

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3540129号

(P3540129)

(45) 発行日 平成16年7月7日(2004.7.7)

(24) 登録日 平成16年4月2日(2004.4.2)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 L 21/3065

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

H O 1 L 21/203

H O 1 L 21/203 Z

H O 1 L 21/31

H O 1 L 21/31 C

請求項の数 31 外国語出願 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願平9-206672	(73) 特許権者	597115336
(22) 出願日	平成9年7月31日(1997.7.31)		サーフィス テクノロジー システムズ
(65) 公開番号	特開平10-135192		ピーエルシー
(43) 公開日	平成10年5月22日(1998.5.22)		イギリス国 ウェールズ エヌビー1 9
審査請求日	平成13年3月29日(2001.3.29)		ユーージェイ グウェント ニューポート
(31) 優先権主張番号	9616224.3		インペリアル パーク (番地なし)
(32) 優先日	平成8年8月1日(1996.8.1)	(74) 代理人	100110711
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		弁理士 市東 篤
(31) 優先権主張番号	9616223.5	(74) 代理人	100078798
(32) 優先日	平成8年8月1日(1996.8.1)		弁理士 市東 禮次郎
(33) 優先権主張国	英国 (GB)	(72) 発明者	ジョティ キロン ハードウワジ
前置審査			イギリス国 ビーエス12 Oビーエイチ
			ブリストル カンピオン ドライブ 6
			O

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体基板の表面処理の方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

反応室内で半導体基板に、それぞれ反応性イオンエッチングである第一プロセスと不動態層の化学蒸着である第二プロセスとを有する複数の継起プロセスサイクルからなる周期的プロセスを実施することにより構造部をエッチングする方法において、前記周期的プロセスに含まれるガス流量、反応室圧力、プラズマパワー、基板バイアス、エッチング速度、蒸着速度、プロセスサイクル時間、および各サイクルにおけるエッチング/蒸着比からなる複数のパラメータのうち少なくとも一つを、プロセスサイクルからプロセスサイクルへ時間とともに変化させることにより構造部の質の高いエッチングを確保することを特徴とする半導体基板の表面処理方法。

【請求項2】

前記複数のパラメータのうち前記少なくとも一つに周期的変化が与えられることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記周期的変化が正弦波形、矩形波形、および鋸歯状波形のうち少なくとも一つに対応することを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項4】

前記複数のパラメータのうち前記少なくとも一つに傾斜変化が与えられることを特徴とする請求項1または2に記載の方法。

【請求項5】

10

20

各サイクルの前記第一のプロセスと前記第二のプロセスとが重なることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

各サイクルの前記第一のプロセスおよび前記第二のプロセスで使用されるガスが混合されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

さらに、各々の第一および第二の時間間隔のうち少なくとも一つにおいて前記室をポンプ排気することを含み、前記第一の時間間隔がそれぞれの前記第一のプロセスと前記第二のプロセスとの間にあり、前記第二の時間間隔がそれぞれの前記第二のプロセスと前記第一のプロセスとの間にあることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 8】

前記ポンプ排気を、

【数 1】

$$\frac{P_{pa}}{P_{pa} + P_{pb}} < x$$

となるまで継続し、この式において、

P_{pa} が先行プロセスで使用された第一のガスの分圧であり、

P_{pb} が後続プロセスで使用される第二のガスの分圧であり、

x が、第一のガスが関与する先行プロセスのプロセス速度が実質的定常状態から低下する割合である、

20

ことを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

さらに、各サイクルの 1 つのプロセスにおいて、前記パラメータのうち少なくとも一つを変化させることを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

少なくとも最初のサイクルにおいて、エッチング速度が低下させられるか、または蒸着速度が増大させられることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

エッチング速度が、掃気ガスの導入、プラズマパワーの低下、サイクル時間の短縮、ガス流量の減少、および室圧力の変化、のうち少なくとも一つによって減少させられることを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

30

【請求項 12】

蒸着速度が、プラズマパワーの増大、サイクル時間の増大、ガス流量の増大、蒸着種密度の増大、および室圧力の変化、のうち少なくとも一つによって増大させられることを特徴とする請求項 10 または 11 に記載の方法。

【請求項 13】

室圧力が構造部深さの関数として低下させられることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 14】

基板バイアスが構造部深さの関数として増大させられることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 15】

エッチングに先立って、開口部を有するマスクを蒸着することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 16】

前記マスクが、炭素または炭化水素層によって強化されるか、または前記マスク自身が炭素または炭化水素層として蒸着されることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

50

前記第一および第二のプロセスのうち少なくとも一つが、7.5秒よりも小の継続時間を有することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項18】

エッチングガスが、 CF_x または XeF_2 であることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項19】

エッチングガスが少なくとも一つのもっと大きな原子量のハロゲンによるハロゲン化物を含むことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項20】

蒸着時に、室圧力を低下させること、および流量を増大させることのうち少なくとも一つが実施されることを特徴とする請求項1に記載の方法。 10

【請求項21】

基板を、プラズマによって平衡まで加熱されるように、室内の支持体上に自由な状態で配置することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項22】

基板を、 $-100^{\circ}C$ と $100^{\circ}C$ との間に保つことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項23】

基板が、 $GaAs$ 、 GaP 、 GaN 、 $GaSb$ 、 $SiGe$ 、 Ge 、 Mo 、 W 、または Ta であることを特徴とする請求項1に記載の方法。 20

【請求項24】

前記第一のプロセスにおいて、 Cl_2 、 BCl_3 、 $SiCl_4$ 、 $SiCl_2H_2$ 、 CH_xCl_y 、 C_xCl_y 、 CH_x から成るグループから選択される少なくとも一つの物質から成るエッチングガスを、 H または不活性ガスとともに、またはこれなしで使用し、ここで x および y がそれぞれ整数であることを特徴とする請求項23に記載の方法。

【請求項25】

前記第二のプロセスにおいて、 CH_xH_y 、 CH_x 、 CH_xCl_y 、または C_xCl_y から成るグループから選択される少なくとも一つの物質から成る蒸気ガスを、 H または不活性ガスとともに、またはこれなしで使用し、ここで x および y がそれぞれ整数であることを特徴とする請求項24に記載の方法。 30

【請求項26】

前記第二のプロセスにおいて、 O 、 N 、または F 元素を含む蒸着ガス、または該ガスを H_2 と混合した蒸着ガスを使用することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項27】

第二のプロセスにおいて、炭素または炭化水素層を蒸着するための炭化水素ガスを含む蒸着ガスを使用することを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項28】

前記蒸着層が窒素またはフッ素ドーパものであることを特徴とする請求項27に記載の方法。

【請求項29】

半導体基板に構造部をエッチングする方法であって、
反応室内で基板に周期的プロセスを実施し、該周期的プロセスが複数の継起プロセスサイクルから成り、該継起プロセスサイクルのそれぞれが反応性イオンエッチングから成る第一のプロセスと化学蒸着による不導態層の蒸着から成る第二のプロセスとを含み、前記周期的プロセスにおける複数のパラメータのうち少なくとも一つをプロセスサイクルからプロセスサイクルへ時間とともに変化させ、
前記周期的プロセスの少なくとも最初のプロセスサイクルの前記第二のプロセスの蒸着速度を、前記周期的プロセスの後続プロセスサイクルの前記第二のプロセスの蒸着速度に比して大きくすることを特徴とする半導体基板の表面処理方法。

【請求項30】

半導体基板に構造部をエッチングする方法であって、
 反応室内で基板に周期的プロセスを実施し、該周期的プロセスが複数の継起プロセスサイクルから成り、該継起プロセスサイクルのそれぞれが反応性イオンエッチングから成る第一のプロセスと化学蒸着による不導態層の蒸着から成る第二のプロセスとを含み、前記周期的プロセスにおける複数のパラメータのうち少なくとも一つをプロセスサイクルからプロセスサイクルへ時間とともに変化させ、
 前記周期的プロセスの少なくとも最初のプロセスサイクルの前記第一のプロセスのエッチング速度を前記周期的プロセスの後続プロセスサイクルの前記第一のプロセスのエッチング速度に比して小さくすることを特徴とする半導体基板の表面処理方法。

【請求項 3 1】

10

半導体基板に構造部をエッチングする方法であって、
 反応室内で基板に周期的プロセスを実施し、該周期的プロセスが複数の継起プロセスサイクルから成り、該継起プロセスサイクルのそれぞれが反応性イオンエッチングから成る第一のプロセスと化学蒸着による不導態層の蒸着から成る第二のプロセスとを含み、前記周期的プロセスにおける複数のパラメータのうち少なくとも一つをプロセスサイクルからプロセスサイクルへ時間とともに変化させ、
 前記周期的プロセスの少なくとも最初のプロセスサイクルの前記第二のプロセスの蒸着速度を、前記周期的プロセスの後続プロセスサイクルの前記第二のプロセスの蒸着速度に比して大きくし、且つ、前記周期的プロセスの少なくとも最初のプロセスサイクルの前記第一のプロセスのエッチング速度を前記周期的プロセスの後続プロセスサイクルの前記第一のプロセスのエッチング速度に比して小さくすることを特徴とする半導体基板の表面処理方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体基板の表面処理方法に関し、他の方法を除外するものではないが、特に、エッチングした構造部上に側壁不働態層を蒸着する方法、及び、不働態化の方法を含む、その様な構造部をエッチングする方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

30

エッチングと蒸着との組み合わせる方法により、シリコンに異方的に細長溝や窪みをエッチングする方法は周知である。その意図は、不働態層を施すことにより形成された細長溝或いは窪みの側壁を保護する一方で、異方性エッチングを行うことである。

【0003】

その様な方法は、例えば、引例 US - A - 4 5 7 9 6 2 3、EP - A - 0 4 9 7 0 2 3、EP - A - 0 2 0 0 9 5 1、WO - A - 9 4 1 1 4 1 8 7、及び、US - A - 4 9 8 5 1 1 4に見られる。これらすべての引例は、蒸着ガスとエッチングガスとの混合物を使用するか、或いは、エッチングステップと蒸着ステップとの交互に使用するかの何れかについて記載している。ガスを混合するのは非効果的であるというのが一般的な見解である。というのは、前記二つのプロセスは互いにキャンセルする傾向にあるからであり、実際、完全に交互のステップを利用する方へと傾いた偏見が持たれている。

40

【0004】

他の手法は、引例 EP - A - 0 3 8 3 5 7 0、US - A - 4 9 4 3 3 4 4、及び US - A - 4 9 9 2 1 3 6 に記載されている。これらすべての引例は、基板を低温に保つことを追求するものであり、まず第一に、多少一般的ではないが、側壁から不要な蒸着物を取り除くために、エッチングをしている間に高エネルギーイオンのバーストを利用する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

半導体製造業界では、さらに大きなアスペクト比の構造部を要求する傾向が継続しており、そのため、構造部の幅が小さくなり、したがってますます、側壁プロファイル及び側壁

50

の表面粗さの重要性が増大している。現在提案されている方法では、現行のプロセスに依存して、形成物に粗い側壁及び/或いは底面が生成され、また、やや曲がっているか、或いは、内曲した側壁形状が生成される傾向にある。

【0006】

これら種々の問題の現われ方は、適用例、及びそれぞれのプロセス条件、シリコン露出エリア（マスクされていない基板領域）、エッチング深さ、アスペクト比、側壁プロファイル、及び、基板形状に依存する。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明の方法は、少なくとも幾つかの実施形態においては、これら種々の問題に取り組み、それらの問題を小さくしている。 10

【0008】

一つの側面において、本発明は、反応室内の半導体基板に（反応性イオンエッチング及び化学蒸着による不動態層の蒸着を交互に実施することにより）細長溝のエッチングを行う方法において、次のパラメータ：ガス流量、反応室内圧力、プラズマパワー、基板バイアス、エッチング速度、蒸着速度、サイクル時間、エッチング/蒸着比率、の中で一つ以上のパラメータをプロセスサイクルからプロセスサイクルへ時間と共に変化させることを特徴とする方法から成る。前記変化は周期的とすることができる。

【0009】

前記エッチングと蒸着のステップは重なってもよいし、また、エッチングと蒸着のガスは混合してもよい。 20

【0010】

前記方法は、エッチングと蒸着との間、及び/或いは、蒸着とエッチングとの間で反応室のポンプ排気を含むことができ、その場合、前記排気は、次式

【0011】

【数2】

$$\begin{array}{c} P p a \\ \hline < x \\ P p a + P p b \end{array}$$

30

【0012】

が満足されるまで続行される。上式において、 $P p a$ は先行ステップにおいて使用されたガス（A）の分圧を、 $P p b$ は継続ステップにおいて使用されるガス（B）の分圧を、そして x はガス（A）を伴った処理のプロセス速度が実質的定常状態から低下する割合をそれぞれ表すものである。 40

【0013】

エッチング及び蒸着のガス流量は、連続的に或いは急激に変化させることができる。たとえば、エッチング及び蒸着のガスは、それらの流量が正弦波状かつ位相外れとなるように供給することができる。これらパラメータのいずれの大きさも、サイクル内、及び、サイクル間において変化させうる。

【0014】

特に好ましくは、少なくとも第1サイクルの間において、また適当な条件下では、さらに、たとえば第2から第4サイクルまでの最初の数サイクルの間において、蒸着速度を増加 50

させ、かつ/或いは、エッチング速度を減少させる。

【0015】

エッチング速度は、下記：

- (a) 掃気ガスの導入
- (b) プラズマパワーの減少
- (c) サイクル時間の短縮
- (d) ガス流量の減少
- (e) 反応室内圧力の変化

の中の一つ以上によって減少させることができる。

【0016】

蒸着速度は、下記：

- (a) プラズマパワーの増加
- (b) サイクル時間の増加
- (c) ガス流量の増加
- (d) 蒸着種の密度の増加
- (e) 反応室内圧力の変化

の中の一つ以上によって増加させることができる。

【0017】

本反応の他の利点は、エッチング及び/或いは蒸着ステップは、表面粗さを低下させるために、7.5秒未満の周期或いはさらに小さく5秒未満の周期を有することができ；エッチングガスは CF_x 、或いは XeF_2 であって、自然発生的なエッチングを減少するために一つ以上の大きな分子量のハロゲン化物を含むことができ；そして、特に、大きな自己バイアス（例えば、電圧 $> 20 eV$ 、或いは、さらに、電圧 $> 100 eV$ ）を伴う浅くて大きなアスペクト比のエッチングのための蒸着を行っている間は、反応室内圧力を低下させ、かつ/或いは流量は増加させることができる、ということにある。

【0018】

前記蒸着ステップでは、炭素層或いは炭化水素層を蒸着するために炭化水素蒸着ガスを使用しうる。前記ガスは、O、N、或いはF原子を含むことができ、蒸着層を窒素或いはフッ素をドーブしたものとすることができる。

【0019】

背面(back)冷却が問題となる場合には、前記基板を反応室内の支持体上に自由な状態で置くことができる。或いは、基板を固定し、その温度を、たとえば、 $-100^{\circ}C$ から $100^{\circ}C$ の範囲にあるように制御することができる。また、反応室内の温度をウエーハと同じ温度範囲となるように制御し、反応室或いはその装備品への凝縮が減少して底部粗さが減少するようにするのが有利でありうる。

【0020】

基板は、GaAs、GaP、GaN、GaSe、SiGe、Mo、W及びTaの中のいずれかとすることができ、この場合、エッチングガスは、特に好ましくは、H或いは不活性ガスを伴うか、或いは、伴わない Cl_2 、 BCl_3 、 $SiCl_4$ 、 $SiCl_2H_2$ 、 CH_xCl_y 、 C_xCl_y 、 CH_x の中の一つ或いは組合せとすることができる。 Cl_2 が特に好適である。蒸着ガスは、H或いは不活性ガスを伴うか或いは伴わない CH_x 、 CH_xCl_y の中の一つ或いは組合せとすることができる。 CH_4 或いは CH_2Cl_2 が特に好適である。

【0021】

本発明は上に定義した通りであるが、それは上記或いは下記に開示している特徴のすべての発明的組合せも含むと解釈すべきである。

【0022】

【実施例】

本発明、種々のやり方で実施しうる。以下、特定実施形態を、例として、添付図を参照しながら説明する。

10

20

30

40

50

【0023】

図1は、反応性イオンエッチング及び化学蒸着の両方の使用に適している公知技術での反応室10の概略図である。一般に、真空室11は、半導体ウエーハ13を受ける支持体電極12とそれとはスペースを置いた電極14とを収容している。前記ウエーハ13は、クランプ15によって前記支持体12に対して押しつけられ、一般に、背面冷却手段(図示されていない)により冷却される。

【0024】

反応室11は、コイル15aにより囲まれており、反応室11内において電極12と電極14との間にプラズマを誘起するように使用されるRF電源16によって電力供給される。或いは、マイクロ波電源をプラズマ生成に使用することができる。いずれの場合においても、プラズマバイアスを生成する必要があるが、それはRF或いはDCのいずれかとすることができ、そして、それをプラズマからウエーハ13へと下降するイオンの通路に影響を与えるように支持体電極12に接続することができる。そのような調整可能バイアス手段の一例を17で示す。反応室には、蒸着ガス或いはエッチングガスが取り込まれるためのガス吸入口18、及び、ガス状の工程生成物及び過剰なプロセスガスを除去するための排気口19を設けている。RIE或いはCVDのモードのいずれかにあるそのような反応室の操作については当該分野の技術において良く理解されていることである。

【0025】

半導体ウエーハ或いは半導体基板の表面上に、細長溝、エッチング、バイアス、或いは他の形成物をエッチングする場合、通例の実施では、前記基板の部分を出している開口部を有するフォトリソマスクを蒸着する。エッチングガスを反応室内に取り込み、そして、可能な限り形成物の側壁のエッチングがないようにするために、エッチング過程が下方に異方性であることを保証する試みとしていくつかのステップが実施される。種々の理由により、真の異方性エッチングを達成することは実際には困難であり、そして、前記側壁上に不働態材料を蒸着し、その結果、前記材料が犠牲的にエッチングされるようにするために種々の試みが行われている。現在までに、最も成功しているそのようなシステムは、たぶん、引例WO-A-94114187に記載されているものであり、そのシステムを図2に概略的に示す。前記引例に記載のプロセスでは、順次かつ個別のエッチング及び蒸着ステップを使用するので、最初のエッチングステップの後、側壁が20に示すようにアンダーカットされ、次にこのアンダーカットが蒸着不働態層21によって保護される。図2から分かるように、この構成は粗い側壁を生成し、そして、エッチングステップ数が増加するか、或いは、実際にアスペクト比が増加した場合、プロファイル内に湾曲或いは凹入したノッチが存在することになりうる。公知技術の引例には、CFx不働態層の蒸着についての記載がある。

【0026】

出願人は、より滑らかな壁の形成物、及び、特により質が高く深いまた/或いは高アスペクト比を有する形成物の生成が可能となるように、上記プロセスに対する一連の改良を提案する。便宜のため、いくつかの項目に分けて説明する。

【0027】

1. 不働態

既に上で述べたように、従来の提案は、CFxの形の不働態層を蒸着するものである。出願人は、炭素層或いは炭化水素層を用いて側壁を不働態化することを提案する。そしてこれらの層は、相当に高い付着エネルギーを与えるものであるが、それは黒鉛相が少なくとも部分的に除去されるように高い自己バイアスの下で蒸着される場合には特に顕著となる。

【0028】

もしこれらの膜或いは層を要望通りに、例えば、20eV以上、好適には100eVを超える高い自己バイアスで蒸着する場合、そしてそれが高いアスペクト比の形成物に対してなされる際にはもう一つの重要な利点を有することとなる。というのは、高い自己バイアスは、凹入側壁エッチングを防止するために、エッチングされる形成物のベースに向う下

10

20

30

40

50

方向への蒸着材料の輸送を増加させることを保証するからである。この輸送の効果は、滞留時間を減少させるために、徐々に反応室内圧力を減少させるかつ/或いはガス流量を増加させることにより改良できる。構成によっては、明瞭に先細りした形成物或いはV型の形成物の生成が達成されるように蒸着作業を行うことが望ましい。浅く ($< 20 \mu\text{m}$) 高いアスペクト比の細長溝に関する特定例では、構造部の開口部サイズ (或いは、臨界寸法) を $< 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内とすることができる。

【0029】

この不動態化によって形成された炭化水素 (H-C) 膜は、公知技術であるフルオロカーボン膜に対して著しい長所を有する。

【0030】

例えば、前記H-C膜は、エッチング処理をドライアッシング (酸素プラズマ) 処理により終了した後、容易に取り除くことができる。これは、ウエット処理が高いアスペクト比を有する細長溝によって分離されている共振構造の付着を生じうるMEMS (マイクロ・エレクトロ・メカニカルシステム) の形成においては特に重要となる。例えば、光学や生物医学分野の装置に関するその他の適用例においては、側壁層を完全に取り除くことは必須である。

【0031】

前記H-Cフィルムは、幅広いH-C前駆物質 (例えば、高分子量芳香族H-Cを含む C_2H_4 、 C_3H_6 、 C_4H_8 、 C_2H_2 等) を用いて蒸着できる。これらは、希ガス及び/或いは H_2 と混合できる。酸素発生源ガスも加える (例えば、 CO 、 CO_2 、 O_2 その他) ことができ、蒸着時にそれをフィルムの相バランスを制御するために利用できる。酸素は、黒鉛相 (sp^2) の炭素を取り除き固い (sp^3) 相を残す傾向がある。そのようなわけで、存在する酸素の割合は、最終的に蒸着される膜或いは層の特性に影響する。

【0032】

上で述べたように、 H_2 をH-C前駆物質と混合できる。 H_2 は優先的にシリコンをエッチングし、そして割合を正しく選択した場合、不動態化段階にある間に孔の底面のエッチングを続行しつつ、側壁不動態化が達成できる。

【0033】

このための好ましい手順は、選択したH-C前駆物質 (例えば、 CH_4) を H_2 と混合し、ここで、提案するエッチング手順において使用する装置内で、この混合物質により、マスクパターン形成されたシリコン表面を処理することである。シリコンエッチング速度が、 H_2 内の CH_4 濃度の関数としてプロットされる。そのようなプロットの例を図4に示す。注目すべきことは、エッチング速度は、 CH_4 の割合の増加と共に、初期の定常状態からピークまで増大し、そのあとゼロへと減少する、ということである。

【0034】

このグラフは、以下のメカニズムが起こっていることを示していると考えられる。初期の定常状態部分においては、 SiH_x 反応生成物を形成するための H_2 の活動が事実上エッチングを支配している。 H_2 中に約10%の CH_4 が含まれるようになると、基板の CH_4 エッチングが ($\text{Si}(\text{CH}_x)_y$ 生成物を形成することにより) 重要となり、そしてエッチング速度が増大する。エッチングのため、グラフのこの部分では正味の蒸着はないが、この間炭化水素層の蒸着が起っている。ついには、この蒸着が、エッチング過程を支配し始め、正味の蒸着が正じるようになる約38% CH_4 まで、これが続く。

【0035】

これら変化特性を異なる2通りの方法で使用できうることが判明した。もし、高い自己バイアスであるか、或いは、高い平均イオンエネルギーが存在する場合 (例えば、100eVを超える)、施した層或いはコーティングは割合に固い。それというのは、コーティングはシリコン基板よりもエッチングに対してずっと強い抵抗力があるため、減少した黒鉛相や過程はエッチング速度グラフの上昇部分において操作されうからである。そのようなわけで、蒸着段階の全体を通して、シリコンをエッチングすることが可能となる。マス

10

20

30

40

50

くまたは、レジストに対する100:1を越える選択度を容易に得ることができる。マスク22のイオン衝撃による著しい黒鉛相の除去があるが、イオンの高い指向性は、側壁コーティングが比較的影響を受けないことを意味している、ということに特に注意すべきである。

【0036】

前記プロセスは、また、低平均イオンエネルギーのもとで、H-C前駆物質のみを用いるか或いはH₂希釈を行って、実施することもできる。後者の場合、前記プロセスを、エッチンググラフの下降部分において実施するのが好適である。その部分とは、CH₄が18%より大きく、かつ、ネット蒸着が生じる38%未満の部分である。一般に、その範囲は、CH₄が18%から30%である部分である。

10

【0037】

ポリマー蒸着の間の平均イオンエネルギーの低い値は、高いマスク選択度を許容する利点があると信じられる。これらの低いrfバイアス条件下では、選択度が、広い不動態蒸着窓にわたって非常に大きくなる。よって、もし高い選択度が要求される場合は、低い平均イオンエネルギーの手法が有利となりうる。図5は、上記2実施形態を含む条件範囲の下でCH₄とH₂を使用するH-C膜のためのステップカバレッジ(ステップ高さの50%で測定された側壁蒸着に対する表面蒸着)を示す。図5は、高イオンエネルギーはステップカバレッジを増大させるが、低バイアス条件であったとしても、横方向エッチングの防止に十分な不動態化がなされることを示している。更に、後者の場合、より高い蒸着速度は、更にマスク選択度を増加させる役目を果たす。低イオンエネルギーにおける蒸着速度は、100eVのケースにおけるものの2倍である。

20

【0038】

以上のようなわけで、これらの手法を使用することによって、利用者は、事実上、彼の提案する構造に最も適した、エッチング速度と選択度の組合せを選択できる。更に、エッチング速度を増加するために、かつ/或いは、ノッチ形成を減少させるためにマスク選択度の向上を使用することができる。

【0039】

図6は、どのように前記プロセスの種々のパラメータが同期されるかを示している。図6(d)は、連続かつ不変のコイル出力を示し、一方、図6(e)は、前記エッチング或いは蒸着ステップを促進するように、コイル出力を切り替え、そして、エッチングの際の出力は、要求されるプロセス性能に依存する蒸着のために選択される出力とは異なることを示している。図6(e)は、例として、蒸着時のより高いコイル出力を示している。

30

【0040】

図6f~iは、バイアス出力の同様の变化を示している。図6(f)は、不動態膜の除去を容易にするため、エッチングの間は、高バイアス出力を有しており、一方、図6(g)は、選択度の利点を伴って、平均イオンエネルギーを低く抑えながら、この除去プロセスを助長するための初期高出力パルスの使用を示している。図6(h)は、エッチング(例えば、深い細長溝)の間に、より高いイオンエネルギーを要求する時のための、図6(f)と図6(g)の組合せである。図6(i)は、単に、蒸着の間は、バイアスを切ることができることを示している。

40

【0041】

プロセスによっては、少なくとも、ガスの許容分離時間が、ガスB(Ppb)の分圧において許容されうるガスA(Ppa)の残留分圧によって決定される。PpbにおけるPpaのこの最小値は、特性プロセス速度(エッチング或いは蒸着)から $Ppa / (Ppa + Ppb)$ の関数として決定される。

【0042】

図8において、ガスAは20%CH₄+H₂であり、ガスBはSF₆である。 $Ppa / (Ppa + Ppb) < 5\%$ においては、プロセス速度は、実質的に定常であることが分かる。典型的な実際条件としては、1.5秒未満のポンプ排気時間で十分であり、そして、プラズマを、プロセスステップが2~3秒の程度のときには、合計サイクル時間の65%に

50

渡って維持し、また、プロセスステップが5秒を越える場合には、合計サイクル時間の80%に渡って維持することができる。適切な同期構成を図7に示す。注意すべきことは、蒸着ステップとエッチングステップのガスの混合の回避が望ましいので、エッチングをポンプ排気に先行させるということである。公知技術案(例えば、U.S.A.4985114)は、プラズマがオン状態とされる前に、長い時間に渡って、蒸着ガス流をオフ状態にするか或いは減少するように提案している。これは、プラズマ出力が、合計サイクル時間の小さな部分においてのみオン状態になり、エッチング速度の著しい減少がもたらされることを意味する。出願人は、反応室を、少なくとも、一部のガス交換の間においてポンプ排気すべきであるが、圧力とガス流量の安定が維持されるように注意しなければならないと提案する。好ましくは、大応答速度の質量流量制御(立上り時間<100ms)及び自動圧力制御器(角度が<300mSに変化して、安定する)を使用する。

10

【0043】

出願人は、蒸着ガスによってエッチングが弱められることのないようにするために、ポンプ排気時間が必要であることを明らかにした(図8参照)。しかしながら、ポンプ排気は、稼働中のプロセスの詳細によっては、エッチングステップ、或いはエッチング及び蒸着ステップの両方に先行させることができる。そしてまた、ポンプ排気は、(U.S.A.4985114に記載されている)微小荷量を減少し、そして下記の通り、高いアスペクト比エッチングに対しても有意義である。

【0044】

変化させうるパラメータの多くは、図9(ii)に概略を示すように、“傾斜させる”ことができる。前記傾斜は、それらパラメータが、サイクル間において急激に変化するのではなく、サイクルごとに、振幅或いは周期が徐々に増加或いは減少することを意味している。ポンプ排気の場合、傾斜を、側壁ノッチ形成を下記に説明するように減少するか或いは除去しうるプロセスの開始時の混合を許容するように使用することができる。

20

【0045】

典型的なプロセスパラメータは以下の通りである。

1. 蒸着ステップ

CH₄ ステップ時間：2～15秒； 好ましくは4～6秒

H₂ ステップ時間：2～15秒； 好ましくは4～6秒

コイルrf出力：600～1kW； 好ましくは800W

バイアスrf出力：高平均イオンエネルギーのケース：500W～300W

；好ましくは100W

低平均イオンエネルギーのケース：0W～30W

；好ましくは10W

圧力：2mTorr～50mTorr

；好ましくは20mTorr

10

2. エッチステップ

SF₆ ステップ時間：2～15秒； 好ましくは4～6秒

コイルrf出力：600～1kW； 好ましくは800W

バイアスrf出力：高平均にイオンエネルギーのケース：

50W～300W； 好ましくは150W

低平均イオンエネルギーのケース：

0W～30W； 好ましくは15W

圧力：2mTorr～50mTorr； 好ましくは30mTorr

20

【0046】

2. エッチング/蒸着の関係

出願人は、公知技術の手法は本質的に単純過ぎると結論づけた。というのは、ある特定なプロセスの間、条件を変化させることも、或いは異なった要求や異なったタイプの形成をも受け入れないからである。更に、公知技術は、深いエッチングの難題には取り組んでいない。

30

【0047】

その様なわけで、引例WO-A-94114187が教えていることとは反対に、図2に示してあるように壁の表面粗さが大きく減少するように、エッチングステップを不働態ステップ或いは蒸着ステップに重ね合わせることは、しばしば有意義となると出願人は信じている。出願人はまた、以前から使用されている固定的な連続矩形波ステップは、驚くことに理想からはほど遠いものであると結論づけた。多くの場合、エッチング速度の減少が許容されているときは、ステージ間、特に重複が起きているステージ間では滑らかな遷移を利用することが望ましい。以上のようなわけで、好適な一構成は、エッチングガス及び蒸着ガスのガス流量の場合、2つの“波形”が位相外れ、好ましくは90°近い位相外れとなるように、時間と共に正弦的に変化させることである。側壁粗さは、事実上横方向エッチング成分の増大の現れであるため、前記側壁粗さは、エッチングの前記成分を制限することにより減少させることができる。望ましい効果は、次のいくつかの方法：不働態ステップとエッチングステップとの部分的に混合すること（重複）；エッチング（したがって、対応する不働態化）時間を最小化すること；ウェーハ温度を低下させることによりエッチング生成物揮発度を減少させること；及び、例えば、添加したO、N、C、CF_x、CH_xを有するSF₆のような、エッチングガスへの不働態化要素の添加或いは、CF_x等に交換されたSF₆のような、エッチングガスを低反応性種を放出するガスの一つに交

40

50

換することの内の一方法によって得ることができる。

【0048】

出願人は、プロセス内の異なったステージにおける、エッチング及び蒸着レベルの変化が望ましいこともまた認めた。出願人は、第1サイクル或いは最初の数サイクルの間は、蒸着時間或いは蒸着速度を増加させるか、或いは、他の適切な手段を取ることによって、蒸着を増大させるべきであることを提案する。同様にまたは或いは、エッチング速度或いは時間を減少させる。

【0049】

既に簡単に前述したように、形成物或いは細長溝が深くなればなるほど、かつ/或いは、アスペクト比が増大するにつれて、材料を蒸着することは次第に困難となってくる。ガス流量、反応室内圧力、プラズマパワー、バイアス出力、サイクル時間、基板エッチング/蒸着比率のうち、一つ以上のものの大きさを制御することによって、適当な側壁不働態化により良好な異方性エッチングを達成するのに適切な方法でシステムを調整できる。

【0050】

これら及び関連する手法は、以下のように、エッチングプロファイルにおけるいくつかの問題を克服するために利用できる。

【0051】

a. 側壁ノッチ形成

側壁“ノッチ形成”の問題は、露出したシリコン領域の大きさ(30%未満の低い露出領域の場合により酷い)に特に敏感であり、また、高シリコン平均エッチング速度においても同様に酷い。出願人は、その様なノッチ形式は、初期のエッチング/蒸着サイクルの間に、エッチング種の比較的高い濃度によって引き起こされると信じている。そのようなわけで、出願人によって採用された解決策は、第1サイクルの間に、不働態化を促進するか或いはエッチング種を消滅させるかのいずれかである。後者は、プロセス調整(一つ或いはそれ以上のパラメータを傾斜させる)によるか、或いは、Fエッチャントと反応するSi、Ti、W等のエッチング種を(化学反応により)消費する物質を反応室内に配置するかのいずれかの方法で達成できる。その様な化学的負荷は、当該消滅が最初の数エッチングステップにおいてのみに必要とされるだけのため、平均エッチング速度を減少させてしまうという欠点を有する。そのようなわけで、プロセス調整の解決策が有利であると判断される。

【0052】

エッチング速度、プロファイル制御、選択性等の他のいずれの側面をも弱めたり或いは劣化させることなく、側壁ノッチ形成を減少/除去することが望ましい。出願人の研究による『エッチング開始時点におけるエッチング種の濃度を低減する手法』の最適制御は、そのプロセスを、

- a. フッ素掃気ガスの導入、又は
- b. 低コイル出力、又は
- c. 低エッチングサイクル時間(ステップ持続時間)、又は
- d. 低エッチングガス流量、又は
- e. 不働態サイクルの間、関連する上記a~dパラメータの増加
- f. 上記の組合せ

によって開始し、その後、その(それら)個別パラメータを例えば図6に示される予め最適化済みのエッチング条件へ増加させることによって達成される。前記増加は、急激に行う(即ち、前記パラメータa~fの階段状の変化を使用する)か或いは傾斜づけで行うことができる。これら2方法が与える結果を従来技術の教えと比較しつつ以下に述べる。

【0053】

シリコン細長溝エッチングを行っている間の(公知技術を直接適用することにより生じてくる)問題の本質を、模式的に図3に示し、また、図10及び図11のSEM(走査型電子顕微鏡写真)に示す。これらの図は、1.7 μ mの初期細長溝開口において、ノッチ幅が0.37 μ mまでである一方、CD損失が1.2 μ m(70%)であることを示す。そ

10

20

30

40

50

のようなCD損失の値は、大部分の用途において不適である。

【0054】

しかしながら、ノッチ形成した側壁は、初期のエッチングプロセスサイクルの間にプロセスパラメータを変化させうる出願人の方法（例えば、a～f）を使用することにより補正されうる。もし、急激なステップをプロセスパラメータを変化させるために使用するならば、急激な遷移が側壁プロファイルに生成される。図12及び図13のSEMは、この事を、異なるプロセスパラメータに対して、図示するものである。図12において、プロセスパラメータの変化は、（8.5 μmエッチング深さの後の）パラメータの変化点における、側壁プロファイルの急激な遷移にはっきりと示されている。（側壁ノッチがないことに注意されたい。）図13は、もう一つのプロセスパラメータの急激なステップ変化を示す。ここでは、側壁不動態は、最初の2 μmに対して、明瞭なプロファイル（そして、ノッチ無しである）を生じるのに十分なだけ良質である。不十分な不動態化条件が適用された場合、それは、側壁角度の変化及びノッチの再出現によって特徴づけられる。

10

【0055】

“傾斜づけ”パラメータ手法を使用することにより、いかなる急激な遷移をも生じさせることなく（図14のSEMを参照）、滑らかな側壁プロファイルを生成すると同時に、ノッチを除去できる。この図は、傾斜無しの大アンダーカットプロセスに匹敵するエッチング速度を維持する一方、滑らかで明瞭なプロファイルを有しCD損失のない深さ22 μmの細長溝エッチングを示している。この場合に使用したプロセス条件を図19Aに示す。

20

【0056】

b. 深い大アスペクト比エッチング時のプロファイル制御
公知技術の教えは、大アスペクト比（>10:1）エッチングが要求されるものに限定されている。ここでは、比較的深いエッチング（>200 μm）に関する制限条件と解決策について説明するが、その議論は、浅い大アスペクト比エッチングに対しても、そしてまた、たとえば0.5 μm未満となるような大変低いCD値の場合にさえも、等しく適応される。

【0057】

高アスペクト比エッチングを特徴づける基本機構の一つには、エッチング生成物及びエッチング（及び不動態）反応性前駆物質の拡散がある。不動態ステップにおけるこの種の輸送現象を調べた。その結果によれば、深い細長溝の底面への側壁不動態種の輸送は低圧の場合に改善される。プラテン出力の増加もまたこれを改善するものである；図15を参照。グラフは、圧力が減少し、また、rfバイアス出力が増加する時の、細長溝の底面付近での改善された不動態化を示している。このデータは、最初に200 μm深さの細長溝をエッチングし、それから、不動態ステップだけを使用し、そして走査型電子顕微鏡により、深さによる側壁不動態の変化を測定することによって得られたものである。このことは、エッチング深さによる不動態の変化を確認し、そして、更に、最適なプロセス条件はエッチング深さと共に変化するという考えを支持している。

30

【0058】

公知技術を、その様な大アスペクト比のプロセスに対して適用する際の限界を、図16のSEMによって示す。注意すべきことは、この割合に大きな不動態/エッチング比の固定パラメータプロセスは、まだ初期側壁ノッチを生じないが、10 μm CD、深さ230 μmの細長溝のエッチングに対してこれを示すには、SEM拡大率は十分に高くはないということである。図15に示されている傾向から、望ましい高バイアスrf出力と低圧力の条件の下で運転することにより、プロファイルを幾分改善することができる。しかしながら、固定パラメータプロセスとして、高バイアス出力と低圧力の条件は、イオンエネルギーが増大すると共に、マスク選択度を（>100:1から<20:1へと）著しく劣化させる。急激なパラメータ変化を使用する場合、図17のSEMに示してあるように、対応する急激な側壁変化が生じる。次のパラメータを傾斜化することによって、つまり、プラテン出力を増加、圧力を減少、そして、サイクル時間とガス流量とを増加させることによ

40

50

って、75 : 1 を越える妥当な高い選択度を維持しつつ、好ましい結果が得られる（図18を参照）。ここで、SEMは深さ295 μm、12 μm CDの細長溝エッチング（25 : 1のアスペクト比）を示す。この場合のプロセス条件を、図19bに示す。

【0059】

図20は、側壁ノッチを減少させるために、初期サイクルにおいて使用した蒸着ガスとエッチングガスの同期を示す。典型的な動作条件を図19aに与え、そして、それに関わるSEMを図14に示す。図21は、側壁ノッチ減少技術の手法（a）による掃気ガスの使用に関する同期を示す。破線は、代替例として、減少方向に傾斜した掃気ガス流量を示す。

【0060】

図9iは、深い大アスペクト比の異方性エッチングを実現するための同期を示しているが、示されている傾斜化の手法は側壁ノッチの減少にも使用できる。図18に示す結果を得るために、図19bの条件を使用できる。

【0061】

図9iに戻ると、以下のことが分かる：

1. 当該図は、平均圧力の傾斜を示す。サイクルが蒸着からエッチングに変化するそれぞれの場合に、圧力が低圧力から高圧力へと変化することに注意されたい。圧力の下向き傾斜は、エッチングと不動態の両サイクルにおける圧力減少をもたらす。

【0062】

2. 当該図は、rfバイアス出力傾斜を示す。バイアスは、サイクルが蒸着からエッチングに変化するそれぞれの場合に、低バイアスから高バイアスへと変化することに注意されたい。これは、上記の圧力変化に同期している。バイアスの上向き傾斜は、この場合、蒸着ステップにのみ当てはまる。

【0063】

3. 当該図は、rfバイアス出力傾斜のもう一つの例を示す。ここでもまた、バイアスは、圧力変化に同期して、サイクルが蒸着からエッチングに変化するそれぞれの場合に、低バイアスから高バイアスへと変化する。バイアスの上向き傾斜は、この場合、蒸着ステップとエッチングステップの両方に当てはまる。

【0064】

図9iiは、一般的なパラメータの傾斜を示している。これらの例は、傾斜しているサイクル時間とステップ時間とをそれぞれ示すものである。

【0065】

4. 当該図は、サイクル時間傾斜を示す。ここでは、パラメータ（ガス流量、圧力、rf出力等）の大きさが傾斜づけられていない。適用例によっては、これは、上記の場合の“大きさ”の傾斜づけに対する代替形態として使用できるであろう。

【0066】

5. 当該図は、サイクル時間傾斜を示す。ここでは、パラメータ（ガス流量、圧力、rf出力等）の大きさも傾斜づけられている。パラメータの傾斜は、大きさに関して増加或いは減少させることができ、減少させる場合、ゼロ或いは非ゼロの値まで減少させることができるということに注意されたい。

【0067】

3. エッチングガス

適切ないずれのエッチングガスも使用できうるが、出願人は、ある特定なガス或いは混合物が有益でありうることを見つけた。

【0068】

たとえば、プロセス速度に影響するため、エッチング段階においてはいかなる不動態化ガスが含まれることも好ましくないことが引例WO-A-94114187の中に示唆されている。しかしながら、出願人は、この手法により、形成される側壁細長溝の質を大幅に改善することができる結論づけ、そして、O、N、C、炭化水素、ヒドロ-ハロカーボン、及び/或いは、ハロカーボンのような不動態化ガスをエッチングガスに加えること

10

20

30

40

50

を提示する。同様に、そして同目的のために、エッチングガスの化学反応性を減少することが望ましく、そして、出願人は、例えば、Cl、Br 或いはI 等のような、より大きな原子量のハロゲン化合物と共に CF_x を使用することを提案する。しかしながら、 XeF_2 や他のエッチングガスを使用することもできる。

【0069】

或いは、側壁粗さの度合いは、サイクル時間を制限することによってもまた減少させることができる。例えば、エッチングや蒸着のステップ時間を、7.5 秒未満に、好ましくは、5 秒未満に制限することが望ましいということが見出された。

【0070】

4. ガリウム砒素と他の材料

以上の提案は、すべて、シリコンにおける細長溝形成についてである。出願人は、適切な不動態化により、ガリウム砒素や、さらにまた、他のエッチング可能な材料の異方性エッチングが達成できることを認めた。例えば、ガリウム砒素へのエッチングは、不動態化ガス或いはエッチング促進ガスを伴っているか、或いは、伴っていない Cl_2 を使ってなしうることが提案できる。しかし、この手法は、一般に、上記に提案した炭素或いは炭化水素不動態を使った場合により大きな成功をもたらしうることが見出された。もし、従来通りの CF_x 化学物質を使用するなら、エッチング妨害化合物が生成され、そして、それは表面粗さを増大するか或いはエッチングを制限するということになりうる。ガリウム砒素の場合、低圧力かつ高プラズマ密度反応室の使用が考えられるので、低温度が好ましいと考えられる。適切なエッチング化学物質はすでにこの明細書の前段に記載してあり

10

20

【図面の簡単な説明】

【図1】半導体を処理するための反応室の概略図である。

【図2】公知技術の方法により形成された細長溝の概略図である。

【図3】図2に示されている細長溝の開口部の拡大図である。

【図4】 H_2 に含まれる H_4 の割合に対するシリコンのエッチング速度を示すプロットである。

【図5】異なる平均イオンエネルギーに対して、 H_2 に含まれる CH_4 の割合に対するステップカバレッジを示すプロットである。

【図6】ガスと図1の装置の運転パラメータとの間で可能な種々の同期を示すダイアグラムである。

30

【図7】図6に対する図式であるが、代替的な運転様式を示すものである。

【図8】分圧比に対するシリコンのエッチング速度を示すプロットである。

【図9】(i) は深い異方性プロファイル制御のためのパラメータ傾斜の概略的描写を示す。(ii) は(i) のより一般的な傾斜を示している。

【図10】公知技術に従って形成された細長溝の走査型電子顕微鏡写真がある。

【図11】図10の開口部の拡大図である。

【図12】プロセスパラメータに急激な変化が生じている出願人のプロセスにより形成された細長溝の対応する二つの走査型電子顕微鏡写真である。

【図13】プロセスパラメータに急激な変化が生じている出願人のプロセスにより形成された細長溝の対応する二つの走査型電子顕微鏡写真である。

40

【図14】傾斜したパラメータが使用されている以外は、図12に対応している。

【図15】種々の反応室圧力におけるRFプラテン出力に対する蒸着速度を示すプロットである。

【図16】公知技術による高アスペクト比の細長溝の走査型電子顕微鏡写真を示す。

【図17】急激な変化を起させる出願人プロセスを使用した場合の図16に対応する走査型電子顕微鏡写真を示す。

【図18】傾斜した変化を使用して、出願人のプロセスにより形成された大アスペクト比細長溝の走査型電子顕微鏡写真である。

【図19】(a) は図14の走査型電子顕微鏡写真により示されている細長溝を形成する

50

ために設定されたプロセス条件を示している。(b)は、図18の走査型電子顕微鏡写真により示されている細長溝を形成するために設定されたプロセス条件を示している。

【図20】本発明方法のプロセス初期サイクルの間における蒸着ガス及びエッチングガスの同期を示す図である。

【図21】排気ガスを使用することによる図20に対する代替的な手法を示す図である。

【図1】

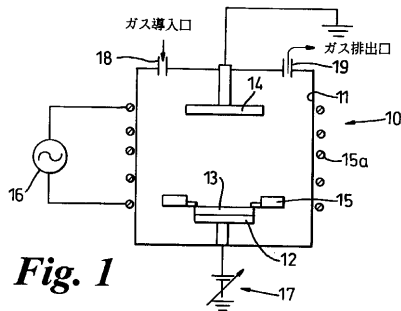


Fig. 1

【図2】

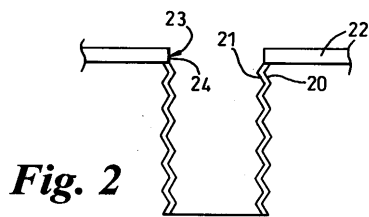


Fig. 2

【図3】

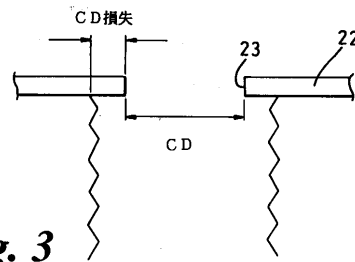


Fig. 3

【図4】

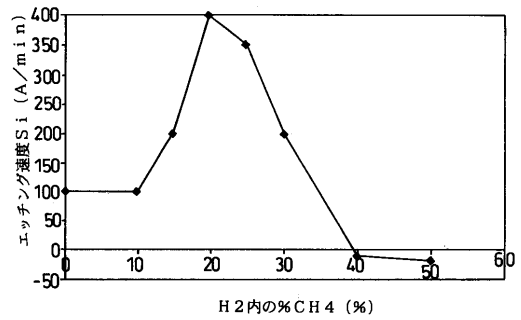


Fig. 4

【 図 5 】

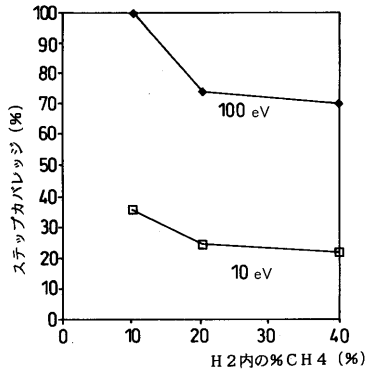
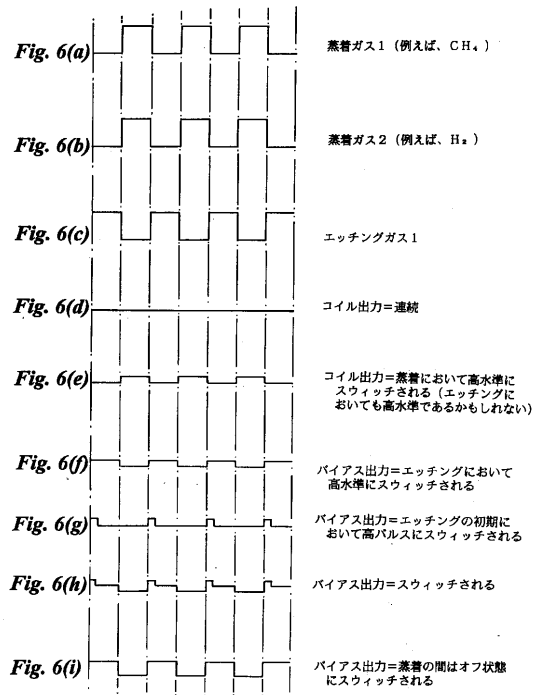


Fig. 5

【 図 6 】



【 図 7 】

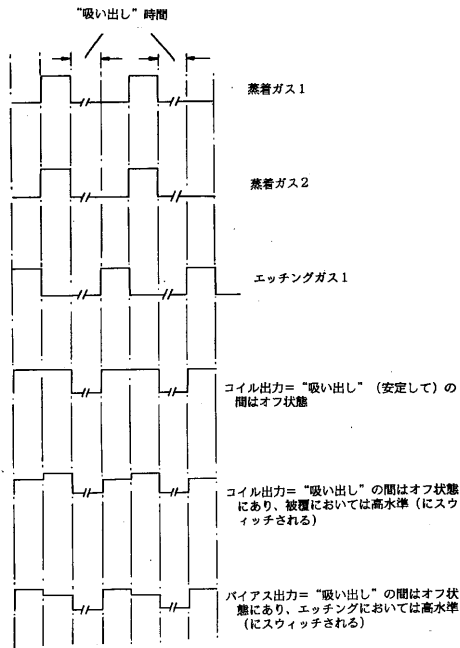


Fig. 7

【 図 8 】

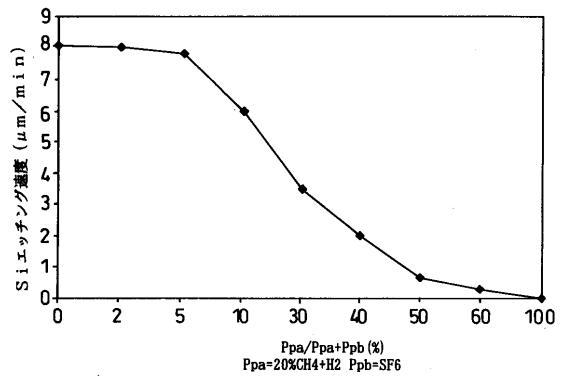


Fig. 8

【 図 9 】

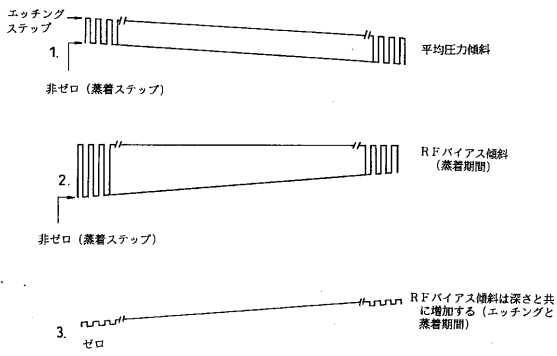


Fig. 9(i)

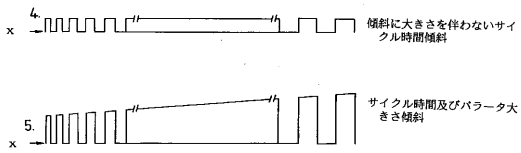


Fig. 9(ii)

【 図 10 】

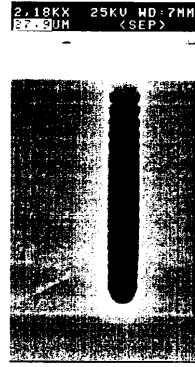


Fig. 10

【 図 11 】

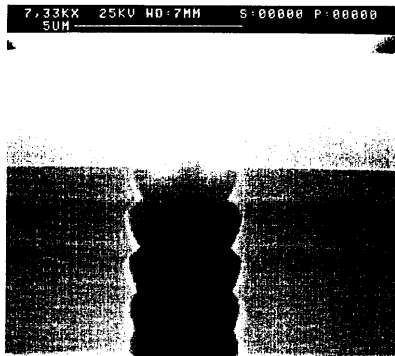


Fig. 11

【 図 12 】

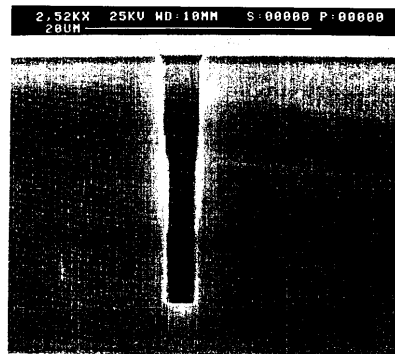


Fig. 12

【 図 1 3 】

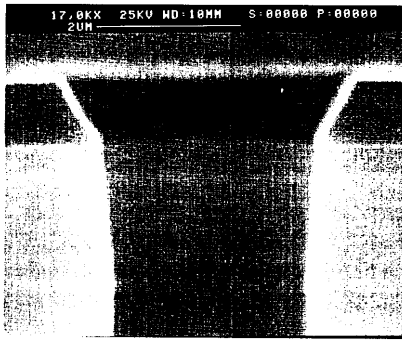


Fig. 13

【 図 1 4 】



Fig. 14

【 図 1 5 】

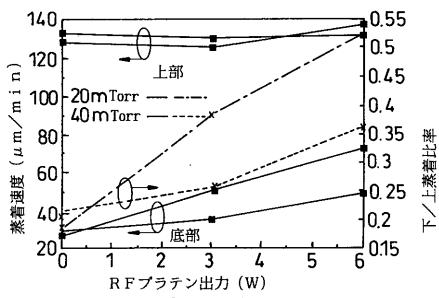


Fig. 15

【 図 1 6 】

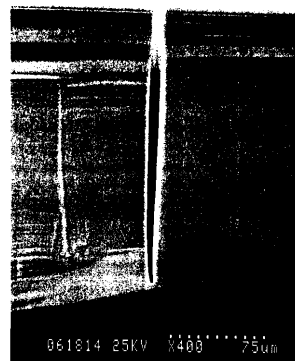


Fig. 16

【 図 17 】

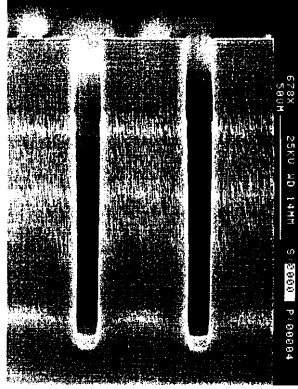


Fig. 17

【 図 18 】

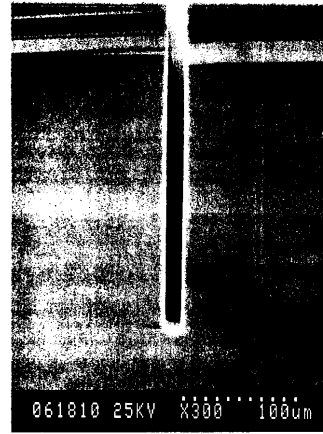


Fig. 18

【 図 19 】

エッチングステップ				蒸着ステップ				注釈
ステップ番号	時間 (分)	RFパワー (W)	ガス	RFパワー (W)	温度 (°C)	厚さ (nm)	材料	(図14) ① = 削除されたパラメータ
50	13	25	600	38	600	0		
130	35	10	170	7	71	85		

② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

① ② = 削除されたパラメータ
③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

Fig. 19(a)

エッチングステップ				蒸着ステップ				注釈
ステップ番号	時間 (分)	RFパワー (W)	ガス	RFパワー (W)	温度 (°C)	厚さ (nm)	材料	(図18) ① = 削除されたパラメータ
80	12	35	600	20	600	0		
120	25	12	52	7	71	15		

② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

① ② = 削除されたパラメータ
③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

Fig. 19(b)

【 図 20 】

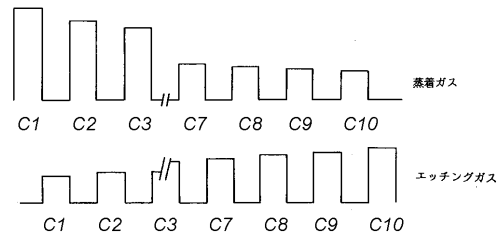


Fig. 20

【 図 21 】

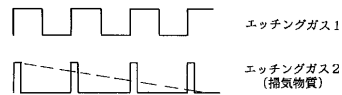


Fig. 21

フロントページの続き

- (72)発明者 ヒューマ アシュラフ
イギリス国 エヌピー9 4エルティアー ニューポート サウスヴィル ロード 14
- (72)発明者 ババック カムゼポー
イギリス国 シーヴィ3 2ピーティアー コヴェントリー アッシュダウン クローズ 34
- (72)発明者 ジャネット ホブキンス
イギリス国 エヌピー8 1ビーピー クリックホーウェル アッパー ハウス ファーム 29
- (72)発明者 アラン マイケル ハインズ
イギリス国 シーエフ1 9エルエル カーディフ カシードラル ロード 68
- (72)発明者 マーティン エドワード ライアン
イギリス国 エヌピー8 1ビーピー クリックホーウェル アッパー ハウス ファーム 29

審査官 今井 淳一

- (56)参考文献 特開平05-074745(JP,A)
特開昭63-288021(JP,A)
特開昭61-247033(JP,A)
米国特許第05368685(US,A)
米国特許第04579623(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/3065

H01L 21/203

H01L 21/31