

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6138653号
(P6138653)

(45) 発行日 平成29年5月31日(2017.5.31)

(24) 登録日 平成29年5月12日(2017.5.12)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)

F 1

H01L 21/302 105A
H01L 21/302 101D
H05H 1/46 C

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2013-210656 (P2013-210656)
 (22) 出願日 平成25年10月8日 (2013.10.8)
 (65) 公開番号 特開2015-76459 (P2015-76459A)
 (43) 公開日 平成27年4月20日 (2015.4.20)
 審査請求日 平成28年6月15日 (2016.6.15)

(73) 特許権者 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目24番14号
 (74) 代理人 100098660
 弁理士 戸田 裕二
 (72) 発明者 申 ▲ゼ▼
 東京都港区西新橋1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 小野 哲郎
 東京都港区西新橋1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】ドライエッティング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

Si層とSiGe層が交互に積層された積層膜の前記SiGe層を前記Si層に対して選択的に等方性エッティングするドライエッティング方法において、

NF₃ガスとO₂ガスの混合ガス、NF₃ガスとCO₂ガスの混合ガスまたはNF₃ガスとCOガスの混合ガスを用いパルス変調された高周波電力により生成されたプラズマによって前記SiGe層をプラズマエッティングすることを特徴とするドライエッティング方法。

【請求項 2】

Si層とSiGe層が交互に積層された積層膜の前記SiGe層を前記Si層に対して選択的に等方性エッティングするドライエッティング方法において、

連続プラズマにより前記積層膜に所定の深さの溝を形成し、

前記所定深さの溝を形成した後、NF₃ガスとO₂ガスの混合ガス、NF₃ガスとCO₂ガスの混合ガスまたはNF₃ガスとCOガスの混合ガスを用いパルス変調された高周波電力により生成されたプラズマによって前記SiGe層をプラズマエッティングすることを特徴とするドライエッティング方法。

【請求項 3】

請求項1または請求項2のいずれか一項に記載のドライエッティング方法において、前記パルス変調のデューティー比を50%以下とすることを特徴とするドライエッティング方法。

【請求項 4】

10

20

マイクロ波と磁場を利用して電子サイクロトロン共鳴方式マイクロ波プラズマエッティング装置を用いて Si 層と SiGe 層が交互に積層された積層膜の前記 SiGe 層を前記 Si 層に対して選択的に等方性エッティングするドライエッティング方法において、パルス変調された高周波電力により生成され NF₃ ガスを用いたプラズマを用い、前記積層膜を有する試料が載置された試料台に 0 W の高周波電力を供給しながら前記 SiGe 層をプラズマエッティングすることを特徴とするドライエッティング方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ドライエッティング方法に係り、特に積層膜における選択的サイドエッティングが可能なドライエッティング方法に関する。 10

【背景技術】

【0002】

近年、電界効果トランジスタの高速化に伴い、シリコン(以下、Si と表記する)以外の新しい材料を用いた半導体素子の必要性が高まり、新材料の一つにシリコンゲルマニウム(SiGe と表記する)がある。また、この SiGe を用いた半導体素子構造として図 3(a)に示すような、22 nm 世代以降の半導体素子に適用予定の Si 層と SiGe 層の積層構造があり、この Si 層と SiGe 層の積層構造において、各 SiGe 層を各 Si 層に対して選択的に等方性エッティングが求められている。

【0003】

Si 層に対する SiGe 層の選択的エッティングとして特許文献 1 には基板のマスクに覆われていない部分の SiGe 膜を除去する SiGe 膜のエッティング方法において、反応性ガスとして、水素原子と弗素原子が結合したガスをアルゴンガスおよび酸素ガスと混合した混合ガスを用いて、SiGe 膜をドライエッティングする方法が開示されている。このエッティングではケミカルドライエッティングにより SiGe をエッティングして下地の Si で止める加工を行っている。 20

【0004】

また、Si 層に対する SiGe 層の選択的等方性エッティングとして特許文献 2 には、SiGe(シリコンゲルマニウム) 層と、SiGe(シリコンゲルマニウム) 層の上に形成された Si(シリコン) 層と、を含むヘテロ構造体をエッティングするマイクロ波プラズマエッティング方法であって、反応ガスとしてフッ化物ガスのみを用い、その流量を 10 ~ 800 sccm、処理圧力を 266 Pa 以下、マイクロ波パワーを 150 ~ 400 W、処理温度を 5 ~ 25 として、SiGe(シリコンゲルマニウム) 層を選択的に等方性エッティングする方法が開示されている。 30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2003-77888 号公報

【特許文献 2】特開 2007-214390 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、いずれの先行技術の方法にて図 3(a)に示す Si 層と SiGe 層の積層構造において、等方性エッティングを試みた場合、Si エッティングに対する SiGe エッティングの選択比が不十分である。さらに、このエッティングには以下に述べる 2 つの課題がある。 40

【0007】

1 つ目の課題として、各 Si 層と各 SiGe 層の厚さは、両方の層とも約 20 nm 以下であり、このため、この構造のエッティングでは SiGe 層のエッティングの進行に伴って上下の Si 層に挟まれ、従来のエッティングより狭い空間をエッティングする必要が生じる。

【0008】

10

20

30

40

50

2つ目の課題として、上述の狭い空間を形成するためには、サイドエッティングにより上記の狭い空間を形成する必要があるが、サイドエッティングのため、イオンの入射が困難であることである。通常の垂直方向のエッティングでは、高周波バイアスを印加しているため、狭くてもエッティング面にイオンが入射させることができ、反応生成物の再付着が生じてもそれをスパッタしてエッティングを進行させることができる。しかし図3(a)に示すようなSi層とSiGe層の積層構造におけるサイドエッティングでは、イオンの入射が困難なため、再付着した反応生成物の除去が従来構造以上に障害となる。

【0009】

本発明は、これらの課題を解決するため、Si層とSiGe層が交互に繰り返し積層された構造を有する試料をプラズマエッティングするドライエッティング方法において、各SiGe層を各Si層に対して選択的に等方性エッティングできるドライエッティング方法を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、Si層とSiGe層が交互に積層された積層膜の前記SiGe層を前記Si層に対して選択的に等方性エッティングするドライエッティング方法において、NF₃ガスとO₂ガスの混合ガス、NF₃ガスとCO₂ガスの混合ガスまたはNF₃ガスとCOガスの混合ガスを用いパルス変調された高周波電力により生成されたプラズマによって前記SiGe層をプラズマエッティングすることを特徴とする。

20

【0011】

また、本発明は、Si層とSiGe層が交互に繰り返し積層された積層膜の各SiGe膜を各前記Si層に対して選択的に等方性エッティングするドライエッティング方法において、フルオロカーボンガスを用いてパルス変調されたプラズマにより前記各SiGe膜をプラズマエッティングすることを特徴とする。

【0012】

さらに本発明は、マイクロ波と磁場を利用した電子サイクロトロン共鳴方式マイクロ波プラズマエッティング装置を用いてSi層とSiGe層が交互に積層された積層膜の前記SiGe層を前記Si層に対して選択的に等方性エッティングするドライエッティング方法において、パルス変調された高周波電力により生成されNF₃ガスを用いたプラズマを用い、前記積層膜を有する試料が載置された試料台に0Wの高周波電力を供給しながら前記SiGe層をプラズマエッティングすることを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0013】

本発明は、Si層とSiGe層が交互に繰り返し積層された構造を有する試料をプラズマエッティングするドライエッティング方法において、各SiGe層を各Si層に対して選択的に等方性エッティングできる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明に係るプラズマエッティング装置の概略断面図である。

40

【図2】パルス変調されたマイクロ波電力を示す図である。

【図3】本発明によるプラズマエッティング結果を示す図である。

【図4】本発明の効果を説明する図である。

【図5】Siサイドエッティングに対するSiGeサイドエッティングの選択比へのパルス変調のデューティー比の依存性を示す図である。

【図6】実施例3に係る本発明によるプラズマエッティング結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本発明に係る実施形態を図1ないし6を用いて説明する。図1は、本発明を実施するためのプラズマエッティング装置の一例を示す概略断面図であり、プラズマ生成手段にマイクロ波と磁場を利用した電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron

50

Resonance: ECR、以下、ECRと略称する)方式マイクロ波プラズマエッティング装置である。

【0016】

このECR方式マイクロ波プラズマエッティング装置は、内部を真空排気できるチャンバ101と、試料であるウエハ102を配置する試料台103と、チャンバ101の上面に設けられた石英などのマイクロ波透過窓104と、その上方に設けられた導波管105と、マグネットロン106と、チャンバ101の周りに設けられたソレノイドコイル107と、試料台103に接続された静電吸着電源108と、高周波電源109とを備える。

【0017】

ウエハ102は、ウエハ搬入口110からチャンバ101内に搬入された後、静電吸着電源108によって試料台103に静電吸着される。次に、エッティングガスがチャンバ101に導入される。チャンバ101内は、真空ポンプ(図示省略)により減圧排気され、例えば、0.1Pa～50Paの範囲の所定の圧力に調整される。次に、マグネットロン106から周波数2.45GHzのマイクロ波が発振され、導波管105を介してチャンバ101内に伝播される。

【0018】

また、上記のマイクロ波は、パルス発生器(図示省略)より生成されたパルスによりパルス変調させることも可能である。例えば、図2に示すようにマグネットロン106から発振されたマイクロ波ピーク電力を周期的に変化させてプラズマの電界強度を周期的に変化させる。図2(a)のようにマイクロ波ピーク電力が小さい期間、あるいは図2(b)のようにマイクロ波ピーク電力を加えない期間にプラズマ密度が小さくなる。

【0019】

マイクロ波とソレノイドコイル107によって発生された磁場との相互作用によってエッティングガスが励起され、ウエハ102上部の空間にプラズマ111が形成される。一方、試料台103には、高周波電源109によって高周波バイアスが印加され、プラズマ111中のイオンがウエハ102上に垂直に加速され入射する。ウエハ102は、プラズマ111からのラジカルとイオンの作用によって異方的にエッティングされる。

【0020】

上述したECR方式マイクロ波プラズマエッティング装置を用いた本発明の各実施形態について以下、説明する。

【実施例1】

【0021】

最初に本発明によりプラズマエッティングするウエハ102の薄膜構造を図3(a)に示す。ウエハ102は、エッティング用のマスクである酸化膜301の下にSi層303とSiGe層302が交互に積層された積層構造を有し、予め、所定深さの溝が形成されている。ここでSi層303およびSiGe層302は、それぞれ、エピタキシャル成長法により形成された結晶Siおよび結晶SiGeからなる層である。

【0022】

【表1】

	ガス流量(ml/min)		圧力 (Pa)	マイクロ波			バイアス (W)	時間 (s)
	N ₂	NF ₃		電力(W)	パルス周波数(Hz)	テューティ比(%)		
比較例	20	80	0.5	400	-	100	0	30
本発明	20	80	0.5	400	1000	20	0	30

【0023】

表1に示す比較例のエッティング条件に示すように、80ml/minの三フッ化窒素(以下、NF₃と表記)ガスと20ml/minの窒素(以下、N₂と表記)ガスを使用し、Siにイオンからの衝撃を低減する且つイオンを小さい溝や孔の側壁へ確実到着するために圧力を0.5Pa、マイクロ波電力を400W、ウエハ102に印加する高周波バイアスを0Wとして図3(a)に示す積層構造を有するウエハ102をエッティングした。

10

20

30

40

50

【0024】

尚、 NF_3 ガスは、 $SiGe$ 層をエッティングするためのフッ素を供給し、 N_2 ガスは、堆積成分を生成する。また、上記のマイクロ波電力は連続出力される電力とした。上述した比較例のエッティング条件にてエッティングした結果、図3(b)に示すように Si 層303と $SiGe$ 層302との積層膜において、 $SiGe$ 層302を Si 層303に対して選択的にサイドエッティングすることができた。尚、ここでのサイドエッティングと等方性エッティングは同じものである。

【0025】

次に表1に示す本発明によるエッティング条件にて図3(a)に示す積層構造を有するウエハ102をエッティングした結果、図3(c)に示すように $SiGe$ 層302を Si 層303に対して選択的にサイドエッティングすることができた。さらに、本発明によるエッティング条件での $SiGe$ 層302のサイドエッティング速度は、上述した比較例のエッティング条件より約4倍増加した。

つまり、本発明のエッティング条件による Si 層に対する $SiGe$ 層の選択比が4倍近く向上したことになる。また、本発明のエッティング条件は、比較例のエッティング条件の400Wのマイクロ波電力をパルス変調に変更しただけである。尚、本実施例でのパルス変調の繰り返し周波数およびデューティー比は、それぞれ、1000Hz、20%とした。ここで、デューティー比は、パルスの一周期に対するオン期間の割合のことである。

【0026】

本発明により、 Si 層に対する $SiGe$ 層の選択的なサイドエッティングが向上できた理由は以下のように考えられる。

【0027】

図4は、 Si 層401と $SiGe$ 層402が交互に繰り返し積層された積層膜の一部を拡大した断面模式図である。プラズマからのイオン403は、積層膜に対して垂直方向に入射するため、 Si 層401および $SiGe$ 層402の側壁にはイオン403は入射しない。また、エッティングは、フッ素などの反応性ラジカル404がより反応性が高い $SiGe$ と反応することにより進行する。図4(a)に示すようにエッティングの初期は、エッティングのアスペクト比が小さいため、反応生成物405は、溝から衝突なく排気される。

【0028】

エッティングが進行して $SiGe$ 層402の被エッティング面が後退すると、図4(b)に示すように溝の内側の反応生成物405の密度が高くなるため、衝突して $SiGe$ 層402に再入射する反応性生成物405が増加する。すると $SiGe$ 層402のサイドエッティングが抑制されて Si 層401との選択比が低下する。

【0029】

一方、本発明では、周期的にプラズマ強度を弱くする、あるいはプラズマを止めることにより反応性ラジカル404の供給が休止する期間が発生する。反応性ラジカルの供給を停止すると反応生成物405の生成が停止するため、図4(c)のように狭い溝から反応生成物405が十分に排気されて再付着量を低減できる。次にラジカルを供給した時のエッティング速度が抑制されないので、連続してエッティングを行うよりも大きなエッティング速度が得られる。この効果は、従来のイオンが入射する垂直方向のエッティング以上の効果が得られる。加えて Si 層と $SiGe$ 層の積層膜の側壁に付着する堆積物の量と質を連続的に制御できるため、 Si と $SiGe$ の蒸気圧などの物理化学特性の差を利用して、 Si をエッチストップさせて $SiGe$ をエッティングすることができる。尚、堆積性ラジカルは図4では省略している。

【0030】

つまり、マイクロ波が連続出力の場合では、エッティングが進行するに伴い、 $SiGe$ エッティング表面はだんだん上下の Si 層間の奥へ移動してコンダクタンスが小さくなるため、 $SiGe$ エッティングの生成物の表面近傍の密度が増加して反応生成物のエッティング表面に再付着量が増すことにより $SiGe$ のエッティング速度は低減する。一方、パルス放電の場合は、マイクロ波がオフの間にラジカルの発生が停止してエッティングが止まり、その間

10

20

30

40

50

に反応生成物が溝の外へ排気されるため、連続放電より Si Ge のエッティング速度が増加することによって選択性が向上したものと考えられる。

【0031】

また、本発明の効果に対する作用として次のようにも考えられる。選択性なサイドエッティングを行うには、イオンに対するラジカル比を増加させることができることが特に効果的である。パルス放電のオフ期間では、ラジカルの減衰量よりイオンの減衰量が大きいため、オフ期間では、イオンに対するラジカル比は増加する。このため、オフ期間を有するパルス放電の方が連続放電より選択性なサイドエッティングができたものと考えられる。さらにこのことからオフ期間を制御できるデューティー比の制御により Si に対する Si Ge の選択性比を制御できることも示唆していると考えられる。

10

【0032】

次に Si サイドエッティングに対する Si Ge サイドエッティングの選択性比へのパルス変調のデューティー比の依存性について説明する。図 5 に示すように、パルス変調のデューティー比の減少に伴って選択性比が増加し、特にパルスのデューティー比が 50% 以下になると、選択性比が大幅に増加した。この選択性比に対するデューティー比の特性は以下のように考えられる。

【0033】

先ずパルス変調のデューティー比を 100% から 50% の範囲で減少させる場合は、オン時間が長くてオフ時間になる前に、Si Ge 表面にデポが堆積し、短いオフ時間が経過してもデポがある程度残っているため、パルス変調のデューティー比を下げても Si Ge のエッティング進行に効果が少ない。

20

【0034】

一方、パルス変調のデューティー比を 50% から 20% の範囲で減少する場合は、オン時間の低減により反応生成物の再付着がエッティングを妨げる濃度に至る前にオフ時間となる。このため、オフ時間の反応生成物の濃度低減は、Si Ge のエッティング進行に大きな効果があり、選択性比は急激に増加する。しかし、パルス変調のデューティー比を 20% 未満に減少させると、オン時間のラジカル生成の減少が上述の反応生成物によるエッティング抑制改善より律速するため、選択性比がほぼ飽和すると考えられる。

【0035】

あるいは、上述したようにイオンに対するラジカル比は概ねパルス放電のオフ時間の増加に伴って増加するため、パルス変調のデューティー比を減少させることにより Si に対する Si Ge の選択性比が向上したものと考えられ、特にパルス変調のデューティー比が 50% 以下でイオンに対するラジカル比の増加による効果が顕著に現れたものと考えられる。

30

【0036】

つまり、放電のパルス化により Si に対する Si Ge のサイドエッティングの選択性比は、溝のような狭い場所でのラジカルによるエッティング時間と反応生成物の再付着量を制御できるとともにイオンに対するラジカル比を増加させることができると向上させることができ、パルス変調のデューティー比を減少させることによりさらに選択性比を向上できる。特に本発明は、パルス変調のデューティー比を 50% 以下とすることにより、Si に対する Si Ge のサイドエッティングの選択性比を大幅に向上できる。

40

【0037】

本実施例では、添加ガスとして N₂ ガスを用いたが、N₂ ガスの代わりに O₂ ガス、CO₂ ガス、CO ガスのいずれかのガスを用いても良い。

【0038】

次に図 3(a) に示す積層構造を有するウエハ 102 を 2 ステップでエッティングする実施形態について説明する。

【実施例 2】

【0039】

実施例 1 に示すエッティング条件でエッティングした場合、Si Ge のサイドエッティング量が

50

エッティング時間とともに増加する傾向を示し、また、エッティングの初期は、アスペクト比が小さく反応生成物も溝の内側から排気されやすいため、SiGeのサイドエッティング量に応じてエッティング条件を変えた方がより高選択比が得られる。

【0040】

このため、表2に示すようにステップ1では、CF₄ガスを用いてマイクロ波のパルス変調のディーティー比を50%とし、ステップ2では、CF₄ガスに溝の角部の削れを抑制するためにO₂ガスを混合してマイクロ波のパルス変調のディーティー比20%としたエッティング条件にてエッティングした結果、実施例1のエッティング条件よりさらに選択比や溝の角部の削れを改善できた。

また、本実施例のステップは2つに限らずもっとステップ数を増やしたり、あるいはパルス変調のディーティー比を50%から20%に処理時間内で連続的に低減するようなエッティング条件にしてもよい。

【0041】

【表2】

ステップ	ガス流量(ml/min)		圧力 (Pa)	マイクロ波			バイアス (W)	時間 (s)
	O ₂	CF ₄		電力(W)	パルス周波数(Hz)	ディーティー比(%)		
1	0	190	2	800	1000	50	0	5
2	5	190	2	800	1000	20	0	25

【0042】

10

本実施例ではCF₄ガスを用いた例で説明したが、本発明は、これに限定されず、CHF₃ガス、CH₂F₂ガス、CH₃Fガス等のフルオロカーボンガスでも良い。また、本実施例では、添加ガスとしてO₂ガスを用いたが、O₂ガスの代わりにN₂ガス、CO₂ガス、COガスのいずれかのガスを用いても良い。

【0043】

20

実施例1および2では、図3(a)に示すように予め溝が形成された構造を有するウエハをエッティングした例を説明したが、次に溝形成とSi層に対するSiGe層の選択的サイドエッティングを一貫して行う実施形態について説明する。

【実施例3】

【0044】

30

図6(a)は、本実施例でエッティングするウエハの構造の断面図であり、図6(a)に示すウエハの構造は、溝パターンのマスクである酸化膜301の下にSi層303とSiGe層302が交互に積層された構造である。

【0045】

最初に表3に示すステップ1の条件で、マスクの酸化膜301で覆われていないSi層303の表面の自然酸化膜を除去し、図6(b)に示すように表3に示すステップ2の条件で所定の深さの溝を形成する。続いて表3に示すステップ3の条件で溝形成時に溝の側壁に堆積したBr等の堆積物を除去し、その後、表3に示すステップ4のパルス放電を用いる条件でSiGe層302をSi層303に対して選択的にサイドエッティングして図6(c)に示すような所望のエッティング形状を得ることができた。

40

【0046】

尚、上記のステップ3は、Br等の堆積物除去が目的のステップのため、必ずしも必須のステップというわけではない。また、ステップ3を実施しない場合は、ステップ4として、実施例1のエッティング条件を用いても良い。

【0047】

以上、表3に示すように連続放電とパルス放電を組み合わせたエッティングにより、図6(a)に示すようなSi層303とSiGe層302が交互に積層された構造に溝形成とSiに対するSiGeの選択的サイドエッティングを一貫して行うことができる。

【0048】

【表3】

ステップ	ガス流量(ml/min)			圧力 (Pa)	マイクロ波			バイアス (W)	時間 (s)
	O ₂	CF ₄	HBr		電力 (W)	パルス周波数(Hz)	デューティー比(%)		
1	0	0	150	0.8	600	—	100	100	5
2	3	0	150	0.8	600	—	100	100	20
3	0	190	0	2	800	1000	50	0	5
4	5	190	0	2	800	1000	20	0	25

【0049】

以上、Siに対するSiGeの選択的サイドエッチングとして、実施例1では、NF₃ガス、実施例2ではCF₄ガスを用いた例で説明したが、本発明は、これに限定されず、
CHF₃ガス、CH₂F₂ガス、CH₃Fガス等のフルオロカーボンガスでも良い。

10

【0050】

また、上述した実施例1ないし3ではECR方式マイクロ波プラズマエッチング装置を用いた場合について説明したが、容量結合型プラズマエッチング装置や誘導結合型プラズマエッチング装置等の他のプラズマ生成方式におけるプラズマエッチング装置においても本発明と同様の効果が得られる。

【符号の説明】

【0051】

101...チャンバ

20

102...ウエハ

103...試料台

104...マイクロ波透過窓

105...導波管

106...マグнетロン

107...ソレノイドコイル

108...静電吸着電源

109...高周波電源

110...ウエハ搬入口

111...プラズマ

301...酸化膜

302...SiGe層

30

303...Si層

401...Si層

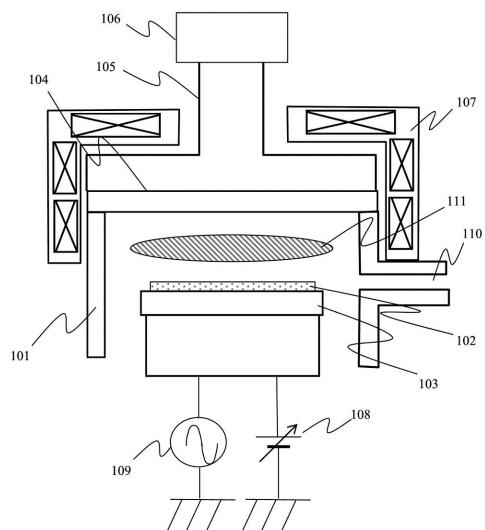
402...SiGe層

403...イオン

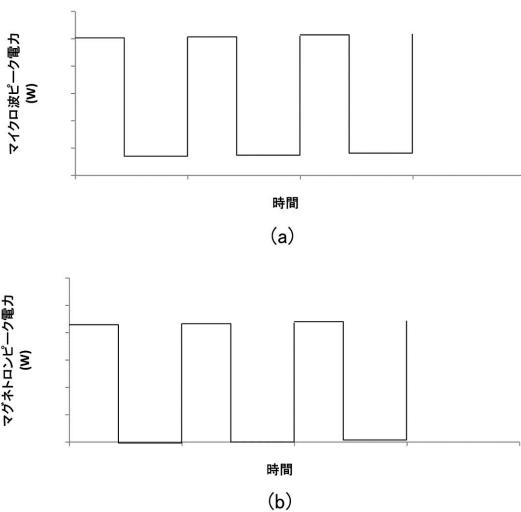
404...反応性ラジカル

405...反応生成物

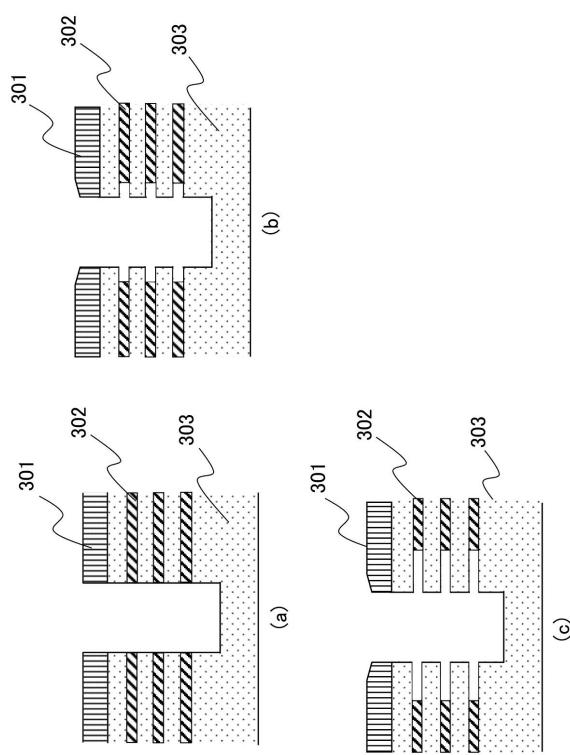
【 図 1 】



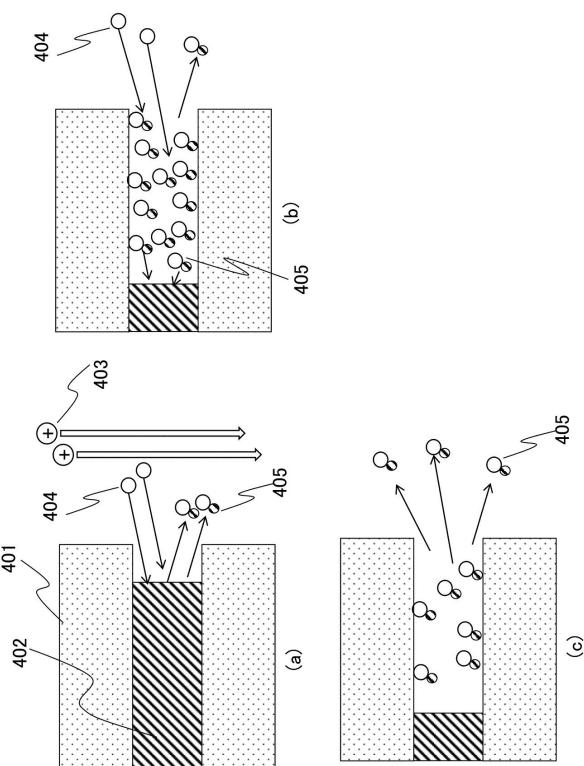
【 図 2 】



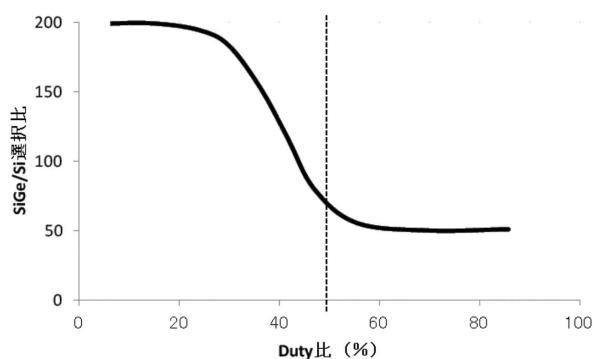
【図3】



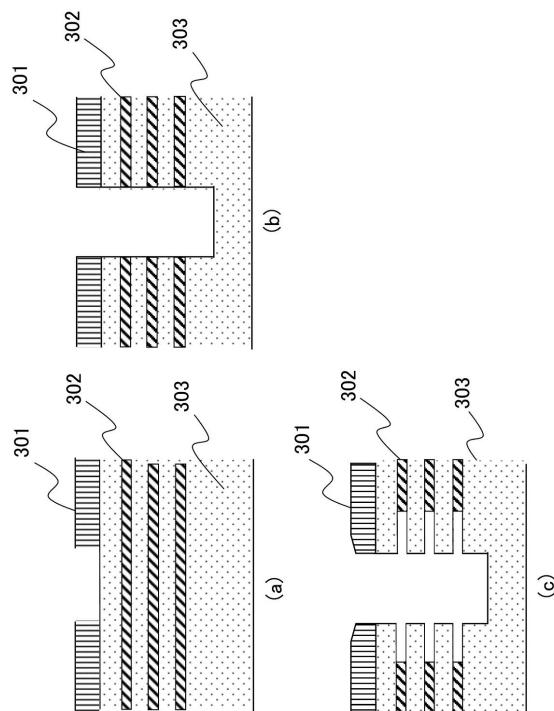
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 安並 久夫

東京都港区西新橋1丁目24番14号
ズ内

株式会社 日立ハイテクノロジー

審査官 正山 旭

(56)参考文献 特開平05-218301(JP, A)

特開2007-214390(JP, A)

特開2013-074091(JP, A)

特開昭63-009121(JP, A)

米国特許第05155657(US, A)

特開2003-077888(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065

H05H 1/46