

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5819154号
(P5819154)

(45) 発行日 平成27年11月18日 (2015.11.18)

(24) 登録日 平成27年10月9日 (2015.10.9)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 L 21/3065 (2006.01)	H O 1 L 21/302 I O 1 C
H O 5 H 1/46 (2006.01)	H O 1 L 21/302 I O 1 G
	H O 5 H 1/46 L

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-221688 (P2011-221688)	(73) 特許権者	501387839
(22) 出願日	平成23年10月6日 (2011.10.6)		株式会社日立ハイテクノロジーズ
(65) 公開番号	特開2013-84653 (P2013-84653A)		東京都港区西新橋一丁目24番14号
(43) 公開日	平成25年5月9日 (2013.5.9)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成26年10月2日 (2014.10.2)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	小藤 直行
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		(72) 発明者	横川 賢悦
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内
		(72) 発明者	根岸 伸幸
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所 中央研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマエッチング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

減圧処理室に、第一のガスを供給するための第一のガス導入機構と、前記減圧処理室を構成し外部から供給される電界によりその内側でプラズマが生成される誘電体窓と、前記減圧処理室内に配置され前記プラズマにより処理される試料がその上面に載置される試料台と、前記処理中に前記試料にバイアス電圧を発生させるための第一の高周波電力を前記試料台に供給する第一の高周波電源とを備えたプラズマエッチング装置において、

前記減圧処理室内に第二のガスを前記誘電体窓よりも前記試料に近い位置から供給する第二のガス導入機構と、前記試料台に第一の高周波電源とは異なる周波数のものであって前記試料の外周周辺にプラズマを発生させるための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たことを特徴とするプラズマエッチング装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載のプラズマエッチング装置において、

前記第二のガスは、前記試料の最外周から前記試料直径の 1 / 5 以内の位置から供給されるものであることを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載のプラズマエッチング装置において、

前記第二の高周波電力の周波数が 4 MHz 以上で、かつ、前記第一の高周波電力の周波数が前記第二の高周波電力の周波数より低いことを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 4】

20

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載のプラズマエッチング装置において、

前記プラズマを生成するための電界がマイクロ波のものであって、かつ、前記減圧処理室内に磁場を供給するためのソレノイドコイルとを備えたことを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 5】

請求項 1 記載のプラズマエッチング装置において、

前記試料台の外周部に誘電体製のリングを有しており、このリング上に前記第二のガスの導入穴を有することを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 6】

請求項 3 に記載のプラズマエッチング装置において、

前記試料台の外周部に誘電体製のリングを有しており、このリング上に前記第二のガスの導入穴を有することを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 7】

請求項 5 記載のプラズマエッチング装置において、

前記第二のガスの導入穴は、前記リング内に設けられた円周状のスリットであることを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 8】

請求項 5 記載のプラズマエッチング装置において、

前記第二のガスの導入穴は、ピッチ a で前記リングに沿い、かつ前記試料の最外周からの距離が b となるように配置され、 a / b が 1 以下であることを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 9】

請求項 5 記載のプラズマエッチング装置において、

前記第二のガスの導入穴は、前記試料の最外周からの距離が b 、前記誘電体窓からの距離が c となるように配置され、 $b / (b + c)$ が 0.5 以下であることを特徴とするプラズマエッチング装置。

【請求項 10】

請求項 1 に記載のプラズマエッチング装置において、

前記第二のガスは、酸素ガスもしくはフロロカーボンガスであることを特徴とするプラズマエッチング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置等の製造に用いるプラズマエッチング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体装置の加工に用いられるプラズマエッチング装置は、減圧処理室内において反応性ガスをプラズマで解離することによってイオンとラジカルを生成し、このイオンとラジカルを試料表面に照射することで試料を加工するものである。プラズマを発生させるためのエネルギーは電磁波によって与えるのが一般的であるが、この電磁波の投入方法の観点から、プラズマエッチング装置は大きく二つの方式に分類される。ひとつは、平行平板プラズマやマグネトロン R I E などのように電磁波を発生させるためのアンテナ電極を減圧処理室内に有する有電極放電方式である。もうひとつは、マイクロ波プラズマ（例えば特許文献 1）、誘導結合プラズマ（例えば特許文献 2）のようにアンテナ電極を減圧処理室の外部に有し、減圧処理室と外部を分ける誘電体製の窓を介して電磁波を導入する無電極放電方式である。半導体装置の製造工程のうち、トランジスタを形成する工程（フロントエンドプロセス）では、アンテナ電極の腐食による放電特性の経時変化や、腐食されたアンテナ電極から発生する重金属によるトランジスタ特性の劣化を防止するため、無電極放電方式が用いられてきた。無電極放電方式は、誘電体製の窓の減圧処理室側に不均一なプラズマを生成する特徴がある。したがって、大口径の試料で均一なエッチングを行うため

10

20

30

40

50

には、誘電体製の窓から試料を十分離して、拡散によってイオンを均一化する方法が用いられてきた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開平10-64881号公報

【特許文献2】特表2006-517743号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

近年の研究により、単に誘電体製の窓から試料を十分離す方法ではラジカルを十分均一化できないことが明らかになってきた。そこで発明者等は、特許文献1に記載されている技術、即ち微量の流量制御が必要な添加ガスを試料周囲に導入することによる均一性向上の効果について検討した。

【0005】

しかしながら、添加ガスとして所望のラジカルを発生しやすいガスを試料の外周から添加しても、均一性改善に関しては、ほとんど効果がないことがわかった。

【0006】

本発明の目的は、無電極方式のプラズマエッチング装置において、ラジカル密度を均一化し、エッチングの均一性を向上させることのできるプラズマエッチング装置を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するための一実施形態として、減圧処理室に、第一のガスを供給するための第一のガス導入機構と、前記減圧処理室を構成し外部から供給される電界によりその内側でプラズマが生成される誘電体窓と、前記減圧処理室内に配置され前記プラズマにより処理される試料がその上面に載置される試料台と、前記処理中に前記試料にバイアス電圧を発生させるための第一の高周波電力を前記試料台に供給する第一の高周波電源とを備えたプラズマエッチング装置において、前記減圧処理室内に第二のガスを前記誘電体窓よりも前記試料に近い位置から供給する第二のガス導入機構と、前記試料台に第一の高周波電源とは異なる周波数のものであって前記試料の外周周辺にプラズマを発生させるための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たことを特徴とするプラズマエッチング装置とする。

30

【発明の効果】

【0009】

本発明を適用すれば、試料外周部のラジカルの低下を補うことができるため、均一なエッチングが可能な無電極方式のプラズマエッチング装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の第1の実施例に係る誘導結合プラズマエッチング装置の全体概略構成図である。

40

【図2A】図1に示す誘導結合プラズマエッチング装置の試料台の上観図である。

【図2B】図1に示す誘導結合プラズマエッチング装置の試料台近傍のラジカル分布の等高線を示す図（ガス導入用穴間隔が小さい場合）である。

【図2C】図1に示す誘導結合プラズマエッチング装置の試料台近傍のラジカル分布の等高線を示す図（ガス導入用穴間隔が大きい場合）である。

【図2D】図1に示す誘導結合プラズマエッチング装置の試料台において、円周方向のラジカル濃度 μ と、 a （ガス導入用穴のピッチ）/ b （試料とガス導入用穴との間の距離）との関係を示す図である。

【図2E】図1に示す誘導結合プラズマエッチング装置の他の試料台の図であり、上図が

50

上観図、下図がX - X断面図である。

【図3A】試料表面近傍の酸素ラジカル濃度分布図である（試料近傍での添加ガス無、高周波電圧印加無の場合）。

【図3B】図3Aに示す酸素ラジカル濃度分布でのシリコン基板エッチング後のラインパターン寸法の径方向分布図である。

【図4A】試料表面近傍の酸素ラジカル濃度分布図である（試料近傍での添加ガス有、高周波電圧印加無の場合）。

【図4B】図4Aに示す酸素ラジカル濃度分布でのシリコン基板エッチング後のラインパターン寸法の径方向分布図である。

【図5A】試料表面近傍の酸素ラジカル濃度分布図である（試料近傍での添加ガス有、高周波電圧印加有の場合）。

10

【図5B】図5Aに示す酸素ラジカル濃度分布でのシリコン基板エッチング後のラインパターン寸法の径方向分布図である。

【図5C】試料表面近傍の酸素ラジカル濃度分布図である（誘電体窓の最外周からの添加ガス有、高周波電圧印加有の場合）。

【図5D】図5Cに示す酸素ラジカル濃度分布でのシリコン基板エッチング後のラインパターン寸法の径方向分布図である。

【図5E】試料表面近傍のラジカル密度の均一性と、 b （ガス導入穴と試料との間の距離）/ $\{b + c$ （ガス導入穴と誘電体窓との間の距離） $\}$ との関係を示す図である。

【図6】本発明の第2の実施例に係る有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置の全体概略構成図である。

20

【図7A】試料表面近傍のC x F y系ラジカル濃度分布図である（試料近傍での添加ガス無、高周波電圧印加無の場合）。

【図7B】図7Aに示すC x F y系ラジカル濃度分布でのSi₃N₄膜エッチング後のラインパターン寸法の径方向分布図である。

【図8A】試料表面近傍のC x F y系ラジカル濃度分布図である（試料近傍での添加ガス有、高周波電圧印加無の場合）。

【図8B】図8Aに示すC x F y系ラジカル濃度分布でのSi₃N₄膜エッチング後のラインパターン寸法の径方向分布図である。

【図9A】試料表面近傍のC x F y系ラジカル濃度分布図である（試料近傍での添加ガス有、高周波電圧印加有の場合）。

30

【図9B】図9Aに示すC x F y系ラジカル濃度分布でのSi₃N₄膜エッチング後のラインパターン寸法の径方向分布図である。

【図10】本発明の第3の実施例に係るマイクロ波エッチング装置の全体概略構成図である。

【図11】試料外周部における有機膜の加工形状を示す断面図である（試料近傍での添加ガス無、高周波電圧印加無の場合）。

【図12】試料外周部における有機膜の加工形状を示す断面図である（試料近傍での添加ガス有、高周波電圧印加無の場合）。

【図13】試料外周部における有機膜の加工形状を示す断面図である（試料近傍での添加ガス有、高周波電圧印加有の場合）。

40

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明者等は、添加ガスとして所望のラジカルを発生しやすいガスを試料外周から導入しても、均一性が改善されない理由について検討を行なった。その結果、例えば酸素ラジカルやフロロカーボン系のラジカルは、減圧処理室内壁における消滅確率が高いため、誘電体窓近傍のプラズマ発生領域から試料に拡散する間に減圧処理室内壁近傍のラジカルが消滅し、試料近傍では、外周部のラジカル密度が低下すること、このラジカル密度の低下のため、加工後のパターン寸法が試料外周部で細くなること、試料周辺から導入されたラジカルを発生しやすいガスは、試料周辺ではなく試料上方であって誘電体窓近傍のプラズ

50

マ発生領域で解離されてラジカルを生じるため、減圧処理室内全体のラジカル密度は高まるものの減圧処理室内壁近傍のみのラジカル密度を高める効果が無くラジカル密度は均一化されないこと、減圧処理室内壁近傍のみのラジカル密度を高めラジカル密度を均一化するためには、処理室内壁近傍、特に試料周辺においてプラズマ発生領域の形成が必要であることがわかった。本発明は、これら知見に基づいて生まれたものである。

以下、実施例により詳細に説明する。

【実施例 1】

【0012】

本発明の第 1 の実施例について図 1 ~ 図 5 E を用いて説明する。図 1 は、無電極放電方式の一つである誘導結合プラズマ方式のプラズマエッチング装置の全体概略構成図である。なお、同一符号は同一構成要素を示す。このプラズマエッチング装置では、ガス供給機構 16 からガス導入機構 19 を介して、エッチングガスが減圧処理室 20 に供給される。また、ターボ分子ポンプ 22 と圧力制御用可変バルブ 23 によって減圧処理室の排気速度を調整することによって、圧力計 24 でモニタされる処理室内のエッチングガスの圧力を所望の値に設定することができる。また、アルミナ製の誘電体窓 26 の外部に設置されたアンテナコイル 13 に高周波電源 15 から例えば 13.56 MHz の高周波電力を印加することによって、アンテナコイル直下の誘電体窓 26 の減圧処理室側にリング状のプラズマ生成部 17 が形成される。このプラズマ生成部 17 でエッチングガスからイオンとラジカルを生成し、このイオンとラジカルを拡散により輸送し、試料台 18 に載置された試料 21 に照射できる構造になっている。また、試料台 18 にはバイアス印加用の 400 kHz の高周波電源 29 が整合器 30 とローパスフィルタ 31 を介して取り付けられており、この高周波電源 29 から高周波電圧を印加することによって、試料 21 に負電圧を発生させ、減圧処理室 20 の内部の正イオンを加速して照射することができる。これとは別に、プラズマ発生用の 40 MHz の高周波電源 2 が整合器 32 とハイパスフィルタ 33 を介して試料台 18 に接続されており、この高周波電源 2 から高周波電力を投入することによって試料 21 の外周部にリング状のプラズマ生成領域 1 を形成することができる。このように周波数の異なる二つの高周波電源 2 および 29 を試料台 18 に取り付けることによって、正イオンを加速するための負電圧とプラズマ発生を独立に制御できる特徴がある。

【0013】

また、試料台 18 の外周部には誘電体製の絶縁リング 35 が載置されている。この絶縁リング 35 には、図 2 A に示すように同心円状に添加ガスを供給するためのガス導入用穴 40 が 56 個等間隔で配置されており、ガス供給機構 36 から供給される添加ガスを試料 21 の外周部に導入できる構造となっている。この装置を用いて、300 mm のシリコン基板上に 100 nm 厚かつ 50 nm 幅のラインパターンの酸化膜マスクを形成した試料をエッチングした。なお、ガス導入用穴は、前記試料の最外周から試料直径の 1/5 以内の位置が望ましい。

【0014】

まず、エッチングガスとして、塩素、臭化水素と酸素の混合ガスをガス導入機構 19 から導入し、ガス導入穴 40 からは添加ガスは供給せず、プラズマ発生用の高周波電源 2 からは高周波電圧は印加せず、バイアス用の高周波電源 29 から高周波電圧を印加してシリコン基板のエッチングを行った。この際の、試料表面近傍の酸素ラジカル濃度分布を図 3 A に示す。試料 21 の中央部で酸素ラジカル濃度が高く、外周部で低くなっていることがわかる。この際の加工後の試料のパターンの寸法の径方向分布を図 3 B に示す。パターン寸法は、酸素ラジカル濃度分布と同様に、シリコン基板の中央部で太く、試料の外周部で細くなっていることがわかる。したがって、試料 21 の外周部で酸素ラジカルの密度が低下していることが原因であることがわかった。

【0015】

そこで、試料外周部の酸素ラジカル密度を増やすべく、ガス導入穴 40 から酸素ガスを 10 sccm 添加してエッチングした。この際の、試料表面近傍の酸素ラジカル濃度分布を図 4 A に示す。酸素ラジカル濃度は全体に増加したが、試料の中央部で酸素ラジカル濃

度が高く、外周部で低い状況は変わらない。この際の加工後の試料のパターンの寸法の径方向分布を図 4 B に示す。パターン寸法は全体に太くなったが、試料 2 1 の中央部が太く、試料の外周部が細い状況は変わっていない。

【 0 0 1 6 】

そこで、さらにプラズマ生成用の高周波電源 2 から 1 0 0 W の高周波電力を投入してエッチングを行った。この際の、試料表面近傍の酸素ラジカル濃度分布を図 5 A に示す。ウエハ（試料）中央部の酸素ラジカル濃度が減少するとともに外周部の酸素ラジカル濃度が増加して、酸素ラジカル濃度が均一になっていることがわかる。この際の加工後の試料のパターンの寸法の径方向分布を図 5 B に示す。試料の外周部のパターンの寸法が増加し、パターン寸法が試料面内でほぼ均一になった。

10

【 0 0 1 7 】

つぎに、ガス導入用穴 4 0 のピッチの影響について検討した。図 2 B および図 2 C は、ガス導入用穴 4 0 の個数がそれぞれ 5 6 個の場合および 8 個の場合のラジカル分布を等高線でそれぞれ表示している。いずれの場合も、穴近傍のラジカル密度が高く離れるにしたがって、低くなっている。図 2 B の場合、穴数が多いため、ウエハ面内では同心円状のラジカル分布が実現できている。一方、図 2 C 場合は穴数が少ないため、ウエハ面内でも、ラジカル分布は同心円ではなく、円周方向で濃度の高い部分と低い部分が見られる。この円周方向のラジカル濃度ムラは、穴のピッチ a と穴とウエハ（最外周）の間の距離 b の比率 a / b と非常に密接な相関がある。この関係を調べた結果を図 2 D に示す。 a / b が小さくなるに従って、ラジカル濃度ムラは低減され、 a / b が 1 以下ではほとんど濃度ムラがなくなっていることがわかる。すなわち、ガス導入用穴 4 0 のピッチはウエハと穴の距離より短くすることが望ましい。また、穴のピッチを極限まで短くした構造、すなわち、図 2 E に示すようにスリット状のガス導入機構にすればさらに均一なガス供給ができると考えられる。

20

【 0 0 1 8 】

つぎに、ガス導入穴 4 0 の位置の影響について検討した。前述の構成で、ガス導入穴 4 0 を誘電体窓 2 6 の最外周に設けて、図 5 A と同様にウエハ近傍のラジカル濃度分布を調べた結果を図 5 C に示す。ラジカル濃度は全体に増加するものの外周部のラジカル濃度が低い状況はそのままである。加工後の試料のパターンの寸法の径方向分布を図 5 D に示す。パターン寸法は全体に太くなったが、試料の中央部が太く、試料の外周部が細い状況は変わっていない。すなわち、ガス導入穴 4 0 が試料の外周にあっても、試料から離れていると効果が得られないことがわかる。ガス添加の効果の有無を左右しているのが、ガス導入穴 4 0 とウエハの間の距離 b とガス導入穴 4 0 と誘電体窓 2 6 の間の距離 c である。ウエハ近傍のラジカル濃度分布の均一性と $b / (b + c)$ の関係を図 5 E に示す。 $b / (b + c)$ が 0 . 5 より小さい範囲では、 $b / (b + c)$ に比例して、ラジカル濃度分布の均一性もよくなっていることがわかる。すなわち、ガス添加によるラジカル分布均一化の効果をするには、ガス導入穴 4 0 が誘電体窓 2 6 よりウエハに近いということが必要条件になることがわかる。

30

【 0 0 1 9 】

本実施例では、プラズマ発生用の高周波電源 2 の周波数を 4 0 M H z としたが、4 M H z 以上の高周波電源であれば、いかなる周波数に設定しても同様の効果が得られる。また、本実施例では、バイアス印加用の高周波電源 2 9 の周波数を 4 0 0 k H z としたが、1 0 0 k H z 以上で、かつ、プラズマ発生用の高周波電源 2 の周波数より低ければ、いかなる周波数に設定しても同様の効果が得られる。また、本実施例では試料台 1 8 の外周部に載置した絶縁リング 3 5 の上に、添加ガス用のガス導入穴 4 0 を設けたが、試料の外周でかつ、誘電体窓 2 6 より試料 2 1 に近い位置であれば同様の効果がある。ガス導入穴 4 0 のピッチに関しては、ガス導入穴 4 0 と試料間の距離よりも、ピッチが短ければ同様の効果が得られる。また、本実施例では、誘導結合プラズマ方式のプラズマエッチング装置を用いたが、無電極放電方式のプラズマエッチング装置であれば、同様の効果が得られる。本実施例では、添加ガスとして酸素を用いたが、エッチングガスや試料構造が異なれば、

40

50

他の添加ガスでも同様の効果が得られる。

【0020】

以上、本実施例によれば、無電極方式のプラズマエッチング装置において、試料外周周りでラジカルを発生させることによりラジカル密度を均一化し、エッチングの均一性を向上させることのできるプラズマエッチング装置を提供することができる。また、バイアス印加用の高周波電圧とプラズマ発生用の高周波電圧の両者を試料台に印加するため、構造が単純でありコストの増加を低減できる。

【実施例2】

【0021】

本発明の第2の実施例について図6～図9Bを用いて説明する。なお、実施例1に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。図6は、本実施例に係る有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置の全体概略構成図である。このプラズマエッチング装置では、エッチングガスは、ガス供給ユニット16から、石英製の誘電体窓26の内部に作られたガス貯め10を経て、誘電体窓26の減圧処理室側に設けられた複数の穴11（シャワープレート構造）から、減圧処理室20の内部に導入される。また、ターボ分子ポンプ22と圧力制御用可変バルブ23によって減圧処理室20の排気速度を調整することによって、処理室内のエッチングガスの圧力を所望のちに設定することができる。また、マグネトロン53で生成されたマイクロ波が導波管54、空洞共振部55、誘電体窓26を経て、減圧処理室内に供給される構造になっており、このマイクロ波が作る横方向の電界と、コイル56の作る縦方向の静磁場の相互作用によって処理室上部にプラズマ生成部17を形成できる構造になっている。

【0022】

このプラズマ生成部17でエッチングガスからイオンとラジカルを生成し、このイオンとラジカルを拡散により輸送し、試料台18に載置された試料21に照射できる構造になっている。また、試料台18にはバイアス印加用の400kHzの高周波電源29が整合器30とローパスフィルタ31を介して取り付けられており、この高周波電源29から高周波電圧を印加することによって、試料21に負電圧を発生させ、減圧処理室20の内部の正イオンを加速して照射することができる。これとは別に、プラズマ発生用の27MHzの高周波電源2が整合器32とハイパスフィルタ33を介して試料台18に接続されており、この高周波電源2から高周波電力を投入することによって試料21の外周部にリング状のプラズマ生成領域1を形成することができる。特に有磁場マイクロ波プラズマエッチング装置のように減圧処理室内に縦方向の静磁場を有する装置では、プラズマ発生用の高周波電源2から供給される電力が試料21の外周部に作る横方向の電界と、コイル56の作る縦方向の静磁場の相互作用によって、試料21の外周部のみに効率的にプラズマを生成することができる。このように周波数の異なる二つの高周波電源2および29を試料台18に取り付けることによって、正イオンを加速するための負電圧とプラズマ発生を独立に制御できる特徴がある。

【0023】

また、試料台18の外周部には誘電体製の絶縁リング35が載置されている。実施例1の図2Aと同様に、この絶縁リング35には、図2Aに示すように同心円状に添加ガスを供給するためのガス導入穴40が配置されており、ガス供給機構36から供給される添加ガスを試料21の外周部に導入できる構造となっている。

【0024】

この装置を用いて、300mmのシリコンウエハ上に300nm厚のSi₃N₄膜を堆積させ、その上に200nm厚かつ50nm幅のラインパターンの有機材料のマスクを形成した試料をエッチングした。

【0025】

まず、エッチングガスとして、ガス供給機構16からCHF₃とArの混合ガスを供給し、ガス導入穴40からは添加ガスは供給せず、プラズマ発生用の高周波電源2からは高周波電力を供給せず、バイアス用の400kHzの高周波電源29からのみ高周波電圧を

印加してエッチングを行った。この際の、試料表面近傍のC x F y系ラジカル濃度分布を図7Aに示す。試料21の中央部でラジカル濃度が高く、外周部で低くなっていることがわかるこの際の加工後の試料21のパターンの寸法の径方向分布を図7Bに示す。パターン寸法は、C x F y系ラジカル濃度分布と同様に、試料21の中央部で太く、試料21の外周部で細くなっていることがわかる。すなわち、試料21の外周部でC x F y系のラジカルの密度が低下していることが原因であることがわかった。

【0026】

そこで、試料外周部のC x F y系のラジカルの密度を増やすべく、添加ガス導入用のガス導入穴40からCH₂F₂を10 s c c m添加してエッチングした。この際の、試料表面近傍のラジカル濃度分布を図8Aに示す。C x F y系ラジカル濃度は全体に増加したが、試料21の中央部でラジカル濃度が高く、外周部で低い状況は変わらない。この際の加工後の試料のパターンの寸法の径方向分布を図8Bに示す。パターン寸法は全体に太くなったが、試料21の中央部が太く、試料21の外周部が細い状況は変わっていない。

【0027】

そこで、さらにプラズマ生成用の高周波電源2から50 Wの高周波電力を投入してエッチングを行った。試料21の外周部のパターンの寸法が増加し、パターン寸法が試料面内でほぼ均一になった。

【0028】

そこで、さらにプラズマ生成用の高周波電源2から100 Wの高周波電力を投入してエッチングを行った。この際の、試料表面近傍のC x F y系ラジカル濃度分布を図9Aに示す。ウエハ(試料)中央部のラジカル濃度が減少するとともに外周部のラジカル濃度が増加して、ラジカル濃度が均一になっていることがわかる。この際の加工後の試料のパターンの寸法の径方向分布を図9Bに示す。試料の外周部のパターンの寸法が増加し、パターン寸法が試料面内でほぼ均一になった。

【0029】

本実施例では、プラズマ発生用の高周波電源2の周波数を27 MHzとしたが、4 MHz以上の高周波電源であれば、いかなる周波数に設定しても同様の効果が得られる。また、本実施例では、バイアス印加用の高周波電源29の周波数を400 KHzとしたが、100 k Hz以上で、かつ、プラズマ発生用の高周波電源2の周波数より低ければ、いかなる周波数に設定しても同様の効果が得られる。また、本実施例では試料台18の外周部に載置した絶縁リング35の上に、添加ガス用のガス導入穴40を設けたが、試料の外周でかつ、誘電体窓26より試料21に近い位置であれば同様の効果がある。また、本実施例では、有磁場マイクロ波プラズマ方式のプラズマエッチング装置を用いたが、無電極放電方式のプラズマエッチング装置であれば、同様の効果が得られる。本実施例では、添加ガスとしてCH₂F₂を用いたが、フロロカーボンガスであれば同様の効果が得られる。また、エッチングガスや試料構造が異なれば、他の添加ガスでも同様の効果が得られる。

【0030】

以上、本実施例によれば、無電極方式のプラズマエッチング装置において、試料外周周辺でラジカルを発生させることによりラジカル密度を均一化し、エッチングの均一性を向上させることのできるプラズマエッチング装置を提供することができる。また、バイアス印加用の高周波電圧とプラズマ発生用の高周波電圧の両者を試料台に印加するため、構造が単純でありコストの増加を低減できる。

【実施例3】

【0031】

本発明の第3の実施例について図10～図13を用いて説明する。なお、実施例1又は2に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。図10は、本実施例に係るマイクロ波エッチング装置の全体概略構成図である。このプラズマエッチング装置では、エッチングガスは、ガス供給ユニット16から、石英製の誘電体窓26の内部に作られたガス貯め10を経て、誘電体窓26の減圧処理室側に設けられた複数の穴11(シャワープレート構造)から、減圧処理室20の内部に導入

10

20

30

40

50

される。また、ターボ分子ポンプ 22 と圧力制御用可変バルブ 23 によって減圧処理室 20 の排気速度を調整することによって、減圧処理室内のエッチングガスの圧力を所望のちに設定することができる。また、マグネトロン 53 で生成されたマイクロ波が導波管 54、空洞共振部 55、誘電体窓 26 を経て、減圧処理室内に供給される構造になっており、投入されたマイクロ波の電力によって誘電体窓 26 の近傍にプラズマ生成部 17 を形成できる構造になっている。

【0032】

このプラズマ生成部 17 でエッチングガスからイオンとラジカルを生成し、このイオンとラジカルを拡散により輸送し、試料台 18 に載置された試料 21 に照射できる構造になっている。また、試料台 18 にはバイアス印加用の 400 kHz の高周波電源 29 が整合器 30 とローパスフィルタ 31 を介して取り付けられており、この高周波電源 29 から高周波電圧を印加することによって、試料 21 に負電圧を発生させ、減圧処理室 20 の内部の正イオンを加速して照射することができる。

【0033】

また、試料台 18 の外周部には誘電体製の絶縁リング 35 が載置されている。実施例 1 の図と同様に、この絶縁リング 35 には、図 2A に示すように同心円状に添加ガスを供給するためのガス導入穴 40 が配置されており、ガス供給機構 36 から供給される添加ガスを試料 21 の外周部に導入できる構造となっている。

【0034】

また、絶縁リング上には、ガス導入穴 40 の外側には試料台 18 から絶縁された電極 41 が搭載されている。この電極 41 には、プラズマ発生用の 27 MHz の高周波電源 2 が整合器 32 とハイパスフィルタ 33 を介して試料台 18 に接続されており、この高周波電源 2 から高周波電力を投入することによって試料 21 の外周部にプラズマ生成領域 1 を形成することができる。このように試料台 18 および絶縁された電極 41 にそれぞれ周波数の異なる二つの高周波電源 2 および 29 を取り付けることによって、正イオンを加速するための負電圧とプラズマ発生を独立に制御できる特徴がある。

【0035】

この装置を用いて、300 mm のシリコンウエハ上に 300 nm 厚の有機膜を堆積させ、その上に 20 nm 厚かつ 50 nm 幅のラインパターンの SiO₂ のマスクを形成した試料をエッチングした。

【0036】

まず、エッチングガスとして、O₂ と Ar の混合ガスを用い、添加ガスは供給せず、プラズマ発生用の 27 MHz の高周波電圧は印加せず、バイアス用の 400 kHz の高周波電圧を印加してエッチングを行った。加工後の試料 21 の外周部の有機膜の加工形状を図 11 に示す。有機膜のパターン 60 が試料 21 の中心部に向かって倒れていることがわかる。有機膜のパターンは酸素ラジカル密度分布が不均一になると倒れやすいことがわかっている。研究の結果、試料 21 の中央部に比べ、外周部の酸素ラジカル密度が低くなっており、酸素ラジカル密度分布が不均一になっていることが確認された。

【0037】

そこで、試料 21 の外周部の酸素ラジカルの密度を増やすべく、添加ガス導入用のガス導入穴 40 から酸素を 10 sccm 添加してエッチングした。加工後の試料 21 の外周部の有機膜の加工形状を図 12 に示す。有機膜のパターン 60 が試料 21 の中心部に向かって倒れていることがわかる。研究の結果、この方法では、試料 21 の外周部の酸素ラジカル密度が十分増えないことがわかった。

【0038】

そこで、さらにプラズマ生成用の高周波電源 2 から 100 W の高周波電力を投入してエッチングを行った。この際の加工後の形状を図 13 に示す。この場合には試料中心部へ向かう倒れは見られなかった。また、試料の外周部のパターンの寸法が増加し、パターン寸法が試料面内でほぼ均一になった。なお、加工後の断面形状に関し、実施例 1 におけるシリコン基板のエッチングや実施例 2 における Si₃N₄ 膜のエッチングでも同様である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 9 】

本実施例では、プラズマ発生用の高周波電源 2 の周波数を 2 7 M H z としたが、4 M H z 以上の高周波電源であれば、いかなる周波数に設定しても同様の効果が得られる。また、本実施例では、バイアス印加用の高周波電源 2 9 の周波数を 4 0 0 K H z としたが、1 0 0 k H z 以上で、かつ、プラズマ発生用の高周波電源 2 の周波数より低ければ、いかなる周波数に設定しても同様の効果が得られる。また、本実施例では試料台 1 8 の外周部に載置した絶縁リング 3 5 の上に、添加ガス用のガス導入穴 4 0 を設けたが、試料の外周でかつ、誘電体窓 2 6 より試料 2 1 に近い位置であれば同様の効果がある。また、本実施例では、マイクロ波プラズマ方式のプラズマエッチング装置を用いたが、無電極放電方式のプラズマエッチング装置であれば、同様の効果が得られる。本実施例では、添加ガスとして酸素を用いたが、エッチングガスや試料構造が異なれば、他の添加ガスでも同様の効果が得られる。

10

【 0 0 4 0 】

以上、本実施例によれば、無電極方式のプラズマエッチング装置において、試料外周周辺でラジカルを発生させることによりラジカル密度を均一化し、エッチングの均一性を向上させることのできるプラズマエッチング装置を提供することができる。また、試料周辺のプラズマ発生領域形成用電極を試料台と絶縁して設けることにより、正イオンを加速するための負電圧とプラズマ発生を独立に制御することができる。

【 0 0 4 1 】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることも可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

20

【 符号の説明 】

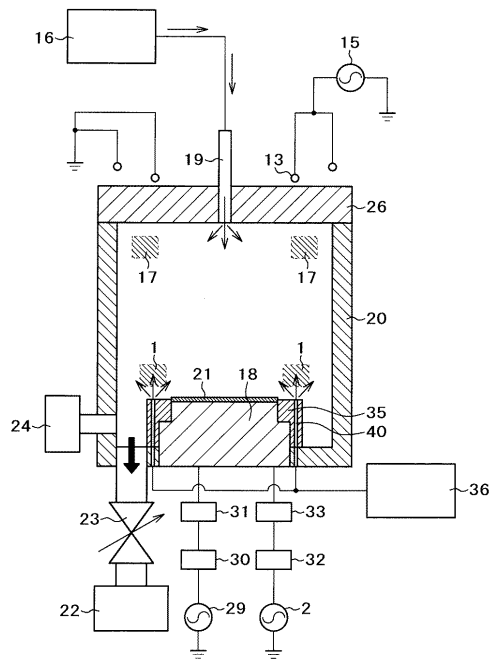
【 0 0 4 2 】

1 ... プラズマ生成領域、2 ... 高周波電源、1 0 ... ガス貯め、1 1 ... ガス穴、1 3 ... アンテナコイル、1 5 ... 高周波電源、1 6 ... ガス供給機構 (ユニット)、1 7 ... プラズマ生成部、1 8 ... 試料台、1 9 ... ガス導入機構、2 0 ... 減圧処理室、2 1 ... 試料、2 2 ... ターボ分子ポンプ、2 3 ... 圧力制御用可変バルブ、2 4 ... 圧力計、2 6 ... 誘電体窓、2 9 ... 高周波電源、3 0 ... 整合器、3 1 ... ローパスフィルタ、3 2 ... 整合器、3 3 ... ハイパスフィルタ、3 5 ... 絶縁リング、3 6 ... ガス供給機構、4 0 ... ガス導入穴、4 1 ... 電極、5 3 ... マグネトロン、5 4 ... 導波管、5 5 ... 空洞共振部、5 6 ... コイル、6 0 ... 有機膜のパターン。

30

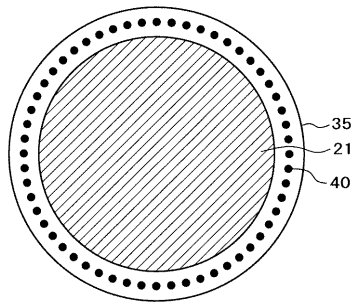
【図 1】

図 1



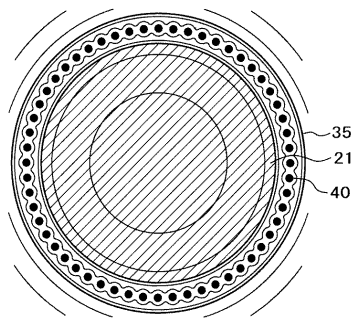
【図 2 A】

図 2 A



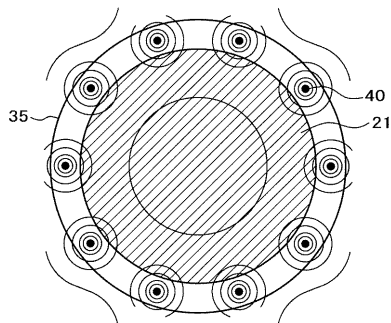
【図 2 B】

図 2 B



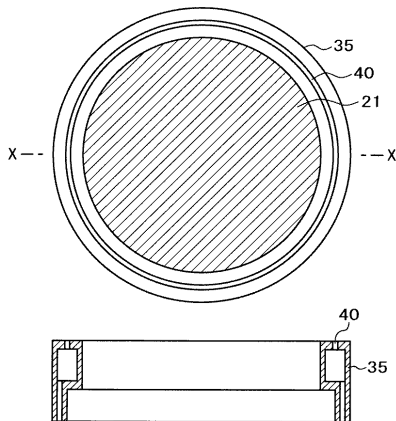
【図 2 C】

図 2 C



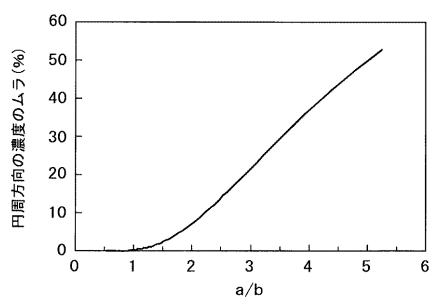
【図 2 E】

図 2 E



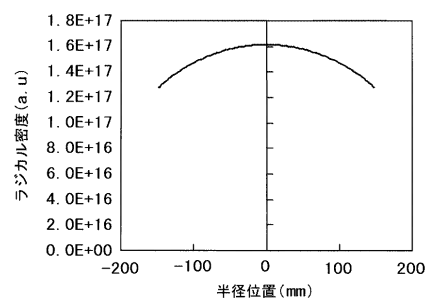
【図 2 D】

図 2 D



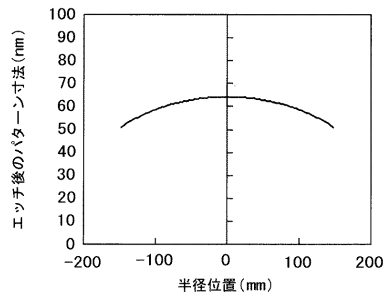
【図 3 A】

図 3 A



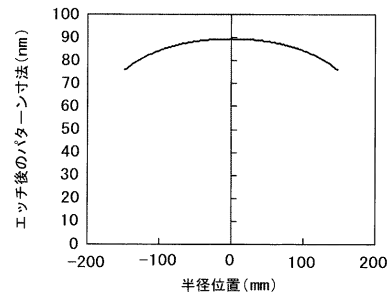
【図 3 B】

図 3 B



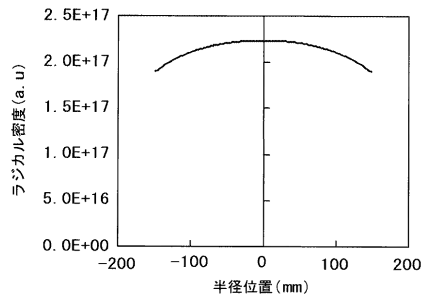
【図 4 B】

図 4 B



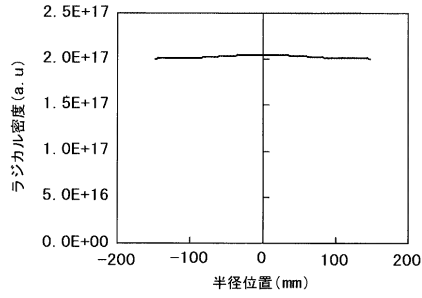
【図 4 A】

図 4 A



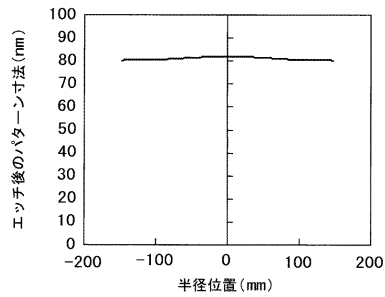
【図 5 A】

図 5 A



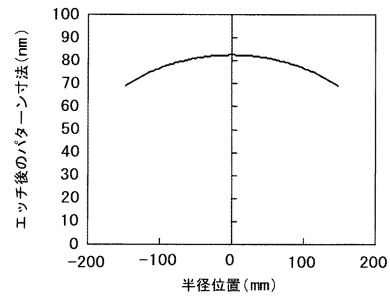
【図 5 B】

図 5 B



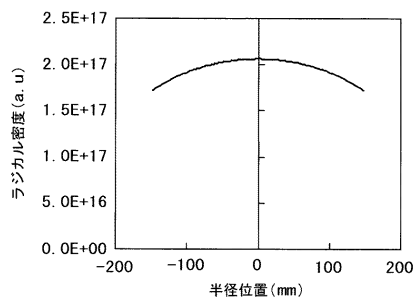
【図 5 D】

図 5 D



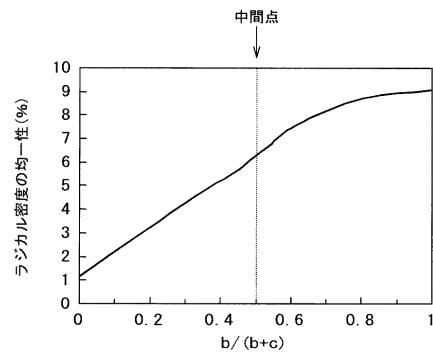
【図 5 C】

図 5 C

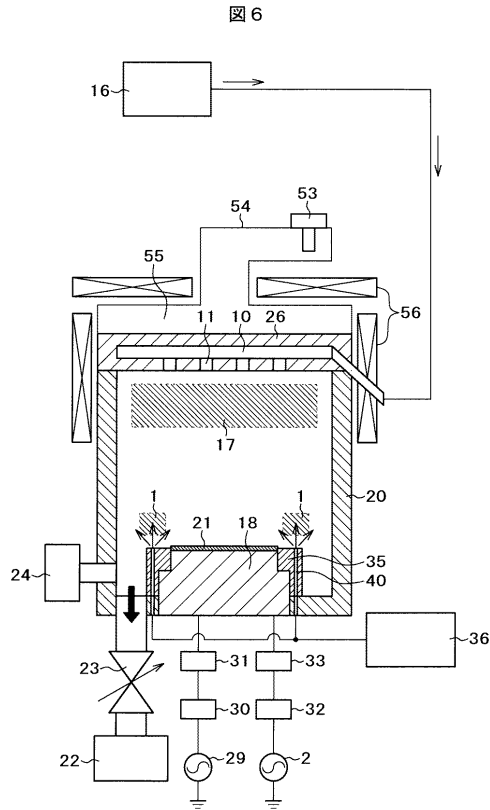


【図 5 E】

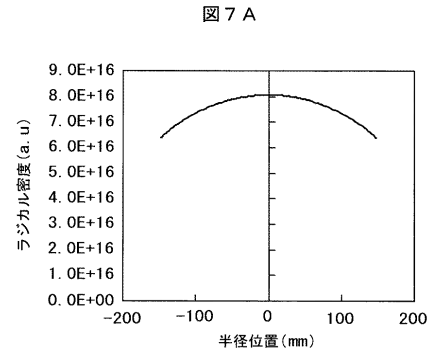
図 5 E



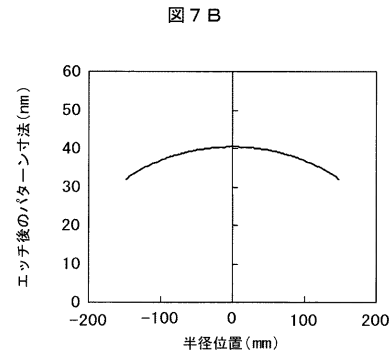
【図 6】



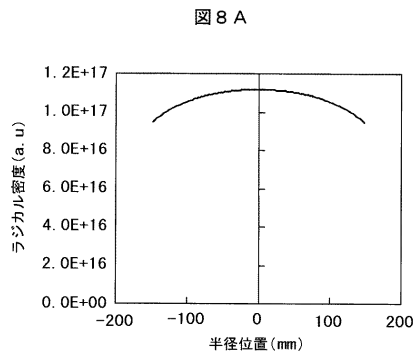
【図 7 A】



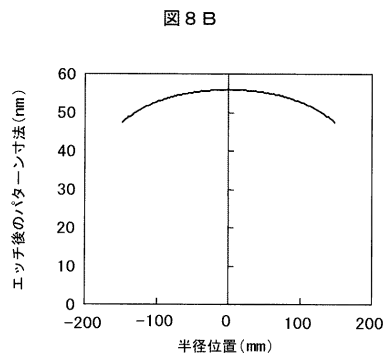
【図 7 B】



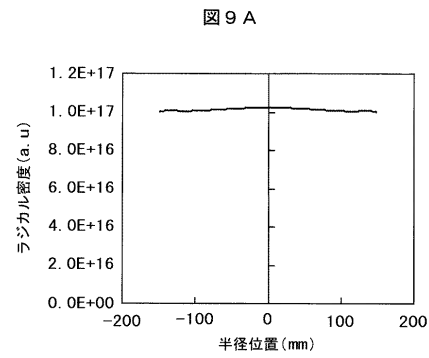
【図 8 A】



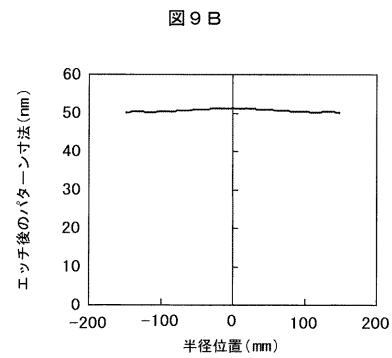
【図 8 B】



【図 9 A】

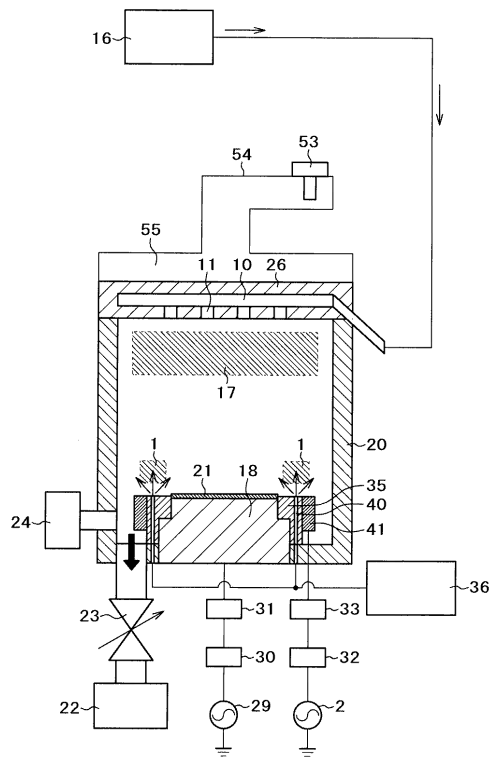


【図 9 B】



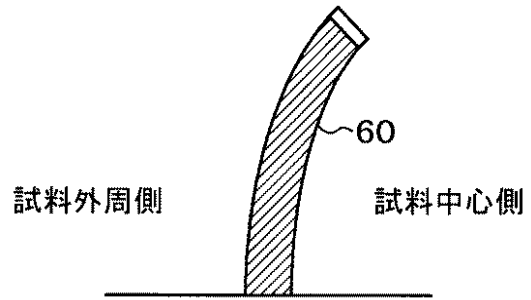
【図 10】

図 10



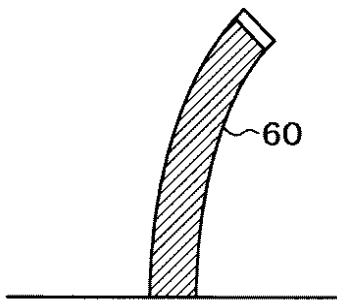
【図 11】

図 11



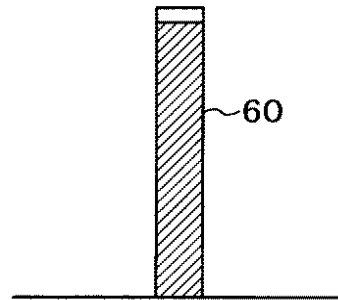
【図 12】

図 12



【図 13】

図 13



フロントページの続き

(72)発明者 上林 雅美

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

(72)発明者 三宅 賢稔

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

審査官 溝本 安展

(56)参考文献 特開平 1 0 - 0 6 4 8 8 1 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 2 4 5 9 5 8 (U S , A 1)

米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 1 9 8 4 1 7 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5

H 0 5 H 1 / 4 6