

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6200849号
(P6200849)

(45) 発行日 平成29年9月20日(2017.9.20)

(24) 登録日 平成29年9月1日(2017.9.1)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 9 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-92095 (P2014-92095)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成26年4月25日(2014.4.25)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2015-211139 (P2015-211139A)		東京都港区西新橋一丁目24番14号
(43) 公開日	平成27年11月24日(2015.11.24)	(74) 代理人	100080001
審査請求日	平成28年12月2日(2016.12.2)		弁理士 筒井 大和
		(72) 発明者	栗原 優
			東京都港区西新橋一丁目24番14号 株
			式会社日立ハイテクノロジーズ内
		(72) 発明者	森 政士
			東京都港区西新橋一丁目24番14号 株
			式会社日立ハイテクノロジーズ内
		(72) 発明者	荒瀬 高男
			東京都港区西新橋一丁目24番14号 株
			式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置およびドライエッチング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマを用いてウェハが処理されるプラズマ処理室と、
 前記プラズマを生成するための第一の高周波電力を供給する第一の高周波電源と、
 前記ウェハが載置される試料台に第二の高周波電力を供給する第二の高周波電源と、を
 備え、
 前記ウェハの被エッチング膜上にパターンニングされたマスクの歪み量と前記ウェハへの
 入熱量との相関データに基づいて求められた前記第二の高周波電力が、前記試料台に供給
 される、プラズマ処理装置。

【請求項2】

請求項1記載のプラズマ処理装置において、
 エッチング中の前記ウェハへの入熱量を求める機構、をさらに備え、
 前記機構により求められた前記ウェハへの入熱量に基づいて前記被エッチング膜のエッ
 チング時間を求め、前記エッチング時間の間は、前記被エッチング膜がエッチングされる
 、プラズマ処理装置。

【請求項3】

請求項2記載のプラズマ処理装置において、
 前記機構は、温度センサであり、
 前記温度センサによって得られた温度の積算値を、前記エッチング時間を求めるための
 入熱量とする、プラズマ処理装置。

10

20

【請求項 4】

プラズマを用いてウェハをエッチングするドライエッチング方法であって、
前記ウェハの被エッチング膜上にパターンニングされたマスクの歪み量と前記ウェハへの入熱量との相関データに基づいて求められた高周波電力を、前記ウェハが載置される試料台に供給することにより、前記被エッチング膜をエッチングする、ドライエッチング方法
 。

【請求項 5】

請求項 4 記載のドライエッチング方法において、
エッチング中の前記ウェハへの入熱量を求め、
求められた前記ウェハへの入熱量に基づいて前記被エッチング膜のエッチング時間を求め、ドライエッチング方法。

10

【請求項 6】

請求項 5 記載のドライエッチング方法において、
エッチング中の前記ウェハへの入熱量を、温度センサによって得られた温度の積算値とする、ドライエッチング方法。

【請求項 7】

請求項 5 記載のドライエッチング方法において、
エッチング中の前記ウェハへの入熱量を、前記プラズマの発光スペクトルの変化量から求める、ドライエッチング方法。

【請求項 8】

請求項 5 記載のドライエッチング方法において、
エッチング中の前記ウェハへの入熱量を、光を用いる寸法計測法により得られた測定対象の計測値から求める、ドライエッチング方法。

20

【請求項 9】

請求項 4 記載のドライエッチング方法において、
前記高周波電力は、第一の高周波電力と、第二の高周波電力と、を有し、
前記高周波電力が供給される期間は、前記第一の高周波電力が供給される第一の期間と、前記第一の期間の後、前記第二の高周波電力が供給される第二の期間と、を有し、
前記第一の高周波電力を 0 W 以上、かつ、前記第二の高周波電力の電力値以下とする、
ドライエッチング方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置およびドライエッチング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

本技術分野の背景技術として、国際特許公開 WO 13 / 118660 号公報（特許文献 1）がある。この公報には、基板上に比誘電率の異なる第 1 の膜および第 2 の膜が交互に積層された多層膜をプラズマによりエッチングし、多層膜に所定形状の穴または溝を形成するための半導体製造装置の製造方法が記載されている。この半導体製造装置の製造方法は、多層膜を C_4F_8 と $HB r$ を含む混合ガスを用いたエッチングを実行する第 1 の工程と、多層膜をガス比を変更した C_4F_8 と $HB r$ を含む混合ガスを用いたエッチングを実行する第 2 の工程と、第 2 の工程後、多層膜の下地層に穴または溝が到達するまでオーバーエッチングを実行する第 3 の工程とを含んでいる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】国際特許公開 WO 13 / 118660 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 4 】

例えば3次元構造のメモリ素子を有するフラッシュメモリでは、A C L (Amorphous Carbon Layer : アモルファスカーボン層) をマスクに用いたエッチングによって、互いに比誘電率の異なる第1の膜と第2の膜とを交互に積層した多層膜(ペア層、積層膜などとも言う)にホール(穴)またはトレンチ(溝)が形成されている。しかし、この際、マスクの高さ不足および変形、またはマイクロローディングなどにより、所望する形状のホールまたはトレンチが形成できないという問題があった。

【 0 0 0 5 】

そこで、本発明は、被エッチング膜に所望する形状のホールまたはトレンチを形成することのできるプラズマ処理装置およびドライエッチング方法を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

上記課題を解決するために、本発明は、試料台上にウェハを載置し、ウェハの主面上に形成された被エッチング膜を、パターニングされたマスクを用いてエッチングするプラズマ処理装置において、予め求められた、マスクの歪み量とウェハへの入熱量との相関データに基づいて、試料台に供給される高周波電力を設定する。

【 0 0 0 7 】

また、本発明は、ウェハの主面上に形成された被エッチング膜を、パターニングされたマスクを用いてプラズマによりエッチングして、被エッチング膜にホールまたはトレンチを形成するドライエッチング方法において、予め求められた、マスクの歪み量とウェハへの入熱量との相関データに基づいて、ウェハを搭載する試料台に供給される高周波電力を設定する。

20

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、被エッチング膜に所望する形状のホールまたはトレンチを形成することのできるプラズマ処理装置およびドライエッチング方法を提供することができる。

【 0 0 0 9 】

上記した以外の課題、構成および効果は、以下の実施の形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

30

【 0 0 1 0 】

【図1】本実施例による平行平板型の有磁場V H Fドライエッチング装置の概略図である。

【図2】本実施例によるエッチング前の被エッチング膜の構造を示す要部断面図である。

【図3】(a)、(b)および(c)はそれぞれ、比較例として示すマスクの高さが不足した場合のエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの底部の形状を示す平面図である。

【図4】(a)、(b)および(c)はそれぞれ、比較例として示すマスクに歪みが発生した場合のエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの底部の形状を示す平面図である。

40

【図5】(a)、(b)および(c)はそれぞれ、比較例として示すマイクロローディングが発生した場合のエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの底部の形状を示す平面図である。

【図6】マスクの歪み(長径/短径)と規格化されたマスクへの入熱量との関係を示すグラフ図である。

【図7】(a)、(b)および(c)はそれぞれ、マスクの歪み(長径/短径)が1.0、0.9および0.6の場合のエッチング後のマスクの形状を示す平面図である。

50

【図 8】規格化されたエッチングレートと規格化されたホールのアスペクト比との関係を示すグラフ図である。

【図 9】本実施例による最適なエッチング条件を解析する手順を示す工程図である。

【図 10】本実施例による被エッチング膜のエッチングの手順を示す工程図である。

【図 11】(a)、(b)および(c)はそれぞれ、本実施例によるエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの底部の形状を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

10

以下の実施の形態において、便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

【0012】

また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でも良い。

【0013】

また、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。

20

【0014】

また、「A からなる」、「A よりなる」、「A を有する」、「A を含む」と言うときは、特にその要素のみである旨明示した場合等を除き、それ以外の要素を排除するものではないことは言うまでもない。同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうでないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

【0015】

また、以下の実施の形態で用いる図面においては、平面図であっても図面を見易くするためにハッチングを付す場合もある。また、以下の実施の形態において、窒化シリコン、窒化ケイ素またはシリコンナイトライド等というときは、 Si_3N_4 は勿論であるが、それのみではなく、シリコンの窒化物で類似組成（例えば化学量論的組成からずれた組成）の絶縁膜を含むものとする。また、酸化シリコンまたは酸化珪素等というときも、 SiO_2 は勿論であるが、それのみでなく、シリコンの酸化物で類似組成（例えば化学量論的組成からずれた組成）の絶縁膜を含むものとする。

30

【0016】

また、以下の実施の形態を説明するための全図において、同一機能を有するものは原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。以下、本実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

40

【0017】

近年、フラッシュメモリの高集積化に伴い、チャネルまたはゲート電極を鉛直方向に積層化するという 3 次元構造のメモリ素子が検討されている。このような 3 次元構造のメモリ素子を実現するためには、多結晶シリコン膜と酸化シリコン膜、または窒化シリコン膜と酸化シリコン膜とを交互に積層した多層膜に対して、高アスペクト比のホールまたはトレンチを形成することのできるエッチング技術が必要である。特に、フラッシュメモリに適用される 3 次元構造のメモリ素子では、チャネル用のホールを形成する際、電界集中を減らすための真円形状で、かつ特性ばらつきを軽減するための垂直な円柱形状のホールを実現するためのエッチングが要求される。

【0018】

50

しかし、詳細は後述するが（後述の２．多層膜のエッチング方法の課題参照）、エッチングの際に用いるマスクの高さが不足する問題が発生する。また、この問題を解決するためにマスク選択比を改善するとマスクに堆積物が付着し、堆積物への入熱によりマスクが変形して、ホール形状が真円形状からずれるという問題が発生する。さらに、堆積物への入熱を抑制するためにウェハに印加するバイアスを低減すると、マイクロローディングが発生し、ホールの径および深さのばらつきが生じて、メモリ素子の特性ばらつきが悪化するという問題が発生する。

【００１９】

本実施例によるプラズマ処理装置およびドライエッチング方法によれば、これらの問題を解決して、多層膜に所望する形状のホールまたはトレンチを形成することができる。

10

【実施例】

【００２０】

ドライエッチング装置の構成

本実施例によるプラズマ処理装置を図１を用いて説明する。図１は、本実施例による平行平板型の有磁場ＶＨＦ（Very High Frequency）ドライエッチング装置の概略図である。

【００２１】

有磁場ＶＨＦドライエッチング装置における真空容器は、プラズマ処理室としてのエッチングチャンバー（処理室、プラズマ処理室とも言う）２０６と、ＶＨＦ放射アンテナ２１１と、真空ポンプ（図示は省略）と、圧力制御バルブ（図示は省略）とを備えている。

20

【００２２】

エッチング用のガスは、マスフローコントローラ（図示は省略）およびストップバルブ（図示は省略）を通過した後、第１ガス導入口２０７と、第２ガス導入口２０９とを通して、シャワープレート２１２の同心円状にエッチングチャンバー２０６の内部へ導入される。このようにエッチングチャンバー２０６の内部へ導入されたエッチング用のガスがプラズマ発生手段により照射された電磁波のエネルギーによって解離されて、プラズマが生成し、維持される。

【００２３】

プラズマ発生手段は、２００ＭＨｚのＶＨＦ波のソース用電源（第１高周波電源）２０１と、ソース電磁波用整合器２０２と、第１電磁石２０４および第２電磁石２０５からなる磁場発生手段とを有している。第１電磁石２０４および第２電磁石２０５を用いて、プラズマ生成分布は均一化される。発生磁場はシャワープレート２１２近傍で１０ｍＴ以下である。

30

【００２４】

ウェハ２１３を載置するウェハステージ（試料台とも言う）２１６は、ウェハ２１３の載置面の外周側および側壁を覆って配置されたリング形状のフォーカスリング２１４と、サセプタ２１５とを備えており、ウェハステージ２１６の複数部分は、複数の温度制御手段等（図示は省略）を用いて、互いに異なる所定の温度にそれぞれ制御される。ウェハステージ２１６には、プラズマ中からウェハ２１３にイオンを引き込み、そのイオンエネルギーを制御するための４ＭＨｚのＲＦバイアス電源（第２高周波電源）２１９と、ＲＦバイアス整合器２１７とが接続されている。

40

【００２５】

ＲＦバイアス電源２１９には、２レベルでＴＭ（Time Modulation）バイアスの発振が可能な電源を用いた。これにより、１２インチ径のウェハ２１３に対して、連続正弦波時相当で最小電力１Ｗ程度から最大電力６ｋＷ程度の出力ができ、かつ、チャージアップダメージ（電子シューディング）の低減および垂直加工性の効果を得ることができる。ＲＦバイアス電源２１９は０．１～１０ｋＨｚの範囲で、高バイアスパワーと低バイアスパワーという２レベルの電力と、それぞれの期間を設けることが可能であり、低バイアスパワーは０Ｗから高バイアスパワーまでの範囲で設定することが可能である。また、高バイアスパワーの時間（ t_1 ）と１周期時間（ t_2 ）との比（ t_1/t_2 ）をＤｕｔｙ比と定義

50

し、T Mバイアスの周期とD u t y比とを用いて高バイアスパワーおよび低バイアスパワーのそれぞれの時間を制御する。

【 0 0 2 6 】

また、有磁場V H Fドライエッチング装置には、プラズマを透過するバイアス電流のV H F放射アンテナ2 1 1への割合を制御するバイアス経路制御機構2 2 0が備わっており、バイアス経路制御機構2 2 0によって、プラズマの分布をより高精度に制御することが可能である。さらに、T Mバイアスの高バイアスパワーと低バイアスパワーとに応じたプラズマインピーダンスの変化に追従して放電を安定化させるために、ソース電磁場用整合器2 0 2およびバイアス経路制御機構2 2 0には、R Fバイアス電源2 1 9から周期情報が入力される。

10

【 0 0 2 7 】

なお、図中、符号2 0 3で示す部位はフィルタユニット、符号2 0 8で示す部位は石英天板、符号2 1 0で示す部位はガス分配プレート、符号2 1 8で示す部位はE S C (Elec tro Static Chucks)用直流電源である。

【 0 0 2 8 】

多層膜のエッチング方法

1 . 被エッチング膜の構造

図2は、本実施例によるエッチング前の被エッチング膜の構造を示す要部断面図である。

【 0 0 2 9 】

図2に示すように、ウェハ基板1 0 1の主面上にストッパ膜1 0 2が形成されている。ストッパ膜1 0 2は、例えば酸化シリコン膜である。ストッパ膜1 0 2上には、酸化シリコン膜1 0 3と窒化シリコン膜1 0 4とが交互に積層された多層膜1 0 8が形成されている。酸化シリコン膜1 0 3の層数は、例えば1 1層、窒化シリコン膜1 0 4の層数は、例えば1 2層であり、酸化シリコン膜1 0 3および窒化シリコン膜1 0 4のそれぞれの厚さは、例えば1 5 ~ 4 0 n mである。さらに、多層膜1 0 8上には、キャップ酸化シリコン膜1 0 5が形成され、キャップ酸化シリコン膜1 0 5上には、キャップ窒化シリコン膜1 0 6が形成されている。キャップ酸化シリコン膜1 0 5およびキャップ窒化シリコン膜1 0 6のそれぞれの厚さは、例えば5 0 ~ 1 5 0 n mである。

20

【 0 0 3 0 】

キャップ窒化シリコン膜1 0 6上には、パターニングされた炭素を含有するA C L 1 0 7からなるマスクが形成されている。このパターニングされたA C L 1 0 7をマスクとして、キャップ窒化シリコン膜1 0 6、キャップ酸化シリコン膜1 0 5および多層膜1 0 8はエッチングされる。本実施例による被エッチング膜は、キャップ窒化シリコン膜1 0 6、キャップ酸化シリコン膜1 0 5および多層膜1 0 8であり、窒化シリコン膜と酸化シリコン膜とを交互に積層した構造であるが、これは一例であって、この構造に限定されるものではない。例えば多結晶シリコン膜と酸化シリコン膜とを交互に積層した構造であってもよい。

30

【 0 0 3 1 】

2 . 多層膜のエッチング方法の課題

まず、本実施例による多層膜のエッチング方法がより明確になると思われるため、本発明者らが見出した多層膜にホールを形成するエッチングにおいて生じる不具合について図3 ~ 図5を用いて説明する。図3 (a)、(b)および(c)はそれぞれ、比較例として示すマスクの高さが不足した場合のエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの底部の形状を示す平面図である。図4 (a)、(b)および(c)はそれぞれ、比較例として示すマスクに歪が発生した場合のエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの底部の形状を示す平面図である。図5 (a)、(b)および

40

50

(c) はそれぞれ、比較例として示すマイクロローディングが発生した場合のエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの底部の形状を示す平面図である。

【0032】

図3～図5には、ウェハ基板101の主面上に順次形成されたストッパ膜102、多層膜108、キャップ酸化シリコン膜105およびキャップ窒化シリコン膜106を、ACL107をマスクとしてエッチングした後の被エッチング膜の形状が示されている。エッチングガスには、フルオロカーボン、例えば CH_xF_y 系ガスを含む混合ガスを用いた。

【0033】

図3(a)、(b)および(c)に示すように、マスクの高さが不足した場合は、マスクの残りの不足によるキャップ窒化シリコン膜106の肩落ちが発生し、また、多層膜108がテーパ形状となるという問題が発生する。

【0034】

そこで、マスク選択比を改善するために、 CH_xF_y 比を増加したエッチングガスを用いて被エッチング膜をエッチングした。その結果を図4(a)、(b)および(c)に示す。

【0035】

図4(a)、(b)および(c)に示すように、 CH_xF_y 比を増加したエッチングガスを用いることにより、マスクの上面に堆積物が付着するので、ストッパ膜102まで被エッチング膜をエッチングしてもマスクの高さは十分に残っている。しかし、プラズマからの入熱のため、マスクの上面に付着した堆積物の応力が変化してマスクの形状が変形する。その結果、ホールの形状に歪みが発生する。

【0036】

そこで、次に、プラズマからの入熱を抑制するために、ウェハに印加するバイアスを低減した。その結果を図5(a)、(b)および(c)に示す。

【0037】

図5(a)、(b)および(c)に示すように、ウェハに印加するバイアスを低減することにより、マスクの高さは十分に残り、また、ホールの形状に歪みは発生しない。しかし、ウェハに印加するバイアスが低減すると、イオンエネルギーが低下したことに伴ってマイクロローディングが顕在化し、ホールの径および深さのばらつきが増大する。

【0038】

以上のことから、多層膜108にホールを形成するエッチングにおいては、ホールの形状の歪み(真円度:Distortion)、ホールの径および深さのばらつき(Intra-loading)並びにホールの垂直性を満たすように、エッチング条件を設定することが必要であることが分かる。

【0039】

ところで、ホールの形状の歪みの原因としては、プラズマを用いたエッチングによるマスクの変形が考えられる。特に、マスクに付着したC(炭素)系堆積物へのプラズマからの入熱が、マスクの変形の主要原因であると考えられる。

【0040】

図6は、マスクの歪み(長径/短径)と規格化されたマスクへの入熱量との関係を示すグラフ図である。図6では、マスクに形成されたホールの長径と短径との比をマスクの歪みとし、ホールの径の設計寸法をパラメータとしている。図7(a)、(b)および(c)はそれぞれ、マスクに形成されたホールの歪み(長径/短径)が1.0、0.9および0.6の場合のエッチング後のマスクの形状を示す平面図である。

【0041】

図6および図7に示すように、処理時間またはイオンエネルギーの増加によってマスクへの入熱量が増加すると、マスクに形成されたホールの歪みは悪化する傾向にある。また、マスクに形成されたホールの歪みは、パターンレイアウト、例えばホールの径または隣

10

20

30

40

50

り合うホール間の距離にも大きく依存する。

【 0 0 4 2 】

このため、ホールの歪みの悪化を抑制するためには、ウェハに印加するバイアスを低くしてエッチングを実施することが望ましい。しかし、ウェハに印加するバイアスを低くすると処理時間が長くなるため、積算入熱量を調整する必要がある。また、 O_2 の添加量を調整することによってC（炭素）系堆積物を削減する方法もあるが、同時にマスク選択比が低下する。

【 0 0 4 3 】

従って、ホールの歪みの悪化を抑制するためには、C（炭素）系堆積物の量を制御しつつ低イオンエネルギーでエッチングすることが望ましい。しかし、この場合は、ホールの径またはホールのアスペクト比に対するエッチングレートの依存性、すなわちマイクロローディングとの両立が必要となる。

【 0 0 4 4 】

プラズマを用いたエッチングでは、エッチング面に対する等方性ラジカル入射および異方性イオン入射によってエッチングが進行する。そのため、ホールのアスペクト比が高い場合、具体的にはエッチングの進行によりホールが深くなる場合、またはそれぞれが互いに異なる設計寸法を有する複数のホールの中でホールの径が小さい場合などは、エッチング面に入射する等方性ラジカルの入射量が減少して、エッチングレートが低下する。

【 0 0 4 5 】

図8は、規格化されたエッチングレートと規格化されたホールのアスペクト比との関係を示すグラフ図である。図8では、ウェハに印加するバイアスをパラメータとしている。

【 0 0 4 6 】

図8に示すように、エッチングレートはホールのアスペクト比に依存しており、ホールのアスペクト比が増加するに従って減少する。これがマイクロローディングである。設計寸法が同じであってもプロセス工程の影響、例えば露光マスクにおける寸法ばらつき、被エッチング膜の厚さばらつき、被エッチング膜の表面粗さなどにより、ホールの径にばらつきが存在する場合、このばらつきに起因してホールの深さにばらつきが発生する。これをintra-loadingという。

【 0 0 4 7 】

特に、プラズマを用いたエッチングでは、ホールの形成が矩形の断面形状ではなく先細りの断面形状となって、エッチングが進行していく。このため、intra-loadingが存在する場合には、ホールの深さがばらつくだけでなく、ストッパ膜に到達するタイミングが異なることから、前記図5に示したように、ストッパ膜に形成されるホールの底部の径（ボトム径）もばらつく。このintra-loadingを低減するには、エッチング反応のイオン性を増加する必要がある。つまり、ウェハに印加するバイアスを増加して、イオンエネルギーを高くする必要がある。しかし、これは先のホールの歪みと相反する事象となり、また、マスク選択比も低下する傾向となる。

【 0 0 4 8 】

以上、説明したように、フルオロカーボンを含む混合ガスを用いた多層膜のエッチングでは、ホールの歪みおよびintra-loadingを抑制すること、さらには、同時に所望するマスク選択比を得ることが要求される。このためは、イオンエネルギーを制御するウェハに印加するバイアス、および処理時間の最適化が重要となる。

【 0 0 4 9 】

3．本実施例における基本思想

本実施例では、複数のステップに分けてエッチングを行う。この場合、まず、「第1ステップ」では、ホールの歪みを抑制し、かつ高マスク選択比が得られる条件、すなわち低イオンエネルギーの条件を適用してエッチングを行う。しかし、エッチングが進行してホールが深くなるに従ってintra-loadingが顕著になる。そこで、「第2ステップ」として、高イオンエネルギーの条件を適用してエッチングを行う。高イオンエネルギーは、例えばウェハに印加するバイアスを増加することにより実現することができる。intra-loadin

10

20

30

40

50

gが顕著になる前にホールの歪みが悪化する場合には、intra-loadingが顕著になる前に「第2ステップ」に移行してもよい。この2つのステップの切り替えにより、ホールの歪みおよびintra-loadingを低減することができる。また、マスク選択比を確保する、またはホールの歪みをさらに低減する場合には、「第3ステップ」として、ウェハに印加するバイアスを時間変調してもよい。

【0050】

4. 本実施例における多層膜のエッチング条件の設定方法

本実施例による最適なエッチング条件（ウェハに印加するバイアスおよび処理時間）を解析する手順について図9を用いて説明する。図9は、本実施例による最適なエッチング条件を解析する手順を示す工程図である。イオンエネルギーはウェハに印加するバイアス（以下、単にウェハバイアスと記す）によって制御される。本実施例では、図9に示す手順に従って最適なエッチング条件を決定し、そのエッチング条件を使用してエッチングを行う。なお、ウェハに印加するバイアスとは、具体的には、前記図1に示す有磁場VHFドライエッチング装置に備わるRFバイアス電源219からウェハステージ216へ印加されるバイアスである。

【0051】

（工程S1）まず、ホールの径およびピッチなどの被エッチング膜のパターンレイアウト情報を入力する。

【0052】

（工程S2）次に、被エッチング膜の構造の情報、特にマスク（例えば前記図2に示すACL107）の厚さおよび多層膜の膜厚（例えば前記図2に示す酸化シリコン膜103および窒化シリコン膜104の各膜厚）などを入力する。

【0053】

（工程S3）次に、マスクの歪み量およびマスクへの入熱量のデータベースを参照して、被エッチング膜のパターンレイアウトにおいてマスクに歪みが発生しない最大入熱量 Q_0 を算出する。

【0054】

（工程S4）次に、「第1ステップ」のウェハバイアス W_1 および「第2ステップ」のウェハバイアス W_2 の初期値を設定する。ここで、「第1ステップ」のウェハバイアス W_1 は「第2ステップ」のウェハバイアス W_2 よりも小さい（ $W_1 < W_2$ ）。

【0055】

（工程S5）次に、マイクロローディングのデータベースを参照して、ウェハバイアス W_1 、 W_2 においてマイクロローディングが悪化する最大アスペクト比を見積もる。なお、ウェハバイアス W_2 においてマイクロローディングが悪化する最大アスペクト比は、設計仕様のアスペクト比以上であることが望ましいので、ウェハバイアス W_2 においてもマイクロローディングが悪化する最大アスペクト比を見積もる。しかし、本実施例では、ウェハバイアス W_2 においてマイクロローディングが悪化する最大アスペクト比は、必ずしも設計仕様のアスペクト比以上でなければならないということではない。また、エッチンググレーットのデータベースを参照して、ホールの径と最大アスペクト比から、「第1ステップ」の処理時間 T_1 を算出する。

【0056】

（工程S6）次に、被エッチング膜の構造から、「第2ステップ」でホールがストッパ膜（例えば前記図2に示すストッパ膜102）に到達する「第2ステップ」の処理時間 T_2 を算出する。

【0057】

（工程S7）次に、「第1ステップ」のウェハバイアス W_1 および処理時間 T_1 、並びに「第2ステップ」のウェハバイアス W_2 および処理時間 T_2 から積算入熱量 Q を算出する。そして、この積算入熱量 Q が最大入熱量 Q_0 よりも大きい場合には、ウェハバイアス W_1 、 W_2 の初期の設定値を変更して、前記工程S3～工程S6を繰り返す。

【0058】

10

20

30

40

50

(工程 S 8) 次に、エッチングレートのデータベースを参照して、「第 2 ステップ」が終わった場合のマスクの高さを算出する。マスクの高さの残り量が十分でない場合には、ウェハバイアス W_1 、 W_2 の初期の設定値を変更して、前記工程 S 3 ~ 工程 S 7 を繰り返す。

【 0 0 5 9 】

(工程 S 9) マスクの高さの残り量が十分である場合には、「第 1 ステップ」のウェハバイアス W_1 および処理時間 T_1 、並びに「第 2 ステップ」のウェハバイアス W_2 および処理時間 T_2 を確定する。

【 0 0 6 0 】

(工程 S 10) さらに、ホールの径を拡大する必要がある場合は、オーバーエッチングとして「第 3 ステップ」を追加する。

10

【 0 0 6 1 】

本実施例において算出された、「第 1 ステップ」、「第 2 ステップ」および「第 3 ステップ」のエッチング条件の一例を以下に示す。

【 0 0 6 2 】

「第 1 ステップ」のエッチング条件は、[ガス比] $CH_2F_2 : C_4F_6 : O_2 = 12 : 10 : 13$ 、[圧力] $Pre_1 = 2 Pa$ 、[ウェハバイアス] $W_1 = 1.6 kW$ 、[処理時間] $T_1 = 650$ 秒である。

【 0 0 6 3 】

「第 2 ステップ」のエッチング条件は、[ガス比] $CH_2F_2 : C_4F_6 : O_2 = 12 : 10 : 13$ [圧力] $Pre_2 = 2 Pa$ 、[ウェハバイアス] $W_2 = 3.5 kW$ 、[処理時間] $T_2 = 650$ 秒である。

20

【 0 0 6 4 】

「第 3 ステップ」のエッチング条件は、[ガス比] $CH_2F_2 : C_4F_6 : O_2 : NF_3 = 11 : 11 : 10 : 4$ 、[圧力] $Pre_3 = 0.6 Pa$ 、[ウェハバイアス] $W_{High} / W_{Low} = 3.5 kW / 0.5 kW$ (TM バイアス : $f = 0.5 Hz$ 、 $Duty$ 比 $= 90\%$)、[処理時間] $T_3 = 440$ 秒である。

【 0 0 6 5 】

本実施例では、 CH_xF_y 系ガスと酸素含有ガスとの混合ガスを用いる。 CH_xF_y 系ガスはエッチングガス堆積性を有し、 CH_xF_y 系ガスとしては、 CHF_3 、 CH_2F_2 、 CH_3F 、 C_2HF_5 、 $C_2H_2F_4$ 、 $C_2H_3F_3$ 、 CH_4 、 CH_3OH 、 C_2H_5OH 、 $C_2H_2F_4$ 、 CF_4 、 C_2F_6 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、 C_4F_8 、 C_5F_8 等が使用される。また、酸素含有ガスとしては、 O_2 、 CO_2 、 CO 、 COS 等が使用される。また、添加ガスとして、例えば NF_3 、 SF_6 などのフッ素含有ガスを使用してもよい。また、希釈ガスとして、例えば Ar 、 He などの希ガスまたは N_2 などのガスを使用してもよい。

30

【 0 0 6 6 】

また、ここでは、高バイアスパワーの $Duty$ 比を 90% としたが、 50% 以上、 95% 以下の範囲で設定することができる。

【 0 0 6 7 】

40

5. 本実施例における多層膜のエッチング方法

本実施例による多層膜のエッチング方法について図 10 を用いて説明する。図 10 は、本実施例による被エッチング膜のエッチングの手順を示す工程図である。本実施例では、前記図 9 に示す手順に従って決定された最適なエッチング条件を使用してエッチングを行う。

【 0 0 6 8 】

(工程 P 1) まず、被エッチング膜が形成されたウェハをプラズマ処理処置 (例えば前記図 1 に示す有磁場 VHF ドライエッチング装置) のエッチングチャンバーの内部へ導入する。

【 0 0 6 9 】

50

(工程 P 2) 次に、エッチング条件に指定されたエッチングガスをエッチングチャンバーの内部へ導入し、圧力を調整する。その後、ソース用電源 (第 1 高周波電源) により電磁波をエッチングチャンバーの内部へ導入してプラズマを生成させる。その後、エッチング条件に指定されたウェハバイアスが R F バイアス電源 (第 2 高周波電源) からウェハを載置したウェハステージに印加されて、ウェハに形成された被エッチング膜のエッチングが開始される。

【 0 0 7 0 】

(工程 P 3)、(工程 P 7) および (工程 P 8) 被エッチング膜のエッチング中は、リアルタイムでエッチング状況がモニタされる。通常は、プラズマからの発光スペクトルをモニタして、特定の波長または複数の波長を解析することにより、エッチングの深さや終点判定などを行う。本実施例では、特にマスクの歪み量を把握することが必要であるため、マスクの歪み量の指標をリアルタイムでモニタする必要がある。そこで、本実施例では、ウェハ近傍に設置した温度センサのデータをリアルタイムでモニタし、積算温度からウェハへの入熱量を解析する。

10

【 0 0 7 1 】

本実施例では、マスクの歪み量の指標を温度センサにより得られた積算温度から解析したが、これに限定されるものではない。例えばプラズマ中の C (炭素) 関連の発光スペクトルの変化量をマスクの歪み量の指標とすることができる。また、例えば *in-situ* OCD (Optical Critical Dimension; 光を用いた寸法計測) 法を適用し、そのモデルと測定対象との一致度を示す指標である G O F (Goodness of Fit) 値の変化量をマスクの歪み量の指標とすることができる。

20

【 0 0 7 2 】

処理時間中であっても、ウェハへの入熱量 (歪み量指標) がエッチング条件に指定されたステップの入熱量 (閾値) を超えた場合は、ステップを終了し、次のステップへ移行する。

【 0 0 7 3 】

(工程 P 4)、(工程 P 6) および (工程 P 8) また、同時に、終点判定もリアルタイムでモニタしており、処理時間中であっても、終点と判定された場合は、ステップを終了し、次のステップへ移行する。

【 0 0 7 4 】

30

(工程 P 5) および (工程 P 8) ウェハへの入熱量 (歪み量指標) がエッチング条件に指定されたステップの入熱量 (閾値) を超えない場合は、指定された処理時間 (最大処理時間) までエッチングを行い、その後、次のステップへ移行する。

【 0 0 7 5 】

(工程 P 9) 総ステップ数のエッチングを行った後、エッチングが終了する。

【 0 0 7 6 】

(工程 P 1 0) その後、ウェハをエッチングシステムのエッチングチャンバーから搬出する。

【 0 0 7 7 】

本実施例では、ホールの径を拡大するために「第 3 ステップ」を適用している。「第 3 ステップ」では、マスク選択比を確保するために T M バイアスを適用する。T M バイアスでは O F F 周期中に堆積物が成長するため、マスク選択比が大幅に改善する。ただし、堆積物が厚くなり過ぎると、マスク歪み量が増大する懸念があるため、本実施例では O F F 周期にも T M バイアスを印加できる機能を適用した。つまり、O N / O F F 駆動ではなく、高ウェハバイアスおよび低ウェハバイアスを周期的に印加できる機能を適用した。高ウェハバイアスは、例えば 3 . 5 k W、低ウェハバイアスは、例えば 0 . 5 k W である。

40

【 0 0 7 8 】

図 1 1 (a)、(b) および (c) はそれぞれ、本実施例によるエッチング後のマスクおよび被エッチング膜の形状を示す要部断面図、エッチング後のマスクの形状を示す平面図およびエッチング後の被エッチング膜の下地膜であるストッパ膜に形成されたホールの

50

底部の形状を示す平面図である。

【 0 0 7 9 】

図 1 1 に示すように、本実施例によるエッチング条件およびプラズマ処理装置を用いることにより、ホール形状の歪み (Distortion) 並びにホールの径および深さのばらつき (Intra-loading) がなく、ホールの垂直性を満たすエッチングを行うことができる。

【 0 0 8 0 】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【 0 0 8 1 】

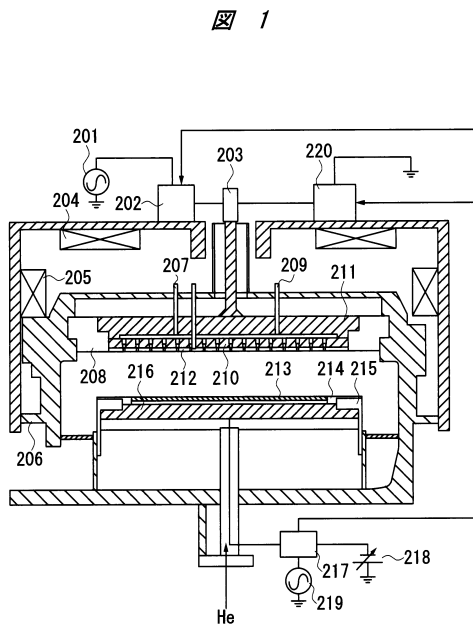
例えば前記実施例では、本発明を多層膜に複数のホールを形成するエッチング工程に適用した場合を例示したが、これに限定されるものではなく、例えば多層膜に複数のトレンチを形成するエッチング工程にも適用することもできる。

【 符号の説明 】

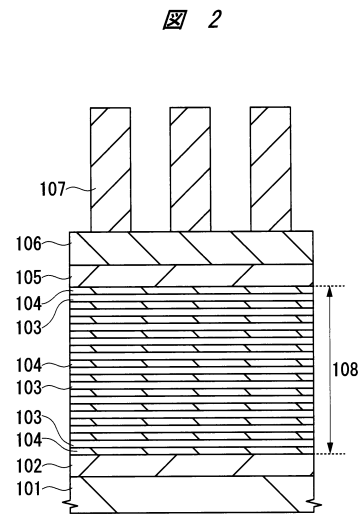
【 0 0 8 2 】

1 0 1	ウェハ基板	
1 0 2	ストッパ膜	
1 0 3	酸化シリコン膜	
1 0 4	窒化シリコン膜	
1 0 5	キャップ酸化シリコン膜	20
1 0 6	キャップ窒化シリコン膜	
1 0 7	A C L	
1 0 8	多層膜 (ペア層、積層膜)	
2 0 1	ソース用電源	
2 0 2	ソース電磁波用整合器	
2 0 3	フィルタユニット	
2 0 4	第 1 電磁石	
2 0 5	第 2 電磁石	
2 0 6	エッチングチャンバー (処理室、プラズマ処理室)	
2 0 7	第 1 ガス導入口	30
2 0 8	石英天板	
2 0 9	第 2 ガス導入口	
2 1 0	ガス分配プレート	
2 1 1	V H F 放射アンテナ	
2 1 2	シャワープレート	
2 1 3	ウェハ	
2 1 4	フォーカスリング	
2 1 5	サセプタ	
2 1 6	ウェハステージ (試料台)	
2 1 7	R F バイアス整合器	40
2 1 8	E S C 用直流電源	
2 1 9	R F バイアス電源	
2 2 0	バイアス経路制御機構	

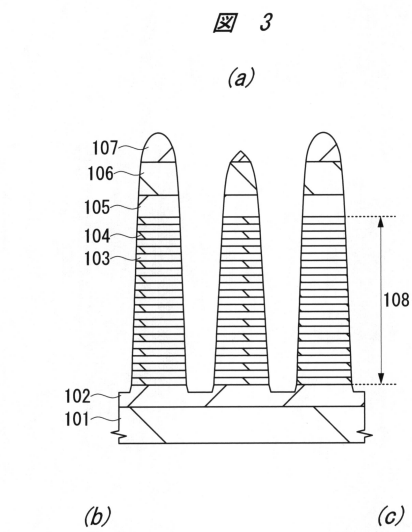
【図 1】



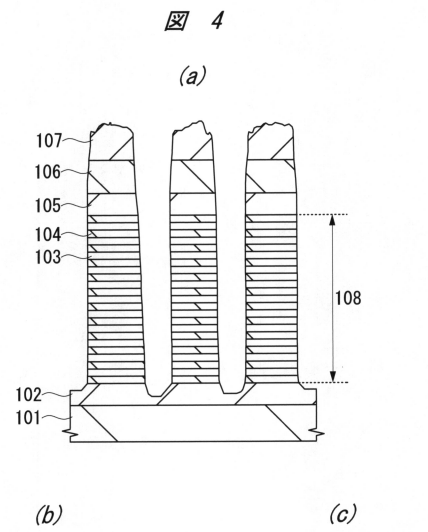
【図 2】



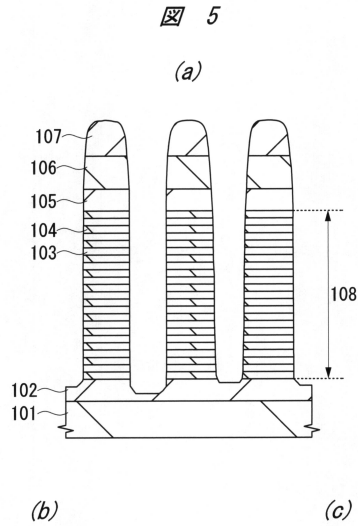
【図 3】



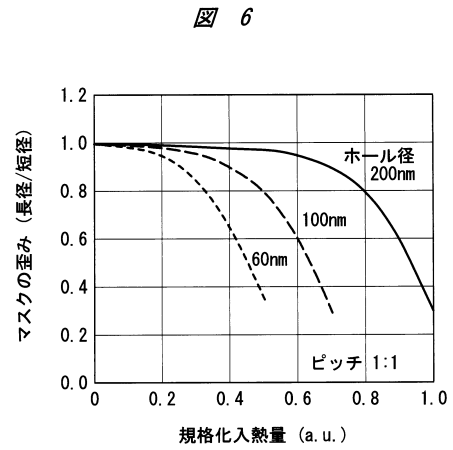
【図 4】



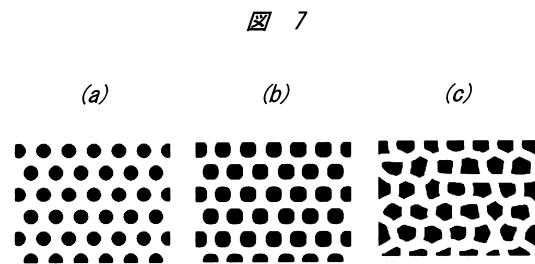
【図 5】



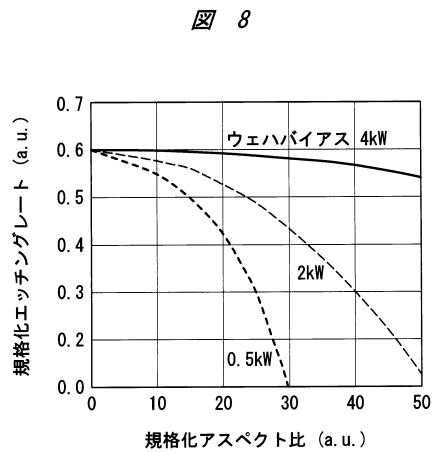
【図 6】



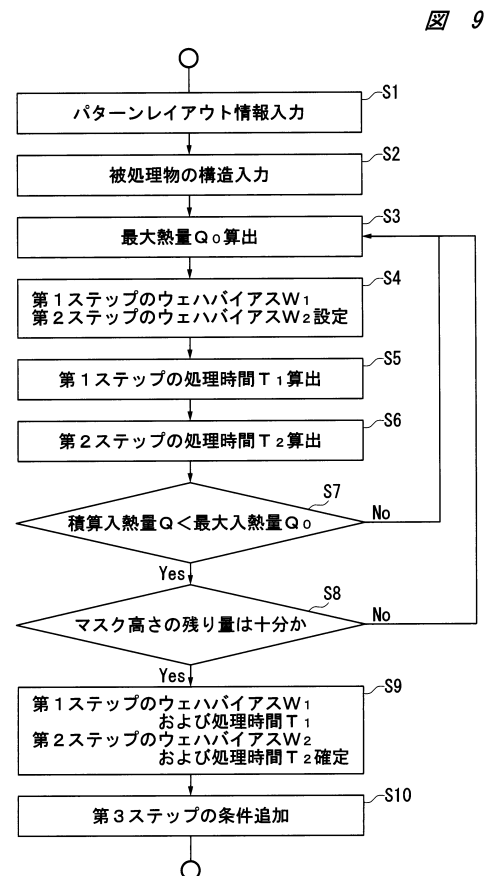
【図 7】



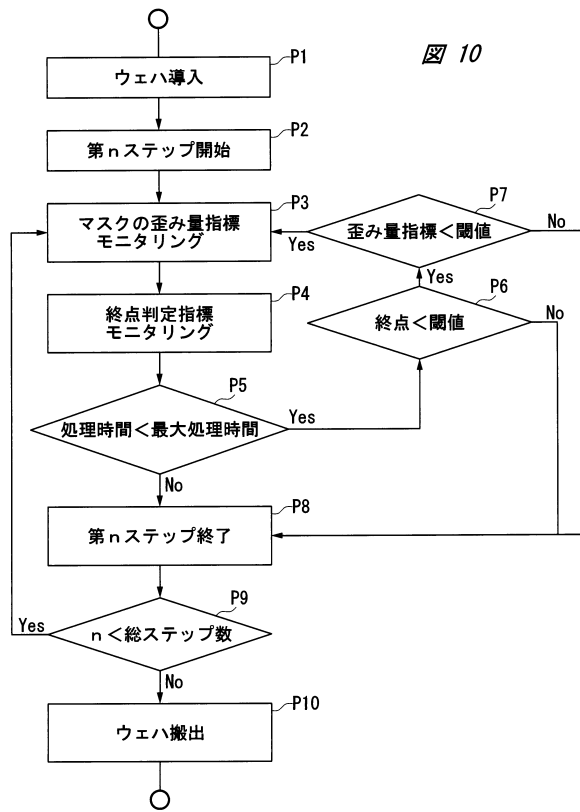
【図 8】



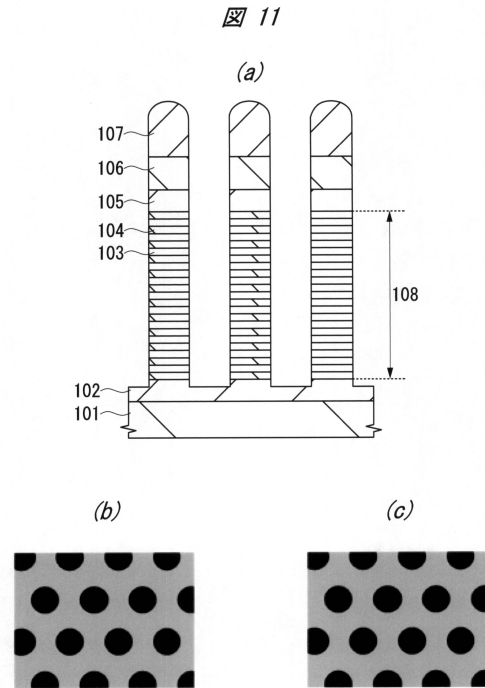
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 河村 慎也
東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内
- (72)発明者 森本 忠雄
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 齊田 寛史

- (56)参考文献 特開2013-084994(JP,A)
特開2010-205967(JP,A)
特開2009-193989(JP,A)
特開2008-071951(JP,A)
特開2006-041470(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065