム・バナデートは波長 809 nm の励起光を吸収し、1064 nm 周辺の波長で単一方向の強力な光を放出する。更に、ネオジウム・バナデートは結晶の軸方向によって物理的特性が異なる物質で、偏光したレーザ光を放出する。

20

ネオジウム・バナデートからの光は、次に非線形光学結晶 122（例えば、LBO 結晶）により、波長 1064 nm から第 2 次高調波の波長 532 nm のレーザ光に変換される。

上記波長変換されたレーザ光は、強度変調器 123 でプラズマの励起周波数とは異なる周波数、例えば 170 MHz で強度変調された後、コリメーティングレンズ 116 により拡大され、フォーカシングレンズ 117 により半導体ウェハ 70 の中心に集光する。

ここで、強度変調器 123 としては、例えば、AO (Acousto-Optical) 変調器が有る。この強度変調器 123 には、計算機 161 からの制御信号に基づいて発振器（図示せず）から出力されたプラズマの励起周波数とは異なる周波数の信号が印加され、非線形光学結晶 122 で波長変換されたレーザを、この周波数で強度変調する。

30

コリメーティングレンズ 116 及びフォーカシングレンズ 117 の焦点距離を適当に選び、焦点深度を半導体ウェハ 70 の半径より大きくすることで、半導体ウェハ 70 の手前及び奥までの領域を、ほぼ均一な光エネルギー密度で照射することが可能となる。

上記集光された S 偏光ビームは偏光ビームスプリッタ 124 で反射された後、1/4 波長板 126 を通過させることで円偏光ビームに変換した後、高速駆動するガルバノミラー 125 で反射され、観測窓 10 を透過してプラズマ処理室 86 に入射し、半導体ウェハ 70 の上空を扇形に全面走査する。上記長焦点深度ビームを走査することにより、半導体ウェハ 70 の上空全面をほぼ均一のエネルギー密度で照射することが可能となる。

円偏光ビームは、プラズマ 71 中の浮遊異物 72 によって散乱される。この異物散乱光 201 のうち入射ビームと同じ光軸を後ろ方向に散乱された後方散乱光 202 がガルバノミラー 125 で反射され、そのうち正反射成分である円偏光成分は再び 1/4 波長板 126 を透過することで P 偏光に変換され、偏光ビームスプリッタ 124 を透過し、結像レンズ 131 により光ファイバ 133 の入射端面に集光される。

40

ここで、図 2 に示すように、半導体ウェハ 70 の中央 73b とファイバ受光端とが結像関係にある。ファイバ受光端の大きさを、デフォーカスしたウェハ手前 73a および奥 73c からの異物散乱光をも受光可能な大きさとするすることで、半導体ウェハ 70 上空で発生する異物散乱光を全て受光できる。従って、長焦点ビームの高速走査と併せ、半導体ウェハ 70 の上空全面においてほぼ均一な感度で異物検出が行えることも、本発明の特徴の一つである。

【0037】

50

尚、本実施例のように、照明光の波長が532nmの場合、異物粒径がおおよそ10 $\mu$ mより小さくなると、後方散乱光の偏光成分のほとんどは入射光の偏光成分と等しくなる。従って、偏光分離法として広く知られているS偏光照明・P円光検出(P偏光照明・S偏光検出)では、検出散乱強度が著しく低下し、検出感度の低下を引き起こすが、上記実施例のように円偏光照明・円偏光検出とすることで異物粒径の減少に伴う検出感度の低下を抑えることが可能となることも、本発明の特徴の一つである。

プラズマ処理室86の内壁面からの直接反射光や散乱光は、検出用光ファイバの手前の処理室壁面と共役な点に空間フィルタ136を設置してこれらの光を遮光することで、検出用光ファイバ133に入射するのを防止できる。これにより、処理室内壁面からの反射光の影響を受けることなく、異物からの後方散乱光を検出ことができ、検出の精度を上げる

10

ことができ、より小さい浮遊異物や、後方散乱光が少ない異物も、見逃すことなく検出することが可能になる。

異物観測窓10からの直接反射光は、観測窓10を傾斜させ反射光軸を検出光軸からずらすことで光ファイバに入射しない構成としたことも、本発明の特徴の一つである。

また、観測窓に反射防止コートを施すことで反射光強度を低減させることも可能である。検出用ファイバ133の出射端は干渉フィルタ140に接続されており、レーザ光と同一波長成分(532nm)が抽出され、光電子増倍管等の光電変換素子135により電流信号に変換される。この電流信号は、信号処理・制御系6010において増幅器137で増幅された後計算機161に送られる。計算機161では、ガルバノドライバ129を介して走査制御信号401をガルバノミラー125に送り、ビーム103を走査しつつ各走査位置での異物散乱強度をディスプレイ162に表示していく。

20

図3及び図4に、ディスプレイ162での表示例を示す。図3には、300mmのウェハ上の照射光9ラインでの、ウェハ中心領域における検出信号の各走査毎の変化、すなわち時間変化が示されている。プラズマ中の浮遊異物により散乱光が発生した場合には、図中3箇所を示した様なパルス上の大きな信号が現れる。これらのパルス状の信号の強度から異物の大きさを判定することができる。また、図4に示すように、各検出位置において、n回目の走査時の出力と(n-1)回目の走査時の出力の差分をとると背景雑音の直流成分がキャンセルされ、また、常時同様に揺らいでいる背景雑音の揺らぎを低減させることが可能となり、異物信号の判定が容易となる。

エッチングが終了し、ウェハ70が処理室から排出されると計測を終了する。計測データはウェハ単位で記録される。測定データを外部に出力し、外部出力信号402を利用して処理室プラズマ処理室87の汚染状況を逐次監視することも可能である。

30

#### 【0038】

本実施例によれば、後方散乱光を検出するので照射び散乱光検出を一つの観測窓を通して行うことができ、照射光学系及び検出光学系を一つのユニットでモニタ光学系としてコンパクトに構成することが可能となり、更に、励起用光源をこのモニタ光学系本体より分離した構成としたことにより、励起用光源の冷却ヒートシンクをモニタ光学系本体から切り離すことが可能になり、モニタ光学系を大幅に小形化することが可能となる。

このようにモニタ光学系を小型化したことにより、既存の半導体製造装置の観察用窓に容易に取り付ける場合に、取り付けのための周囲の空間的な制約条件が少なくなり、取り付けを容易にすることができる。また、このように小型化が可能となったことにより、モニタ光学系の観察窓への取り付け部を着脱容易な構造としておくことにより、複数の半導体製造装置を、1台の検出装置で順次モニタすることも可能になる。

40

長焦点ビームの走査によりウェハ全面にわたりほぼ均一なエネルギー照明・均一感度検出が実現できるという効果が得られる。これにより、エッチング装置処理室内の汚染状況のリアルタイムモニタリングが可能となり、付着異物による不良ウェハの発生を低減できるという効果と、装置クリーニング時期を正確に把握することができるという効果が生まれる。また、ダミーウェハを用いた先行チェック作業の頻度が低減できるため、コスト低減と生産性の向上という効果が生まれる。更に、処理中に異物が発生するタイミングが判るため、異物低減対策に効果的な情報を得ることができるという効果が生まれる。

50

## 【 0 0 3 9 】

次に、本発明の第 2 の実施形態に係るプラズマエッチング装置を説明する。図 5 は、本第 2 の実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置を装着したエッチング処理装置の構成を示す図である。

## 【 0 0 4 0 】

図 5 に示すように、エッチング処理装置 1 では、シグナルジェネレータ 8 3 からの高周波信号によりパワーアンプ 8 4 の出力電圧を変調し、この高周波電圧を分配器 8 5 によって分配して、プラズマ処理室 8 6 内において互いに平行に配置した上部電極 8 1 と下部電極 8 2 の間に印加し、両電極間での放電によりエッチング用ガスからプラズマ 7 1 を発生させ、その活性種で被処理体としての半導体基板（ウェハ）W をエッチングする。高周波信号としては、例えば 4 0 0 k H z が用いられる。

10

## 【 0 0 4 1 】

プラズマ中浮遊異物計測装置 2 は、主としてレーザ照明・散乱光検出光学系 2 0 0 0 と励起光源 3 0 0 0 と制御・信号処理系 6 0 0 0 とにより構成され、レーザ照明・散乱光検出光学系 2 0 0 0 における照射光出口部・検出光入口部は、プラズマ処理室 8 6 の側面に設けられた観測用窓 1 0 に対向するように配置されている。

## 【 0 0 4 2 】

ここで、プラズマ処理室 8 6 内にレーザ光を照射し、該プラズマ処理室 8 6 内の異物によって散乱される散乱光の強度は、照射レーザ光の波長の 2 乗に反比例し（異物粒径とレーザ波長が同程度の場合）、照射レーザ光の強度に比例する。また、コンパクトなプラズマ中浮遊異物計測装置を実現するためには、レーザ光源は小形であることが望まれる。現在市販されているレーザ光源のうち、小形と短波長の両方の条件を備えるものとしては、例えば、図 6 に示すような、半導体レーザ 3 0 0 0 を励起光とした固体レーザ（例えば、波長 5 3 2 n m 、出力 ~ 5 0 0 m W ）がある。しかしながら、上記励起光源一体形の固体レーザの多くは、励起用光源（半導体レーザ）及び構成光学素子のサイズが小さいのに対し、励起用光源の放熱用ヒートシンクのサイズが大きくなる場合が少なくなく、これが、上記プラズマ中浮遊異物計測装置の小形化にとって不利となる場合が考えられる。

20

## 【 0 0 4 3 】

そこで、本実施形態では、図 7 に示すように、上記励起光源一体形の固体レーザの励起光源 3 0 0 0 と波長変換部 5 0 0 0 を分離し、該波長変換部 5 0 0 0 のみを上記プラズマ中浮遊異物計測装置 2 に搭載する構成とすることで、上記プラズマ中浮遊異物計測装置の小形化を図るものである。

30

## 【 0 0 4 4 】

まず、励起光源 3 0 0 0 （例えば、半導体レーザ；波長 8 0 9 n m ）からのレーザ光を、光ファイバ 4 0 0 0 によりレーザ照明・散乱光検出光学系 2 0 0 0 に導く。ここで、最終的にプラズマ処理室 8 6 内に照射されるレーザ光の強度は、該励起光源 3 0 0 0 の強度に比例するため、上記励起光源 3 0 0 0 からの出力は数 W と高出力となる場合がある。該高出力のレーザ光を導く方法としては、図 8 に示すように、多数の光ファイバを束ねたバンドルファイバを利用する方法が有効である。

## 【 0 0 4 5 】

上記光ファイバ 4 0 0 0 により導かれたレーザ光は、上記レーザ照明・散乱光検出光学系 2 0 0 0 内に配置された波長変換部 5 0 0 0 に導かれる。波長変換部 5 0 0 0 に入射したレーザ光は、フォーカシングレンズ 5 0 0 1 により集光され、利得媒体 5 0 0 2 （例えば、ネオジウム・バナデート（N d : V O <sub>4</sub>）結晶やネオジウム・ヤグ（N d : Y A G）結晶、）に照射される。該利得媒体 5 0 0 2 の、例えば、ネオジウム・バナデートは、上記波長 8 0 9 n m の励起光を吸収し、1 0 6 4 n m 周辺の波長で単一方向の強力な光を放出する。更に、ネオジウム・バナデートは結晶の軸方向によって物理的特性が異なる物質で、偏光したレーザ光を放出する。該利得媒体 5 0 0 2 から発せられた特定波長の偏光光は、次に、共振器 5 0 0 3 内に配置した非線形光学結晶 5 0 0 4 （例えば、第 2 次高調波発生結晶）により、波長変換される。つまり、非線形光学結晶 5 0 0 4 の、例えば、L B O 結晶

40

50

は、波長1064nmのレーザ光を、波長532nmのレーザ光に変換する。該非線形光学結晶5004により、波長変換されたビームは、共振器5003により波長選択され、スペクトル幅の狭いレーザ光5008となる。

【0046】

次に、この特定波長の偏光した狭線幅のレーザビーム5008は、コリメーティングレンズ5005により平行光される。この平行ビームは、1/2波長板27によりP偏光ビーム101にした後、AO(Acoustic-Optical)変調器22に入射する。なお、レーザ光5008の偏光方向が既にP偏光である場合は、1/2波長板27は不要である。AO変調器22に発振器23から出力された例えば周波数170kHz、好ましくはデューティ50%の矩形波信号を印加し、P偏光ビーム101を上記周波数で強度変調する。ここで、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧を400kHzとした本実施形態では、レーザ強度変調周波数は、400kHzおよびその高調波成分800kHz、1.2MHz...とは異なる上記周波数170kHzなどが良い。理由については後述べる。

10

【0047】

強度変調されたP偏光ビーム102は、フォーカシングレンズ18により、ウェハWの中心に集光させ、偏光ビームスプリッタ24を低損失で透過し、1/4波長板26により円偏光ビーム103に変換した後、ガルバノミラー25により反射され、プラズマ処理室86の側面に設けられた観測用窓10を通して処理室内へと導かれる。ここで、ガルバノミラー25を回転させ、ビームをウェハ面に平行な面内で走査することにより、ウェハ直上

20

【0048】

上記観測用窓10は、ガルバノミラー25で反射し、1/4波長板26を再び通過することでS偏光となり、偏光ビームスプリッタ24で反射され異物散乱光検出用光ファイバ3100に入射し、大きな雑音となる。そこで、上記観測窓反射光による雑音を防ぐために、上記観測用窓10には傾斜が設けてあり、この面での反射光は、検出光軸からずれるため、検出されない。

【0049】

次に、図2および図9を用いて、異物散乱光の検出方法について説明する。プラズマ処理室86内へ導かれた円偏光ビーム103は、プラズマ中の浮遊異物72により散乱される。該異物散乱光のうち円偏光ビーム103と同一光軸を伝搬する後方散乱光は、観測用窓10を通過してガルバノミラー25により反射され、偏光ビームスプリッタ24へと向かう。該後方散乱光のうち、直接反射成分に相当する円偏光成分は、1/4波長板26を再び通過することでS偏光となり、偏光ビームスプリッタ24で低損失で反射され、結像レンズ31により異物散乱光検出用光ファイバ33の入射面に集光される。

30

【0050】

図2に示すように、ウェハ中央の73bと検出用光ファイバ33の入射面とが結像関係になっているが、入射端面の(受光領域)は、デフォーカスしたウェハ両端73a、73cからの散乱光も検出可能な大きさとなっている。従って、ウェハ手前から奥までの異物後方散乱光をほぼ同じ感度で検出できる。大きな受光面を確保するために、図8に示すバンドルファイバを利用する方法が有効である。

40

【0051】

処理室内壁5で生じる散乱光は、異物散乱光検出用光ファイバ33(図5では3100)の受光面の手前で結像するため、該結像位置に空間フィルタ36を設置し遮光する。異物散乱光検出用光ファイバ33の出射端は、波長変換された偏光レーザ光5008のレーザ波長に設定されたモノクロメータや干渉フィルタなどの分光器34に接続され、プラズマ発光から異物散乱光の波長成分のみを波長分離した後、光電変換素子35で光電変換される。

【0052】

光電変換された検出信号は、アンプ50で増幅された後、ロックインアンプ51により、

50

レーザー光の強度変調に用いた発振器 23 から出力された周波数 170 kHz、デューティ 50% の矩形波信号を参照信号として同期検波され、上記検出信号から周波数 170 kHz の異物散乱光成分を抽出する。

【0053】

図 10 に示すように、プラズマ発光の強度はプラズマ励起用の高周波電力の変調周波数に同期していることを、本願発明者らは実験によって検証しており、例えば、上記 400 kHz のプラズマ励起周波数の高周波電力により発生したプラズマの発光から、分光器 34 により波長分離し、プラズマ励起周波数およびその整数倍と異なる上記周波数 170 kHz で変調・同期検波して得た異物信号は、図 11 に示すように、プラズマ発光から、波長・周波数 2 つの領域で分離され、検出される。この方法により、プラズマ発光から微弱な異物散乱光を感度良く検出できることを、本願発明者らは実験的に確認している。

10

【0054】

即ち、図 11 に示すように、プラズマ発光は、波長領域においては連続的に分布しているが、周波数領域においては、離散的に存在し、周波数領域において空き領域がある。従って、例えば波長 532 nm のレーザー光を、上記プラズマ発光の周波数とは異なる、例えば周波数 170 kHz で強度変調してプラズマ処理室に入射し、検出光の中から波長 532 nm 成分、周波数 170 kHz 成分、すなわちピーク信号のみを取り出せば、異物からの散乱光をプラズマ発光から分離して検出することが可能なる。

【0055】

ロックインアンプ 51 の出力は計算機 61 に送られる。計算機 61 では、ガルバノドライバ 29 を介して走査信号をガルバノミラー 25 に送り、ビームを走査しつつ各走査位置で取り込んだ異物信号を、例えば、図 3 に示すような形で逐一ディスプレイ上に表示する。該表示例では、300 mm のウェハ上の照射光 9 ラインでの各走査毎の信号強度が示されている。プラズマ中の浮遊異物により散乱光が発生した場合には、上記図 3 において 3 箇所を示した様な、パルス上の大きな信号 80a、80b および 80c が現れる。図 4 に示すように、各検出位置において、n 回目の走査時の出力と (n - 1) 回目の走査時の出力の差分をとると背景雑音の直流成分がキャンセルされ、異物信号の判定が容易となる。

20

【0056】

計算機 61 では、予め実験により得られた粒径に対する信号強度と、検出された異物信号強度とを比較し異物の大きさを、また、上記パルス状の信号の数から異物個数を、また、信号が検出された時の走査位置から異物の発生位置を判定する。更に、計算機 61 では、判定した異物の個数と大きさなどから処理室内の汚染状況を判断し、異物発生総数が予め設定した基準値を超えたときはエッチング処理を終了する、汚染状況をアラームなどでプラズマ処理装置操作者に知らせる等の情報を出力することができる。

30

【0057】

以上のように本実施形態によれば、また、後方散乱光検出とすることで、レーザー照明・散乱光検出光学系を 1 つのユニットで構成でき、1 つの観測用窓 10 のみをもつ処理装置であっても適用可能となる上、照明光学系と検出光学系とが分離したものと比較すると光軸調整等も容易となり、トータルとしての光学系がコンパクトなものになる。また、照射光源のうち、発熱源であり大きな放熱用ヒートシンクを必要とする励起用光源をレーザー照明・散乱光検出光学系がら分離することで、トータルとしての光学系が更にコンパクトなものになる。

40

【0058】

また、プラズマ中浮遊異物計測装置の中で、他の構成部品に比べて、寿命が比較的短く、最も交換頻度の高いものの一つと推定される励起光源を、レーザー照明・散乱光検出光学系から分離したことで、励起光源の交換の際に、励起光源のみを交換すれば良く、レーザー照明・散乱光検出光学系には一切手を加える必要がないため、メンテナンス効率が向上し、装置のダウンタイムを短縮することが可能となる。

【0059】

また、本実施例によれば、上記変調・同期検波方式により、波長及び周波数 2 つの領域に

50

において微弱な異物散乱光をプラズマ中異物検出で問題となるプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、従来の波長分離のみの方法に比べプラズマ中浮遊異物の検出感度が大幅に向上するという効果が得られ、従来の波長分離のみの場合に得られる最小検出感度は、せいぜい  $1\mu\text{m}$  程度が限界であったのに対し、本発明の方法によれば、最小検出感度を  $0.2\mu\text{m}$  程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になるという効果が生まれる。また、本実施形態によれば、後方散乱光検出としたため、照射ビームを水平方向に回転走査することができ、異物の2次元分布を把握することが容易に可能となる。

【0060】

さらに、本実施形態によれば、ウェハ上全面で異物検出を行って、異物の個数、大きさ、分布を判定するので、操作者は、その情報を、例えば、ディスプレイ上でリアルタイムで確認することもできる。

10

【0061】

また、本実施形態によれば、得られた異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できるため、例えば、クリーニング時期の最適化がなされ、装置稼働率が向上するとともに、ドカ不良の発生（一度に大量の不良が発生すること）が防止できて、歩留まりが向上する。また、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

【0062】

20

また、本実施形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

【0063】

次に、本発明の第3の実施形態に係るプラズマエッチング装置を、図12～図14に基づいて説明する。図12は、本第3実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

【0064】

図12に示した構成においては、図5に示した構成と同様に、エッチング処理装置1では、シグナルジェネレータ83（図示せず）からの高周波信号によりパワーアンプ84（図示せず）の出力電圧を変調し、この高周波電圧を分配器85（図示せず）によって分配して、プラズマ処理室86内において互いに平行に配置した上部電極81と下部電極82の間に印加し、両電極間での放電によりエッチング用ガスからプラズマ71を発生させ、その活性種で被処理体としての半導体基板（ウェハ）Wをエッチングする。高周波信号としては、例えば400kHzが用いられる。

30

【0065】

プラズマ中浮遊異物計測装置3は、レーザ照明・散乱光検出光学系2001とレーザ光源3001と制御・信号処理系6000とにより主として構成され、レーザ照明・散乱光検出光学系2001における照射光出口部・検出光入口部は、プラズマ処理室86の側面に設けられた観測用窓10に対向するように配置されている。

40

【0066】

上記した第2の実施形態と異なるところは、励起光源部と波長変換部の全てを含む照射レーザ光源を、上記レーザ照明・散乱光検出光学系2001の外部に配置した点である。したがって、照射光を高出力にして、レーザ光源のサイズが大きくなったとしても（それに伴い、放熱用ヒートシンクが大きくなったとしても）、上記レーザ照明・散乱光検出光学系2001のサイズが大きくなることはない。

【0067】

まず、レーザ光源3001（例えば、固体レーザ、波長532nm、出力～500mW）からのレーザビームを、AO変調器22に入射する。AO変調器22に発振器23から出力された例えば周波数170kHz、好ましくはデューティ50%の矩形波信号を印加し

50

、P偏光ビーム101を上記周波数で強度変調する。ここで、上記した第2の実施形態と同様に、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧を400kHzとした本実施形態では、レーザ強度変調周波数は、400kHzおよびその高調波成分800kHz、1.2MHz...とは異なる上記周波数170kHzなどが良い。上記強度変調されたビームを、バンドルファイバ4001によりレーザ照明・散乱光検出光学系2001に導びく。バンドルファイバ4001の代わりに、図13に示すような大口径ファイバ4001aを用いることもできる。該大口径ファイバは、コア径が大きく、比較的容易に、低損失でビームを入射できるという利点がある。

#### 【0068】

ここで、上記バンドルファイバや大口径ファイバから出射されるビームは、無偏光ビームとなる。レーザ照明・散乱光検出光学系2001に入射したレーザ光は、フォーカシングレンズ18により、ウェハ70の中心に集光させ、該集光されたビームを通す程度の大きさの孔が空けられたミラー240の孔を通過し、ガルバノミラー25により反射され、プラズマ処理室86の側面に設けられた観測用窓10を通して処理室内へと導かれる。ここで、ガルバノミラー25を回転させ、ビームをウェハ面に平行な面内で走査することにより、ウェハ直上全面での照射（異物検出）が可能となる。

#### 【0069】

上記観測用窓10は、観測窓からの反射光が、ガルバノミラー25で反射し、孔空きミラー240で反射され異物散乱光検出用光ファイバ3100に入射し、大きな雑音となることを防ぐため、上記した第2の実施例と同様に傾斜が設けてある。

#### 【0070】

次に、図14を用いて、異物散乱光の検出方法について説明する。プラズマ処理室86内へ導かれた無偏光照射ビームは、プラズマ中の浮遊異物72により散乱される。該異物散乱光のうち無偏光照射ビームと同一光軸を伝搬する後方散乱光は、観測用窓10を通過してガルバノミラー25および孔空きミラー240により反射され、結像レンズ31により異物散乱光検出用光ファイバ33の入射面に集光される。

#### 【0071】

上記した第2の実施形態と同様、図2に示すように、ウェハ中央の73bと異物散乱光検出用光ファイバ33の入射面とが結像関係になっているが、入射端面の（受光領域）は、デフォーカスしたウェハ両端73a、73cからの散乱光も検出可能な大きさとなっている。従って、ウェハ手前から奥までの異物後方散乱光をほぼ同じ感度で検出できる。処理室内壁5で生じる散乱光は、異物散乱光検出用光ファイバ33の受光面の手前で結像するため、その結像位置に空間フィルタ36を設置し遮光する。その後の、信号処理や異物発生状況の判定を行うための装置構成および機能は、上記本第1実施形態と同様であるので、説明は省略する。

#### 【0072】

以上のように本実施形態によれば、また、後方散乱光検出とすることで、レーザ照明・散乱光検出光学系を1つのユニットで構成でき、1つの観測用窓10のみをもつ処理装置であっても適用可能となる上、照明光学系と検出光学系とが分離したものと比較すると光軸調整等も容易となり、トータルとしての光学系がコンパクトなものになる。また、大きなレーザ光源を励起用光源をレーザ照明・散乱光検出光学系がら分離することで、トータルとしての光学系がコンパクトなものになる。

#### 【0073】

また、プラズマ中浮遊異物計測装置の中で、他の構成部品に比べて、寿命が比較的短く、最も交換頻度の高いものの一つと推定されるレーザ光源を、レーザ照明・散乱光検出光学系から分離したことで、レーザ光源の交換に際し、レーザ光源のみを交換すれば良く、レーザ照明・散乱光検出光学系には一切手を加える必要がないため、メンテナンス効率向上し、装置のダウンタイムを短縮することが可能となる。

#### 【0074】

また、本実施例によれば、上記変調・同期検波方式により、波長及び周波数2つの領域に

10

20

30

40

50

において微弱な異物散乱光をプラズマ中異物検出で問題となるプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、従来の波長分離のみの方法に比べプラズマ中浮遊異物の検出感度が大幅に向上するという効果が得られ、従来の波長分離のみの場合に得られる最小検出感度は、せいぜい  $1\mu\text{m}$  程度が限界であったのに対し、本発明の方法によれば、最小検出感度を  $0.2\mu\text{m}$  程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になるといふ効果が生まれる。

【0075】

また、本実施形態によれば、後方散乱光検出としたため、照射ビームを水平方向に回転走査することができ、異物の2次元分布を把握することが容易に可能となる。

【0076】

さらに、本実施形態によれば、ウェハ上全面で異物検出を行って、異物の個数、大きさ、分布を判定するので、操作者は、その情報を、例えば、ディスプレイ上でリアルタイムで確認することができる。

【0077】

また、本実施形態によれば、得られた異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できるため、例えば、クリーニング時期の最適化がなされ、装置稼働率が向上するとともに、ドカ不良の発生（一度に大量の不良が発生すること）が防止できて、歩留まりが向上する。また、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

【0078】

また、本実施形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

【0079】

次に、本発明の第4の実施形態に係るプラズマエッチング装置を、図15～図18に基づいて説明する。図15は、本第4の実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。

図15に示した構成においては、図5に示した構成と同様に、エッチング処理装置1では、シグナルジェネレータ83（図示せず）からの高周波信号によりパワーアンプ84（図示せず）の出力電圧を変調し、この高周波電圧を分配器85（図示せず）によって分配して、プラズマ処理室86内において互いに平行に配置した上部電極81（図示せず）と下部電極82（図示せず）の間に印加し、両電極間での放電によりエッチング用ガスからプラズマ71を発生させ、その活性種で被処理体としての半導体基板（ウェハ）Wをエッチングする。高周波信号としては、例えば400kHzが用いられる。

【0080】

プラズマ中浮遊異物計測装置4は、レーザ照明・散乱光検出光学系2002と、レーザ光源3001と、ビーム分割器240aと、偏波面保存ファイバ4002と、偏波面保存バンドルファイバ4001と、制御・信号処理系6000とにより主として構成され、レーザ照明・散乱光検出光学系2002における照射光出口部・検出光入口部は、プラズマ処理室86の側面に設けられた観測用窓10に対向するように配置されている。

【0081】

上記した第2の実施形態および第3の実施形態と異なるところは、照射レーザ光源3001からのレーザ光を、複数に分割し、該分割した各々のビームを偏波面保存ファイバ4002に結合させ、更に、該偏波面保存ファイバ4002を、出射面で全ての偏光方向が揃うように方向を合わせバンドルし、該バンドルした偏波面保存ファイバからの偏光レーザ光を、上記レーザ照明・散乱光検出光学系2002に導く構成とした点である。したがって、レーザ照明・散乱光検出光学系2002のサイズを大きくすることなく、高出力の偏光レーザを照射することが可能となる。

【0082】

10

20

30

40

50

まず、レーザ光源 3001 (例えば、固体レーザ、波長 532 nm、出力 ~ 500 mW) からのレーザビームを、AO変調器 22に入射する。AO変調器 22に発振器 23から出力された例えば周波数 170 kHz、好ましくはデューティ 50%の矩形波信号を印加し、上記周波数で強度変調する。ここで、上記本第1および第2の実施形態と同様、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧を 400 kHzとした本実施形態では、レーザ強度変調周波数は、400 kHzおよびその高調波成分 800 kHz、1.2 MHz...とは異なる上記周波数 170 kHzなどが良い。

#### 【0083】

上記強度変調されたレーザ光を、ビーム分割器 240aにより7分割する。尚、本実施形態では、ビーム分割数を7としたが、ビーム分割数は7に限定されるものではなく、任意の分割数とすることが可能である。該分割されたビームは、各々結合レンズ 5006により、偏波面保存ファイバ 4002に結合される。ここで、偏波面保存ファイバ 4002は、一般に、図 16に示すように、コア 4002aの周辺に応力付加部 4002bを有する構成となっている。該コア 4002aは、通常の光ファイバに比べ小さく(例えば、レーザ波長 532 nmの時は、数 μm程度)、高出力のレーザビームを入射させると、入射面にダメージを与え、逆にビームが入射せず反射する場合がある。そこで、本実施形態では、ビームを分割し、各分割したビームの強度を、偏波面保存ファイバ 4002に入射可能な程度に減少させている。

#### 【0084】

次に、例えば、図 17や図 18に示すように、各偏波面保存ファイバ 4002を出射面で全ての偏光方向が揃うように方向を合わせバンドルしたりアレイ状に並べたりする。次に、偏波面保存バンドルファイバ 4001により、レーザ照明・散乱光検出光学系 2002に導びく。レーザ照明・散乱光検出光学系 2002に入射したレーザ光は、コリメーティングレンズ 5007により平行光にした後、フォーカシングレンズ 18によりウェハ Wの中心に集光させる。次に、該集光されたレーザ光を 1/2 波長板 27で P 偏光にした後、偏光ビームスプリッタ 24を低損失で透過し、1/4 波長板 26により円偏光ビーム 103に変換した後、ガルバノミラー 25により反射され、プラズマ処理室 86の側面に設けられた観測用窓 10を通して処理室内へと導かれる。ここで、ガルバノミラー 25を回転させ、ビームをウェハ面に平行な面内で走査することにより、ウェハ直上全面での照射(異物検出)が可能となる。尚、偏波面保存バンドルファイバ 4001からの出射ビームが既に P 偏光の場合は、上記 1/2 波長板 27は必要ない。

#### 【0085】

その後の、信号処理や異物発生状況の判定を行うための装置構成および機能は、上記した第2の実施形態と同様であるので、説明は省略する。

#### 【0086】

以上のように本実施形態によれば、また、後方散乱光検出とすることで、レーザ照明・散乱光検出光学系を1つのユニットで構成でき、1つの観測用窓 10のみをもつ処理装置であっても適用可能となる上、照明光学系と検出光学系とが分離したものと比較すると光軸調整等も容易となり、トータルとしての光学系がコンパクトなものになる。また、大きなレーザ光源を励起用光源をレーザ照明・散乱光検出光学系がら分離することで、トータルとしての光学系がコンパクトなものになる。

#### 【0087】

また、プラズマ中浮遊異物計測装置の中で、他の構成部品に比べて、寿命が比較的短く、最も交換頻度の高いものの一つと推定されるレーザ光源 3001を、レーザ照明・散乱光検出光学系 2002から分離したことで、励起光源の交換の際に、レーザ光源 3001のみを交換すれば良く、レーザ照明・散乱光検出光学系 2002には一切手を加える必要がないため、メンテナンス効率が向上し、装置のダウンタイムを短縮することが可能となる。

#### 【0088】

また、本実施例によれば、高出力の偏光レーザビームを、レーザ照明・散乱光検出光学系

10

20

30

40

50

2002の外部から導くことが可能となる。

【0089】

また、本実施例によれば、上記変調・同期検波方式により、波長及び周波数2つの領域において微弱な異物散乱光をプラズマ中異物検出で問題となるプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、従来の波長分離のみの方法に比べプラズマ中浮遊異物の検出感度が大幅に向上するという効果が得られ、従来の波長分離のみの場合に得られる最小検出感度は、せいぜい1 $\mu$ m程度が限界であったのに対し、本発明の方法によれば、最小検出感度を0.2 $\mu$ m程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になるという効果が生まれる。

【0090】

また、本実施形態によれば、後方散乱光検出としたため、照射ビームを水平方向に回転走査することができ、異物の2次元分布を把握することが容易に可能となる。

【0091】

さらに、本実施形態によれば、ウェハ上全面で異物検出を行って、異物の個数、大きさ、分布を判定するので、操作者は、その情報を、例えば、ディスプレイ上でリアルタイムで確認できる。

【0092】

また、本実施形態によれば、得られた異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できるため、例えば、クリーニング時期の最適化がなされ、装置稼働率が向上するとともに、ドカ不良の発生（一度に大量の不良が発生すること）が防止できて、歩留まりが向上する。また、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

【0093】

また、本実施形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

【0094】

次に、本発明の第5の実施形態に係るプラズマ中浮遊異物計測装置のレーザ照明・異物散乱光検出光学系にレーザ光を供給する光源システムを、図19に基づいて説明する。本実施形態は、複数に分割したレーザビームを、複数のバンドルファイバまたは大口径ファイバに結合させ、該各バンドルファイバまたは大口径ファイバからの出力を、各々上記本第4実施形態に示すレーザ照明・散乱光検出光学系2002に導くものである。したがって、プラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成および性能については、上記した第4の実施形態と同様であるので、ここでは、図示および説明を省略する。

【0095】

図19に示した構成において、レーザ光源3001（例えば、固体レーザ、波長532nm、出力～500mW）から出射されたレーザビームを、AO変調器22に入射する。AO変調器22に発振器23から出力された例えば周波数170kHz、好ましくはデューティ50%の矩形波信号を印加し、上記周波数で強度変調する。ここで、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧を400kHzとした本実施形態では、レーザ強度変調周波数は、400kHzおよびその高調波成分800kHz、1.2MHz...とは異なる上記周波数170kHzなどが良い。理由については、上記した第2の実施例で説明した通りである。

【0096】

上記強度変調されたビームを、ビーム分割器240により4分割する。尚、本実施形態では、ビーム分割数を4としたが、ビーム分割数は4に限定されるものではなく、任意の分割数とすることが可能である。該分割されたビームは、各々結合レンズ5006により、バンドルファイバ4000aから4000dに結合される。そして、該バンドルファイバ4000aから4000dを、それぞれ、上記本第2の実施例に示す、レーザ照明・散乱光

10

20

30

40

50

検出光学系 2001 に導く。

その後の、信号処理や異物発生状況の判定を行うための装置構成および機能は、上記した第4の実施形態と同様であるので、図示および説明は省略する。

【0097】

以上のように本実施形態によれば、上記した第4の実施形態と同様の効果を得られる他、1台のレーザ光源で、複数のプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置を構成できるため、コスト削減に効果がある。

【0098】

次に、本発明の第6の実施形態に係るレーザ光源システムを、図20に基づいて説明する。本実施形態は、複数の分割したレーザビームを、各々偏波面保存バンドルファイバ結合させ、各偏波面保存ファイバを数組に分けて、出射面で偏光方向が揃うようにバンドルし、各偏波面保存バンドルファイバ、各々上記本第4の実施形態に示すレーザ照明・散乱光検出光学系2002に導くものである。したがって、プラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成および性能については、上記した第4の実施形態と同様であるので、ここでは、図示および説明を省略する。

10

【0099】

図20に示した構成において、レーザ光源3001（例えば、固体レーザ、波長532nm、出力～500mW）からのレーザビームを、AO変調器22に入射する。AO変調器22に発振器23から出力された例えば周波数170kHz、好ましくはデューティ50%の矩形波信号を印加し、上記周波数で強度変調する。ここで、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧を400kHzとした本実施形態では、レーザ強度変調周波数は、400kHzおよびその高調波成分800kHz、1.2MHz...とは異なる上記周波数170kHzなどが良い。理由については、上記した第2の実施例で説明した通りである。

20

【0100】

上記強度変調されたビームを、ビーム分割器240aにより8分割する。尚、本実施形態では、ビーム分割数を8としたが、ビーム分割数は8に限定されるものではなく、任意の分割数とすることが可能である。該分割されたビームは、各々結合レンズ5006により、偏波面保存ファイバ4002に結合する。そして、該偏波面保存ファイバ4002を2本ずつバンドルし、4組の偏波面保存バンドルファイバ4003a～4003dにする。尚、本実施形態では、8本の偏波面保存ファイバ4002を4組のバンドルファイバ4003a～4003dにしたが、バンドル数はこれに限定されるものではなく、バンドルせずに、各々プラズマ中浮遊異物計測装置に導いても良いし、2組の偏波面保存バンドルファイバに分割しても良く、適宜所望の組み合わせでの設定が可能である。

30

【0101】

次に、上記偏波面保存バンドルファイバ4002aから4002dを、上記本第4の実施例に示す、レーザ照明・散乱光検出光学系2002に導く。その後の、信号処理や異物発生状況の判定を行うための装置構成および機能は、上記した第4の実施形態と同様であるので、図示および説明は省略する。

【0102】

以上のように本実施形態によれば、上記した第4の実施形態と同様の効果を得られる他、1台のレーザ光源で、複数のプラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置を構成できるため、コスト削減に効果がある。

40

【0103】

次に、本発明の第7の実施形態に係るレーザ光源システムを、図21に基づいて説明する。本実施形態は、複数の分割したレーザ光を、それぞれAO変調器により強度変調した後、各々バンドルファイバまたは大口径ファイバに結合させ、各バンドルファイバまたは大口径ファイバからの出力を、各々上記した第4の実施形態に示すレーザ照明・散乱光検出光学系2002に導くものである。したがって、プラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成および性能については、上記した第4の実施形態と同様であるので

50

、ここでは、説明を省略する。

【0104】

図21に示した構成において、レーザ光源3001（例えば、固体レーザ、波長532nm、出力～500mW）からのレーザビームを、ビーム分割器240により4分割する。尚、本実施形態では、ビーム分割数を4としたが、ビーム分割数は4に限定されるものではなく、任意の分割数とすることが可能である。該分割されたビームは、マルチチャンネルAO変調器220に入射する。AO変調器220にマルチチャンネル発振器230から、計算機61aから61dにより設定された周波数で出力された、周波数で、好ましくはデュティ50%の矩形波信号を印加し、上記周波数で強度変調する。ここで、周波数の設定は、エッチング処理装置の電極に印加する高周波電圧の周波数を考慮して、適宜任意の周波数を設定する。

10

【0105】

上記強度変調されたビームを、該分割されたビームは、各々結合レンズ5006により、バンドルファイバ4000aから4000dに結合される。そして、該バンドルファイバ4000aから4000dを、それぞれ、上記した第3の実施例に示す、レーザ照明・散乱光検出光学系2002に導く。その後の、信号処理や異物発生状況の判定を行うための装置構成および機能は、上記した第4の実施形態と同様であるので、図示および説明は省略する。

【0106】

以上のように本実施形態によれば、上記した第3および第6の実施形態と同様の効果が得られる他、1台のレーザ光源で、複数の異なるプラズマ励起周波数を持つ多種多様のプラズマ中浮遊異物計測装置付きエッチング処理装置を構成できる。

20

【0107】

次に、本発明の第8の実施形態を、図22、図23および図24に基づいて説明する。まず図22および図23を用いて、本発明における半導体集積回路装置の製造方法の概念を説明する。

【0108】

工程1001は、ウェハW上にシリコン酸化膜などの被加工膜601を形成する成膜工程であり、工程1002は、形成した膜の厚さを検査する膜厚計測工程である。工程1003は、ウェハWにレジスト602を塗布する、レジスト塗布工程であり、工程1004は、マスクパターン603をウェハ上に転写するパターン転写工程である。工程1005は、被加工部のレジストを除去する、現像工程であり、工程1006は、レジストパターン604をマスクとして、レジスト除去部605の被加工膜601をエッチングし配線溝やコンタクトホール606を形成する、エッチング工程である。工程1007は、レジストパターン604を除去する、アッシング工程であり、工程1008は、ウェハ表面や裏面を洗浄する、洗浄工程である。上記一連の工程は、例えば、コンタクトホールの形成に適用される。

30

【0109】

通常半導体集積回路装置では、上記一連の工程を繰り返すことによって、多層構造を形成していく。

40

【0110】

次に、図24を用いて、エッチング中に発生した異物がウェハに付着することで生じる欠陥について説明する。図24は、例えば、コンタクトホールエッチングにおいて発生する欠陥の例を示す図である。

【0111】

異物701は、エッチングの最中にコンタクトホール開口部に付着した異物を示している。この場合、付着異物によりエッチング反応停止するため、該異物付着部分のコンタクトホールは非開口となり、致命欠陥となる。

【0112】

異物702は、エッチングの最中にコンタクトホール内部に付着した異物を示している。

50

この場合も、付着異物によりエッチング反応停止するため、該異物付着部分のコンタクトホールは非開口となり、致命欠陥となる。

【 0 1 1 3 】

異物 7 0 3 および異物 7 0 4 は、エッチング終了後にコンタクトホール内部に付着した異物を示している。コンタクトホールのようなアスペクト比の高い箇所に付着した異物は、洗浄しても取り除くことが困難な場合が多く、異物 7 0 3 のように、その大きさが大きい場合には、コンタクト不良が生じるため致命欠陥となる。

【 0 1 1 4 】

異物 7 0 5 は、エッチングの最中にレジストパターン 6 0 4 に付着した異物を示している。この場合、該付着異物 7 0 5 によりエッチング反応は何ら影響を受けることはなく、該付着異物 7 0 5 により致命欠陥が発生することはない。

10

【 0 1 1 5 】

このように、異物が付着しても、異物の大きさが欠陥を引き起こすほど大きくない場合や、付着箇所が非エッチング領域であるような場合には致命欠陥とならず、ウェハに異物が付着してもその全てが致命欠陥を引き起こすわけではない。また、異物 7 0 1 や異物 7 0 5 が、洗浄により比較的除去しやすい異物であるのに対し、異物 6 0 2、異物 7 0 3 および異物 7 0 4 のように、高アスペクト比のコンタクトホールに落下した異物は、洗浄による除去が困難である。

【 0 1 1 6 】

さて、本発明では、エッチング工程 1 0 0 6 において、プラズマ中浮遊異物計測装置 1 1 0 0 により、エッチング中に処理室内に発生した異物をリアルタイムで検出し、該異物検出結果に基づき、処理したウェハを次の工程に送り順次残りのウェハの処理を進めるか、次の工程に送る前に外観検査を行うか、処理を中止し処理室内のクリーニング（メンテナンス）を行うかを選択する。

20

【 0 1 1 7 】

ここでは、検出異物大きさおよび個数と予め設定した規格値（異物管理基準）とを比較することで、次に行う処理を選択した。

【 0 1 1 8 】

そこで、次に、本実施例における上記規格値（異物管理基準）の算出方法の例を説明する。既に説明したとおり、ウェハに異物が付着してもその全てが致命欠陥を引き起こすわけではない。付着異物により致命欠陥が発生する確率は、エッチングパターンの開口率やパターン密度、更には配線幅などと、付着する異物の大きさや個数の関係から、計算により求めることができる。したがって、エッチング処理中に検出される異物の大きさと個数と、ウェハ付着異物の大きさと個数の相関関係を、予め実験によって求めておくことで、エッチング中に検出した異物により致命欠陥が引き起こされる確率を求めることができる。

30

【 0 1 1 9 】

規格値（異物管理基準）は、上記手段により求めた値に基づいて設定する。以下に、本実施例における、規格値の設定例を示す。

【 0 1 2 0 】

規格値 1 は、検出異物のうちある大きさ以上の個数が該規定値 1 より少なければ、致命欠陥が発生する確率が非常に低くなるように（例えば、致命欠陥発生確率 1 % 以下）設定する。例えば、規格値 1 は、異物粒径 0 . 4  $\mu\text{m}$  以上 1 0 個とする。

40

【 0 1 2 1 】

規格値 2 は、検出異物のうちある大きさ以上の個数が上記規格値 1 以上で該規定値 2 より少なければ、致命欠陥の発生が懸念される値となるように（例えば、致命欠陥発生確率 5 % 以下）設定する。例えば、規格値 2 は、異物粒径 0 . 4  $\mu\text{m}$  以上 3 0 個とする。

【 0 1 2 2 】

検出異物のうちある大きさ以上の個数が該規定値 2 以上であると、致命欠陥が多数発生する（例えば、致命欠陥発生確率 5 % 以上）ことになる。

【 0 1 2 3 】

50

上記規格値に基づき、エッチング処理中に検出された異物のうちある大きさ以上の個数が上記規定値1より少ない場合には、致命欠陥の発生する確率が低いので、引き続き次のウェハの処理を行う。

【0124】

エッチング処理中に検出された異物のうちある大きさ以上の個数が上記規定値1以上であるが、上記規定値2よりは少ない場合には、エッチング処理終了後、外観検査を行う。該外観検査の結果、致命欠陥が確認されなければ、該ウェハは次のアッシング工程1007に送る。該外観検査の結果、致命欠陥が確認された場合は、該致命欠陥が救済可能な欠陥か判定する。上記判定結果に基づき、救済可能な（救済回路の利用など）欠陥と判定された場合は、該ウェハは次のアッシング工程1007に送る。上記判定結果に基づき、救済不可能な欠陥と判定された場合は、該欠陥個所を記録した後、該ウェハを次のアッシング工程1007に送る。その後、例えば、ダイシングにより各チップ毎にきり出した時に、該救済不可能な欠陥を含むチップは排除する。

10

【0125】

エッチング処理中に検出された異物のうちある大きさ以上の個数が、上記規定値2より多い場合には、その後に処理を行うウェハにも、大量の致命欠陥が発生する可能性が高いので、エッチング処理を中断しプラズマ処理室内のクリーニング（メンテナンス）を行うよう、エッチング装置の操作者にモニタ画面上に表示したりアラームで知らせたりする。プラズマ中浮遊異物計測装置を備えないエッチング処理装置では、必ずしも適切な時間で処理室のクリーニングが行われない。従って、本来クリーニングしなくても良い時期にクリーニングを行い、装置稼働率を低下させたり、逆にクリーニングすべき時期を過ぎているにもかかわらず処理を続け、不良品を大量に生じさせ歩留まりを低下させることもある。

20

【0126】

また、処理室内異物チェックのためのダミーウェハによる先行作業を行い、その結果からクリーニング時期を決める方法もある。この場合、一連の工程中に余分な作業が入るため、スループットが低下し、ダミーウェハ分のコストが必要とされた。しかし、ウェハの大口径化に伴い、ダミーウェハのコストの増加は必至で、処理室内異物チェックのためのダミーウェハによる先行作業の削減も大きな問題になっている。

【0127】

これに対し本実施形態によれば、処理室内の汚染状況をリアルタイムでモニタしながら被処理体の処理を行えるため、クリーニング時期の最適化が図られ、ダミーウェハによる先行作業も必要ないため、スループットが向上し、ダミーウェハのコスト削減が可能となる。また、本実施形態の工程により製造された製品は、規定値以上の異物を含まない良質の製品、したがって信頼性の高い製品を製造することができる。

30

なお、以上の実施形態においては、エッチング処理装置への適用例について述べたが、先にも記載したように、本発明の適用範囲はこれに限定されるものではなく、例えば、本発明をアッシング装置や成膜装置に適用することで、アッシング装置内および成膜装置内の異物のリアルタイムモニタリングが可能となり、以って、ホトリソグラフィ工程中のアッシング工程および成膜工程起因の不良を低減することが可能となり、不良品の発生防止と歩留まりの向上とを図ることができる。

40

【0128】

【発明の効果】

以上に説明したように本発明によれば、また、後方散乱光検出とすることで、レーザ照明・散乱光検出光学系を1つのユニットで構成でき、1つの観測用窓のみをもつ処理装置であっても適用可能となる上、照明光学系と検出光学系とが分離したものと比較すると光軸調整等も容易となり、トータルとしての光学系がコンパクトなものになる。

【0129】

また、照射光源のうち、発熱源であり大きな放熱用ヒートシンクを必要とする励起用光源をレーザ照明・散乱光検出光学系がら分離することで、トータルとしての光学系が更にコ

50

コンパクトなものになる。

【0130】

また、本発明によれば、プラズマ中浮遊異物計測装置の中で、他の構成部品に比べて、寿命が比較的短く、最も交換頻度の高いものの一つと推定される励起光源を、レーザー照明・散乱光検出光学系から分離したことで、励起光源の交換の際に、励起光源のみを交換すれば良く、レーザー照明・散乱光検出光学系には一切手を加える必要がないため、メンテナンス効率が向上し、装置のダウンタイムを短縮することが可能となる。

【0131】

また、本発明によれば、波長及び周波数2つの領域において微弱な異物散乱光をプラズマ中異物検出で問題となるプラズマ発光から分離して検出することが可能であり、従来の波長分離のみの方法に比べプラズマ中浮遊異物の検出感度が大幅に向上するという効果が得られ、従来の波長分離のみの場合に得られる最小検出感度は、せいぜい  $1\mu\text{m}$  程度が限界であったのに対し、本発明の方法によれば、最小検出感度を  $0.2\mu\text{m}$  程度にまで向上でき、ウェハ全面にわたり安定な異物検出が可能になるという効果が生まれる。

10

【0132】

また、本発明によれば、後方散乱光検出としたため、照射ビームを水平方向に回転走査することができ、異物の2次元分布を把握することが容易に可能となる。

【0133】

また、本発明によれば、ウェハ上全面で異物検出を行って、異物の個数、大きさ、分布を判定するので、操作者は、その情報を、例えば、ディスプレイ上でリアルタイムで確認することもできる。

20

【0134】

また、本発明によれば、得られた異物の発生個数、大きさ、分布の情報をもとに、処理室内の汚染状況をリアルタイムで判断できるため、例えば、クリーニング時期の最適化がなされ、装置稼働率が向上するとともに、ドカ不良の発生（一度に大量の不良が発生すること）が防止できて、歩留まりが向上する。また、処理室内の汚染状況を常にモニタしながら処理を進められるため、このようにして製造された半導体基板や液晶基板は、基準値以上の異物を含まない環境で製造された、高品質で、信頼性の高い製品となる。

【0135】

また、本実施形態によれば、ダミーウェハを用いた処理室の汚染状況判断や、抜き取り検査による汚染状況判断の頻度低減が可能であるため、ダミーウェハのコスト削減がなされる。

30

【0136】

これらの効果により、エッチング処理室内の汚染状況のリアルタイムモニタリングが可能となり、付着異物による不良ウェハの発生を低減でき高品質の半導体素子の製造が可能になるという効果と、装置クリーニング時期を正確に把握することができるという効果が生まれる。

【0137】

また、ダミーウェハを用いた異物の先行作業チェック作業の頻度が低減できるため、コストの低減と生産性の向上という効果が生まれる。また、製造ラインの自動化も可能となるという効果も有している。

40

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の第1の実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置をもつエッチング処理装置の構成を示す図である。本発明の第1の実施例における、プラズマ中浮遊異物計測装置を装着したエッチング装置の概略構成を示す平面図と正面図である。

【図2】図2は、光学系のウェハ上の結像位置と処理装置の内壁面との概略の関係を示す略正面図である。

【図3】図3は、本発明の各実施形態における、プラズマ励起周波数とプラズマ発光が同期している様子を示す説明図である。

【図4】図4は、本発明の各実施形態における、異物散乱光のプラズマ発光からの波長・

50

周波数分離の様子を示す説明図である。

【図5】図5は、本発明の第2の実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置を装着したエッチング処理装置の構成を示す図である。

【図6】図6は、本発明の第2の実施形態における、半導体レーザ励起の固体レーザの一般的な構成を示す説明図である。

【図7】図7は、本発明の第2の実施形態における、励起光源と波長変換部を分離した、外部レーザ励起の固体レーザの概略構成を示す略正面図である。

【図8】図8は、バンドルファイバの断面構造を示す断面図である。

【図9】図9は、本発明の第2の実施形態における、異物散乱光検出のための光学系を装着したエッチング装置の概略構成を説明する図である。

10

【図10】図10は、本発明の第2の実施形態における、ウェハ上9点での検出光強度の時間変化を示す図である。

【図11】図11は、本発明の第2の実施形態における、ウェハ上9点での異物信号強度の時間変化を示す3次元のグラフである。

【図12】図12は、本発明の第3の実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置を装着したエッチング処理装置の概略構成を示す略平面図である。

【図13】図13は、本発明の第3の実施形態に係る、大口径ファイバの断面図である。

【図14】図14は、本発明の第3の実施形態における、異物散乱光検出のための光学系を装着したエッチング装置の平面図である。

【図15】図15は、本発明の第4の実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置を装着したエッチング処理装置の概略構成を示す平面図である。

20

【図16】図16は、本発明の第4の実施形態に係る、偏波面保存ファイバの断面図を示す図である。

【図17】図17は、本発明の第4の実施形態に係る、偏波面保存バンドルファイバの断面図を示す図である。

【図18】図18は、本発明の第4の実施形態に係る、偏波面保存アレイファイバの断面図を示す図である。

【図19】図19は、本発明の第5の実施形態に係る、外部レーザ光源を示す略平面図である。

【図20】図20は、本発明の第6の実施形態に係る、外部レーザ光源を示す略平面図である。

30

【図21】図21は、本発明の第7の実施形態に係る、外部レーザ光源を示す略平面図である。

【図22】図22は、本発明の第8の実施形態に係る、プラズマ中浮遊異物計測装置付きエッチング処理装置を導入した、半導体集積回路装置の製造工程の処理の流れを示す処理フロー図である。

【図23】図23は、本発明の第8の実施形態に係る、コンタクトホールの形成過程を、断面構造を用いて、処理の流れに沿って模式的に示した処理フローを説明する図である。

【図24】図24は、本発明の第8の実施形態に係る、コンタクトホールのエッチング工程において、付着異物による生じる欠陥の例を模式的に示した被処理基板の断面図図である。

40

【図25】図25は、従来技術の平行平板形プラズマエッチング装置を示す説明図である。

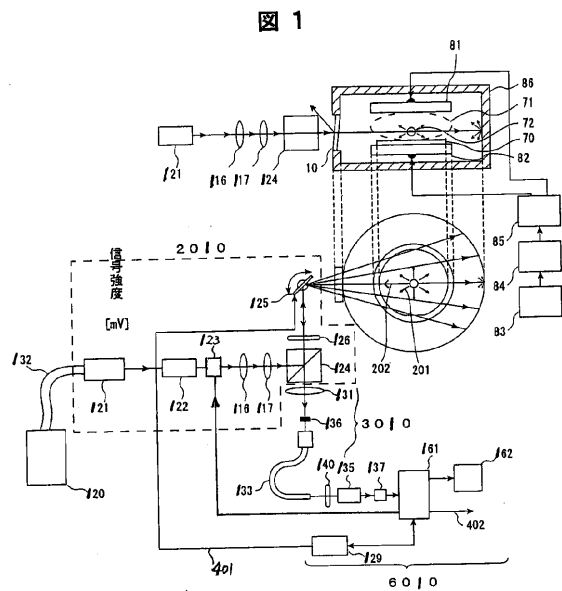
【符号の説明】

- 1・・・エッチング処理装置
- 23, 123・・・発振器
- 5・・・ガルバノミラー
- ・・・ロックインアンプ
- 4000・・・光ファイバ
- 10・・・観察用窓
- 24, 124・・・偏光ビームスプリッタ
- 35・・・光電変換素子
- 61・・・計算機
- 5000・・・波長変換部
- 22, 122・・・AO変調器
- 25, 125・・・アンプ
- 51・・・レーザ照明・散乱光検出光学系
- 3000・・・励起光源
- 33, 3100・・・異物散乱光検出用光ファイバ
- 6000・・・制御

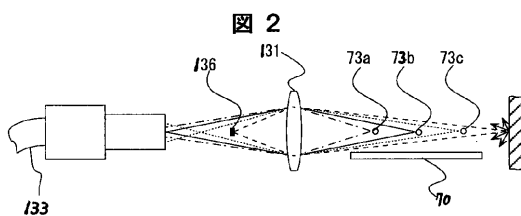
50

信号処理系

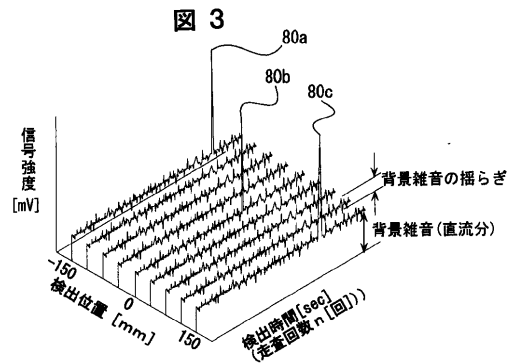
【図1】



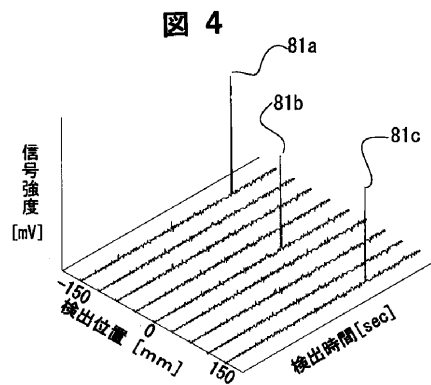
【図2】



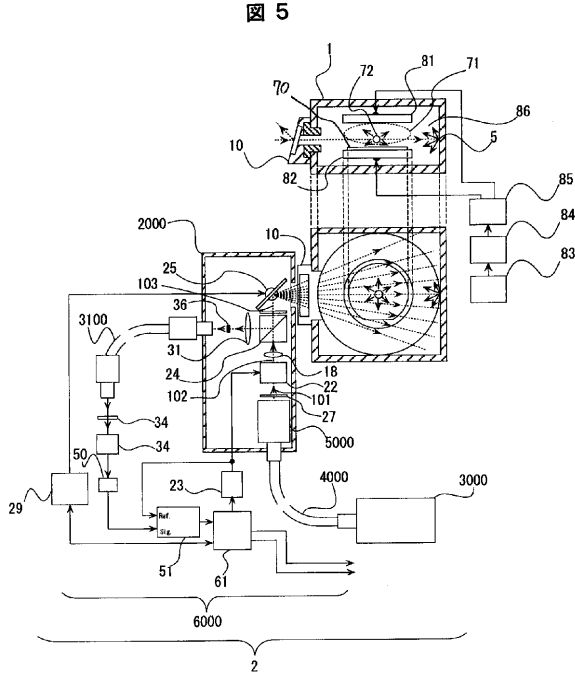
【図3】



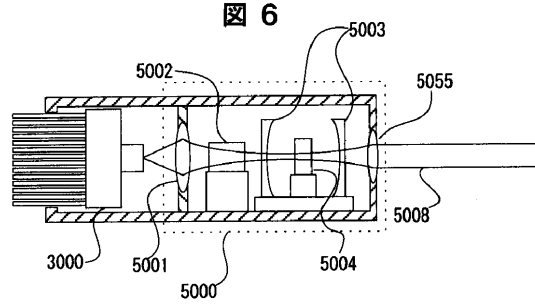
【図4】



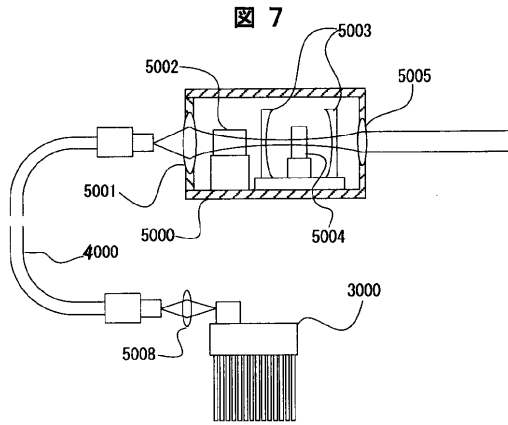
【図5】



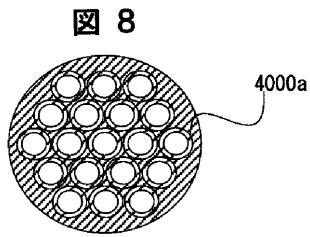
【図6】



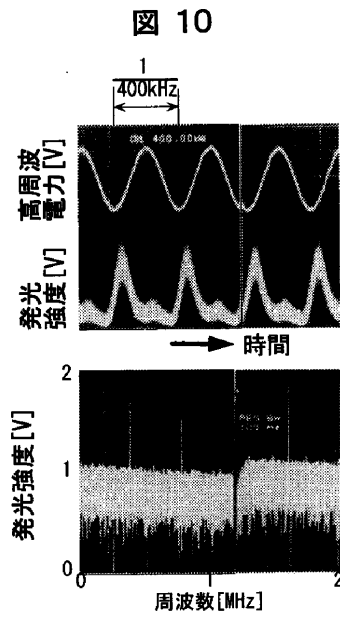
【図7】



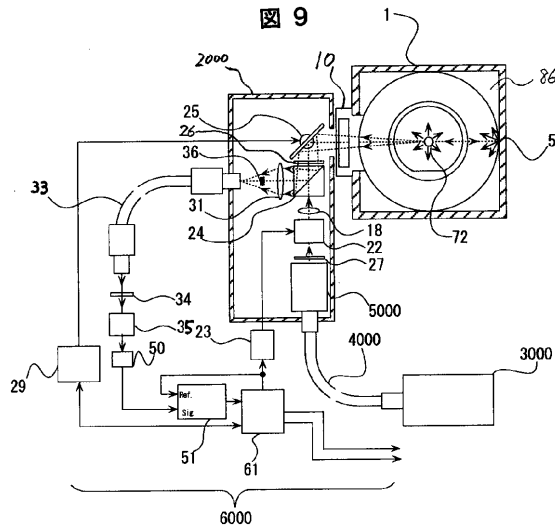
【図8】



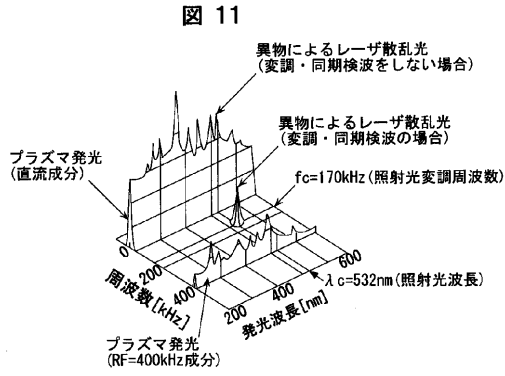
【図10】



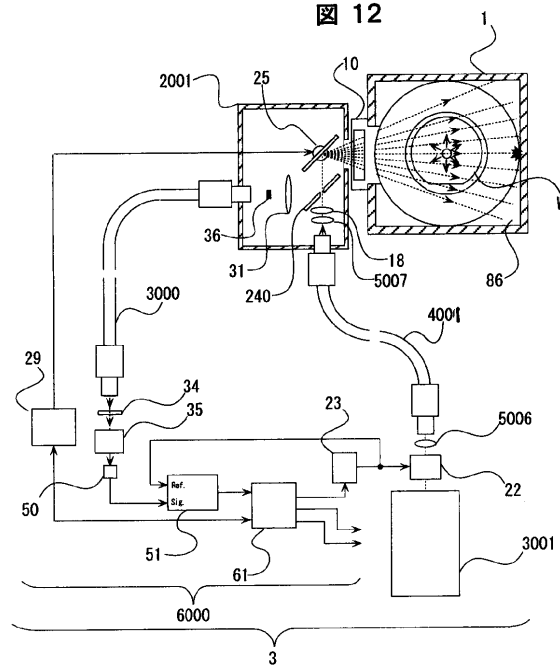
【図9】



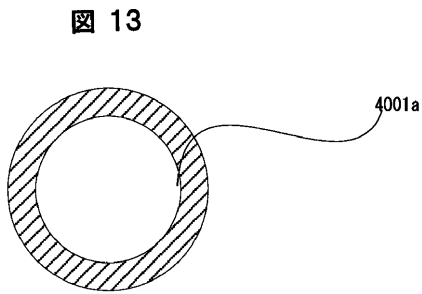
【 図 1 1 】



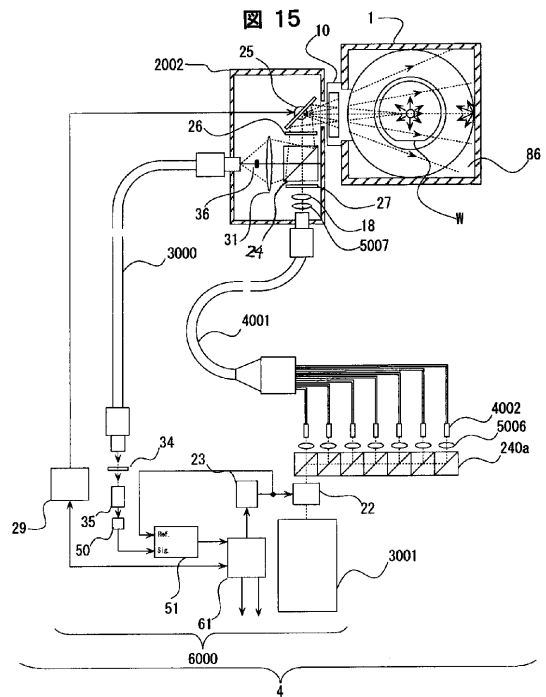
【 図 1 2 】



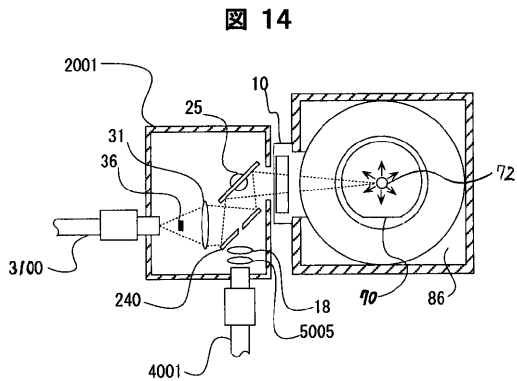
【 図 1 3 】



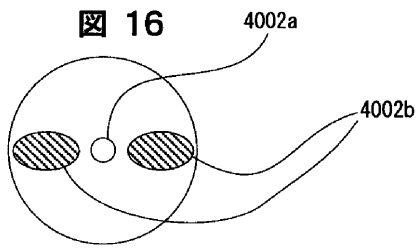
【 図 1 5 】



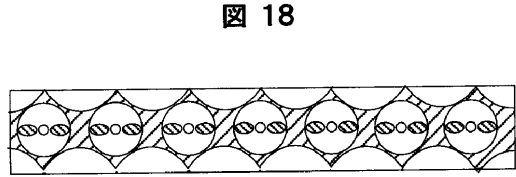
【 図 1 4 】



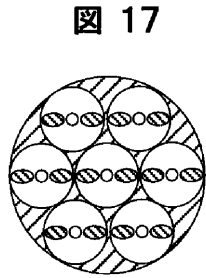
【 図 16 】



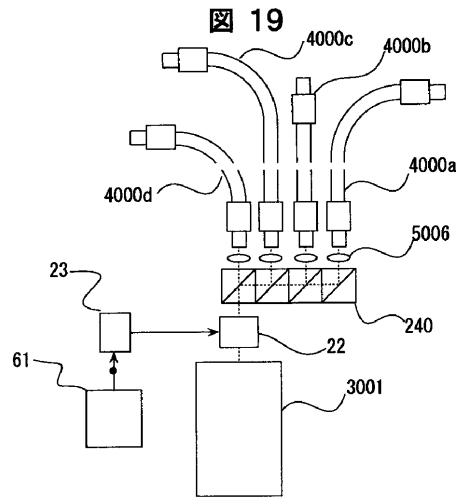
【 図 18 】



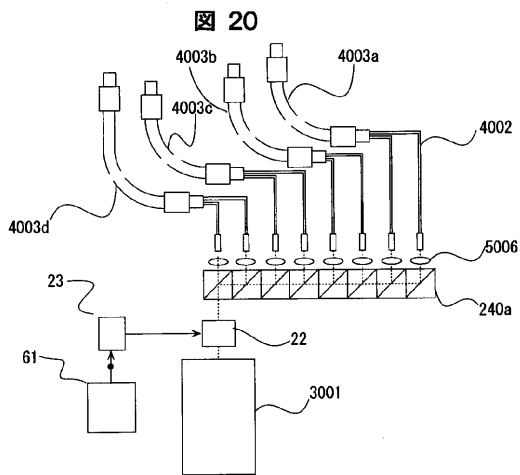
【 図 17 】



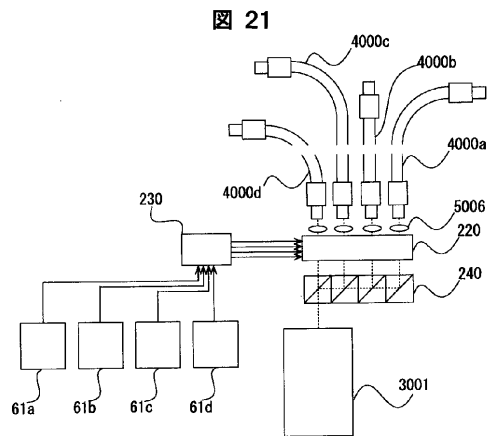
【 図 19 】



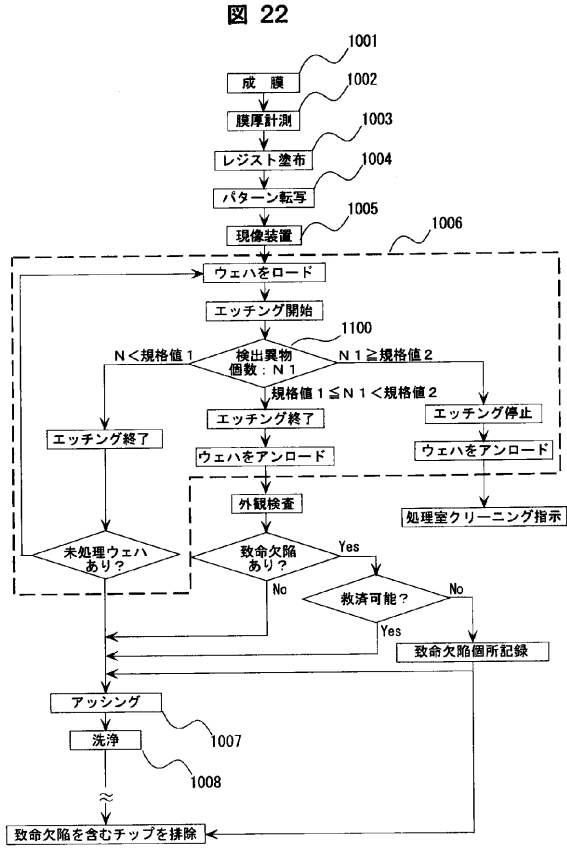
【 図 20 】



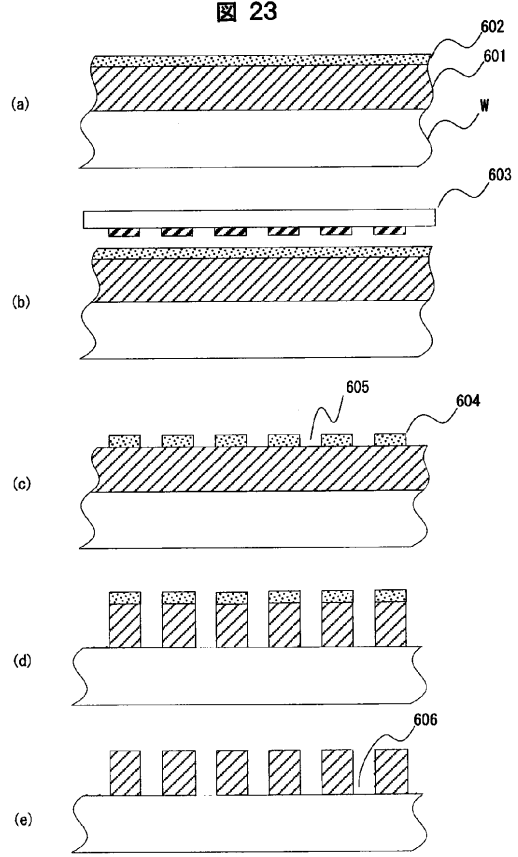
【 図 21 】



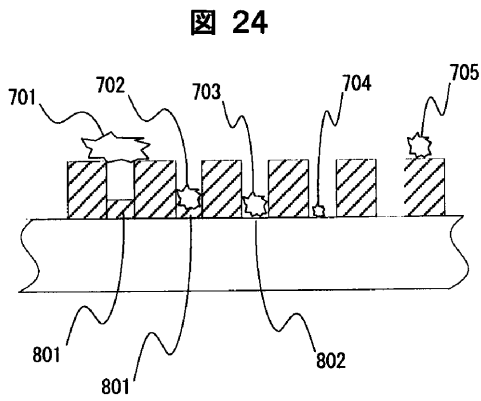
【 図 2 2 】



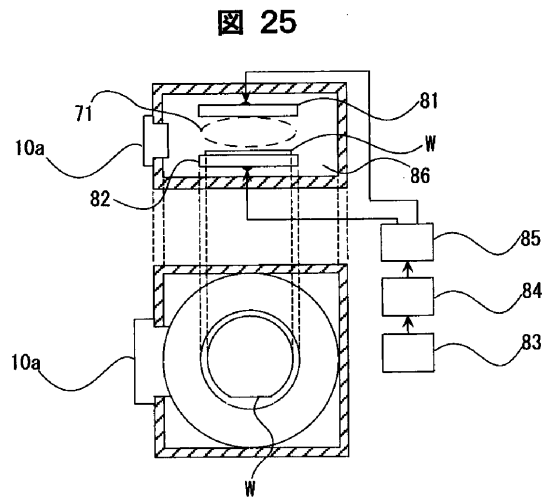
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 3 3 0 0 5 3 ( J P , A )  
特開平 0 5 - 3 1 5 0 9 5 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 1 4 8 5 4 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 2 0 8 4 4 8 ( J P , A )  
米国特許第 0 6 1 8 8 7 0 8 ( U S , B 1 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/3065  
G01N 21/94  
G01N 21/956