

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4497650号  
(P4497650)

(45) 発行日 平成22年7月7日 (2010.7.7)

(24) 登録日 平成22年4月23日 (2010.4.23)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/027 (2006.01)  
 GO 3 F 7/20 (2006.01)  
 HO 1 S 3/136 (2006.01)  
 HO 1 S 3/225 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 1 6 C  
 HO 1 L 21/30 5 0 2 G  
 HO 1 L 21/30 5 1 5 B  
 GO 3 F 7/20 5 0 2  
 GO 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 10 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-126502 (P2000-126502)  
 (22) 出願日 平成12年4月26日 (2000.4.26)  
 (65) 公開番号 特開2001-307997 (P2001-307997A)  
 (43) 公開日 平成13年11月2日 (2001.11.2)  
 審査請求日 平成19年4月25日 (2007.4.25)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100096965  
 弁理士 内尾 裕一  
 (72) 発明者 永井 善之  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ  
 ノン株式会社内  
 (72) 発明者 佐野 直人  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ  
 ノン株式会社内

審査官 秋田 将行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ発振装置、露光装置および半導体デバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長選択素子を駆動し、レーザ光の発振波長を変更する波長変更手段と、  
 前記レーザ光の発振休止前の発振デューティおよび発振休止時間を記憶する記憶手段と

、  
 前記レーザ光を再度発振した際のバースト先頭で発生する発振波長のエラー量を前記記憶手段に記憶された前記発振デューティおよび前記発振休止時間に基づいて算出する算出手段と、を有し、

前記波長変更手段は、前記算出手段で算出された前記エラー量に基づいて、前記バースト先頭から前記レーザ光の発振波長が所定の許容範囲内に入るように前記波長選択素子を駆動する

ことを特徴とするレーザ発振装置。

【請求項 2】

波長選択素子を駆動し、レーザ光の発振波長を変更する波長変更手段と、

前記レーザ光の発振波長が目標値になるように該レーザ光の該発振波長を変更した際のバースト先頭で発生する発振波長のエラー量を前記発振波長の変更量に基づいて算出する算出手段と、を有し、

前記波長変更手段は、前記算出手段で算出された前記エラー量に基づいて、前記バースト先頭から前記レーザ光の発振波長が前記目標値になるように前記波長選択素子を駆動する

10

20

ことを特徴とするレーザ発振装置。

【請求項 3】

前記レーザ光の発振波長の変更量にしきい値を設け、前記レーザ光の発振波長の変更量が前記しきい値を超えているか否かを判断し、その判断結果に基づいて波長ロック信号を出力することを特徴とする請求項 2 に記載のレーザ発振装置。

【請求項 4】

前記レーザ光の発振波長の変更量が前記しきい値を越えている場合には前記レーザ光の出力を停止することを特徴とする請求項 3 に記載のレーザ発振装置。

【請求項 5】

前記レーザ光の発振波長を変更する際には前記レーザ光の出力を停止しないことを特徴とする請求項 2 に記載のレーザ発振装置。

【請求項 6】

前記レーザ光の発振波長を変更する際には空打ちを行なわないことを特徴とする請求項 2 に記載のレーザ発振装置。

【請求項 7】

前記レーザ光はエキシマレーザ光であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 つに記載のレーザ発振装置。

【請求項 8】

請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 つに記載のレーザ発振装置を光源として用いることを特徴とする露光装置。

【請求項 9】

被露光基板上の所定の露光領域における露光が終了してから次の露光領域における露光が開始されるまでの間に、前記レーザ光の発振波長を変更することを特徴とする請求項 8 に記載の露光装置。

【請求項 10】

請求項 8 または 9 に記載の露光装置を用いて半導体デバイスを製造することを特徴とする半導体デバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えばレーザ光の発振波長の変更が可能なレーザ発振装置、それを用いた露光装置、およびその露光装置を用いる半導体デバイス製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

ステップ・アンド・リピート方式或いはステップ・アンド・スキャン方式の露光装置は半導体集積回路の製造工程において中心的役割を担っている。この露光装置はマスク或いはレチクル（以下、レチクルと呼ぶ）の回路パターンを投影レンズを介し、レジストが塗布された被露光基板（以下、ウエハと呼ぶ）面上に露光する。近年、半導体集積回路の集積度はますます高くなる傾向にあり、それに伴い、より短い波長の露光光を発する光源が必要になってきている。特に、レーザ発振装置の一種である希ガスハライドエキシマレーザ（以下、エキシマレーザと呼ぶ）が、紫外域高出力レーザとして注目を集めている。

【0003】

露光装置は通常クリーンルーム内で使用されており、天候の変化などによりクリーンルーム内の気圧が変化するのに伴い、露光光の屈折率が変化し、回路パターンの結像位置が変動してしまう。通常、露光装置用エキシマレーザは発振波長を変更することが可能であり、その可変範囲は 300 ～ 400 nm 程度である。露光光の屈折率は波長によって異なるため、例えばジョブ開始やウエハ交換などの適当なタイミングで、露光装置の使用環境における気圧を計測し、気圧の変化による結像位置の変動を相殺するように発振させるべき最適な発振波長を算出し、エキシマレーザの発振波長を所望の量だけ変更することで、露光装置の使用環境における気圧の変化に対応させている。

## 【 0 0 0 4 】

このような露光装置では、図 1 2 に示すようなフローで露光が行なわれる。ジョブ開始（ステップ 9 0 1）後、例えばウエハロード時などのタイミングで投影レンズ近傍の気圧を計測し（ステップ 9 0 2）、露光装置の主制御部はステップ 9 0 3 でその気圧を基に露光に最適な発振波長（発振波長目標値）を算出し、ステップ 9 0 4 でその発振波長目標値がエキシマレーザの制御部に送信され、ステップ 9 0 5 でエキシマレーザはエキシマレーザ出射口部に設けられたシャッタを閉じ、ステップ 9 0 6 でパルス光を発振させた状態で空打ちを行ない、発振波長をエキシマレーザ内部の光計測部で監視しながら波長変更手段を用いて発振波長を変更し、ステップ 9 0 7 で発振波長が発振波長目標値から所定の許容範囲内に入ったか否かを判断する。発振波長が所定の許容範囲に入らなかった場合、エキシマレーザはエラー状態となり、発振を停止する（ステップ 9 0 8）。発振波長が所定の許容範囲内に入った場合、ステップ 9 0 9 でそれを知らせる波長ロック信号 ON を露光装置側に送信し、シャッタを開け、ステップ 9 1 0 で露光装置側からの発光信号に応じて露光を開始する。露光終了後ウエハアンロードをし（ステップ 9 1 1）、次のウエハを露光するか判断し（ステップ 9 1 2）、次のウエハを露光しない場合はジョブ終了とし（ステップ 9 1 3）、次のウエハを露光する場合はステップ 9 0 2 へ戻る。

10

## 【 0 0 0 5 】

## 【発明が解決しようとする課題】

ところが従来例では発振波長を変更する毎に、変更後の発振波長が目標値になったか否かを確認するために、シャッタを閉じて空打ちを行なう必要があり、シャッタの開閉および空打ちに費やす時間だけ露光装置の生産性を低下させてしまっていた。

20

## 【 0 0 0 6 】

本発明はこのような点を考慮してなされたものであり、このレーザ発振装置を露光装置用光源として使用する際には、露光装置の生産性の低下を招くことなく、常に良好な回路パターンを露光する露光装置、および半導体デバイス製造方法を提供することを目的とする。

## 【 0 0 0 7 】

## 【課題を解決するための手段】

上述の目的を達成するために、本発明の一側面としてのレーザ発振装置は、波長選択素子を駆動し、レーザ光の発振波長を変更する波長変更手段と、前記レーザ光の発振休止前の発振デューティおよび発振休止時間を記憶する記憶手段と、前記レーザ光を再度発振した際のバースト先頭で発生する発振波長のエラー量を前記記憶手段に記憶された前記発振デューティおよび前記発振休止時間に基づいて算出する算出手段と、を有し、前記波長変更手段は、前記算出手段で算出された前記エラー量に基づいて、前記バースト先頭から前記レーザ光の発振波長が所定の許容範囲内に入るように前記波長選択素子を駆動することを特徴とする。

30

また、本発明の別の側面としてのレーザ発振装置は、波長選択素子を駆動し、レーザ光の発振波長を変更する波長変更手段と、前記レーザ光の発振波長が目標値になるように該レーザ光の該発振波長を変更した際のバースト先頭で発生する発振波長のエラー量を前記発振波長の変更量に基づいて算出する算出手段と、を有し、前記波長変更手段は、前記算出手段で算出された前記エラー量に基づいて、前記バースト先頭から前記レーザ光の発振波長が前記目標値になるように前記波長選択素子を駆動することを特徴とする。

40

## 【 0 0 0 8 】

更にレーザ発振を始めた直後もしくはバースト発振させた場合のバースト先頭から数十・数百パルスのレーザ光の波長は不安定で波長がドリフトしており、そのドリフトの量はレーザの発振履歴やレーザ発振装置内部にある波長計測部内部の環境によって変化することが本発明の発明者らの実験により明らかになった。発振履歴としては、波長の変更幅、発振中止してからの経過時間、発振デューティ（発振時間 / 休止時間の比率）など、波長計測部内部の環境としては気圧、温度などを挙げることができる。このため本発明のレーザ発振装置では、レーザ発振装置内部にレーザ光の発振履歴を記憶する発振履歴記憶手段お

50

よび波長計測部内部の環境を計測する波長計測部内環境計測手段のうち一つまたは両方を持ち、発振履歴記憶手段に記録されている発振履歴および前記波長計測部内環境計測手段による計測結果のうち少なくとも一つを用いてレーザ発振装置内部の波長計測部のドリフト量を計算し、その計算結果を考慮して目標波長から所定の許容範囲内の波長で発振させるように波長調整手段を駆動制御することがより好ましい。

#### 【 0 0 0 9 】

更に、レーザ発振を休止していた時間が長い場合や波長の変更量が非常に大きい場合には発振開始直後の波長を所望の範囲内に調整することが困難であり、レーザ発振装置が所望の許容範囲の波長で正常に発振しているかの判断も困難となるおそれもあるため、本発明に係るレーザ発振装置の望ましい形態では、発振波長が所定の許容範囲内で発振しているか否かを判断する信号を送信する波長ロック信号送信機能を持ち、発振波長の変更量もしくは発振中止してからの経過時間のうち一つまたは両方にしきい値を設け、上記波長ロック信号の状態はそのしきい値により判断される。

10

#### 【 0 0 1 0 】

また、本発明に係る露光装置では、本発明のレーザ発振装置を光源として用いることにより、波長が所定の許容範囲内に入ったか否かの確認のための空打ちを実行することなく露光を開始する事を特徴とする。もし波長の変更量や発振休止時間が非常に大きい場合や、その他の何らかの理由で波長が所定の許容範囲内に入らない場合は、レーザ発振装置は、波長が所定の範囲内に調整されているか調整されていないかを判断する波長ロック信号を出力として持ち、露光装置はガスレーザ発振装置が波長ロック信号に基づいて空打ちを行うか行わないかの判断をする。本発明の露光装置では、波長変更のタイミングは或る一枚のウエハ交換時以外にも或る露光領域への露光が完了した後、次に露光する領域を露光する前に行っても良い。

20

#### 【 0 0 1 1 】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図に示した実施例に基づいて本発明の実施の形態を詳細に説明する。

図 1 は本発明に係る露光装置の一実施例を示す構成図である。この図において、1 は一般にステッパ（またはスキャナ）と呼ばれている周知のステップ・アンド・リピート（またはステップ・アンド・スキャン）方式の露光装置本体部、2 はエキシマレーザを利用したレーザ光源であり、エキシマレーザとしては例えば Kr F（波長 248 nm）エキシマレーザ、Ar F（波長 193 nm）エキシマレーザ等がある。

30

#### 【 0 0 1 2 】

この露光装置本体部 1 は、レーザ光源 2 からレーザ光（ビーム）の光路に沿って、光源 2 からのレーザ光の断面を所望の形状にするためのビーム整形光学系 3、レーザ光の強度を調整するための可変 ND フィルタ 4、レチクル 12 面上での照度を均一化させるためにレーザ光を分割して重ねるオプティカルインテグレータ 5、オプティカルインテグレータ 5 を介したレーザ光を集光するコンデンサレンズ 6、コンデンサレンズ 6 からのレーザ光の一部を光検出器 8 に導くためのビームスプリッタ 7、コンデンサレンズ 6 によってレーザ光が集光される位置の近傍に配置され、レチクル 12 の面上でレーザ光が照射される範囲を規制するマスキングブレード 9、マスキングブレード 9 の像をレチクル 12 上に結像する結像レンズ 10、およびレーザ光の光路を投影レンズ 13 の方向に向けるためのミラー 11 等が設けられて構成されている。

40

#### 【 0 0 1 3 】

かかる光学要素を含む照明光学系を通過してきたレーザ光源 2 からのレーザ光によってレチクル 12 は照明され、これによりレチクル 12 上のパターンは、投影光学系としての投影レンズ 13 を介して基板としてのウエハ 14 上の複数のショット領域の一つに、例えば 1/2 ~ 1/10 に縮小されて投影露光（転写）される。ウエハ 14 は不図示の移動ステージによって投影レンズ 13 の光軸に垂直な面に沿って 2 次元的に移動され、露光ショット領域の露光が終了する毎に次の露光ショット領域が投影レンズ 13 によってレチクル 12 のパターンが投影される位置に移動される。

50

## 【 0 0 1 4 】

15は気圧計であり、これは所定の時間間隔で露光装置内部の気圧を計測するものである。その計測値は露光装置本体部1の主制御部16に送信され、主制御部16はそのときに最適なレーザ光の発振波長（発振波長目標値）を算出し、例えば所定の露光領域における露光が終了してから次の露光領域における露光が開始されるまでの間などのタイミングでレーザ光源2に発振波長目標値信号を送信する。また主制御部16では、レーザ光源2に発光させるためのトリガ信号を送信するとともに、光検出器8で検出されたレーザ光の強度に応じて光電変換処理を行い、それを積算し、露光量制御信号を求め、これをレーザ光源2に送信する。レーザ光源2はこれらの発振波長目標値信号、トリガ信号、露光量制御信号に基づいてレーザ光源2内のユニットを制御する。

10

## 【 0 0 1 5 】

またレーザ光源2からは、主制御部16に波長ロック信号を送信する。この信号は、実際に発振している波長が発振波長目標値から所定の許容範囲内に入っている場合には波長ロック信号ONとし、そうでない場合は波長ロック信号OFFとなる。波長ロック信号ONの場合、発振波長は目標値に対して所定の許容範囲内であるため、レーザ光源2内のシャッタの開閉動作や空打ちを行わず直ちにウエハへの露光を開始できる。波長ロック信号OFFの場合は、主制御部16はウエハ14への露光を実施せず、レーザ光源2の出射口部にあるシャッタを閉じて、発振波長を所定の許容範囲内に入れるために空打ちを行い、所定の許容範囲内に入った後にシャッタを開け、再度露光を開始することができる。

## 【 0 0 1 6 】

図2は図1に示すレーザ光源2の一例であるエキシマレーザ内部の概略を示す図である。露光装置本体の主制御部16から送信された発振波長目標値信号、トリガ信号、露光量制御信号はレーザ制御部201で受信される。レーザ制御部201は高電圧信号を高圧電源202に送信するとともにレーザを発光させるタイミングでトリガ信号を圧縮回路203に送信する。またレーザ制御部201は発振波長目標値信号を波長制御部204に送信する。レーザチャンバ205内には放電電極205A、205Bが設けられており、圧縮回路203により10～30kV程度の高電圧が印可されると放電電極205A、205B間で放電が発生し、レーザチャンバ205内に封入されているレーザガスを励起することでレーザ光を発振する。レーザチャンバ205の光射出部には不図示の出力ミラーが取り付けられている。レーザチャンバ205から発振されたレーザ光はビームスプリッタ206を透過してシャッタ207を通過して図1で示されているビーム整形光学系3へ出射されるとともに、一部のレーザ光はビームスプリッタ206で反射して光モニタ部208へ導入される。レーザ制御部201は図1中の主制御部16からの命令に従ってシャッタ207の開閉を行う。

20

30

## 【 0 0 1 7 】

光モニタ部208ではレーザ光のパルスエネルギー、発振波長を常時モニタしており、計測されたパルスエネルギーが露光量目標値に対して所望の値であるか否かを判断して、パルスエネルギーが所望の値よりも低い場合は放電電極205A、205Bへの印可電圧を上昇させる信号を、高い場合は印可電圧を降下させる信号をレーザ制御部201から高圧電源回路203に送信する。また波長制御部204はレーザ制御部201から送信された発振波長目標値と光モニタ部208にて計測された発振波長とを比較し、計測された発振波長が発振波長目標値に対して所定の許容範囲内にあるか否かを判断する。発振波長が所定の許容範囲内にある場合は、シャッタ207の開閉動作や空打ちを行わず直ちにウエハへの露光を開始できる。発振波長が所定の許容範囲内に入らない場合は、波長制御部204はレーザ制御部201を介して図1の主制御部16に波長ロック信号OFFを送信する。その後、目標値から外れている場合にはシャッタ207が閉じられ、波長制御部204は波長を所定の範囲に入るように調整する信号をステップモータ212に送信する。発振波長が発振波長目標値から所定の許容範囲内に入った時点で波長制御部204は波長ロック信号ONをレーザ制御部201を介して図1に示す主制御部16に送信し、シャッタ207は開かれる。

40

50

## 【 0 0 1 8 】

また、光モニタ部 2 0 8 内部には気圧計や温度計といった光モニタ部 2 0 8 の内部環境を計測する光モニタ部内部環境計測手段 2 1 0 が載置しており、この計測結果を基に光モニタ部 2 0 8 内部環境におけるレーザ光の屈折率などを算出することが可能である。この結果に基づいて光モニタ部 2 0 8 のドリフト量を算出し、光モニタ部 2 0 8 のドリフト量を補正することで、常時安定した発振波長のレーザ光を出力することができる。

## 【 0 0 1 9 】

狭帯域化モジュール 2 1 1 はレーザチャンバ 2 0 5 の光射出部にある不図示の出力ミラーと対になってレーザ共振器を構成しており、レーザ光のスペクトル線幅を半値全幅で約 1 p m 程度に狭帯域化するとともに、付随するステッピングモータ 2 1 2 を駆動させることによって狭帯域化モジュール 2 1 1 内部に内蔵されているグレーティングもしくはエタロンなどの波長選択素子を駆動し、発振波長を変更させることが可能である。このとき、この波長選択素子の駆動量は発振波長目標値に基づいて算出される。波長制御部 2 0 4 はレーザ制御部 2 0 1 から送信された発振波長目標値と光モニタ部 2 0 8 で計測された発振波長とを比較して、レーザ光の発振波長が所定の許容範囲内になるようステッピングモータ 2 1 2 に信号を送信しながら常時発振波長を制御している。また発振波長の発振波長目標値が再度変更された場合には、波長制御部 2 0 4 は、発振波長が変更された発振波長目標値と一致するようにステッピングモータ 2 1 2 を再度駆動させる。再度発振波長を変更する時には、波長制御部 2 0 4 は発振履歴記憶部 2 0 9 に記憶された発振履歴に基づいて、次に発振させるレーザ光の発振波長のドリフト量を予測算出し、その算出結果に基づいてステッピングモータ 2 1 2 を駆動させるようにする事がより好ましい。

## 【 0 0 2 0 】

以下に、本発明の発明者らが行った、エキシマレーザ発振装置の発振波長安定性の実験結果を示す。図 3 ( a ) は発振を終了してから再度発振させるまでの発振休止時間 a、b ( a < b ) における発振波長安定性を示すデータである。発振休止時間が大きい b の方が、休止後再度発振させてから数十パルス発振するまでの間で、発振目標値に対してエラー量が大きいことを示している。図 3 ( b ) は発振を終了してから再度発振させた場合において、発振休止時間を一定とした場合の、休止前の発振デューティ ( D u t y ) c、d ( c < d ) における発振波長安定性を示すデータである。休止前の発振デューティが高い d の方が、休止後再度発振させてから数十パルス発振するまでの間で、発振目標値に対してエラー量が大きいことを示している。図 3 ( c ) は発振を終了してから、再度発振させる時の発振波長の変更量 e、f ( e < f ) における発振波長安定性を示すデータである。発振波長の変更量が大きい f の方が、休止後再度発振させた直後で、発振目標値に対してエラー量が大きいことを示している。このように、レーザ光の発振開始直後の発振波長安定性は不安定であり、発振休止時間、発振デューティや発振波長の変更量に応じて、パースト先頭の数十～数百パルスにおいて、チャープニング ( C h i r p i n g ) と呼ばれる波長エラーのうねりが発生することが分かる。

## 【 0 0 2 1 】

本発明では、レーザ制御部 2 0 1 もしくは波長制御部 2 0 4 において、これら図 3 ( a )、( b ) および ( c ) で見られるようなパースト先頭で発生する発振波長のエラー量 ( ドリフト量 ) を予測算出し、このドリフト量を打ち消して常時レーザ光が所望の発振波長で発振するようにステッピングモータ 2 1 2 を補正制御する。

## 【 0 0 2 2 】

発振波長のドリフト量を予測算出する一例としては以下の式で近似的に表すことが可能である。

## 【 0 0 2 3 】

## 【 数 1 】

$$\Delta \lambda = F(\lambda_{exc.}) + A(1 - \exp(-Bt)) + C + D \quad (1)$$

ここに、 $\Delta \lambda$ ：発振波長のドリフト量

$F(\lambda_{exc.})$ ：発振波長の変更量に依存する波長量誤差

A、B：係数（発振デューティや発振波長などに依存する）

t：発振休止時間

C：チャープング

D：光モニタ部のドリフト量

10

#### 【0024】

(1)式で一般に $F(\lambda_{exc.})$ は発振波長の変更量 $\lambda_{exc.}$ が大きいほど大きい値となり、一例として図4に示すようになっている。チャープングはレーザチャンバ205内部の設計に依存するものである。レーザ発振装置の製造過程において、発振波長のドリフト量を実験的に求めて(1)式の $F(\lambda_{exc.})$ 、A、BおよびCを決定し、これをパラメータとして発振履歴記憶部209内部に記憶しておく。また、気圧計や温度計といった光モニタ部内部環境計測手段210による計測結果を基に光モニタ部208内の内部環境におけるレーザ光の屈折率を算出し、その算出結果を用いて光モニタ部208のドリフト量Dを求める。これらのパラメータを用いて(1)式から発振波長のドリフト量を算出し、バースト先頭から発振波長が所定の許容範囲内に入るように、波長制御部204はステッピングモータ212を駆動させ、発振波長を発振波長目標値に変更する。ここで、ステッピングモータ212に1パルス送信した場合の発振波長の変更量を $a$ (pm/パルス)とすると、発振波長を常時所望の許容範囲内にするために、波長制御部204はステッピングモータ212に $(\Delta \lambda_{target} - \lambda_{current}) / a$ (パルス)だけ送信すれば、常時所望の許容範囲内の波長で発振することが可能である。発振波長のドリフト量を求める工程は露光装置稼働中の非露光時に定期的に行っても良い。

20

#### 【0025】

また、発振終了後からの休止時間が大きいほど波長のドリフト量も大きい値となることが本発明の発明者らの実験により明らかになった。発振休止時間が或る量より大きいと発振開始直後のレーザ光の発振波長を所定の許容範囲内に制御することが困難となり、所望の露光性能が達成できない可能性がある。このため、レーザ制御部201もしくは波長制御部204内部に(1)式の $F(\lambda_{exc.})$ およびtの値にそれぞれ或るしきい値を設定しておき、 $F(\lambda_{exc.})$ またはtがこのしきい値よりも大きい場合は、その時点で波長ロック信号OFFを送信する。このしきい値よりも小さい場合は、波長ロック信号はONのまま、シャッタ207を開けたままの状態でも露光動作が可能である。波長ロック信号OFFの場合は、露光装置の主制御部16はレーザ光源2内部のシャッタ207を閉じ、レーザ光源2のレーザ制御部201は空打ちをしながら発振波長が所定の許容範囲内で発振できるよう、ステッピングモータ212を駆動させ、発振波長を調整する。発振波長が所定の許容範囲内に入った時点でレーザ制御部201は主制御部16に波長ロック信号ONを送信し、シャッタ207が開かれ、レーザ光源2外部へレーザ光が出力される。図3(d)はこれらの制御を用いた結果、バースト先頭を含めて、所望の発振波長で発振させることが可能になったことを示す図である。

30

40

#### 【0026】

以下、図5を用いて本発明による露光装置でのフローを説明する。露光装置のジョブが開始され(ステップ501)、まずウエハロードのタイミングで気圧計15は気圧を計測し(ステップ502)、主制御部16は発振波長目標値を算出し(ステップ503)、レーザ光源2に目標波長値を送信する(ステップ504)。ステップ505ではレーザ光源2の主制御部201は発振波長の変更量を算出し、ステップ506でレーザ光の空打ちを行わずにステッピングモータ212を駆動させ、所定の発振波長で発振できるように狭帯域化モジュール211内部にあるグレーティングもしくはエタロンなどの波長選択素子を調

50

整する。ここで、ステップ507において発振波長の変更量またはレーザ光の発振休止時間が或るしきい値を越えていないか判定し、しきい値を越えていない場合はシャッタ207の開閉動作や空打ちは行わず即露光を開始する。一方、しきい値を超えている場合には波長ロック信号OFFを送信し(ステップ508)、シャッタ207を閉じ、空打ちを行いながら発振波長が目標値に対して許容範囲内になるよう調整する(ステップ509)。発振波長が許容範囲内に入った時点でレーザ主制御部201は波長ロック信号ONを露光装置側の主制御部16に送信し、シャッタ207を開け(ステップ510)、露光装置本体の主制御部16からのトリガ信号により露光が開始される(ステップ512)。ステップ509において発振波長が許容範囲内に入らない場合は、レーザ発振装置はエラー状態となり停止する(ステップ511)。ウエハへの露光が終了しウエハがアンロードされた後(ステップ513)、引き続いて次のウエハを露光するか判断し(ステップ514)、次のウエハを露光する場合には、ステップ502に戻る。次のウエハを露光しない場合は、ジョブ終了(ステップ515)となる。

#### 【0027】

上記の例では発振波長の変更をウエハロードのタイミングで行なっていたが、ウエハ上の所定の露光領域への露光が終了してから次の露光領域への露光が開始されるまでの間に行っても良い。以下、図6を用いて、このときのフローについて説明する。ウエハへの露光がスタートし(ステップ601)、或る露光領域への露光が開始される(ステップ602)。露光中、レーザ光源2の波長制御部204は実際に発振されているレーザ光の発振波長安定性やエラー(実際に発振している波長と発振波長目標値との差)が所定の許容範囲内に入っているかを常時監視している(ステップ603)。許容範囲内に入っている限り露光は継続される(ステップ604)が、発振波長が不安定になり所定の許容範囲内に入らない場合には波長ロック信号OFFを送信し、露光を中断する(ステップ605)。ステップ606ではレーザ光源2のシャッタ207は閉じられ、空打ちを行いながら発振波長が許容範囲内になるよう調整される。許容範囲内になったところで、ステップ607において波長ロック信号ONが送信され、露光が再度開始される(ステップ604)。ステップ606で波長を許容範囲内になるよう調整できない場合はレーザ光源2はエラー状態となり、露光がストップする(ステップ608)。或る露光領域の露光が完了(ステップ609)した後、露光装置の主制御部16は次の露光領域を露光するかどうかを判断し(ステップ610)、露光する場合は、ステップ612において気圧計15の計測結果から新しい発振波長目標値が算出され、それをレーザ光源2に送信し、ステップ602へ戻って空打ちを行うことなく次の露光領域の露光が開始される。次の露光領域を露光しない場合は、そのウエハへの露光は終了し(ステップ611)、ウエハはアンロードされる。このようにウエハ上の所定の露光領域への露光が終了してから次の露光領域への露光が開始されるまでの間にレーザ光の発振波長を変更することで、ウエハの大口径化という近年の傾向に伴い、ウエハ1枚の露光所要時間が長くなり、ウエハ上の全露光領域に対し、最適な発振波長で露光できなくなるという問題を解決することができる。

#### 【0028】

(半導体生産システムの実施例)

次に、本発明に係る装置を用いた半導体デバイス(ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等)の生産システムの例を説明する。これは半導体製造工場に設置された製造装置のトラブル対応や定期メンテナンス、あるいはソフトウェア提供などの保守サービスを、製造工場外のコンピュータネットワークを利用して行うものである。

#### 【0029】

図7は全体システムをある角度から切り出して表現したものである。図中、101は半導体デバイスの製造装置を提供するベンダ(装置供給メーカ)の事業所である。製造装置の実例としては、半導体製造工場で使用する各種プロセス用の半導体製造装置、例えば、前工程用機器(露光装置、レジスト処理装置、エッチング装置等のリソグラフィ装置、熱処理装置、成膜装置、平坦化装置等)や後工程用機器(組立て装置、検査装置等)を想定し

10

20

30

40

50



ている。事業所 101 内には、製造装置の保守データベースを提供するホスト管理システム 108、複数の操作端末コンピュータ 110、これらを結んでイントラネット等を構築するローカルエリアネットワーク (LAN) 109 を備える。ホスト管理システム 108 は、LAN 109 を事業所の外部ネットワークであるインターネット 105 に接続するためのゲートウェイと、外部からのアクセスを制限するセキュリティ機能を備える。

#### 【0030】

一方、102\_104 は、製造装置のユーザとしての半導体製造メーカーの製造工場である。製造工場 102\_104 は、互いに異なるメーカーに属する工場であっても良いし、同一のメーカーに属する工場 (例えば、前工程用の工場、後工程用の工場等) であっても良い。各工場 102\_104 内には、夫々、複数の製造装置 106 と、それらを結んでイントラネット等を構築するローカルエリアネットワーク (LAN) 111 と、各製造装置 106 の稼動状況を監視する監視装置としてホスト管理システム 107 とが設けられている。各工場 102\_104 に設けられたホスト管理システム 107 は、各工場内の LAN 111 を工場の外部ネットワークであるインターネット 105 に接続するためのゲートウェイを備える。これにより各工場の LAN 111 からインターネット 105 を介してベンダ 101 側のホスト管理システム 108 にアクセスが可能となり、ホスト管理システム 108 のセキュリティ機能によって限られたユーザだけにアクセスが許可となっている。具体的には、インターネット 105 を介して、各製造装置 106 の稼動状況を示すステータス情報 (例えば、トラブルが発生した製造装置の症状) を工場側からベンダ側に通知する他、その通知に対応する応答情報 (例えば、トラブルに対する対処方法を指示する情報、対処用のソフトウェアやデータ) や、最新のソフトウェア、ヘルプ情報などの保守情報をベンダ側から受け取ることができる。各工場 102\_104 とベンダ 101 との間のデータ通信および各工場内の LAN 111 でのデータ通信には、インターネットで一般的に使用されている通信プロトコル (TCP/IP) が使用される。なお、工場外の外部ネットワークとしてインターネットを利用する代わりに、第三者からのアクセスができずにセキュリティの高い専用線ネットワーク (ISDN など) を利用することもできる。また、ホスト管理システムはベンダが提供するものに限らずユーザがデータベースを構築して外部ネットワーク上に置き、ユーザの複数の工場から該データベースへのアクセスを許可するようにしてもよい。

#### 【0031】

さて、図 8 は本実施形態の全体システムを図 7 とは別の角度から切り出して表現した概念図である。先の例ではそれぞれが製造装置を備えた複数のユーザ工場と、該製造装置のベンダの管理システムとを外部ネットワークで接続して、該外部ネットワークを介して各工場の生産管理や少なくとも 1 台の製造装置の情報をデータ通信するものであった。これに対し本例は、複数のベンダの製造装置を備えた工場と、該複数の製造装置のそれぞれのベンダの管理システムとを工場外の外部ネットワークで接続して、各製造装置の保守情報をデータ通信するものである。図中、301 は製造装置ユーザ (半導体デバイス製造メーカー) の製造工場であり、工場の製造ラインには各種プロセスを行う製造装置、ここでは例として露光装置 302、レジスト処理装置 303、成膜処理装置 304 が導入されている。なお図 8 では製造工場 301 は 1 つだけ描いているが、実際は複数の工場が同様にネットワーク化されている。工場内の各装置は LAN 306 で接続されてイントラネットを構成し、ホスト管理システム 305 で製造ラインの稼動管理がされている。

#### 【0032】

一方、露光装置メーカー 310、レジスト処理装置メーカー 320、成膜装置メーカー 330 などベンダ (装置供給メーカー) の各事業所には、それぞれ供給した機器の遠隔保守を行うためのホスト管理システム 311、321、331 を備え、これらは上述したように保守データベースと外部ネットワークのゲートウェイを備える。ユーザの製造工場内の各装置を管理するホスト管理システム 305 と、各装置のベンダの管理システム 311、321、331 とは、外部ネットワーク 300 であるインターネットもしくは専用線ネットワークによって接続されている。このシステムにおいて、製造ラインの一連の製造機器の中のど

れかにトラブルが起きると、製造ラインの稼動が休止してしまうが、トラブルが起きた機器のベンダからインターネット300を介した遠隔保守を受けることで迅速な対応が可能で、製造ラインの休止を最小限に抑えることができる。

#### 【0033】

半導体製造工場に設置された各製造装置はそれぞれ、ディスプレイと、ネットワークインタフェースと、記憶装置にストアされたネットワークアクセス用ソフトウェアならびに装置動作のソフトウェアを実行するコンピュータを備える。

#### 【0034】

記憶装置としては内蔵メモリやハードディスク、あるいはネットワークファイルサーバーなどである。上記ネットワークアクセス用ソフトウェアは、専用又は汎用のウェブブラウザを含み、例えば図9に一例を示す様な画面のユーザインタフェースをディスプレイ上に提供する。各工場で製造装置を管理するオペレータは、画面を参照しながら、製造装置の機種401、シリアルナンバー402、トラブルの件名403、発生日404、緊急度405、症状406、対処法407、経過408等の情報を画面上の入力項目に入力する。入力された情報はインターネットを介して保守データベースに送信され、その結果の適切な保守情報が保守データベースから返信されディスプレイ上に提示される。またウェブブラウザが提供するユーザインタフェースはさらに図示のごとくハイパーリンク機能410\_412を実現し、オペレータは各項目の更に詳細な情報にアクセスしたり、ベンダが提供するソフトウェアライブラリから製造装置に使用する最新バージョンのソフトウェアを引出したり、工場のオペレータの参考に供する操作ガイド（ヘルプ情報）を引出したりすることができる。ここで、保守データベースが提供する保守情報には、上記説明した本発明に関する情報も含まれ、また前記ソフトウェアライブラリは本発明を実現するための最新のソフトウェアも提供する。

#### 【0035】

次に上記説明した生産システムを利用した半導体デバイスの製造プロセスを説明する。図10は半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の組立て工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これを出荷（ステップ7）する。前工程と後工程はそれぞれ専用の別の工場で行い、これらの工場毎に上記説明した遠隔保守システムによって保守がなされる。また前工程工場と後工程工場との間でも、インターネットまたは専用線ネットワークを介して生産管理や装置保守のための情報がデータ通信される。

#### 【0036】

図11は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す図である。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を成膜する。ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。

#### 【0037】

ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では上記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、

ウエハ上に多重に回路パターンを形成する。各工程で使用する製造機器は上記説明した遠隔保守システムによって保守がなされているので、トラブルを未然に防ぐと共に、もしトラブルが発生しても迅速な復旧が可能で、従来に比べて半導体デバイスの生産性を向上させることができる。

【 0 0 3 8 】

【発明の効果】

以上、本発明によれば、レーザ発振装置を光源として使用する露光装置において、露光装置の生産性の低下を招くことなく、常に良好な回路パターンを露光することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る露光装置の一実施例を示す構成図である。

10

【図 2】 本発明に係るレーザ発振装置の一実施例を示す図構成である。

【図 3】 (a) ~ (c) はレーザ発振装置による、発振波長安定性の実験結果を示す図であって、(a) は発振休止時間を変化させた場合であり、(b) は発振休止時間を固定し、発振デューティを変化させた場合であり、(c) は発振波長の変更量を変化させた場合の図である。また、(d) は本発明に係るレーザ発振装置による発振波長安定性を示す図である。

【図 4】 発振波長の変更量に依存するレーザ発振開始時の波長誤差量の一例を表す図である。

【図 5】 本発明に係る露光装置による、ジョブ開始から終了までのフローを示す図である。

20

【図 6】 本発明に係る露光装置による、ウエハ上の所定の露光領域への露光が終了してから次の露光領域への露光が開始されるまでの間に発振波長を変更する場合のフローを示す図である。

【図 7】 本発明に係る装置を用いた半導体デバイスの生産システムをある角度から見た概念図である。

【図 8】 本発明に係る装置を用いた半導体デバイスの生産システムを別の角度から見た概念図である。

【図 9】 ユーザインタフェースの具体例である。

【図 10】 デバイスの製造プロセスのフローを説明する図である。

【図 11】 ウエハプロセスを説明する図である。

30

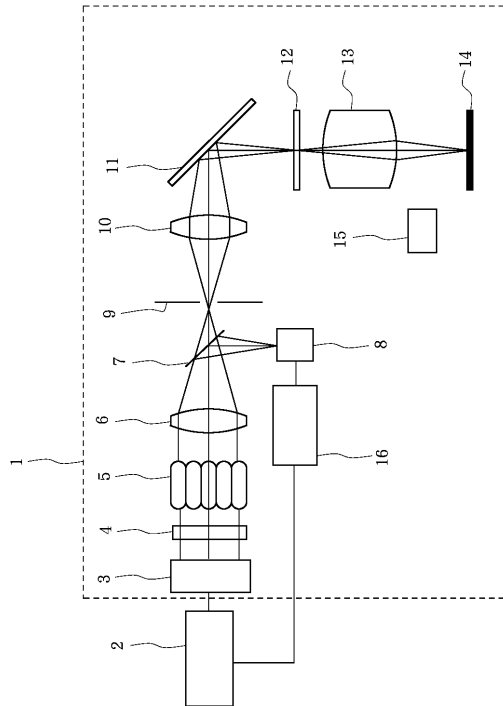
【図 12】 従来の技術による、ジョブ開始から終了までのフローを示す図である。

【符号の説明】

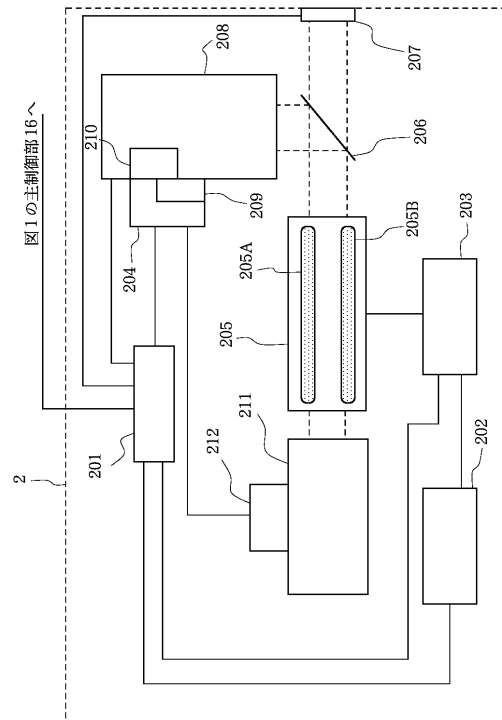
1 : 露光装置本体部、2 : レーザ光源、3 : ビーム整形光学系、4 : ND フィルタ、5 : オプティカルインテグレータ、6 : コンデンサレンズ、7 : ビームスプリッタ、8 : 光検出器、9 : マスキングブレード、10 : 結像レンズ、11 : ミラー、12 : レチクル、13 : 投影レンズ、14 : ウエハ、15 : 気圧計、16 : 主制御部、201 : レーザ制御部、202 : 高圧電源、203 : 圧縮回路、204 : 波長制御部、205 : レーザチャンバ、205A, 205B : 放電電極、206 : ビームスプリッタ、207 : シャッタ、208 : 光モニタ部、209 : 発振履歴記憶部、210 : 光モニタ部内部環境計測手段、211 : 狭帯域化モジュール、212 : ステッピングモータ。

40

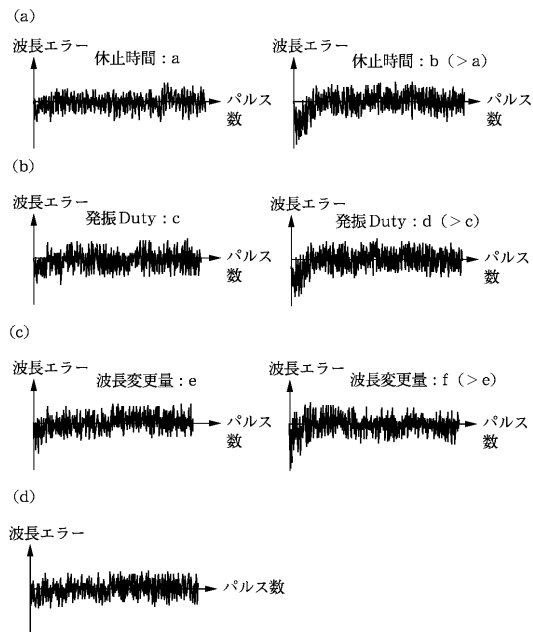
【図 1】



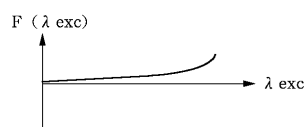
【図 2】



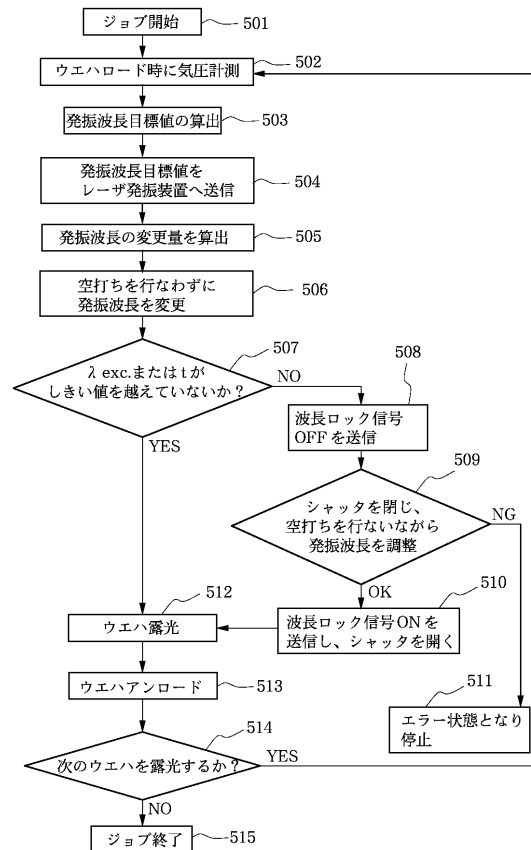
【図 3】



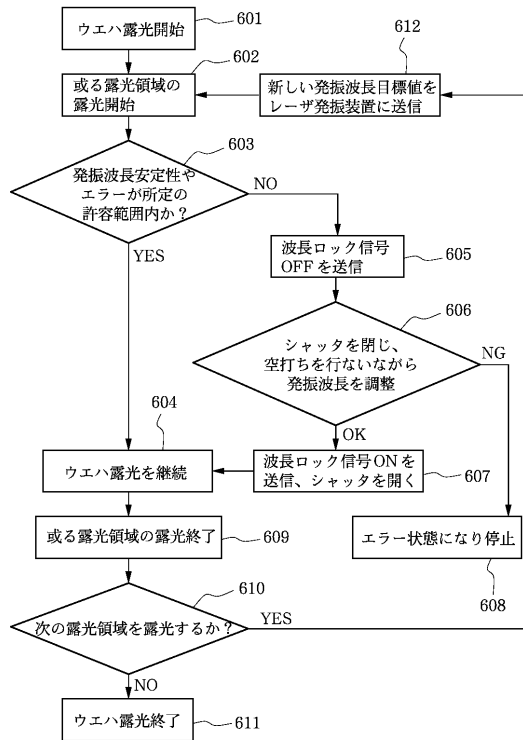
【図 4】



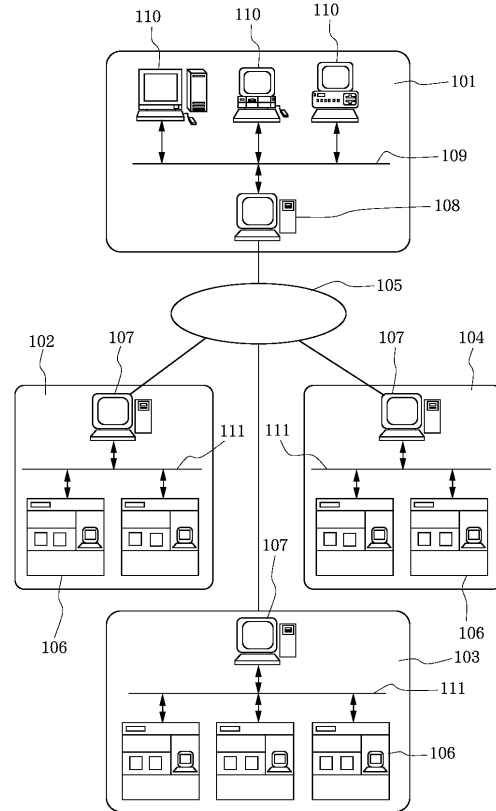
【図 5】



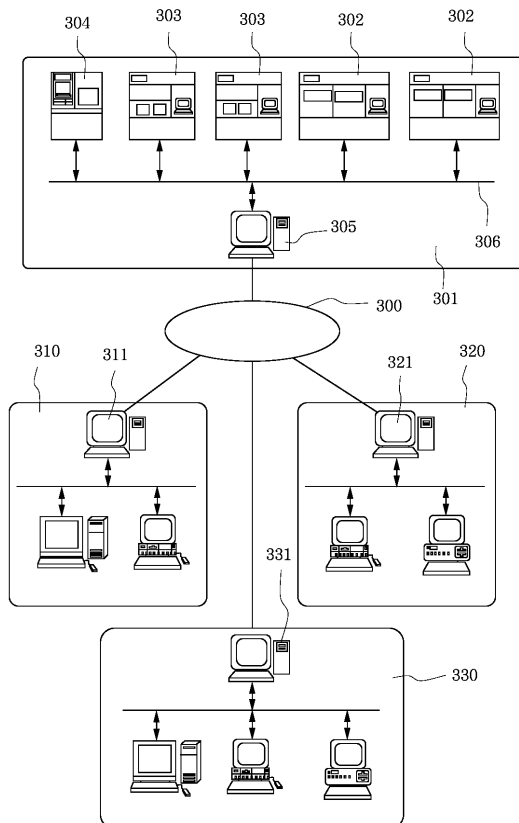
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

URL:

トラブルDB入力画面

発生日  404

機種  401

件名  403

機器S/N  402

緊急度  405

症状  406

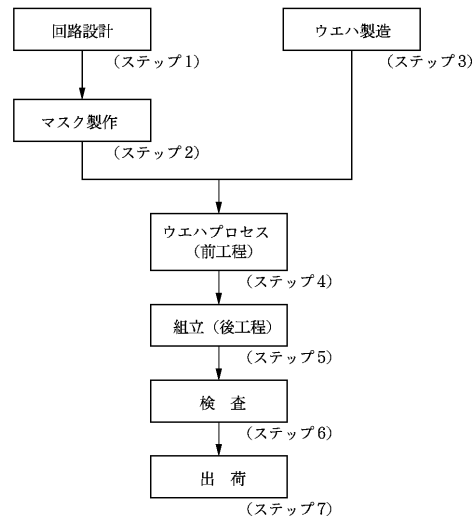
対処法  407

経過  408

410

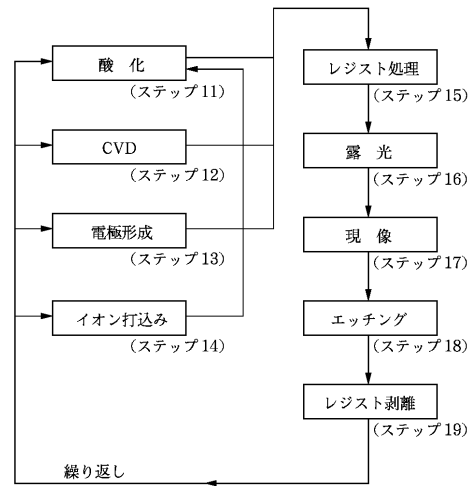
411 412

【図 10】



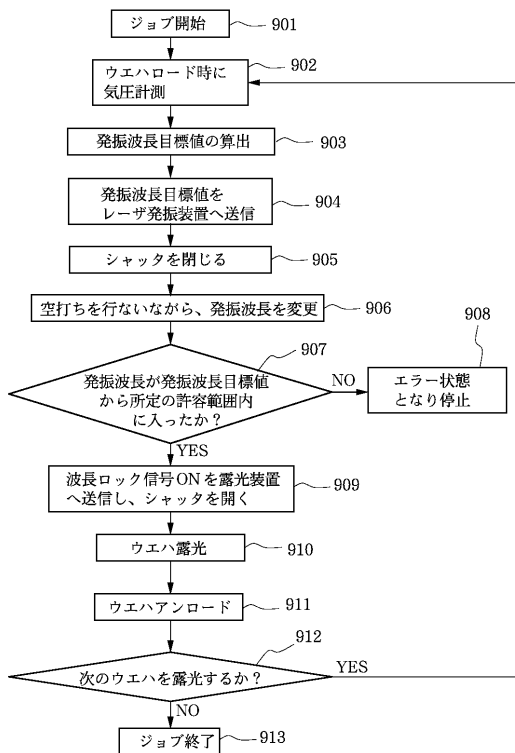
半導体デバイス製造フロー

【図 11】



ウエハプロセス

【図 12】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 1 S 3/136  
H 0 1 S 3/223 E

(56)参考文献 特開平 1 - 1 9 1 4 8 9 ( J P , A )  
特開平 2 - 0 3 9 5 8 1 ( J P , A )  
特開平 4 - 2 2 3 3 8 6 ( J P , A )  
特開平 5 - 1 3 8 6 2 ( J P , A )  
特開平 5 - 3 1 2 6 4 6 ( J P , A )  
特開平 7 - 1 0 6 6 7 8 ( J P , A )  
特開平 8 - 2 7 4 3 9 9 ( J P , A )  
特開平 8 - 3 0 5 0 3 4 ( J P , A )  
特開平 9 - 7 9 2 7 ( J P , A )  
特開平 9 - 8 3 9 2 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 1 7 3 2 7 4 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 0 9 7 7 6 8 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 1 9 6 6 7 9 ( J P , A )  
特表 2 0 0 2 - 5 2 5 8 5 6 ( J P , A )  
国際公開第 8 9 / 0 0 7 3 5 3 ( W O , A 1 )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/027

G03F 7/20

H01S 3/136