

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第3681523号
(P3681523)

(45) 発行日 平成17年8月10日(2005.8.10)

(24) 登録日 平成17年5月27日(2005.5.27)

(51) Int. Cl. ⁷	F I
HO 1 L 21/66	HO 1 L 21/66 L
HO 1 L 21/265	HO 1 L 21/66 Y
HO 1 L 21/3065	HO 1 L 21/265 F
	HO 1 L 21/302 1 O 3

請求項の数 40 (全 47 頁)

(21) 出願番号	特願平9-303808	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成9年11月6日(1997.11.6)		松下電器産業株式会社
(65) 公開番号	特開平11-87448		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成11年3月30日(1999.3.30)	(74) 代理人	100077931
審査請求日	平成13年6月14日(2001.6.14)		弁理士 前田 弘
(31) 優先権主張番号	特願平8-296592	(74) 代理人	100094134
(32) 優先日	平成8年11月8日(1996.11.8)		弁理士 小山 廣毅
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100107445
(31) 優先権主張番号	特願平8-350612		弁理士 小根田 一郎
(32) 優先日	平成8年12月27日(1996.12.27)	(72) 発明者	江利口 浩二
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平9-15382	(72) 発明者	山田 隆順
(32) 優先日	平成9年1月29日(1997.1.29)		大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学的評価装置、光学的評価方法、半導体装置の製造装置、半導体装置の製造装置の管理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

チャンバー内で半導体領域を有する基板に処理を施す際に使用される光学的評価装置であって、

励起光を生成する第1の光源と、

測定光を生成する第2の光源と、

上記第1の光源で生成された励起光を、上記チャンバー内の半導体基板の半導体領域に間欠的に照射させるための第1の光案内部材と、

上記第2の光源で生成された測定光を上記半導体領域に照射させるための第2の光案内部材と、

上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出するための反射率検出手段と、

上記半導体領域から反射された測定光を上記反射率検出手段に入射させるための第3の光案内部材と、

上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、

を備え、

上記第1の光源と第2の光源とは、上記励起光の波長と測定光との波長を含む波長の広スペクトル光を生成する単一の共通光源により構成されており、

上記共通光源で生成された広スペクトル光を励起光と測定光とに分離するビームスプリッターと、

上記半導体領域から反射される測定光を受けて、上記測定光を分光した後上記反射率検出手段に送る分光手段をさらに備え、

上記第 1 及び第 2 の光案内部材は、上記ビームスプリッターからの光を受ける位置に配置されている光学的评价装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光学的评价装置において、

上記第 2 の光案内部材は、上記測定光を上記基板の表面に垂直な方向から入射させるように構成されていることを特徴とする光学的评价装置。

10

【請求項 3】

請求項 2 記載の光学的评价装置において、

上記第 1 の光案内部材は、上記励起光を上記基板の表面に垂直な方向から入射させるように構成されていることを特徴とする光学的评价装置。

【請求項 4】

チャンバー内で半導体領域を有する基板に処理を施す際に使用される光学的评价装置であって、

励起光を生成する第 1 の光源と、

測定光を生成する第 2 の光源と、

上記第 1 の光源で生成された励起光を、上記チャンバー内の半導体基板の半導体領域に間欠的に照射させるための第 1 の光案内部材と、

20

上記第 2 の光源で生成された測定光を上記半導体領域に照射させるための第 2 の光案内部材と、

上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出するための反射率検出手段と、

上記半導体領域から反射された測定光を上記反射率検出手段に入射させるための第 3 の光案内部材と、

上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、

30

を備え、

上記変化演算手段は、上記測定光の反射率の変化割合のスペクトルにおいて極値を与える測定光の特定エネルギー値における測定光の反射率の変化割合のみ演算する光学的评价装置。

【請求項 5】

請求項 4 記載の光学的评价装置において、

上記測定光の特定のエネルギー値は、 $3.2 \sim 3.6$ eV の範囲に含まれるいずれかの値であることを特徴とする光学的评价装置。

【請求項 6】

基板の半導体領域上に形成された絶縁膜の電気的特性を評価するための光学的评价装置であって、

40

励起光を生成する第 1 の光源と、

測定光を生成する第 2 の光源と、

上記第 1 の光源で生成された励起光を、上記絶縁膜を通過させてその直下の半導体領域に間欠的に照射させるための第 1 の光案内部材と、

上記第 2 の光源で生成された測定光を、上記絶縁膜を通過させて上記励起光が間欠的に照射されている半導体領域に照射させるための第 2 の光案内部材と、

上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、

上記半導体領域から反射された測定光を上記反射率検出手段に入射させるための第 3 の光案内部材と、

50

上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除することにより、測定光の反射率の変化割合を演算する変化演算手段と、

上記測定光の反射率の変化割合の大小に基づき上記絶縁膜の電気的特性を評価する評価手段と

を備えている光学的評価装置。

【請求項 7】

請求項 6 記載の光学的評価装置において、

上記評価手段は、上記測定光の反射率の変化割合のスペクトルにおいて極値を与える測定光の特定エネルギー値における測定光の反射率の変化割合が、絶縁膜の適正な容量値に対応する値のときのみ良品と判定することを特徴とする光学的評価装置。 10

【請求項 8】

請求項 6 記載の光学的評価装置において、

上記測定光の特定のエネルギー値は、 $3.2 \sim 3.6 \text{ eV}$ の範囲に含まれるいずれかの値であることを特徴とする光学的評価装置。

【請求項 9】

請求項 6 から 8 のうちいずれか 1 つに記載の光学的評価装置において、

上記半導体領域から反射される測定光を受けて、上記測定光を分光した後上記反射率検出手段に送る分光手段をさらに備えていることを特徴とする光学的評価装置。 20

【請求項 10】

請求項 6 から 8 のうちいずれか 1 つに記載の光学的評価装置において、

上記半導体領域から反射される測定光を受けて、上記測定光の特定のエネルギー値に相当する波長範囲の測定光のみを透過させて上記反射率検出手段に送るためのフィルターをさらに備えていることを特徴とする光学的評価装置。

【請求項 11】

請求項 6 記載の光学的評価装置において、

上記反射率検出手段は、 600 nm 以下の波長範囲の測定光の反射率を検出することを特徴とする光学的評価装置。

【請求項 12】

請求項 11 記載の光学的評価装置において、

上記反射率検出手段は、 $300 \sim 600 \text{ nm}$ の波長範囲の測定光の反射率を検出することを特徴とする光学的評価装置。 30

【請求項 13】

請求項 6 から 12 のうちいずれか 1 つに記載の光学的評価装置において、

エリプソメトリ分光器を利用して構成されていることを特徴とする光学的評価装置。

【請求項 14】

請求項 6 から 13 のうちいずれか 1 つに記載の光学的評価装置において、

半導体装置の酸化膜の形成に使用されるチャンバに取り付けられていることを特徴とする光学的評価装置。 40

【請求項 15】

請求項 6 記載の光学的評価装置において、

上記第 2 の光源は X e ランプであることを特徴とする光学的評価装置。

【請求項 16】

請求項 6 記載の光学的評価装置において、

上記第 1 の光源は A r イオンレーザあるいは H e - N e レーザであることを特徴とする光学的評価装置。

【請求項 17】

請求項 6 から 16 のうちいずれか 1 つに記載の光学的評価装置において、

上記第 1 の光案内部材は、上記励起光を 1 kHz 以下の周波数で間欠的に照射するよう 50

に構成されていることを特徴とする光学的評価装置。

【請求項 18】

半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、
上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、
上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、
上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、
上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、
上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、
上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段とを備え、

10

上記加工処理手段は、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングを行う半導体装置の製造装置。

【請求項 19】

半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、
上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、
上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、
上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、
上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、
上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、
上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段とを備え、

20

30

上記加工処理手段は、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングにより生じたダメージ層を除去するためのライトドライエッチングを行う半導体装置の製造装置。

【請求項 20】

半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、
上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、
上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、
上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、
上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、
上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、
上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段とを備え、

40

上記加工処理手段は、上記半導体領域の上に薄い絶縁膜を形成する半導体装置の製造装置。

50

【請求項 2 1】

半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、
上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、
上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第 1 の光供給手段と、

上記半導体領域に測定光を照射するための第 2 の光供給手段と、
上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、
上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、

10

上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段と
を備え、

上記半導体領域の上には薄い絶縁膜が形成されており、
上記加工処理手段は、上記半導体領域上の上記絶縁膜を除去するためのドライエッチングを行う半導体装置の製造装置。

【請求項 2 2】

チャンバー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法であって、

20

上記チャンバー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、
上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、
上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップと
を備え、

上記加工処理は、上記半導体領域のプラズマエッチング加工である光学的評価方法。

【請求項 2 3】

チャンバー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法であって、

30

上記チャンバー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、
上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、
上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップと
を備え、

上記加工処理は、上記半導体領域のプラズマエッチングにより生じたダメージ層を除去するためのライトドライエッチングである光学的評価方法。

【請求項 2 4】

チャンバー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法であって、

40

上記チャンバー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、
上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、
上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップと
を備え、

上記加工処理は、上記半導体領域の上における絶縁膜の形成である光学的評価方法。

【請求項 2 5】

チャンバー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価す

50

るための光学的評価方法であって、

上記チャンバー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、

上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、

上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップと

を備え、

上記加工処理は、上記半導体領域上の絶縁膜の除去するためのドライエッチングである光学的評価方法。

【請求項 26】

10

請求項 22 から 25 のうちいずれか一つに記載の光学的評価方法において、

上記測定光を照射するステップでは、上記測定光を上記基板の表面に垂直な方向から照射することを特徴とする光学的評価方法。

【請求項 27】

請求項 26 記載の光学的評価方法において、

上記励起光を照射するステップでは、上記励起光を上記基板の表面に垂直な方向から照射することを特徴とする光学的評価方法。

【請求項 28】

半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第 1 の光供給手段と、上記半導体領域に測定光を照射するための第 2 の光供給手段と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段とを備えた半導体装置の製造装置の管理方法であって、

20

上記半導体領域に測定光を照射する第 1 のステップと、

上記半導体領域に励起光を間欠的に照射する第 2 のステップと、

上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する第 3 のステップと、

上記第 3 のステップで演算された反射率の変化割合が所定値に達するまでの所定時間の間上記加工処理手段を作動させるように制御する第 4 のステップと、

30

上記第 4 のステップにおける上記所定時間を監視して、上記所定時間が限界値を超えると上記半導体装置の製造装置のメンテナンスを行うための信号を出力する第 5 のステップと

を備えていること特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 29】

請求項 28 記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記加工処理手段は、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングを行うことを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 30】

請求項 28 記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

40

上記加工処理手段は、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングにより生じたダメージ層を除去するためのドライエッチングを行うことを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 31】

請求項 28 記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記加工処理手段は、上記半導体領域に不純物を導入することを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 32】

請求項 28 記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記加工処理手段は、上記半導体領域にイオン注入を行った後のアニールを行うことを

50

特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 3 3】

請求項 2 8 記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記加工処理手段は、上記半導体領域の上に薄い絶縁膜を形成することを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 3 4】

請求項 2 8 記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記半導体領域上には薄い絶縁膜が形成されており、

上記加工処理手段は、上記半導体領域上の薄い絶縁膜を除去するためのドライエッチングを行うことを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

10

【請求項 3 5】

請求項 2 8 から 3 4 のうちいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記反射率検出手段は、600 nm 以下の波長範囲の測定光の反射率を検出することを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 3 6】

請求項 3 5 記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記反射率検出手段は、300 ~ 600 nm の波長範囲の測定光の反射率を検出することを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 3 7】

20

請求項 2 8 から 3 6 のうちいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記反射率の変化割合を演算するステップでは、測定光の反射率の変化割合のスペクトルの極値を与える測定光の特定エネルギー値における測定光の反射率の変化割合を演算することを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 3 8】

請求項 2 8 から 3 7 のうちいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記反射率検出手段は、光フィルターを用いて特定の波長の反射光の反射率を検出するように構成されていることを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

30

【請求項 3 9】

請求項 2 8 から 3 8 のうちいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記半導体領域は、n 型シリコンにより構成されていることを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

【請求項 4 0】

請求項 2 8 から 3 9 のうちいずれか 1 つに記載の半導体装置の製造装置の管理方法において、

上記励起光を照射するステップでは、上記励起光を 1 kHz 以下の周波数で間欠的に照射することを特徴とする半導体装置の製造装置の管理方法。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置の製造工程におけるインラインでの特性の評価に適した光学的評価装置、光学的評価方法、半導体装置の製造装置、半導体装置の製造装置の管理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体集積回路の高集積化が大きく進展してきており、MOS 型半導体装置においても、トランジスタ素子の微細化・高性能化が図られているが、特にトランジスタ素子

50

の微細化に伴って、信頼性の高いMOSデバイスの実現が必要となってきた。MOSデバイスの信頼性の向上のためには、MOSデバイスを構成する各部が高い信頼性を有することが必要である。

【0003】

かかるMOSデバイスの信頼性を左右する重要な部分として、例えばコンタクト窓の形成方法によって影響を受けるコンタクト部の信頼性が挙げられる。コンタクト窓の形成に使用されるドライエッチングによって生じる半導体基板のダメージ層は、ドライエッチング後のウェットエッチングによって除去されるが、その除去量を適正に判断するために、従来は、製品にはならないモニターウエハ等を用いてその電気的特性を測定することにより、当該ドライエッチング条件下で生じるダメージ層の深さ等を把握したり、この電気的特性の測定結果からダメージ層を除去するためのウェットエッチングの時間や温度等の条件を設定している。このようにして、従来の半導体装置の製造方法では、モニターウエハを用いて得られた電気的特性に基づいて、半導体装置の製造工程中の加工条件が適正になるように制御している。

10

【0004】

また、半導体デバイスの各要素を形成するためのプロセスの中でも、例えば不純物導入技術は半導体デバイスの動作特性を決定する重要な工程である。不純物導入は、イオン注入法つまりイオンを電界により加速して半導体基板や電極等の中に不純物イオンを注入させる方法が主流である。その際、通常、数10keVのエネルギーで不純物イオンを加速して半導体基板等の中にイオンを注入する。しかし、この不純物イオンの注入の結果、半導体基板等の表面層には結晶性の崩れたダメージ層が生じており、また、不純物がキャリアとして活性化されておらず、かつ不純物の濃度分布も所望の分布状態にはなっていない。そこで、不純物の活性化、ダメージの回復、プロファイルの最適化のために、イオン注入後に熱処理（アニール）を行っている。従来、このアニールプロセス時間、温度などは、設計（デバイスシミュレーション）や条件の最適化により決定されており、基本的には、経験に基づいたアニール条件設定がなされていた。特に、半導体基板の表面欠陥層の回復のためのアニール処理は、経験に基づいていた。

20

【0005】

次に、MOSデバイスに用いられるゲート絶縁膜に関しては、その薄膜化が急速に進み、21世紀には4nm以下の非常に薄い絶縁膜が用いられることが予想されている。このような極薄の絶縁膜を有するMOSデバイスにおいては、絶縁膜の特性がMOSデバイス全体の特性さらには半導体集積回路全体の電気特性を決定するといわれるほどであり、絶縁膜の特性がとりわけ重要視されている。

30

【0006】

かかるゲート絶縁膜の特性は、従来、MOSキャパシタあるいはMOSトランジスタを形成し、電気的特性の評価により管理されていた。かかる電気的特性の評価は、MOSデバイスの製造途中あるいはMOSデバイスの製造後に、MOSデバイスを搭載したウエハをチャンバから取り出して行われる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

40

ところで、上述のようなMOSデバイスの微細化等に伴い、以上のエッチング工程、不純物導入工程、ゲート絶縁膜形成工程において、上記従来のような評価方法では、以下のような問題があった。

【0008】

まず、エッチング工程においては、以下の問題がある。コンタクト窓の平面サイズ（横方向のサイズ）が縮小する一方、コンタクト窓の深さは浅くはならず、結果として、アスペクト比（＝深さ／横方向のサイズ）は増大している。そして、このような高いアスペクト比を有するコンタクト窓を形成するために、例えばドライエッチング工程では、高真空・高密度プラズマが利用されている。高真空・高密度プラズマプロセスでは、高いエネルギーを有し方向性の揃ったイオンを利用して、深いコンタクト窓の形成を実現している。

50

しかるに、高いエネルギーを有するイオンの衝撃により、従来のような比較的低真空・低密度プラズマによるドライエッチングによって生じる欠陥のレベルとは異なり、コンタクトの底において半導体結晶に生じるダメージ層の深さやダメージの度合いが大きくなってきている。また、マイクロ波領域の光（赤外線等）を使いダメージ層を評価する場合には、光自身がSi基板から1 μ m以上の深さまで進入するため、実際のプラズマによる数10 nmレベルのSi基板へのダメージを正確に評価することはできなかった。すなわち、今後のLSIの微細化に伴い薄く表層付近に形成されるダメージ層や極微小化された領域の評価に対して、正確な結果を与えることができなくなっている。

【0009】

したがって、従来の評価方法を用いるだけでは、ダメージ層を確実に除去したり、ダメージ層を制御よく除去することが困難となっている。

【0010】

次に、不純物導入工程やアニール工程においては、以下の問題がある。半導体デバイス中の各要素が微細化され、微少領域での不純物導入とプロファイル制御の重要性が増す中で、上記従来のような経験に基づいたアニール条件設定では、しばしば、最適なプロファイルが得られない結果や、半導体基板内に欠陥が残留した状態で処理を終えるトラブルが発生していた。また、所望の半導体デバイス開発期間の短縮が切望される中で、従来のような処理 解析 処理 解析の手順によるアニール条件の最適化を行っているのでは、開発効率が著しく低下してしまう。そこで、最近になって、アニール処理プロセスのその場観察技術によるプロセス制御技術が切望されてきた。また、枚葉式の熱処理装置を用いて熱処理を行う際には、従来のバッチ式とは異なり、熱処理装置の特性のバラツキや経時変化により、ウエハ間における熱処理量の微妙なバラツキが発生してきた。さらに、不純物導入時の実際のドーズ量と、熱処理後に基板内に導入されている実効的な不純物濃度を正確に把握することが困難であった。

【0011】

ゲート絶縁膜の形成工程においては、以下の問題がある。上記従来のような電気的特性の評価によってゲート絶縁膜の特性を管理する場合、MOSデバイスの製造中に、かりに絶縁膜形成プロセスでなんらかの不具合が発生した場合であっても、プロセスが終了してからウエハをチャンバから取りだし、電気的特性の評価を行って初めて不具合が発見されるだけである。したがって、それまでの間、不具合のあるゲート絶縁膜が形成され続けることになり、生産性（効率）の低下を招いていた。

【0012】

本発明の第1の目的は、以上のような製造工程中における半導体装置の特性に影響与える要因をインラインで確実に把握し、良好かつ均一な特性を実現しうる光学的評価装置及びその方法を提供することにある。

【0013】

本発明の第2の目的は、半導体領域の光学的特性と半導体領域の状態との間に相関関係があることに着目して、光学的特性の評価を利用して半導体装置に対する各種処理をインラインで制御する半導体装置の製造装置を提供することにある。

【0014】

本発明の第3の目的は、光学的特性の評価精度の変化を利用して半導体装置の製造装置のチャンバーのメンテナンスを行う半導体装置の製造装置の管理方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記第1の目的を達成するために、本発明では、請求項1から3に記載されている第1の光学的評価装置に関する手段と、請求項4から5に記載されている第2の光学的評価装置に関する手段と、請求項6から16に記載されている第3の光学的評価装置に関する手段と、請求項22から27に記載されている光学的評価方法に関する手段とを講じている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 6 】

上記第 2 の目的を達成するために、本発明では、請求項 1 8 から 2 1 に記載されている半導体装置の製造装置に関する手段を講じている。

【 0 0 1 7 】

上記第 3 の目的を達成するために、本発明では、請求項 2 8 から 4 0 に記載されている半導体装置の製造装置の管理方法に関する手段を講じている。

【 0 0 1 8 】

本発明の第 1 の光学的評価装置は、請求項 1 に記載されているように、チャンバー内で半導体領域を有する基板に処理を施す際に使用される光学的評価装置であって、励起光を生成する第 1 の光源と、測定光を生成する第 2 の光源と、上記第 1 の光源で生成された励起光を、上記チャンバー内の半導体基板の半導体領域に間欠的に照射させるための第 1 の光案内部材と、上記第 2 の光源で生成された測定光を上記半導体領域に照射させるための第 2 の光案内部材と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出するための反射率検出手段と、上記半導体領域から反射された測定光を上記反射率検出手段に入射させるための第 3 の光案内部材と、上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、を備え、上記第 1 の光源と第 2 の光源とは、上記励起光の波長と測定光との波長を含む波長の広スペクトル光を生成する単一の共通光源により構成されており、上記共通光源で生成された広スペクトル光を励起光と測定光とに分離するビームスプリッターと、上記半導体領域から反射される測定光を受けて、上記測定光を分光した後上記反射率検出手段に送る分光手段をさらに備え、上記第 1 及び第 2 の光案内部材は、上記ビームスプリッターからの光を受ける位置に配置されている。

【 0 0 1 9 】

この光学的評価装置を用いることにより、以下の作用が得られる。第 1 の光案内部材により導かれる励起光が半導体領域に照射されると半導体領域のキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、第 2 の光案内部材によって半導体領域に導かれる測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化する。変化演算手段により、反射率検出手段の検出値から半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。したがって、チャンバー内で行われる加工処理の条件をインラインでの半導体領域の評価に基づいて制御することが可能になる。

【 0 0 2 0 】

また、光源が単一化されるので、光学的評価装置の構造が極めて簡素化される。

【 0 0 2 1 】

請求項 2 に記載されているように、請求項 1 において、上記第 2 の光案内部材は、上記測定光を上記基板の表面に垂直な方向から入射させるように構成されていることが好ましい。

【 0 0 2 2 】

これにより、測定光を半導体基板の表面に垂直な方向から照射するように構成されているので、微少な半導体領域に対して迅速かつ正確に反射率の変化を評価できる。すなわち、微細化される半導体装置の製造工程における光学的評価を行うことが可能な光学的評価装置が得られる。

【 0 0 2 3 】

請求項 3 に記載されているように、請求項 2 において、上記第 1 の光案内部材は、上記励起光を上記基板の表面に垂直な方向から入射させるように構成されていることが好まし

い。

【0024】

これにより、測定光及び励起光が半導体領域の表面に垂直な方向から照射されるので、半導体領域が極めて狭い場合でも、測定光の反射率の変化割合を利用した光学的評価を行うことが可能になる。したがって、半導体領域における加工処理の状態をリアルタイムで検出するのに特に適した光学的評価装置が得られることになる。

【0025】

本発明の第2の光学的評価装置は、請求項4に記載されているように、チャンバー内で半導体領域を有する基板に処理を施す際に使用される光学的評価装置であって、励起光を生成する第1の光源と、測定光を生成する第2の光源と、上記第1の光源で生成された励起光を、上記チャンバー内の半導体基板の半導体領域に間欠的に照射させるための第1の光案内部材と、上記第2の光源で生成された測定光を上記半導体領域に照射させるための第2の光案内部材と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出するための反射率検出手段と、上記半導体領域から反射された測定光を上記反射率検出手段に入射させるための第3の光案内部材と、上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、を備え、上記変化演算手段は、上記測定光の反射率の変化割合のスペクトルにおいて極値を与える測定光の特定エネルギー値における測定光の反射率の変化割合のみ演算する。

【0026】

この光学的評価装置を用いることにより、以下の作用が得られる。第1の光案内部材により導かれる励起光が半導体領域に照射されると半導体領域のキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、第2の光案内部材によって半導体領域に導かれる測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するのので、変化演算手段により、反射率検出手段の検出値から半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。したがって、チャンバー内で行われる加工処理の条件をインラインでの半導体領域の評価に基づいて制御することが可能になる。

【0027】

また、もっとも望ましいある特定の波長を有する測定光の反射率の変化のみを検知することができる。したがって、雑音のないかつ感度の高い光学的評価が可能になる。

【0028】

請求項5に記載されているように、請求項4において、上記測定光の特定のエネルギー値を、3.2～3.6 eVの範囲に含まれるいずれかの値とすることが好ましい。

【0029】

本発明の第3の光学的評価装置は、請求項6に記載されているように、基板の半導体領域上に形成された絶縁膜の電気的特性を評価するための光学的評価装置であって、励起光を生成する第1の光源と、測定光を生成する第2の光源と、上記第1の光源で生成された励起光を、上記絶縁膜を通過させてその直下の半導体領域に間欠的に照射させるための第1の光案内部材と、上記第2の光源で生成された測定光を、上記絶縁膜を通過させて上記励起光が間欠的に照射されている半導体領域に照射させるための第2の光案内部材と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、上記半導体領域から反射された測定光を上記反射率検出手段に入射させるための第3の光案内部材と、上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの

測定光の反射率で除することにより、測定光の反射率の変化割合を演算する変化演算手段と、上記測定光の反射率の変化割合の大小に基づき上記絶縁膜の電気的特性を評価する評価手段とを備えている。

【0030】

これにより、絶縁膜、特にゲート絶縁膜中の電気的な欠陥についての情報が得られる。すなわち、半導体領域に励起光が照射されるとキャリアが励起され、このキャリア数の変化に伴い電界強度が変化するので、半導体領域からのある波長領域における測定光の反射率が変化する。そのとき、半導体領域の上に絶縁膜が形成されていると、半導体領域の表面層にキャリアのトラップとなる欠陥サイトが存在するので、測定光の反射率の変化割合が小さくなる。ところが、絶縁膜中の欠陥（トラップ電子）の数が多いと、隣接する半導体領域の電界強度の増大量が大きくなるので、測定光の反射率の変化割合が大きくなる。したがって、評価手段により、測定光の反射率が所定範囲外にあるのについては不良と判定することで、迅速かつ確実に絶縁膜の電気的特性を管理できることになる。

10

【0031】

請求項7に記載されているように、請求項6において、上記評価手段を、上記測定光の反射率の変化割合のスペクトルにおいて極値を与える測定光の特定エネルギー値における測定光の反射率の変化割合が、絶縁膜の適正な容量値に対応する値のときのみ良品と判定するものとできる。

【0032】

請求項8に記載されているように、請求項6において、上記測定光の特定のエネルギー値を、3.2～3.6 eVの範囲に含まれるいずれかの値とすることができる。

20

【0033】

請求項7または8により、特徴的な形状を示す反射率の変化割合のスペクトル中において、絶縁膜の電気的特性の相違を検知するための感度がもっともよい箇所で、光学的评价が行われることになる。

【0034】

請求項9に記載されているように、請求項6から8のうちいずれか1つにおいて、上記半導体領域から反射される測定光を受けて、上記測定光を分光した後上記反射率検出手段に送る分光手段をさらに備えることができる。

【0035】

30

これにより、測定光の反射率の変化割合のスペクトルが検出されるので、スペクトル形状全体の情報に基づいて高精度の光学的评价を行うことが可能になる。

【0036】

請求項10に記載されているように、請求項6から8のうちいずれか1つにおいて、上記半導体領域から反射される測定光を受けて、上記測定光の特定のエネルギー値に相当する波長範囲の測定光のみを透過させて上記反射率検出手段に送るためのフィルターをさらに備えることができる。

【0037】

これにより、分光手段を設けなくても、望ましい波長範囲の反射率の変化を検知できるので、光学的评价装置の構造が簡素化され、かつ迅速な光学的评价が可能になる。

40

【0038】

請求項11に記載されているように、請求項6において、上記反射率検出手段は、600 nm以下の波長範囲の測定光の反射率を検出することが好ましい。

【0039】

請求項12に記載されているように、請求項11において、上記反射率検出手段は、300～600 nmの波長範囲の測定光の反射率を検出することがさらに好ましい。

【0040】

請求項11または12により、特に可視光領域及びそれ以下の波長領域の測定光は半導体領域の数100 nm以上の深さには達しないことを利用して、半導体領域内で絶縁膜内のトラップ電子の影響を受ける領域のみからの反射率の変化割合に基づいて光学的评价を

50

行うことができる。

【0041】

請求項13に記載されているように、請求項6から12のうちいずれか1つにおいて、光学的評価装置をエリプソメトリ分光器を利用して構成することができる。

【0042】

これにより、ゲート酸化膜等の膜厚の測定に用いられているエリプソメトリ分光器を利用して、安価に光学的評価装置を構成することが可能になる。

【0043】

請求項14に記載されているように、請求項6から13のうちいずれか1つにおいて、光学的評価装置を半導体装置の酸化膜の形成に使用されるチャンバに取り付けることが好ましい。

10

【0044】

これにより、半導体基板を製造装置から取り出すことなく絶縁膜の品質を評価できるので、インラインでの特性評価に適した評価装置となる。

【0045】

請求項15に記載されているように、請求項6において、上記第2の光源をXeランプとすることができる。

【0046】

請求項16に記載されているように、請求項6において、上記第1の光源をArイオンレーザあるいはHe-Neレーザとすることができる。

20

【0047】

請求項17に記載されているように、請求項6から16のうちいずれか1つにおいて、上記第1の光案内部材は、上記励起光を1kHz以下の周波数で間欠的に照射するように構成されていることが好ましい。

【0048】

本発明の第1の半導体装置の製造装置は、請求項18に記載されているように、半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段とを備え、上記加工処理手段は、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングを行う。

30

【0049】

この半導体装置の製造装置を用いることにより、以下の作用が得られる。第1の光供給手段により半導体領域に励起光が照射されるとキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、第2の光供給手段によって供給される測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化する。変化演算手段により、反射率検出手段の検出値から半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。そして、加工処理制御手段により、チャンバー内で行われる加工処理の条件がインラインでの半導体領域の評価に基づいて制御されるので、所望の特性を有する半導体装置が再現性よく形成される

40

50

ことになる。

【0050】

また、エッチングによって生じるダメージ層の深さやダメージの程度を制御することが可能となるので、後のダメージ層の除去を円滑に行うことが可能になる。

【0051】

本発明の第2の半導体装置の製造装置は、請求項19に記載されているように、半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段とを備え、上記加工処理手段は、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングにより生じたダメージ層を除去するためのライトドライエッチングを行う。

10

【0052】

この半導体装置の製造装置を用いることにより、以下の作用が得られる。第1の光供給手段により半導体領域に励起光が照射されるとキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、第2の光供給手段によって供給される測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するので、変化演算手段により、反射率検出手段の検出値から半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。そして、加工処理制御手段により、チャンバー内で行われる加工処理の条件がインラインでの半導体領域の評価に基づいて制御されるので、所望の特性を有する半導体装置が再現性よく形成されることになる。

20

30

【0053】

また、エッチングによって生じたダメージ層の深さやダメージの程度を把握した上で、ダメージ層除去のためのライトドライエッチングを行うことが可能になる。

【0054】

本発明の第3の半導体装置の製造装置は、請求項20に記載されているように、半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段とを備え、上記加工処理手段は、上記半導体領域の上に薄い絶縁膜を形成する。

40

【0055】

この半導体装置の製造装置を用いることにより、以下の作用が得られる。第1の光供給手段により半導体領域に励起光が照射されるとキャリアが励起され、キャリアによって電

50

界が生じる。この電界のために、第2の光供給手段によって供給される測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するので、変化演算手段により、反射率検出手段の検出値から半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。そして、加工処理制御手段により、チャンバー内で行われる加工処理の条件がインラインでの半導体領域の評価に基づいて制御されるので、所望の特性を有する半導体装置が再現性よく形成されることになる。

10

【0056】

また、所望の特性を有する絶縁膜例えばゲート酸化膜を形成することが可能となる。

【0057】

本発明の第4の半導体装置の製造装置は、請求項21に記載されているように、半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段と、上記反射率検出手段の出力を受け、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する変化演算手段と、上記加工処理手段による加工処理の進行中に、上記変化演算手段の出力を受け、上記反射率の変化割合に基づき上記加工処理条件を制御する加工処理制御手段とを備え、上記半導体領域の上には薄い絶縁膜が形成されており、上記加工処理手段は、上記半導体領域上の上記絶縁膜を除去するためのドライエッチングを行う。

20

【0058】

この半導体装置の製造装置を用いることにより、以下の作用が得られる。第1の光供給手段により半導体領域に励起光が照射されるとキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、第2の光供給手段によって供給される測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するので、変化演算手段により、反射率検出手段の検出値から半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。そして、加工処理制御手段により、チャンバー内で行われる加工処理の条件がインラインでの半導体領域の評価に基づいて制御されるので、所望の特性を有する半導体装置が再現性よく形成されることになる。

30

40

【0059】

また、半導体領域からの測定光の反射率の変化割合が絶縁膜の厚みによる影響を受けることを利用して、インラインでの光学的評価によって絶縁膜の除去の進行を制御することが可能となる。

【0060】

本発明の第1の半導体装置の光学的評価方法は、請求項22に記載されているように、チャンバー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法であって、上記チャンバー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率

50

の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップとを備え、上記加工処理は、上記半導体領域のプラズマエッチング加工である。

【0061】

この方法により、励起光が半導体領域に照射されると半導体領域のキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、半導体領域に導かれる測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するもので、半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。したがって、チャンパー内で行われる加工処理の条件をインラインでの光変調反射率測定に基づいて制御することが可能になる。

10

【0062】

また、エッチングによって生じるダメージ層の深さやダメージの程度を制御することが可能となるので、後のダメージ層の除去を円滑に行うことが可能になる。

【0063】

本発明の第2の半導体装置の光学的評価方法は、請求項23に記載されているように、チャンパー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法であって、上記チャンパー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップとを備え、上記加工処理は、上記半導体領域のプラズマエッチングにより生じたダメージ層を除去するためのライトドライエッチングである。

20

【0064】

この方法により、励起光が半導体領域に照射されると半導体領域のキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、半導体領域に導かれる測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するもので、半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。したがって、チャンパー内で行われる加工処理の条件をインラインでの光変調反射率測定に基づいて制御することが可能になる。

30

【0065】

また、エッチングによって生じたダメージ層の深さやダメージの程度を把握した上で、ダメージ層除去のためのライトドライエッチングを行うことが可能になる。

40

【0066】

本発明の第3の半導体装置の光学的評価方法は、請求項24に記載されているように、チャンパー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法であって、上記チャンパー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップとを備え、上記加工処理は、上記半導体領域の上における絶縁膜の形成である。

【0067】

50

この方法により、励起光が半導体領域に照射されると半導体領域のキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、半導体領域に導かれる測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するので、半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。したがって、チャンバー内で行われる加工処理の条件をインラインでの光変調反射率測定に基づいて制御することが可能になる。

10

【0068】

また、所望の特性を有する絶縁膜例えばゲート酸化膜を形成することが可能となる。

【0069】

本発明の第4の半導体装置の光学的評価方法は、請求項25に記載されているように、チャンバー内で半導体領域を有する基板に加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法であって、上記チャンバー内の上記基板の半導体領域に測定光を照射するステップと、上記半導体領域に励起光を間欠的に照射するステップと、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を反射率の変化割合として演算するステップとを備え、上記加工処理は、上記半導体領域上の絶縁膜の除去するためのドライエッチングである。

20

【0070】

この方法により、励起光が半導体領域に照射されると半導体領域のキャリアが励起され、キャリアによって電界が生じる。この電界のために、半導体領域に導かれる測定光の反射率は、励起光の照射があるときとないときとは変化し、この変化割合は電界強度の大小及び測定光の波長に依存して変化する。一方、半導体領域にキャリアの再結合中心となる欠陥などがあると、励起されたキャリアの寿命が短くなるので、キャリアが形成する電界強度が小さくなる。つまり、励起光の照射があるときとないときにおける反射率の変化割合が半導体領域内の欠陥などの数に依存して変化するので、半導体領域における測定光の反射率の変化割合が演算されると、この反射率の変化割合は、半導体領域の結晶状態などを反映したものとなる。したがって、チャンバー内で行われる加工処理の条件をインラインでの光変調反射率測定に基づいて制御することが可能になる。

30

【0071】

また、半導体領域からの測定光の反射率の変化割合が絶縁膜の厚みによる影響を受けることを利用して、インラインでの光変調反射率測定によって絶縁膜の除去の進行を制御することが可能となる。

【0072】

請求項26に記載されているように、請求項22から25のうちいずれか一つにおいて、上記測定光を照射するステップでは、上記測定光を上記基板の表面に垂直な方向から照射することが好ましい。

40

【0073】

この方法により、面積の狭い半導体領域に対しても光変調反射率測定を行うことが可能になる。

【0074】

請求項27に記載されているように、請求項26において、上記励起光を照射するステップでは、上記励起光を上記基板の表面に垂直な方向から照射することが好ましい。

【0075】

本発明の半導体装置の製造装置の管理方法は、請求項28に記載されているように、半導体領域を有する基板を収納するためのチャンバーと、上記チャンバー内で上記基板に加工処理を施すための加工処理手段と、上記チャンバー内に設置された上記基板の半導体領

50

域に間欠的に励起光を照射するための第1の光供給手段と、上記半導体領域に測定光を照射するための第2の光供給手段と、上記半導体領域に照射された測定光の反射率を検出する反射率検出手段とを備えた半導体装置の製造装置の管理方法であって、上記半導体領域に測定光を照射する第1のステップと、上記半導体領域に励起光を間欠的に照射する第2のステップと、上記半導体領域に励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとの測定光の反射率の差を上記励起光が照射されていないときの測定光の反射率で除した値を測定光の反射率の変化割合として演算する第3のステップと、上記第3のステップで演算された反射率の変化割合が所定値に達するまでの所定時間の間上記加工処理手段を作動させるように制御する第4のステップと、上記第4のステップにおける上記所定時間を監視して、上記所定時間が限界値を超えると上記半導体装置の製造装置のメンテナンスを行うための信号を出力する第5のステップとを備えている。

10

【0076】

この方法により、半導体装置の製造装置を使用していくにつれて、チャンバー内の構成部材の劣化によって反射率の変化割合が所定値に達するまでの加工処理時間が増大するのを監視することができる。したがって、チャンバー内の構成部材の劣化が生じたときには、適正なタイミングでかつ無駄のないメンテナンスを行うことができる。そして、メンテナンスの実施によって、適正な加工処理時間を確保することができ、加工処理時間の過大に起因する半導体領域の不良の発生を回避することができる。

【0077】

請求項29に記載されているように、請求項28において、上記加工処理手段は、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングを行うことができる。

20

【0078】

この方法により、チャンバー内でプラズマエッチングを行いながら、例えばプラズマ加工の際に生じるチャンバーの壁面等へのデポ物によって測定光の反射率の変化割合の検知感度の劣化が生じたときなどには、チャンバー等のメンテナンスを行って、適正な制御を維持することができる。

【0079】

請求項30に記載されているように、請求項28において、上記加工処理手段を、上記チャンバー内にプラズマを発生させて上記半導体領域のエッチングにより生じたダメージ層を除去するためのドライエッチングを行うものとすることができる。

30

【0080】

この方法により、エッチングによって生じたダメージ層を除去するドライエッチングを行いながら、例えばプラズマ加工の際に生じるチャンバーの壁面等へのデポ物によって測定光の反射率の変化割合の検知感度の劣化が生じたときなどには、チャンバー等のメンテナンスを行って、適正な制御を維持することができる。

【0081】

請求項31に記載されているように、請求項28において、上記加工処理手段を、上記半導体領域に不純物を導入するものとすることができる。

【0082】

この方法により、不純物導入処理を行いながら、例えば不純物導入の際に生じるチャンバーの壁面等へのデポ物によって測定光の反射率の変化割合の検知感度の劣化が生じたときなどには、チャンバー等のメンテナンスを行って、適正な制御を維持することができる。

40

【0083】

請求項32に記載されているように、請求項28において、上記加工処理手段は、上記半導体領域にイオン注入を行った後のアニールを行うものとすることができる。

【0084】

この方法により、イオン注入によって生じた構造の乱れを回復させるためのアニールを行いながら、高温状態で行われるアニール処理のためにチャンバーの部材が劣化したときなどには、チャンバー等のメンテナンスを行って、適正な制御を維持することができる。

50

【 0 0 8 5 】

請求項 3 3 に記載されているように、請求項 2 8 において、上記加工処理手段は、上記半導体領域の上に薄い絶縁膜を形成するものとすることができる。

【 0 0 8 6 】

この方法により、熱酸化、CVD などによる絶縁膜の形成を行いながら、例えば熱酸化の際に生じるチャンパー内の部材の劣化によって測定光の反射率の変化割合の検知感度の劣化が生じたときなどには、チャンパー等のメンテナンスを行って、適正な制御を維持することができる。

【 0 0 8 7 】

請求項 3 4 に記載されているように、請求項 2 8 において、上記半導体領域上に薄い絶縁膜が形成されている場合には、上記加工処理手段を、上記半導体領域上の薄い絶縁膜を除去するためのドライエッチングを行うものとすることができる。

10

【 0 0 8 8 】

この方法により、エッチングによって生じたダメージ層を除去するドライエッチングを行いながら、例えばプラズマ加工の際に生じるチャンパーの壁面等へのデポ物によって測定光の反射率の変化割合の検知感度の劣化が生じたときなどには、チャンパー等のメンテナンスを行って、適正な制御を維持することができる。

【 0 0 8 9 】

請求項 3 5 に記載されているように、請求項 2 8 から 3 4 のうちいずれか 1 つにおいて、上記反射率検出手段は、600 nm 以下の波長範囲の測定光の反射率を検出することが好ましい。

20

【 0 0 9 0 】

請求項 3 6 に記載されているように、請求項 3 5 において、上記反射率検出手段は、300 ~ 600 nm の波長範囲の測定光の反射率を検出することがさらに好ましい。

【 0 0 9 1 】

請求項 3 7 に記載されているように、請求項 2 8 から 3 6 のうちいずれか 1 つにおいて、上記反射率の変化割合を演算するステップでは、測定光の反射率の変化割合のスペクトルの極値を与える測定光の特定エネルギー値における測定光の反射率の変化割合を演算することができる。

【 0 0 9 2 】

30

請求項 3 8 に記載されているように、請求項 2 8 から 3 7 のうちいずれか 1 つにおいて、上記反射率検出手段を、光フィルターを用いて特定の波長の反射光の反射率を検出するように構成することが好ましい。

【 0 0 9 3 】

請求項 3 9 に記載されているように、請求項 2 8 から 3 8 のうちいずれか 1 つにおいて、上記半導体領域は、n 型シリコンにより構成されていることが好ましい。

【 0 0 9 4 】

請求項 4 0 に記載されているように、請求項 2 8 から 3 9 のうちいずれか 1 つにおいて、上記励起光を照射するステップでは、上記励起光を 1 kHz 以下の周波数で間欠的に照射することが好ましい。

40

【 0 0 9 5 】

【 発明の実施の形態 】

(第 1 の実施形態)

以下、本発明の第 1 の実施形態について説明する。

【 0 0 9 6 】

図 4 は、第 1 の実施形態に係る反射強度 R の観測手段を備えたエッチング装置の構成を概略的に示す断面図である。同図に示すように、反応処理室 200 内には、下部電極であるアノード電極 213 と、上部電極であるカソード電極 214 とが配設されていて、アノード電極 213 の上に被加工物である p 型シリコンからなるウエハ 103 が設置されている。そして、高周波電源 211 からカップリングコンデンサ 212 を介して高周波電力が

50

各電極 2 1 3 , 2 1 4 間に供給されると、反応処理室 2 0 0 内にプラズマ 4 0 1 が生成されるように構成されている。また、反応処理室 2 0 0 の壁面には、終点検出用窓 2 1 5 と、プローブ光入射用窓 2 1 8 と、反射光観測用窓 2 1 9 とが設けられている。

【 0 0 9 7 】

一方、反応処理室 2 0 0 の外部には、終点検出システム 2 1 6 が設けられているとともに、反射強度 R の観測のための部材が配設されている。まず、 n 型半導体領域 1 0 1 に照射するプローブ光を発生する $X e$ ランプ 3 0 2 が設けられており、 $X e$ ランプ 3 0 2 で生成されたプローブ光 4 0 3 はミラー 2 1 7 により反射された後、プローブ光入射用窓 2 1 8 を介して反応処理室 2 0 0 内に設置されたウエハ 1 0 3 の n 型半導体領域 1 0 1 に送られる。そして、 n 型半導体領域 1 0 1 で反射された反射プローブ光 4 0 4 は、反射光観測用窓 2 1 9 から反応処理室 2 0 0 の外に取り出され、反射強度観測システム 2 2 0 によりその強度（特に、波長 3 7 6 n m , エネルギー 3 . 3 e V の付近）が検出される。そして、反射強度観測システム 2 2 0 で計測された反射強度に関するデータは、信号経路 2 2 1 を経てエッチング制御システム 2 2 2 に送られる。また、 n 型半導体領域 1 0 1 に照射する励起光を発生する $A r$ イオンレーザー 3 0 1 が設けられており、この $A r$ イオンレーザー 3 0 1 で発生された励起光 4 0 2 はチョップ 2 2 3 によって周波数 2 0 0 H z でチョッピングされて、間欠的に送られる。この励起光 4 0 2 は、終点検出用窓 2 1 5 を介して反応処理室 2 0 0 内に送られ、 n 型半導体領域 1 0 1 に間欠的に照射される。そして、上述のように、励起光 4 0 2 が照射されているときと照射されていないときのプローブ光 4 0 3 の反射強度（つまり反射プローブ光 4 0 4 の強度）の差 R を励起光 4 0 2 の照射がないときの反射強度 R で割った値（ R / R ）が反射強度の変化割合として反射強度観測システム 2 2 0 で検知される。以上の構成により、反射強度の変化割合の変動がモニターされる。なお、一般的には、本実施形態及び後述の各実施形態における光学システムにおいて、プローブ光の入射側には偏光子を反射側には検光子が配置されることが多い。

【 0 0 9 8 】

ここで、このような反射強度の変化割合（ R / R ）は、以下の作用によって生じると考えられる。一般的に、半導体に光を照射すると、光によって励起されてキャリア数が増大し、その後、キャリアが元のエネルギー準位に戻る際には光を放出して消滅する。このキャリア数の変化に伴い電界強度が変化する。したがって、励起光が照射されているときと、励起光が照射されていないときとは、反射強度が異なる。ところが、半導体内に欠陥が多く存在すると、その欠陥によってエネルギー準位の低い界面準位が存在することになる。そして、このような界面準位を有する欠陥がキャリアの捕獲層として機能するために、光が照射されてもキャリアが欠陥に捕獲されて十分に高いエネルギー準位まで励起されなかったり、高いエネルギー準位まで励起されたキャリアが欠陥に捕獲されたりすると、励起されてキャリアが低いエネルギー準位に戻る際に発生する光の強度が低下し、電界強度も変化するようになる。したがって、ダメージ層の深さやダメージの程度が大きいほど反射強度の変化割合（ R / R ）が小さくなる。したがって、この反射強度の変化割合をモニターすることにより、ダメージ層に関する情報が得られる。

【 0 0 9 9 】

なお、上記チョッピングの周波数は、キャリアが再結合して電界強度が変化する時間と関係があるものと思われ、実験から 1 k H z 以下が好ましく、より好ましくは 5 0 0 H z 以下が好ましいことがわかっている。また、励起光のフォトンのエネルギーが半導体領域のバンドギャップよりも大きいことが好ましい。シリコン基板を使用する場合には、フォトンのエネルギーが 1 . 1 e V 以上の波長の励起光を使用することが好ましい。以上のことは、後述の各実施形態においても同様である。

【 0 1 0 0 】

本実施形態では、測定光の照射強度（各波長域における）を一定と仮定しているので、反射強度を検出することで反射率の検出に置き換えている。すなわち、反射強度の変化割合の測定は、 n 型半導体領域 1 0 1 に $A r$ イオンレーザー光である励起光 4 0 2 を間欠的に照射しながら、別の方向から $X e$ ランプ光であるプローブ光 4 0 3 を連続的に照射して

、このプローブ光 403 の反射強度の変化の検出により行われる。つまり、 n 型半導体領域 101 に励起光 402 が照射されているときの反射強度と励起光 402 が照射されていないときの反射強度との差 R を、 n 型半導体領域 101 に励起光 402 が照射されていないときの反射強度 R で割った値 (R/R) を反射強度の差つまり反射率としている。

【0101】

ここで、励起光の照射・非照射を繰り返しながらプローブ光の波長を変化させて、その波長（光のエネルギー値）ごとに反射率の変化割合を測定して、そのスペクトル形状を調べることは光変調反射率分光と呼ばれている。例えば図 22 は、半導体領域である単結晶シリコン層に入射したプローブ光の波長の逆数に比例するエネルギーの値と反射率の変化割合 (R/R) との関係を示すスペクトル線図である。ただし、同図の反射率の変化割合 (R/R) の値は、初期の状態を 0 とする相対値である。本実施形態では、反射率の変化割合 (R/R) が変動する感度のもっとも高いエネルギー値 3.30 eV（ほぼ極値を示すエネルギー値）に相当するプローブ光の波長 376 nm を使用するようにしている。

【0102】

図 3 は、本実施形態に係るウエハの構造を概略的に示す上面図である。図 3 に示すように、 p 型シリコンからなるウエハ 103 の上に、最終的にウエハから切り出されて半導体チップとなるチップ領域 Rtp と、光学的評価のためのモニター領域 Rmn とが設けられている。

【0103】

次に、本実施形態におけるエッチング処理の進行と反射強度の変化割合 (R/R) の測定との関係を、ウエハの断面構造を参照しながら説明する。図 2 (a) ~ (c) は、本実施形態に係る半導体装置の製造工程を示すウエハの断面図である。

【0104】

図 2 (a) に示す工程の前に、ウエハ 103 上のモニター領域 Rmn において、広さが例えば $13 \times 13 \mu m^2$ の n 型半導体領域（比抵抗値が約 $0.02 \Omega cm$ ）101 が形成されている。一方、チップ領域 Rtp には各種の半導体素子が形成されており、図 2 (a) には、その例として、ポリシリコンからなるゲート電極 106 と、厚みが例えば 6 nm のゲート酸化膜 107 と、 n 型ソース領域 108 及び n 型ドレイン領域 109 とを有する MOS トランジスタが示されている。そして、ウエハの全面上に層間絶縁膜 104 が堆積されている。なお、本実施形態では、 n 型半導体領域 101 は、 n 型ソース領域 108 及び n 型ドレイン領域 109 と同じ導電型かつ同じ濃度の不純物がドーピングされているが、後述のように、モニター用領域 Rmn 内の半導体領域には、モニターされる半導体素子内のソース・ドレイン領域とは異なる導電型、異なる濃度を有する不純物をドーピングしておいてもよい。特に、モニター領域 Rmn 内における不純物濃度を高くすることで、エッチングダメージの除去状態の検出感度をより高めることができる。

【0105】

次に、図 2 (b) に示す工程において、層間絶縁膜 104 上にコンタクトホール形成用フォトリソマスク 105 が形成され、このフォトリソマスク 105 を用いて、層間絶縁膜 104 を選択的に除去するためのドライエッチングが行われる。このドライエッチングは、後述するようにプラズマを利用した加工であり、エッチング条件は、例えば以下の通りである。Ar ガス、CHF₃ ガス及び CF₄ ガスの混合ガスを用い、ガス流量は、Ar ガスが 80 sccm、CHF₃ ガスが 45 sccm、CF₄ ガスが 20 sccm で、全体のガス圧力を 80 mTorr として、パワー 400 W で高周波放電させる。このドライエッチング工程により、MOS トランジスタの n 型ソース領域 108、 n 型ドレイン領域 109 にそれぞれ到達するコンタクトホールである開口 110a、110b が形成されると同時に、 n 型半導体領域 101 に到達するモニター用の開口 110c が形成される。そして、プラズマ発光法による各開口 110a ~ 110c の形成の完了が検知された時点では、ウエハ上の n 型ソース領域 108、 n 型ドレイン領域 109、 n 型半導体領域 101 には、ダメージ層 $Rdm1$ 、 $Rdm2$ 、 $Rdm3$ がそれぞれ形成されている。

【0106】

次に、図2(c)に示す工程で、ドライエッチングにより生じたダメージ層Rdm1～Rdm3を取り除くためのライトエッチング(ドライエッチング)を行う。このとき、本実施形態では、ガス流量・圧力は変化させず、パワーを200Wに下げた条件を適用している。

【0107】

図1は、プラズマ処理の際の光学的モニターの一般的な手順を示すフローチャートである。

【0108】

まず、ステップST100でメインエッチングを行い、メインエッチングが終了すると、ステップST101で、n型半導体領域101の初期の反射強度の変化割合(R/R)を測定する。本実施形態では、メインエッチング終了後におけるn型半導体領域101についての測定値を初期の反射強度の変化割合(R/R)とする。

【0109】

次に、ステップST102でプラズマ処理を行い、ステップST103で、プラズマ処理中における反射強度の変化割合(R/R)をモニターする。本実施形態では、プラズマ処理としてライトエッチングを行い、ライトエッチング中における反射強度の変化割合(R/R)をモニターする。

【0110】

さらに、ステップST104で、プラズマ処理(本実施形態ではライトエッチング)中における反射強度の変化割合(R/R)を初期の反射強度の変化割合(R/R)と比較し、予め実験により得られたプラズマ処理が完了したことを判定する基準値に達したと判定されるまでは、ステップST102～ST104の処理を行い、プラズマ処理が終了したと判定すると、ステップST105でプラズマ処理を終了する。本実施形態では、ダメージ層の除去が完了したと判定すると、ステップST105でライトエッチングを終了することになる。

【0111】

ここで、本実施形態における反射強度の変化割合とダメージ層の状態との関係について説明する。図5は、波長376nm(エネルギー3.3eV)における反射強度の変化割合(R/R)の初期値に対する比の時間的变化を示す図である。図5に示すように、ライトエッチングの開始直後(0～20sec間での間)は、メインステップのドライエッチングが終了したときよりも反射強度の変化割合(R/R)が大きくなって初期値に近づいており、ダメージ層が除去されていることがわかる。しかし、ライトエッチング時間の増大とともに(20sec経過後)、反射強度の変化割合(R/R)の初期値に対する比がライトエッチング開始時の値(図5に示す例では約0.6)よりも小さくなり、過度のライトエッチングによってSi結晶(基板)への損傷が大きくなることが分かる。

【0112】

一方、図6に示すように、ライトエッチング時間とコンタクト部の抵抗値(コンタクト抵抗)との相関は、あらかじめ実験を行うことにより得ておくことができる。図6に示すように、ライトエッチング初期の段階では、コンタクト抵抗が大きい。これは、メインエッチング発生した有機系のポリマーがコンタクトホール底面付近に堆積しているためであり、その後のライトエッチングによりしだいに除去されているのがわかる。そして、図6と図5とを比べるとわかるように、コンタクト抵抗と反射強度の変化割合(R/R)との間には相関がある。そして、この相関関係から、コンタクト抵抗の規格値(コンタクト窓の断面寸法が0.6μmのときに 50 ± 5)にするためには、反射強度の変化割合(R/R)が初期値より60%の値以上でなければならないことがわかる。したがって、反射強度の変化割合(R/R)が60%になった時点でライトエッチングステップを終了することで、メインエッチングで生じたダメージ層をほぼ除去しながらその後ライトエッチングにより生じる新たなダメージの発生を抑制することができ、良好な接合を有する半導体デバイスを実現することができる。

10

20

30

40

50

【0113】

図7は、ダメージ層に関する情報を得るための光学的監視を伴って行われる本実施形態のライトエッチングによって形成されたM O Sトランジスタのコンタクト抵抗と、そのような光学的監視を伴わない従来のライトエッチングによって形成されたM O Sトランジスタのコンタクト抵抗とを比較するデータである。同図に示されるように、本実施形態の半導体製造装置の製造方法を用いることで、従来方法にくらべ、コンタクト抵抗バラツキを抑えることができ、品質・信頼性の高い半導体装置を製造することができる。

【0114】

次に、本実施形態のごとく光変調反射率分光によりダメージ層をモニターすることにより得られる利点について説明する。一般に、プラズマ処理を行った際のイオンの進入深さは数10nm程度である。ここで、赤外線等のマイクロ波の半導体基板内への進入深さは1μm以上であるので、反射率から得られる情報にはダメージ層からの情報だけでなくダメージ層以外の領域からの情報が多量に混在していて、ダメージ層のみに関する情報を正確に取り出すことは困難である。したがって、これらの方法はエッチングダメージのような微小な領域に対する検知方法としては適当でない。それに対し、可視光以下の領域の光を利用した光学的モニターを行う場合、半導体基板内への進入深さはたかだか数100nm程度であるので、深さが数10nmのダメージ層に関する検知感度が極めて高くなる。しかも、エッチングされている半導体ウエハの表面に光を照射することにより、直接ダメージ層に関する情報を得ることができるので、このような可視光以下の領域の光を利用した光学的モニターを行うことにより、インラインでの評価及びプロセス制御に極めて有用な情報を提供することができる。かかる観点から、本実施形態及び後述の各実施形態における光変調反射率測定法においては、測定光の光源の選定により、あるいはフィルターの取り付けにより、600nm以下の波長範囲の測定光を検出することが好ましく、300~600nmの波長範囲の測定光を検出することがより好ましい。

【0115】

なお、本実施形態では、ウエハ103内に、チップ領域R t pとは別にモニター用領域R m nを設けたが、本発明は、斯かる実施形態に限定されるものではなく、チップ領域R t p内に光学的評価パターンを設けても本実施形態と同様の効果が得られる。

【0116】

さらに、一定時間内のライトエッチング処理による反射強度の変化割合 (R/R) の変動量を管理することで、装置の異常を迅速に把握し、装置トラブルが防止できる。

【0117】

上記実施形態では、エッチング加工をプラズマを用いたドライエッチングとしたが、本発明は斯かる実施形態に限定されるものではなく、例えばスパッタリング等によるプラズマを利用しないドライエッチングや、ウエットエッチング等に対しても適用することができる。

【0118】

また、当初に大きなダメージ層がある半導体領域に対してそのダメージ層を除去するためのエッチングだけでなく、ダメージ層がほとんどない半導体領域をエッチングしていく際のエッチングに対しても適用できる。

【0119】

さらに、上記実施形態では、チップ領域R t p内の第1の半導体領域であるソース・ドレイン領域108, 109と第2の半導体領域であるモニター用領域R m n内のn型半導体領域101との不純物濃度や深さを同じとしているが、本発明は斯かる実施形態に限定されるものではなく、第1の半導体領域と第2の半導体領域の不純物濃度や不純物の導電型が異なってもよいものとする。あらかじめ実験を行っておけば、第1の半導体領域における適正なコンタクト抵抗を得るための第2の半導体領域における光学的特性(上記実施形態ではコンタクト抵抗)がわかるからである。たとえば、モニター領域R m nにおける不純物濃度を特別に濃くしておいて、反射強度の変化割合の検知感度を高くしておくことも可能である。

10

20

30

40

50

【0120】

また、本実施形態では、図4に示すように、基板表面に対するプローブ光403の角度が励起光402の角度よりも小さくなっているが、反射強度の測定が必要なプローブ光403の角度を大きくすることが、モニターされる第2の半導体領域の面積を低減するためには好ましい。

【0121】

(第2の実施形態)

図8は、本実施形態における光学的モニターシステムを示したものである。同図に示すように、n型半導体領域101に照射する測定光であるプローブ光を発生するXeランプ502が設けられており、Xeランプ502で生成されたプローブ光507はミラー506により反射された後、ウエハステージ504上に設置されたウエハ103上のn型半導体領域101に送られる。そして、n型半導体領域101で反射された反射プローブ光508は、ミラー506を通過して顕微鏡システム505に送られ、観測システム兼解析システム509によりその強度(特に、波長376nmの付近)が検出される。本実施形態では、プローブ光507の観測領域への照射及びその反射プローブ光508の取り出しは、顕微鏡システム505とミラー506との併用により、試料の表面に対して垂直な方向から行うことができる。この点が上記第1の実施形態と異なる主要な点である。また、プローブ光507の径は、レンズ510により10 μ mまで絞ることができる。なお、この観測システム兼解析システム509で計測された反射強度に関するデータは、信号線を介してエッチング制御システム(図示せず)に送られる。

【0122】

また、n型半導体領域101に照射する励起光を発生する強度5WのArイオンレーザー503が設けられており、このArイオンレーザー503で生成された励起光511はチョッパ510によって周波数100Hzでチョッピングされて、n型半導体領域101に間欠的に照射される。そして、上述のように、励起光511が照射されているときと照射されていないときのプローブ光507の反射強度(つまり反射プローブ光508の強度)の差Rを励起光511の照射がないときの反射強度Rで割った値(R/R)が反射強度の変化割合として観測システム兼解析システム509で検知される。以上の構成により、プローブ光の反射強度の変化割合の変動がモニターされる。なお、半導体領域101からの反射励起光512の強度を検出する反射励起光観測システム513も設けられており、この反射励起光512の強度に関する情報は、信号線を介して観測システム兼解析システム509に送られる。なお、チョッパ510と、反射光の強度を検出する検出器とは同期して動作するように構成されている。

【0123】

そして、本実施形態においても、上記第1の実施形態と同様に、図3に示すように、p型シリコンからなるウエハ103の上に、最終的にウエハから切り出されて半導体チップとなるチップ領域Rtpと、光学的評価のためのモニター領域Rmnとが設けられている。

【0124】

次に、本実施形態におけるプラズマエッチング方法について、図9(a)~(c)を参照しながら説明する。

【0125】

図9(a)に示す工程の前に、ウエハ103上のモニター領域Rmnにおいて、広さが例えば13 \times 13 μ m²のn型半導体領域(比抵抗値が約0.02 Ω cm)101が形成されている。一方、チップ領域Rtpには各種の半導体素子が形成されており、図9(a)には、その例として、ポリシリコンからなるゲート電極106と、厚みが例えば6nmのゲート酸化膜107と、n型ソース領域108及びn型ドレイン領域109とを有するMOSトランジスタが示されている。そして、ウエハのほぼ全面上に層間絶縁膜104が堆積されている。なお、本実施形態では、n型半導体領域101は、n型ソース領域108及びn型ドレイン領域109と同じ導電型かつ同じ濃度の不純物がドーピングされているが

、後述のように、モニター用領域 R_{mn} 内の半導体領域には、モニターされる半導体素子内のソース・ドレイン領域とは異なる導電型、異なる濃度を有する不純物をドーピングしておいてもよい。

【0126】

次に、図9(b)に示す工程において、層間絶縁膜104上にコンタクトホール形成用フォトリソマスク105が形成され、このフォトリソマスク105を用いて、層間絶縁膜104を選択的に除去するためのドライエッチングが行われる。このドライエッチングは、プラズマを利用したエッチングであり、エッチング条件は、例えば、チャンバ(図示せず)内に、 Ar ガス、 CHF_3 ガス及び CF_4 ガスの混合ガスを、 Ar ガスの流量が80sccm、 CHF_3 ガスの流量が45sccm、 CF_4 ガスの流量が20sccmで、全体のガス圧力を80mTorrとして、パワー400Wで高周波放電させる。このドライエッチング工程により、MOSトランジスタのn型ソース領域108、n型ドレイン領域109にそれぞれ到達するコンタクトホールである開口110a、110bが形成されると同時に、n型半導体領域101に到達するモニター用の開口110cが形成される。そして、プラズマ発光法による各開口110a~110cの形成の完了が検知された時点では、ウエハ103上のn型ソース領域108、n型ドレイン領域109、n型半導体領域101には、ダメージ層 R_{dm1} 、 R_{dm2} 、 R_{dm3} がそれぞれ形成されている。

【0127】

次に、図9(c)に示す工程で、ドライエッチングにより生じたダメージ層 R_{dm1} ~ R_{dm3} を取り除くためのライトエッチング(ドライエッチング)を行う。このとき、本実施形態では、ガス流量・圧力は変化させず、パワーを200Wに下げた条件を適用している。

【0128】

図10は、プラズマ処理を行ったサンプルとプラズマ処理を行っていないサンプルとについて、照射励起光の強度を変えたときのプローブ光の反射強度の変化割合を測定したデータである。同図に示されるデータからわかるように、プラズマ処理を行ったサンプルのプローブ光の反射強度の変化(R/R)の値は、プラズマ処理を行わないサンプルと比較して小さくなっている。

【0129】

したがって、本実施形態においても、上記第1の実施形態と同様に、光変調反射率分光を利用して、所望の量だけライトエッチングを行い、低抵抗の半導体領域からなるソース・ドレイン領域の形成などを行うことができる。

【0130】

特に、本実施形態のごとく、プローブ光507をウエハの表面に対して垂直方向から入射させてその反射強度を検出するようにした場合、プローブ光を基板の表面に対して傾いた方向から入射させるのに比べて、微小領域でのSiダメージ層の評価が容易に行うことができるので、モニター領域 R_{mn} という無駄なスペースを低減できる利点がある。

【0131】

また、プローブ光507を垂直方向から入射させた場合には、反射強度も大きくなるつまり検知感度が高くなる。つまり、現実には高精度の測定を行うためには、 S/N 比を上げるために1カ所の測定点について何回もチョッピングを行って得たデータを積算する必要がある。ところが、プローブ光507を垂直方向から入射させた場合には、1回のチョッピングあたりの測定で高い S/N 比が得られるので、チョッピング回数が低減され評価時間が短縮される。具体的には、例えばウエハの表面に対して垂直方向から入射させた場合には、45°傾いた方向から入射させた場合に比べ、評価時間が1枚あたり、15分から3分で済み評価時間を大幅に低減することができる。インラインでエッチングのダメージ層を評価する際には、この評価時間の短縮によるメリットは極めて大きいといえる。

【0132】

なお、本実施形態では、ウエハ103内に、チップ領域 R_{tp} とは別にモニター用領域

10

20

30

40

50

R m nを設けたが、本発明は、斯かる実施形態に限定されるものではなく、チップ領域 R t p内に光学的評価パターンを設けても本実施形態と同様の効果が得られる。さらに、基板の表面に対して垂直方向からプローブ光を照射する場合、光学的評価パターンを別途設けなくても、コンタクト窓を直接観察することも可能である。

【0133】

また、一定時間内のライトエッチング処理による反射強度の変化割合 (R/R) の変動量を管理することで、装置の異常を迅速に把握し、装置トラブルが防止できる。

【0134】

上記第1, 第2の実施形態では、エッチング加工をプラズマを用いたドライエッチングとしたが、本発明は斯かる実施形態に限定されるものではなく、例えばスパッタリング等によるプラズマを利用しないドライエッチングや、ウエットエッチング等に対しても適用することができる。

【0135】

また、第1, 第2の実施形態は、当初に大きなダメージ層がある半導体領域に対してそのダメージ層を除去するためのエッチングだけでなく、ダメージ層がほとんどない半導体領域をエッチングしていく際のエッチングに対しても適用できる。さらに、シリコン酸化膜の形成あるいは除去時における膜厚の検出や、半導体基板のアニール処理の際の結晶性の回復程度の検出など、広く半導体領域の構造に関する情報を得るために本発明の光学的評価方法を利用することもできる。

【0136】

さらに、第1, 第2の実施形態では、チップ領域 R t p内の第1の半導体領域であるソース・ドレイン領域 108, 109と第2の半導体領域であるモニター用領域 R m n内のn型半導体領域 101との不純物濃度や深さを同じとしているが、本発明は斯かる実施形態に限定されるものではなく、第1の半導体領域と第2の半導体領域の不純物濃度や不純物の導電型が異なってもよいものとする。あらかじめ実験を行っておけば、第1の半導体領域における適正なコンタクト抵抗を得るための第2の半導体領域における光学的特性(上記実施形態ではコンタクト抵抗)がわかるからである。たとえば、モニター領域 R m nにおける不純物濃度を特別に濃くしておいて、反射強度の変化割合の検知感度を高くしておくことも可能である。

【0137】

(第3の実施形態)

本実施形態では、光学的モニターシステムの実施形態について説明する。なお、半導体装置の加工方法は、上記第1, 第2の実施形態や注記した変形可能な形態と同様に行うことができる。

【0138】

図11は、本実施形態における光学的評価装置を示す斜視図である。同図において、図8に示す構成部品と同じ構成部品には同じ符号を付している。すなわち、上記第2の実施形態と同様に、ウエハステージ 504と、Xeランプ 502と、ミラー 506と、Arイオンレーザー 503と、チョッパ 510と、観測システム兼解析システム 509とが設けられている。そして、本実施形態の特徴は、励起光 511とプローブ光 507とを同軸上に誘導するためのミラー 523と、ウエハ 103のn型半導体領域から反射される励起光及びプローブ光が混在した反射光 518を分光するための分光器 521と、該分光器 521で分光された各波長における光の強度を検出するための検出器 522とを備えている点である。上記Xeランプ 502、ミラー 506及び523、Arイオンレーザー 503、チョッパ 510、及び分光器 521により光学システム 530が構成されている。

【0139】

本実施形態の光学的評価装置においては、Xeランプ 502で生成されたプローブ光 507と、Arイオンレーザー 503で生成された励起光 511とは、ミラー 523により同軸上に誘導され、ミラー 506によって共に反射された後、ウエハステージ 504上に設置されたウエハ 103上のn型半導体領域 101に送られる。そして、n型半導体領域

10

20

30

40

50

で反射された反射プローブ光と反射励起光とが混在した反射光 5 1 8 は、ミラー 5 0 6 を通過して分光器 5 2 1 に送られ、検出器 5 2 2 によりその強度が検出された後、観測システム兼解析システム 5 0 9 によりその強度の変化が解析される。

【 0 1 4 0 】

したがって、本実施形態の光学的評価装置を利用して、第 2 の実施形態で示した方法と同様の方法により、プラズマ処理を施したサンプルを評価することができる。加えて、本実施形態では、プローブ光と励起光とを共通の光軸に誘導してから、観測点であるウエハ 1 0 3 上の n 型半導体領域に入射させるように構成されているので、観測点へのアライメントが非常に簡便に行うことができ、また、装置の構成が簡素になる。

【 0 1 4 1 】

さらに、本実施形態の構成により、第 2 の実施形態で示している方法に比べて、より微小な半導体領域での S i ダメージ層の評価が容易に行うことができる。また、励起光も鉛直方向から入射するため、ビーム径を約 3 0 μm まで絞ることができ、4 5 ° 傾いた方向から励起光を入射させる場合に比べ、さらに微少な観測点でのサンプル評価を行うことができる。また、評価時間も、第 2 の実施形態の約 2 0 % まで短縮することができる。

【 0 1 4 2 】

したがって、ウエハ内にモニター領域を別途設けなくても、ウエハの L S I 内に広めの半導体領域があればそれを利用してプラズマ加工のダメージ等を測定することが可能になる。

【 0 1 4 3 】

(第 4 の実施形態)

図 1 2 は、第 4 の実施形態における光学的評価装置を示す斜視図である。同図において、図 1 1 に示す構成部品と同じ構成部品には同じ符号を付している。すなわち、上記第 3 の実施形態と同様に、ウエハステージ 5 0 4 と、X e ランプ 5 0 2 と、ミラー 5 0 6 及び 5 2 3 と、A r イオンレーザー 5 0 3 と、チョッパ 5 1 0 と、観測システム兼解析システム 5 0 9 とが設けられている。そして、本実施形態の特徴は、ウエハ 1 0 3 の n 型半導体領域から反射されるプローブ光と励起光とが混在した反射光 5 1 8 のうち特定の波長範囲の光を通過させるためのフィルター 5 2 5 (ピーク波長が 3 5 0 n m) と、このフィルター 5 2 5 を通過した光の強度を検出するための検出器 5 2 4 とを備えている点である。上記 X e ランプ 5 0 2 、ミラー 5 0 6 及び 5 2 3 、A r イオンレーザー 5 0 3 、チョッパ 5 1 0 、及びフィルター 5 2 5 により光学システム 5 3 0 が構成されている。

【 0 1 4 4 】

本実施形態の光学的評価装置では、上記各実施形態の方法とは異なり、プローブ光の特定の波長範囲における反射強度の変化割合を分光せずに観測することができる。この方法により、評価に要する時間を数秒のオーダーにまで短縮することができる。

【 0 1 4 5 】

図 1 3 は、本実施形態の光学的評価装置を用いて、ライトエッチングを 2 0 秒間行った後におけるプローブ光の反射強度の変化割合 (R / R) を、R F バイアスパワーを変化させて、測定した結果を示す図である。この場合、反射プローブ光を分光してスペクトル解析するのではなく、検出器 5 2 4 によりフィルター 5 2 5 を透過した光を観測しているので、同図に示す結果は、フィルター特性から波長範囲 3 5 0 n m から 3 9 0 n m の光の強度を積分して検出していることと考えられる。図 1 3 をみると、プラズマ強度を大きくするほどプローブ光の反射強度の変化割合 (R / R) が低下しているので、加工領域におけるダメージが大きくなっていることがわかる。すなわち、本実施形態の方法においても、プラズマ処理の加工程度の相違による測定光の反射率の変化割合の相違を明確に検出することができた。本実施形態では、前述したように、スペクトル解析が必要でないため、評価時間は、数秒のオーダーまで短縮することができた。

【 0 1 4 6 】

(第 5 の実施形態)

図 1 4 は、第 5 の実施形態における光学的評価装置を示す斜視図である。同図において

10

20

30

40

50

、図 1 1 と同じ構成部品には同じ符号を記している。すなわち、上記第 3 の実施形態と同様に、ウエハステージ 5 0 4 と、X e ランプ 5 0 2 と、チョッパ 5 1 0 と、分光器 5 2 1 と、検出器 5 2 2 とが設けられている。そして、本実施形態の特徴は、光学システム 5 3 0 内に、X e ランプ 5 0 2 で生成された光をプローブ 5 0 7 と励起光 5 1 1 とに分離するビームスプリッター 5 2 6 と、励起光 5 1 1 を反射させるためのミラー 5 2 7 と、プローブ光 5 0 7 を反射させ、ウエハ 1 0 3 からの反射光 5 1 8 を透過させるミラー 5 2 8 と、プローブ光 5 0 7 を透過させかつ励起光 5 1 1 を反射させて両者を共にウエハに導くとともに、反射光を透過させる組合せミラー 5 2 9 とを備えている点である。上記 X e ランプ 5 0 2 、チョッパ 5 2 1 、ビームスプリッター 5 2 6 、ミラー 5 2 7 及び 5 2 8 、組合せミラー 5 2 9 、及び分光器 5 2 1 により光学システム 5 3 0 が構成されている。

10

【 0 1 4 7 】

すなわち、本実施形態では、上記各実施形態とは異なり、1つの光源である X e ランプ 5 0 2 からの光をプローブ光 5 0 7 と励起光 5 1 1 とに分離させてから、上記各実施形態におけると同様の光変調反射率分光測定を行う。したがって、本実施形態によれば、光源が1つで済むことから光学システム 5 3 0 が図 1 4 に示すようにコンパクト化することができ、またレーザを用いる必要がないために低コスト、メンテナンス効率の向上を図ることができる。

【 0 1 4 8 】

図 1 5 は、本実施形態の光学的評価装置を用いて、ライトエッチングを 2 0 秒間行った後におけるプローブ光の反射強度の変化割合 (R/R) を、R F バイアスパワーを変化させて、測定した結果を示す図である。図 1 5 をみると、プラズマ強度を大きくするほどプローブ光の反射強度の変化割合 (R/R) が低下しているのが、加工領域におけるダメージが大きくなっていることがわかる。すなわち、本実施形態の方法においても、プラズマ処理の加工程度の相違による測定光の反射率の変化の相違を明確に検出することができる。

20

【 0 1 4 9 】

図 1 6 は、本実施形態の光学的評価装置を用いて、波長 3 7 6 n m (エネルギー 3 . 3 e V) におけるプローブ光の反射強度の変化割合 (R/R) の初期値に対する比の時間的変化を測定した結果を示す図である。同図に示すように、ライトエッチングの進行に伴うプローブ光の反射強度の変化割合 (R/R) の変化は、基本的に図 5 に示す変化とほとんど同じである。ただし、本実施形態では、反射強度の変化割合 (R/R) の値そのものが図 5 に示す値よりも大きい。これは、励起光も上方から入力させたことで、感度が高くなったことを意味している。

30

【 0 1 5 0 】

(第 2 ~ 第 5 の実施形態に共通のプラズマ処理装置)

図 1 7 は、上記第 2 ~ 第 5 の実施形態において共通に使用されるプラズマ処理装置の構造を概略的に示す断面図である。同図に示すように、プラズマ処理装置は、チャンバ 2 0 0 と、プラズマ発生用の高周波電力を供給するための R F 電源 2 1 1 と、カップリングコンデンサ 2 1 2 と、チャンバ 2 0 0 内の底部に設置された下部電極 2 1 3 と、チャンバ 2 0 0 内の天井部に設置された上部電極 2 1 4 と、チャンバ 2 0 0 の側壁に設けられた覗き窓 2 1 8 , 2 1 9 と、チャンバ 2 0 0 の天井部中央付近に設けられた観測用窓 2 2 0 とを備えている。ただし、同図においてウエハステージは図示を省略されている。そして、R F 電源 2 1 1 から供給される高周波電力により上部電極 2 1 4 と下部電極 2 1 3 との間にプラズマ領域 4 0 1 を生ぜしめて、下部電極 2 1 3 の上に設置されたウエハ 1 0 3 内の n 型半導体領域 1 0 1 を加工するように構成されている。

40

【 0 1 5 1 】

そして、上記第 3 ~ 第 5 の実施形態においては、図 1 7 に示すように、光学システム 5 3 0 をチャンバ 2 0 0 の観測用窓 2 2 0 の上方にまとめて配置することができる。ただし、第 2 の実施形態では、プローブ光用の光学システムのみを観測用窓 2 2 0 の上方に配置し、励起光用の光学的システムは覗き窓 2 1 8 , 2 1 9 の側方に配置することになる。

50

【0152】

このようなプラズマ処理装置の構造により、ウエハ面に垂直な方向から少なくともプローブ光を入射することが可能になり、プローブ光の反射率の変化を観測することで、リアルタイムにプロセス観測を実現することができるのである。また、光学的システムからの信号531を利用して、加工条件へのフィードバック等を行うことができる。

【0153】

(第6の実施形態)

図18は、第6の実施形態における半導体装置の熱処理装置(アニール処理装置)の構成を概略的に示す断面図である。図18示すように、反応容器607内には、石英チューブ603が取り付けられており、石英チューブ603の内側面上にはウエハサセプタ602を介してウエハ103が設置されている。石英チューブ603の外側面の上には赤外線を用いたヒーター604が取り付けられており、このヒーター604によって石英チューブ603内のウエハ103を加熱するようにしている。また、反応容器607には反応ガスの導入口609と、反応ガスの排出口610とが設けられており、反応ガスの流量は流量制御計608によって適宜調整できるようになされている。また、反応容器607の側部には、2つの観測用石英窓605, 606が互いに相対向して設けられている。ウエハ103の一部にはn型半導体領域101(比抵抗値約0.02 cm)が設けられており、一方の観測用石英窓605からウエハ103上のn型半導体領域101に入射させた光を他方の観測用石英窓606から取り出せるように構成されている。このウエハ103のn型半導体領域101には図示しないが、光学的評価のためのパターン(大きさは $13 \times 13 \mu\text{m}^2$)が設けられている。

【0154】

また、反応容器607の外には、反応容器607内に入射する測定光であるプローブ光618を発生するXeランプ611と、反応容器607内に励起光620を発生するArイオンレーザー612(出力1W)と、この励起光620を周波数200Hzでチョッピングするチョッパー614と、ウエハ103上のn型半導体領域101から反射される反射プローブ光619を受けてその強度を検出する検出器613とが配設されている。すなわち、Xeランプ611で発生したプローブ光618を評価パターンであるウエハ103上のn型半導体領域101に照射する一方、Arイオンレーザー612で発生した励起光620も周波数200Hzでチョッパー614によりチョッピングしながらウエハ103上のn型半導体領域101に照射し、励起光620の照射・非照射によるn型半導体領域101からの反射プローブ光619の強度の変化から、反射率の変動をモニターするように構成されている。そして、制御系コンピュータ615により、ヒーター604, チョッパー614及び流量制御計608の動作を制御する一方、検出器613の検出信号を取り込んでn型半導体領域101の光学的特性を監視するように構成されている。なお、チョッパ614と、反射光の強度を検出する検出器613とは同期して動作するように構成されている。

【0155】

次に、反射率の変化を利用した光学的評価方法の原理について説明する。

【0156】

測定光の反射率の変化割合とは、評価対象である半導体領域に励起光が照射されているときの測定光の反射率と励起光が照射されていないときの反射率との差 R を、半導体領域に励起光が照射されていないときの反射率 R で割った値 (R/R) である。このような測定光の反射率の変化は、以下の作用によって生じると考えられる。一般的に、半導体に光を照射すると、光によって励起されてキャリア数が増大し、その後、キャリアが元のエネルギー準位に戻る際には光を放出して消滅する。このキャリア数の変化に伴い電界強度が強くなったり弱くなったり変化する。したがって、励起光が照射されているときと、励起光が照射されていないときとは、測定光の反射強度が異なる。そして、半導体領域の構造が完全な結晶状態である場合には、反射率の変化割合は、測定光の波長に依存して変化する。つまり、測定光の反射率の変化割合を測定光の各波長についてプロットしたス

10

20

30

40

50

ペクトルは、半導体領域を構成する半導体の伝導帯の底と価電子帯の頂上との差であるエネルギーギャップに応じた特徴的な変化特性を示す。

【0157】

図22は、その一例を示す。つまり、エネルギーが約3.3 eVに相当する波長の領域では反射率の変化割合 (R/R) が極小値 (極値) を示し、エネルギーが3.5 eVに相当する波長の領域では反射率の変化割合 (R/R) が極大値 (極値) を示す。反射率の変化割合 (R/R) の極値のうち極小値の方が極大値よりも絶対値が大きい。

【0158】

ところが、半導体内に結晶学的な欠陥や電子構造の正常状態からのずれなどの構造的な乱れが多く存在すると、その領域にはエネルギー準位の低い捕獲準位が存在することになる。そして、このような構造の乱れによって生じたエネルギー準位の低い領域がキャリアの捕獲層として機能するために、キャリア数の増加量が減少し、電界強度の差が少なくなる。したがって、不純物イオンの注入によって生じた半導体領域内の構造が乱れた領域の深さや乱れの程度が大きいほど測定光の反射率の変化割合 (R/R) が小さくなり、構造の乱れが大きい場合には励起光の照射による測定光の反射率の変化がほとんどなくなる。つまり、このような場合には、測定光の反射率の変化割合を測定光の各波長についてプロットしたスペクトルは、ほぼ一定の小さな値を示すだけとなる。

【0159】

以上のことから、この測定光の反射率の変化割合をモニターすることにより、不純物イオンの注入後のアニールプロセスにおける半導体領域の回復の程度に関する情報を得ることができるのである。

【0160】

次に、図19及び図20を参照しながら、イオン注入後のアニールプロセスにおけるプローブ光の反射率の変化割合のスペクトルの経時変化について説明する。

【0161】

図19は、プローブ光の波長の逆数に比例するエネルギーの値と反射率の変化割合 (R/R) との関係を示すスペクトル線図である。ただし、図19の横軸は実質的には測定光の波長を連続的に変化させたものにほかならないので、結局、図19は波長の変化に対する反射率の変化割合 (R/R) のスペクトルを示している。また、本実施形態では、照射するプローブ光618の強度は一定であるので、励起光620の照射・非照射時における反射プローブ光619の強度差 R を励起光620の非照射時における強度 R で割ることで、反射率の変化割合 (R/R) を算出している。なお、図19の反射率の変化割合 (R/R) の値は、初期の状態を0とする相対値である。

【0162】

熱処理工程を開始する前の状態では、反応容器607内に収納されているウエハ103上のn型半導体領域101には、すでに不純物イオン注入プロセスにおいて、ドーズ量が約 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、注入エネルギーが約35 keVの条件で、ヒ素 (As) が導入されている。図19中のスペクトル線 S_0 は、不純物イオンの注入直後における反射率の変化割合 (R/R) のスペクトルである。

【0163】

また、図19中のスペクトル線 S_{10} は、このウエハ103を図18で示す装置により N_2 ガス雰囲気中で900、10秒間アニール処理したときの反射率の変化割合 (R/R) のスペクトルであり、図19中のスペクトル線 S_{25} は同じ条件で25秒間アニールしたときの反射率の変化割合 (R/R) のスペクトルである。同図に示すように、アニール処理が進行するにつれて、反射率の変化割合 (R/R) のスペクトルの形状が大きく変化していることがわかる。つまり、このスペクトル形状は、アニール処理によるSi結晶性の回復を示すものであり、回復が進むにつれて反射率の変化割合 (R/R) のスペクトル線の極大側のピーク値が上方に、極小側のピーク値が下方に移動していることがわかる。

【0164】

10

20

30

40

50

そこで、本実施形態では、スペクトル線中でより変化幅の大きい極小ピーク値に着目し、不純物イオンの注入後のアニールプロセスにおける回復程度をスペクトル線の極小ピーク値によって監視するようにしている。ただし、図 19 に示すように、スペクトル線にはエネルギーが約 3.3 eV (波長 376 nm) の点で極小ピーク値があるので、反射プローブ光 619 のエネルギー 3.3 eV に相当する波長における反射率の変化割合をスペクトル線の極小ピーク値と仮定する。

【0165】

図 20 は、図 18 で示す装置を用い、反射プローブ光 619 のエネルギー 3.3 eV に相当する波長における反射率の変化割合をスペクトル線の極小ピーク値と仮定して、ウエハ 103 のアニールプロセスにおけるスペクトル線の極小ピーク値の経時変化を示す図である。同図に示すように、アニールプロセスの時間の経過とともに半導体領域の結晶性の回復が進行するので、極小ピーク値は時間とともに増大する。極小ピーク値が -12.0 になった時点 (35 秒) でアニール処理を終了しても、半導体領域 (本実施形態では Si 結晶) の結晶性が十分回復していることがラマン分光により確認できた。

10

【0166】

したがって、本実施形態では、ある程度の余裕をもって定められたアニール処理の時間ではなく、あらかじめモニターウエハーについて行った実験等より、現実のアニールプロセスにおけるスペクトル線中の極小ピーク値の変化によりアニール処理プロセスを制御することで、安定した結晶性とともに安定した不純物プロファイルを有したデバイス製造が実現できる。すなわち、アニール処理中において、特定波長 (エネルギー領域) での反射率の変化割合 (R/R) をモニターすることにより、安定したアニール処理プロセス及び良好な特性を有するデバイス製造を実現できる。

20

【0167】

さらに、本実施形態では、極小ピーク値が -12.0 になるまでに要する時間を管理し、その時間が、40 秒を超えた時点で、本熱処理装置の定期メンテナンスを行った。図 23 は、ウエハの処理枚数に対するスペクトル線の極小ピーク値が -12.0 になるまでのアニール時間の変化を示す。このように、ウエハの処理枚数に応じて極小ピーク値が -12.0 に達するまでの時間が長くなるのは、装置構成部品の劣化によるものと考えられる。従来の管理方法では、40 秒を超えるアニールを行った場合には、半導体領域におけるコンタクト抵抗不良などのトラブルが発生していたが、本発明の管理手法によれば、そのようなトラブルの発生を抑制することができる。すなわち、本実施形態の光学的な管理手法とプロセス時間管理手法の融合により、従来の方法では困難であった熱処理工程のプロセス管理をも実現することができ、よって、安定した稼動を達成することができる。

30

【0168】

なお、第 6 の実施形態において、図 18 に示す光学的モニターシステムに代えて、第 2 の実施形態における図 8 に示す光学的モニターシステムや、第 3 の実施形態における図 9 に示す光学的モニターシステム、第 4 の実施形態における図 12 に示す光学的モニターシステム、第 5 の実施形態における図 14 に示す光学的モニターシステムなどを使用することができる。

【0169】

40

(第 7 の実施形態)

次に、不純物濃度の計測方法に関する第 2 の実施形態について説明する。

【0170】

本実施形態では、上記第 2 の実施形態で使用した図 8 に示す光学的モニターシステムを用いる。

【0171】

ただし、本実施形態では、励起光 511 はチョッパ 510 によって周波数 100 Hz でチョッピングされて、ウエハ 103 の n 型半導体領域 103a に間欠的に照射される。そして、この観測システム兼解析システム 509 で計測された反射強度に関するデータは、信号線を介して熱処理制御システム (図示せず) に送られる。また、チョッパ 510 と、

50

反射プローブ光の強度を検出する検出器とは同期して動作するように構成されている。

【0172】

図21は、実際に観測して得られた反射率の変化割合のスペクトル線における極小ピーク値と不純物導入の際の不純物のドーズ量との関係を示す。不純物はヒ素(As)であり、実験を行ったドーズ量は $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、 $5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、 $5.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 、 $1.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ であり、いずれの場合にもイオンの加速エネルギーは150keVである。また、熱処理は、 N_2 ガス雰囲気中で、850℃、1時間行っている。図22には、ドーズ量が $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の場合の反射率の変化割合(R/R)のスペクトルを示す。

【0173】

図21からわかるように、不純物が導入されたサンプルの反射率の変化割合(R/R)の極小ピーク値は、ドーズ量の増加とともに負の側に大きくなっていくことがわかる。すなわち、反射率の変化割合(R/R)が不純物濃度を反映したものであり、反射率の変化割合(R/R)をモニターすることにより、熱処理後の最終的な基板内の不純物濃度を知ることができることを意味している。したがって、この極小ピーク値がある値になるまで不純物のイオン注入と拡散用の熱処理とを行うことにより、n型半導体領域101における所望の不純物濃度に正確に制御することが可能になる。

【0174】

なお、上記第6、第7の実施形態では、不純物イオンの注入により生じた欠陥等に起因する構造の乱れを回復させるための熱処理工程について説明したが、本発明の熱処理はかかる実施形態に限定されるものではなく、エッチングによって生じた欠陥などに起因する構造の乱れを回復させるための熱処理工程についても適用されるものである。

【0175】

なお、第7の実施形態において、図8に示す光学的モニターシステムに代えて、第3の実施形態における図9に示す光学的モニターシステムや、第4の実施形態における図12に示す光学的モニターシステム、第5の実施形態における図14に示す光学的モニターシステムなどを使用することができる。

【0176】

(第8の実施形態)

以下、図24～図29を参照しながら、第8の実施形態に係る半導体装置(絶縁膜)の光学的評価装置及び評価方法について説明する。

【0177】

図24は、本実施形態に係る絶縁膜の光学的モニターシステムの構成を概略的に示す斜視図である。図24において、701はシリコン酸化膜が形成されたウエハ状態の半導体基板、702はウエハステージ、703は出力150Wの第2の光源であるXeランプ、704は偏光子、705は検光子を備えた検出器、706はXeランプ光であるプローブ光(測定光)、707は反射プローブ光、708は検出器705からの信号を伝達するための信号線、709は出力が5Wの第1の光源であるArイオンレーザ、710は励起光を変調するためのチョッパー、711はチョッパー710により変調された励起光である励起光、712は励起光の変調との同期信号を伝達するための信号線、713は制御システムをそれぞれ示す。そして、検出器705は、反射プローブ光707の強度を各波長について連続的なスペクトルを測定するように構成されている。また、励起光711は、チョッパー710によって周波数500Hzでチョッピングされて、半導体基板701の表面に対して垂直な方向から半導体基板701の被測定領域に間欠的に照射されるように構成されている。さらに、チョッパ710と、反射光の強度を検出する検出器705とは同期して動作するように構成されている。

【0178】

一方、図25に示すように、被測定領域である半導体基板701のn型半導体領域701b上には、たとえば温度850℃下の熱酸化法によりシリコン酸化膜701cが形成されている。プローブ光706はこのシリコン酸化膜701cを通過してその直下のn型半

10

20

30

40

50

導体領域 701b に入射され、n 形半導体領域 701b の表面で反射される。そして、この反射プローブ光 707 は、シリコン酸化膜 701c を通過して外方に出射される。

【0179】

ただし、図 24 において図示されていないが、例えば図 18 に示すような構造と類似した熱酸化を行うためのチャンバーが配置されており、ウエハステージ 702 はこのチャンバー内に設置され、チャンバーにはプローブ光 706、反射プローブ光 707 及び励起光 711 を通過させるための窓が設けられている。

【0180】

ここで、光変調反射率分光法の基本的な原理と、本実施形態に係る反射プローブ光 707 の反射強度の変化割合 (R/R) の測定方法とについて説明する。

10

【0181】

一般的に、半導体に光を照射すると、光によって励起されてキャリア数が増大し、その後、キャリアが元のエネルギー準位に戻る際には光を放出して消滅する。このキャリア数の変化に伴い半導体領域の表面電界強度が変化する。したがって、励起光が照射されているときと励起光が照射されていないときとは、測定光が半導体領域の表面で反射される割合つまり測定光の反射率が異なる。すなわち、励起光の照射によって生じるべき電界強度の変化の大きさが被測定領域の何らかの特性に依存して変わるのであれば、測定光の反射率の変化割合を測定することにより、被測定領域の特性を評価できるはずである。本発明は、このような光変調反射率分光の技術を前提としている。

【0182】

20

そこで、本実施形態では、まず、被測定領域である半導体基板 701 のシリコン酸化膜 701c を通過させてその直下の n 型半導体領域 701b に励起光 711 を間欠的に照射しながら、別の方向からプローブ光 706 を連続的にシリコン酸化膜 701c を通過させてその直下の n 型半導体領域 701b に照射して、反射プローブ光 707 の反射強度の変化を検出する。そして、励起光 711 が照射されているときと照射されていないときの反射プローブ光 707 の反射強度の差 R を、励起光 711 が照射されていないときの反射強度 R で割った値 (R/R) が反射強度の変化割合として解析システム 713 で検知される。ここで、反射強度の変化割合 (R/R) は、照射されるプローブ光 706 の強度が一定であることを前提として、反射率の代わりに使用されているものであり、技術的に意味があるのは反射率の変化割合である。以上の構成により、プローブ光の反射強度の変化割合の変動がモニターされる。そして、図 24 に示す解析システム 713 のディスプレイ上には、図示するような測定光の反射強度の変化割合 (R/R) のスペクトルが表示される。

30

【0183】

図 26 は、上記検出器 705 によって測定された反射強度の変化割合 (R/R) のスペクトルを示す。同図において、曲線 S_{pa} は正常なシリコン酸化膜を有する半導体基板からの反射強度の変化割合 (R/R) のスペクトルを示し、曲線 S_{pb}, S_{pc} は不良のシリコン酸化膜を有する半導体基板からの反射強度の変化割合 (R/R) のスペクトルを示す。これらの反射強度の変化割合 (R/R) のスペクトルの形状の相違から、良品の半導体基板の反射強度の変化割合 (R/R) はある一定の範囲 (同図の斜線で示す領域) に収まるのに対し、不良のシリコン酸化膜を有する半導体基板からの反射強度の変化割合 (R/R) はこの範囲からはみ出るほど大きいということがわかった。このような相違が生じる原因については、以下の作用によるものと考えられる。

40

【0184】

図 27 (a) に示すように、シリコン酸化膜を通過させてその直下の n 型半導体領域に励起光 711 を照射すると n 型半導体領域にキャリアが発生し、このキャリア数の変化に伴い表面電界強度が だけ増大する。この表面電界強度の変化 が生じることで、励起光が照射されているときと照射されていないときで反射強度が異なることは、既に説明したとおりである。ここで、n 型半導体領域の上にシリコン酸化膜が形成されていると、n 型半導体領域の表面層にキャリアのトラップとなる欠陥サイトが発生するので、測定

50

光の反射率の変化分は小さくなるはずである。

【0185】

ところが、図27(b)に示すように、シリコン酸化膜中にトラップ電子が存在していると、この電子によってn型半導体領域にはより大きな表面電界強度の変化が生じることになる。このために、トラップ電子が多く存在するシリコン酸化膜の直下のn型半導体領域から反射強度の変化割合(R/R)は、トラップ電子が少ないシリコン酸化膜の直下のn型半導体領域からの反射強度の変化割合(R/R)よりも大きくなると考えられる。つまり、図26に示すような反射強度の変化割合(R/R)の大きいスペクトル S_{pb} 、 S_{pc} を与える半導体基板のシリコン酸化膜には多くのトラップ電子が存在することになる。このようなトラップ電子は、シリコン酸化膜の欠陥が多いほど多く存在することは知られている。なお、トラップ電子が多く存在していると、絶縁破壊によるキャリアパスが発生しやすくなり、絶縁膜の寿命が短いこともわかっている。

10

【0186】

そこで、発明者は、上記推論を裏付けるために、厚みが2~4nm程度のシリコン酸化膜に電気的ストレスをその大きさを種々に変えて印加する実験を行って、図28に示すデータを得た。図28は、反射強度の変化割合(R/R)のスペクトル中のピーク強度と、水銀プローバによる容量の測定より得られたおのおのの酸化膜中のトラップ電子密度との関係を示す図である。同図において、縦軸はトラップ電子密度($\times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$)を示し、横軸は反射強度の変化割合(R/R)のスペクトル中の3.35eV付近の極小ピーク値(波長375nm付近に対応する)を与えるピーク信号強度の相対値をとっている。

20

図28に示すように、ピーク信号強度の絶対値が増大するほどトラップ電子密度も増大しているので、反射強度の変化割合(R/R)の絶対値がある範囲よりも大きいときにはシリコン酸化膜の品質がよくない(つまりトラップ電子が多く存在している)と評価することができる。

30

【0187】

すなわち、反射強度の変化割合(R/R)(絶対値)が所定値以上であればゲート酸化膜を不良と判定することは、上述のような推論が理論的に正しいかどうかは別にして、経験的に得られる因果関係に合致している。したがって、反射強度の変化割合(R/R)をモニターすることにより、絶縁膜中の電子トラップ量を特定できるため、絶縁膜の電気的特性の管理を光学的に行うことができる。

【0188】

次に、このような光学的評価により半導体デバイスの製造における工程管理を行った実施例について説明する。

【0189】

図29に示すように、反射強度の変化割合(R/R)のスペクトル中のピーク値が $-0.25 \sim -0.25 \times 10^{-3}$ の範囲に収まるのであれば良品とし、逆にこの範囲に収まらないのであれば不良と設定して、半導体基板(ウエハ)の上に熱酸化によりシリコン酸化膜を試作する際の工程管理を行った。図29において、横軸は処理枚数を示し、縦軸は3.35eV付近における反射強度の変化割合(R/R)(ピーク値)である。125枚ごとに1回の割合でモニターした結果、750枚目のところで突如信号が大きく変化した。

40

これは、突発的なトラブルであり、このときのゲート酸化膜の特性は、ゲートへの印加電圧 V_g が-6.6Vのときに、信頼性を示す破壊までの時間 t_{bd} (寿命値)が100sec程度であった。通常の寿命値 t_{bd} は 10^4 sec以上であるから、この寿命値は異常に低い値であることがわかる。この場合、迅速なトラブルへの対応によってトラブルの原因を取り除くことができ、その後の不良の発生を防止することができた。このように、本発明では、光学的な特性評価による製造工程の管理を行うことにより、従来の電気的特性の評価による管理よりも迅速な対応ができ、サンプルの試作工程や、MOSデバイスの製造工程における歩留まりの悪化を確実に防止することができる。

【0190】

なお、予め実験を行って、適正な電子トラップ密度に対応する容量(電気的特性)の適

50

正範囲と、この適正範囲に相当する反射強度の変化割合 (R/R) の適正範囲との関係
を求めておけば、反射強度の変化割合 (R/R) が適正範囲に入るように製造条件を制
御することができる。

【0191】

なお、本実施形態において、図24に示す光学的モニターシステムに代えて、第2の実
施形態における図8に示す光学的モニターシステムや、第3の実施形態における図9に示
す光学的モニターシステム、第4の実施形態における図12に示す光学的モニターシステ
ム、第5の実施形態における図14に示す光学的モニターシステムなどを使用することが
できる。

【0192】

10

また、本実施形態における光学的モニターシステムにおいて、測定光の光源の選定によ
り、あるいはフィルターの取り付けにより、600nm以下、より好ましくは300~6
00nmの波長範囲の測定光を半導体領域に照射するようにすることが好ましい。かかる
波長範囲の光は、半導体領域への侵入深さが数10nm以上にならないので、シリコン酸
化膜等の絶縁膜内のトラップ電子の影響を受けやすい表面領域からの反射光の強度の差に
基づき感度の高い光学的評価を行うことができる。

【0193】

(第9の実施形態)

次に、第9の実施形態について説明する。図30(a)~(c)は、ゲート電極及びゲ
ート酸化膜のパターニング工程を示すウエハの断面図である。ただし、本実施形態では、
第1の実施形態における図4に示すエッチング装置を使用して、ゲート電極及びゲート酸
化膜のパターニングを行うものとする。

20

【0194】

まず、図30(a)に示す工程の前に、ウエハ803上のチップ領域Rtpの基板領域
には、しきい値制御用の低濃度の不純物が導入された第1半導体領域800が設けられて
おり、この第1半導体領域800に半導体素子であるMOSトランジスタが形成される。
一方、ウエハ803上のモニター領域Rmnには、広さが例えば $13 \times 13 \mu m^2$ のn型
不純物が導入された第2半導体領域801(比抵抗値が約 $0.02 \Omega cm$)が形成されて
いる。そして、基板の全面上には、厚みが例えば6nmのゲート酸化膜807と、ポリシ
リコンからなるゲート電極膜806とが堆積されている。さらに、ゲート電極膜806の
上には、ゲート電極形成用のパターン形状を有するフォトレジストマスク809が形成さ
れている。ただし、このフォトレジストマスク809は、第2半導体領域801の上方に
も開口領域を有している。

30

【0195】

次に、図30(b)に示す工程において、フォトレジストマスク809を用いたドライ
エッチング(プラズマエッチング)により、ゲート電極膜806が除去され、ゲート電極
806aが形成される。このとき、第2半導体領域801のゲート電極膜が除去されて、
ゲート酸化膜807が露出した状態となっている。

【0196】

そして、この状態で、励起光402及びプローブ光403がゲート酸化膜807を通っ
て第2半導体領域801に照射される。ただし、励起光402は間欠的に照射される。そ
して、上述のように、励起光402が照射されているときと照射されていないときのプロ
ーブ光403の反射強度の差 R を励起光402の照射がないときの反射強度 R で割った
値 (R/R) が反射強度の変化割合として図4に示す反射強度観測システム220で検
知される。以上の構成により、反射強度の変化割合の変動がモニターされる。

40

【0197】

次に、図30(c)に示す工程で、ゲート酸化膜807のパターニングが完了して、ゲ
ート電極806aの直下にゲート酸化膜807aが残される状態になる。ここで、本実施
形態では、このようにエッチングが完了した時点では、第2の半導体領域801における
プローブ光の反射率の変化割合 (R/R) が図30(b)に示すときの値よりも大きく

50

変化している点に着目する。

【0198】

図31は、ゲート酸化膜が除去されていくときのプローブ光の反射率の変化割合 (R/R) を示すスペクトル線図である。図30(b)のようにゲート酸化膜が存在しているときには、ゲート酸化膜中のトラップ電子の存在によってピーク値の絶対値が大きいスペクトル線となるが、ゲート酸化膜が除去されるにつれてピーク値の絶対値が小さいスペクトル線(例えば図31に示すスペクトル線Slow)を示すように変化する。さらにゲート酸化膜の除去が進むと、トラップ電子数が極めてわずかになり、しかもシリコン基板にはダメージ層もほとんどないことから、ピーク値の絶対値が増大するように転ずる。そして、図30(c)に示すゲート酸化膜の除去が完了した時点では、ピーク値が大きいスペクトル線Shighを示す。したがって、プローブ光の反射率の変化割合 (R/R) をモニターし続けることにより、基板内にほとんどダメージが入らずしかもゲート酸化膜の除去が完了した時点を検知することができる。すなわち、ゲート酸化膜の除去が完了して時点でエッチングを停止するようにドライエッチング工程を制御することができ、シリコン基板へのダメージをできるだけ小さくすることができる。

10

【0199】

ただし、本実施形態のエッチング工程の制御方法は、ゲート酸化膜の除去だけでなく、測定感度が有効に得られない程度に厚い絶縁膜でさえなければ、他の絶縁膜の除去のためのエッチングにも適用することができる。

【0200】

20

(第10の実施形態)

次に、第10の実施形態について説明する。本実施形態では、ウエハの図示は省略するが、例えば上記第9の実施形態の図30(c)に示す状態で、第1の半導体領域800にソース・ドレイン領域を形成するための不純物導入を行う工程に適用できるものである。

【0201】

図32は、BF₂とHeの混合ガスを用い圧力10mTorrで、プラズマドーピングを行って半導体領域内に不純物を導入していく過程において、プローブ光の反射率の変化割合 (R/R) をモニターした結果を示す図である。同図において、横軸は処理時間を、縦軸は極小ピーク値の信号強度(相対値)の絶対値を示す。同図に示されるように、不純物の導入につれて信号強度が低下してきており、不純物の導入によって半導体領域内に欠陥が生じていることがわかる。したがって、プローブ光の反射率の変化割合 (R/R) が初期値から所定値または所定割合だけ小さくなったときに不純物の導入を停止させたり、予め実験を行って所望の不純物濃度に対応する信号強度を求めこの信号強度に達したときに不純物の導入を停止するなどの制御を行うことにより、所望の濃度の不純物を導入することができる。

30

【0202】

さらに、上記プラズマドーピングやイオン注入などによる不純物の導入後に熱処理を行い、熱処理後に光変調反射率測定を行って測定光の反射率の変化割合 (R/R) を評価すれば、熱処理後の不純物の濃度がわかる。したがって、予め予備実験を行って適正な不純物濃度を実現するための不純物導入条件(例えばイオン注入量、イオン注入エネルギーやプラズマドーピング時の高周波電力など)を決定しておくことができる。特に、不純物導入前における半導体領域についてインラインでの光変調反射率測定を行って、その工程での半導体領域の不純物の濃度を把握しておけば、より精度のよい不純物導入を行うことができる。

40

【0203】

ただし、本実施形態においても、半導体素子が形成される領域とは別の領域に光学的評価用のモニター領域を設けておくことができる。

【0204】

(その他の実施形態)

なお、上記各実施形態における光学的モニターシステムのうちXeランプ、偏光子、検

50

出器等は、現在酸化膜の膜厚の測定のために使用されているエリプソメトリ分光器の部材をそのまま利用することができる。その場合、A r イオンレーザ、チョッパー及び制御システムを新たに設けるだけで、本発明の光学的評価を行うことができる。

【0205】

また、上記各実施形態では、M O S トランジスタを形成する場合を例にとって説明したが、バイポーラトランジスタや、化合物半導体基板に形成されるM E S F E Tなどのデバイス形成する場合にも適用することができる。

【0206】

【発明の効果】

請求項1から3または4から5によれば、チャンバー内で半導体領域を有する基板に処理を施す際に使用される光学的評価装置として、光変調反射率測定により半導体領域からの測定光の反射率の変化割合を演算する構成としたので、半導体領域の結晶状態などを反映した反射率の変化割合によって得られる情報を利用して、チャンバー内で行われる加工処理の条件を制御する際のインラインでの評価を行うことができる。

10

【0207】

請求項6から17によれば、半導体領域上の絶縁膜の電気的特性を評価するための光学的評価装置として、光変調反射率測定により半導体領域からの測定光の反射率の変化割合を演算して、この反射率の変化割合の大小に基づき上記絶縁膜の電気的特性を評価する構成としたので、ゲート酸化膜等の絶縁膜中の電気的な欠陥についての情報が得られ、迅速かつ確実な絶縁膜の電気的特性の管理に供することができる。

20

【0208】

請求項18から21によれば、チャンバー内で半導体領域の加工処理を行う半導体装置の製造装置において、上述のような光学的評価装置の機能を付設する構成とし、反射率の変化割合に基づき加工処理条件を制御するようにしたので、チャンバー内で行われる加工処理の条件をインラインでの評価に基づいて制御することができ、よって、所望の特性を有する半導体装置を再現性よく形成することができる。

【0209】

請求項22から27によれば、チャンバー内で加工処理を施す際に加工処理の状態を評価するための光学的評価方法として、光変調反射率測定により半導体領域からの測定光の反射率の変化割合を演算するようにしたので、半導体領域の結晶状態などを反映した測定光の反射率の変化割合を利用して、加工処理の条件を制御するためのインラインでの光学的評価方法の提供を図ることができる。

30

【0210】

請求項28から40によれば、チャンバー内で上述のような光変調反射率測定を行う半導体装置の製造装置の管理方法として、チャンバー内で上記基板に加工処理を施しながら、測定光の反射率の変化割合が所定値に達するまでの所定時間を監視して、所定時間が限界値を超えると装置のメンテナンスを行うようにしたので、チャンバー内の構成部材の劣化を検知して適正なタイミングでメンテナンスを行うことができ、よって、加工処理時間の過大に起因する半導体領域の不良の発生を回避することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【図1】 実施形態に係る半導体装置の製造方法を示すフローチャート図である。

【図2】 実施形態に係る半導体装置の製造工程を示すウエハの断面図である。

【図3】 実施形態に係るウエハの上面図である。

【図4】 実施形態に係る半導体装置の製造装置であるプラズマ処理装置の断面図である。

【図5】 実施形態におけるエッチング時間とプローブ光の反射強度の変化割合との関係を示す特性図である。

【図6】 実施形態におけるエッチング時間とコンタクト抵抗との関係を示す特性図である。

【図7】 実施形態のライトエッチング方法と従来のライトエッチング方法とをそれぞれ

50

用いて形成された半導体装置のコンタクト抵抗値のバラツキの相違を示す図である。

【図 8】 第 2 の実施形態に係る半導体装置の光学的モニターシステムを概略的に示す斜視図である。

【図 9】 第 2 の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示すウエハの断面図である。

【図 10】 第 2 の実施形態のプラズマ処理を行ったサンプルとプラズマ処理を行っていないサンプルとについて、励起光の強度 - プローブ光の反射率変化特性の相違を示すデータである。

【図 11】 第 3 の実施形態に係る半導体装置の光学的モニターシステムを概略的に示す斜視図である。

【図 12】 第 4 の実施形態に係る半導体装置の光学的モニターシステムを概略的に示す斜視図である。 10

【図 13】 第 4 の実施形態の光学的モニターシステムを利用して、20 秒間ライトエッチングを行ったときのプローブ光の反射強度の変化割合を RF パワーを変化させてプロットした図である。

【図 14】 第 5 の実施形態に係る半導体装置の光学的モニターシステムを概略的に示す斜視図である。

【図 15】 第 5 の実施形態の光学的モニターシステムを利用して、20 秒間ライトエッチングを行ったときのプローブ光の反射強度の変化割合を RF パワーを変化させてプロットした図である。

【図 16】 第 5 の実施形態におけるエッチング時間とプローブ光の反射強度の変化割合との関係を示す特性図である。 20

【図 17】 第 3 ~ 第 5 の実施形態の光学的モニターシステムをプラズマ加工装置に取り付けた状態を概略的に示す断面図である。

【図 18】 第 6 の実施形態に係る半導体の熱処理装置の構成を概略的に示す断面図である。

【図 19】 第 6 の実施形態におけるアニール処理時間による反射率の変化割合のスペクトル形状の変化を示すスペクトル線図である。

【図 20】 第 6 の実施形態におけるアニール処理時間に対する極小ピーク値の変化を示す図である。

【図 21】 第 7 の実施形態におけるイオン注入時のドーズ量と極小ピーク値との関係を示す図である。 30

【図 22】 ヒ素イオンがドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ で導入され熱処理が施された後の反射率の変化割合のスペクトル線図である。

【図 23】 第 6 の実施形態における熱処理中の極小ピーク値が所定値に達するまでの所要時間のウエハ処理枚数に対する変化を示す図である。

【図 24】 第 8 の実施形態に係る光学的評価装置の構成を部分的に斜視図で示すブロック図である。

【図 25】 第 8 の実施形態で光学的評価を行うために使用した被測定物の構造を示す断面図である。

【図 26】 第 8 の実施形態におけるプローブ光の半導体領域からの反射強度の変化割合に関する信号のスペクトル図である。 40

【図 27】 励起光が照射されたときのシリコン酸化膜と n 型半導体領域におけるエネルギーバンド図と、励起光が照射されないときのシリコン酸化膜及び n 型半導体領域におけるエネルギーバンド図である。

【図 28】 プローブ光の反射強度の変化割合のスペクトル中のピーク強度と酸化膜中のトラップ電子の密度との関係を示す図である。

【図 29】 第 8 の実施形態を利用して光学的評価を試作品の酸化工程の管理に使用した場合におけるウエハ処理枚数と 3.35 eV 付近の反射強度の変化割合との関係を示す図である。

【図 30】 第 9 の実施形態に係る半導体装置の製造工程を示すウエハの断面図である。 50

【図 3 1】 第 9 の実施形態における測定光の反射率の変化割合の変化を示すスペクトル線図である。

【図 3 2】 第 1 0 の実施形態におけるプラズマドーピングの処理時間と測定光の反射率の変化割合のピーク強度との関係を示す図である。

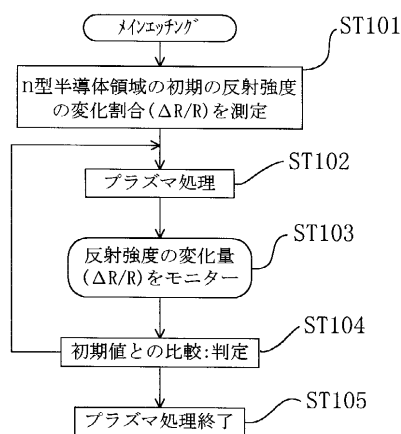
【符号の説明】

1 0 1	n 型半導体領域	
1 0 3	ウエハ	
1 0 4	層間絶縁膜	
1 0 5	フォトレジストマスク	
1 0 6	ゲート電極	10
1 0 7	ゲート酸化膜	
1 0 8	n 型ソース領域	
1 0 9	n 型ドレイン領域	
1 1 0 a ~ c	開口	
2 0 0	反応処理室	
2 1 1	高周波電源	
2 1 2	カップリングコンデンサ	
2 1 3	アノード電極	
2 1 4	カソード電極	
2 1 5	終点検出用窓	20
2 1 6	終点検出システム	
2 1 7	ミラー	
2 1 8	プローブ光入射用窓	
2 1 9	反射光観測用窓	
2 2 0	反射強度観測システム	
2 2 1	信号経路	
2 2 2	エッチング制御システム	
2 2 3	チョッパ	
3 0 1	A r イオンレーザー（第 1 の光源）	
3 0 2	X e ランプ（第 2 の光源）	30
4 0 1	プラズマ	
4 0 2	励起光	
4 0 3	プローブ光	
4 0 4	反射プローブ光	
5 0 2	X e ランプ（第 2 の光源）	
5 0 3	A r イオンレーザー（第 1 の光源）	
5 0 4	ウエハステージ	
5 0 5	顕微鏡システム	
5 0 6	ミラー	
5 0 7	プローブ光	40
5 0 8	反射プローブ光	
5 0 9	観測システム兼解析システム	
5 1 0	チョッパ	
5 1 1	励起光	
5 1 2	反射励起光	
5 1 3	反射励起光観測システム	
5 2 5	フィルター	
5 3 0	光学システム	
7 0 1	半導体基板	
7 0 1 a	本体部	50

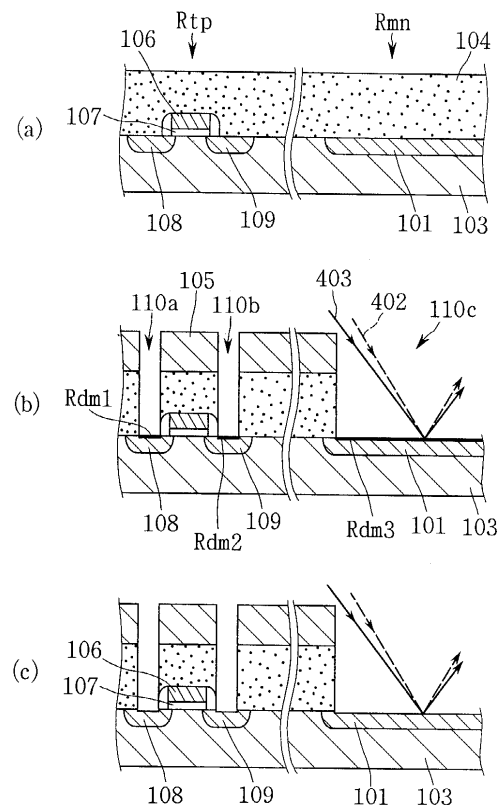
701b n型半導体領域
 701c シリコン酸化膜
 702 ウエハステージ
 703 Xeランプ(第2の光源)
 704 偏光子
 705 検出器
 706 プローブ光
 707 反射プローブ光
 708 信号線
 709 Arイオンレーザ(第1の光源)
 710 チョッパー
 711 励起光
 712 信号線
 713 制御・解析システム
 Rtp チップ領域
 Rmn モニター領域
 Rdm1~3 ダメージ層

10

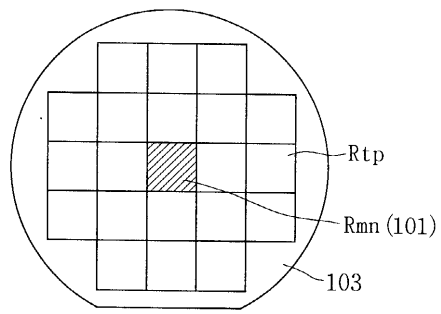
【図1】



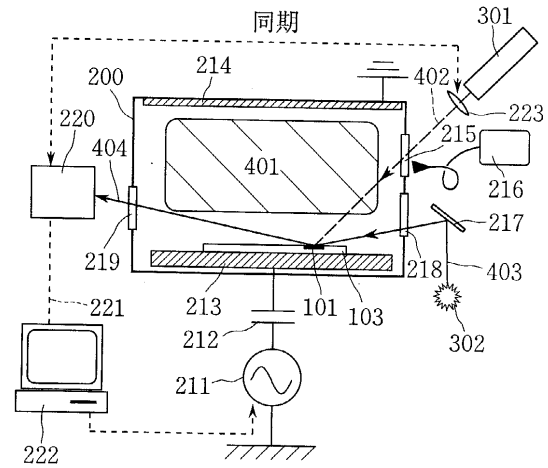
【図2】



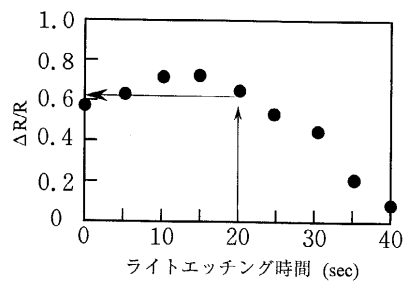
【図 3】



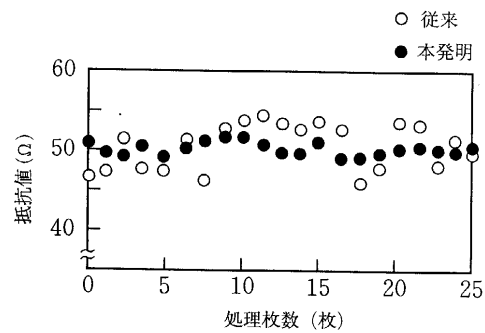
【図 4】



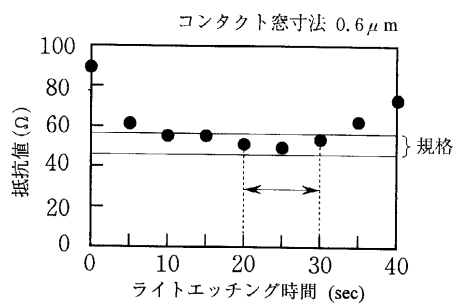
【図 5】



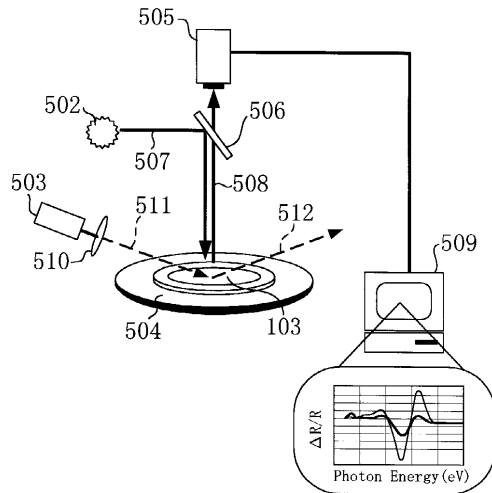
【図 7】



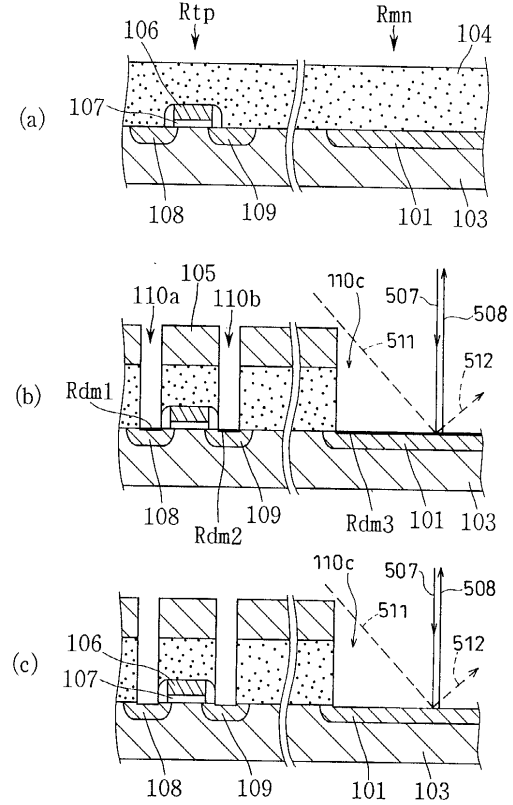
【図 6】



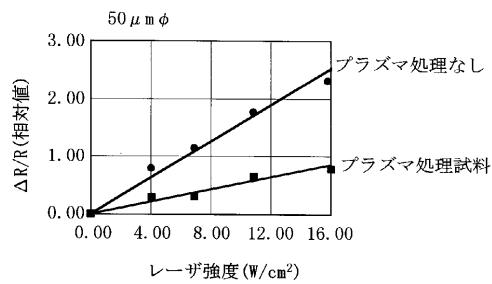
【図 8】



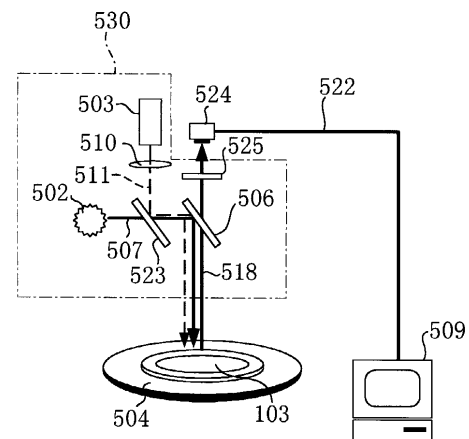
【図 9】



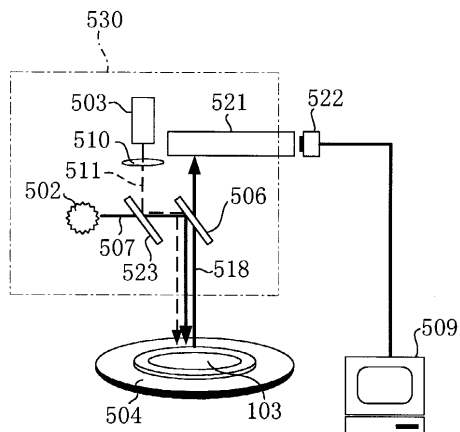
【図 10】



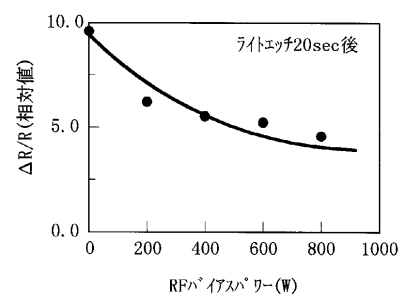
【図 12】



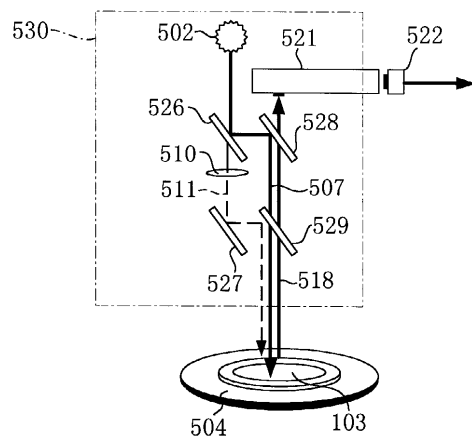
【図 11】



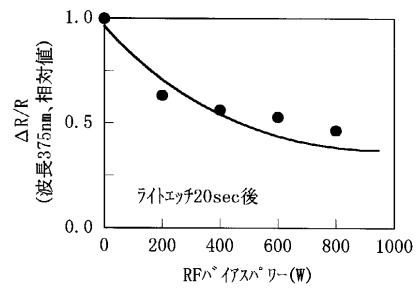
【図 13】



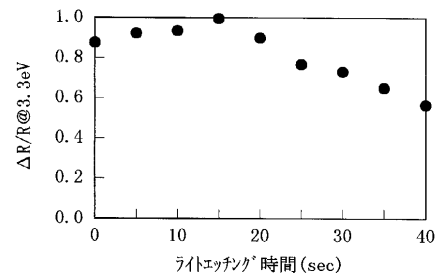
【図14】



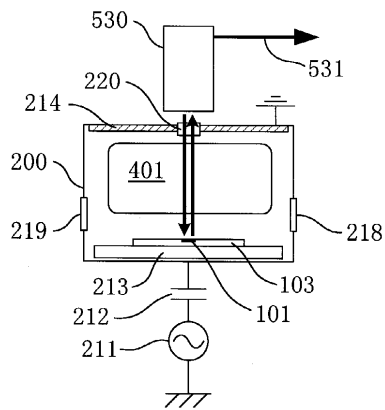
【図15】



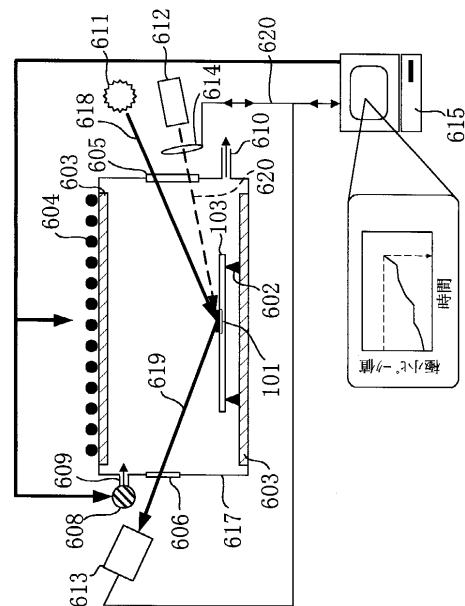
【図16】



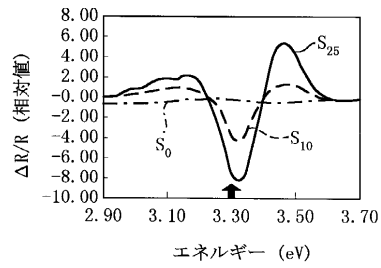
【図17】



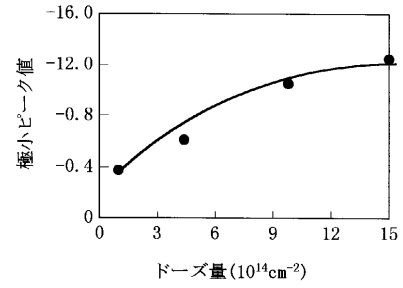
【図18】



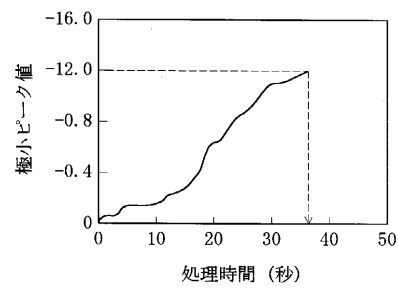
【図 19】



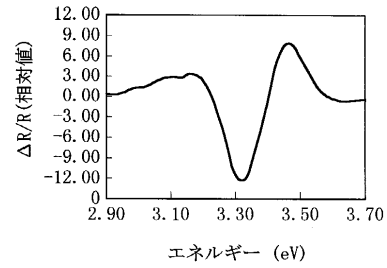
【図 21】



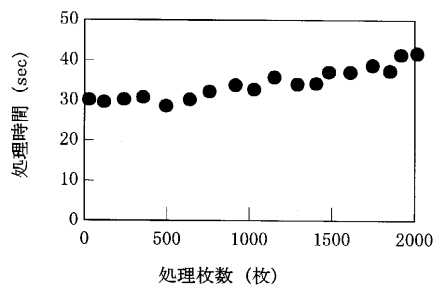
【図 20】



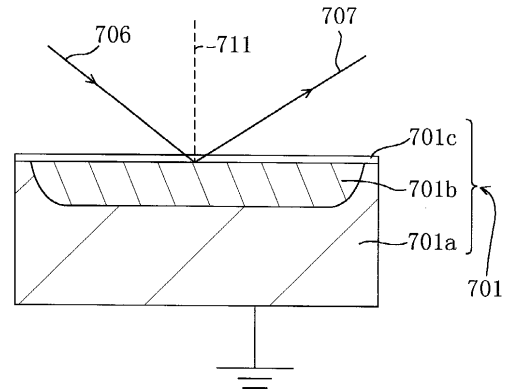
【図 22】



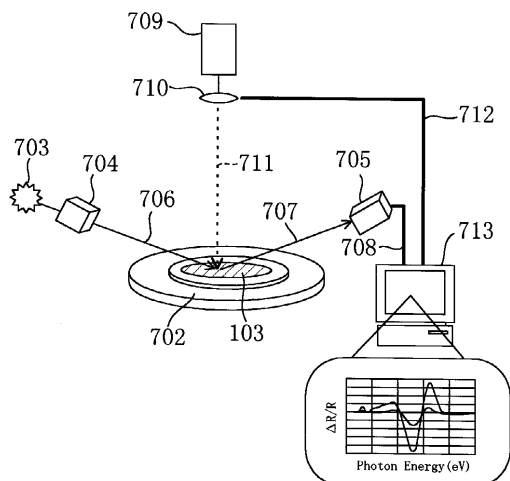
【図 23】



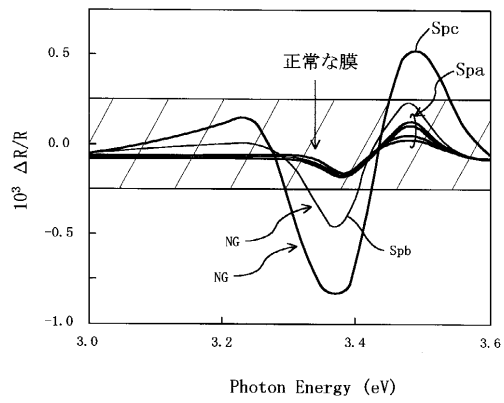
【図 25】



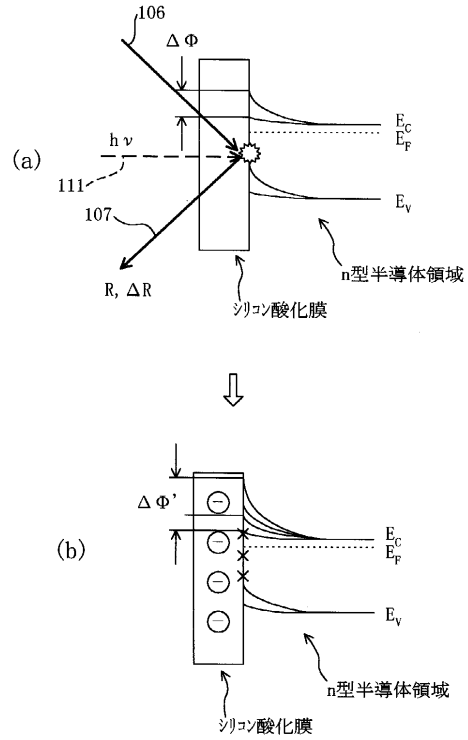
【図 24】



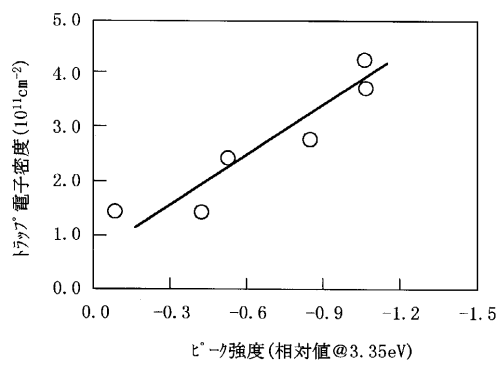
【図 26】



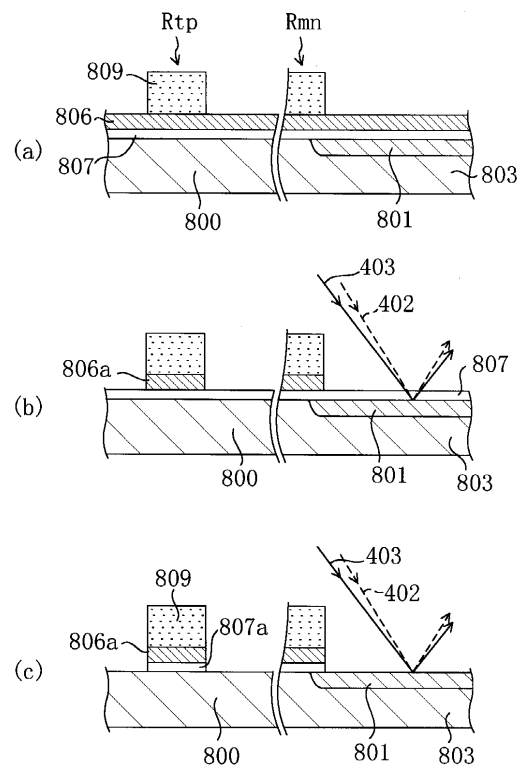
【図 27】



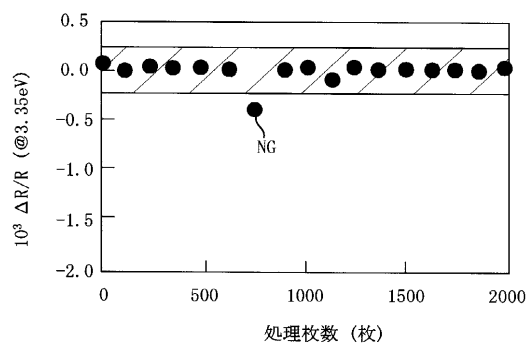
【図 28】



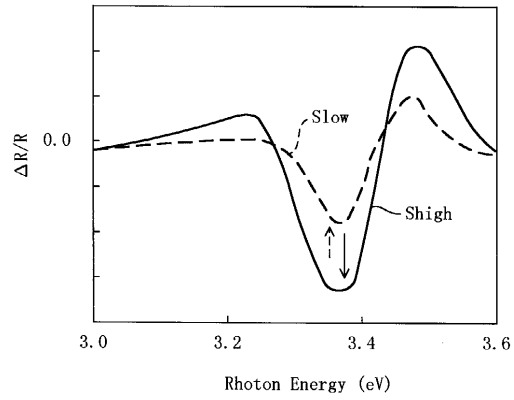
【図 30】



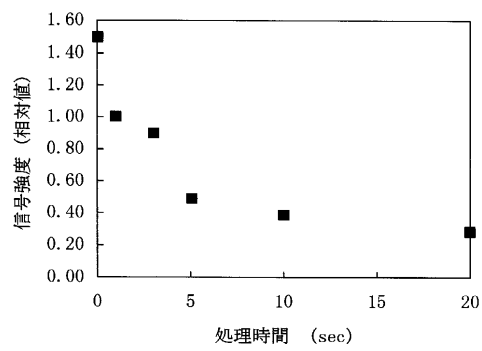
【図 29】



【図 3 1】



【図 3 2】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願平9-189841

(32)優先日 平成9年7月15日(1997.7.15)

(33)優先権主張国 日本国(JP)

(72)発明者 奥山 雅則

大阪府豊中市上野坂1丁目16番13号

審査官 橋本 憲一郎

(56)参考文献 特開平07-063667(JP,A)

特開平08-068762(JP,A)

特開平02-033947(JP,A)

特開平02-278724(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/66

H01L 21/265

H01L 21/3065