

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2008-502150  
(P2008-502150A)

(43) 公表日 平成20年1月24日(2008.1.24)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/768 (2006.01)	HO 1 L 21/90 J	5 F 0 0 4
HO 1 L 23/522 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 O 5 A	5 F 0 3 3
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 2 O 1 B	
HO 1 L 21/302 (2006.01)	HO 1 L 21/90 V	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2007-515542 (P2007-515542)	(71) 出願人 505099750 エピオン コーポレーション アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 1 8 2 1, ビルリカ, マニング ロード 3 7 番地
(86) (22) 出願日 平成17年6月2日 (2005.6.2)	
(85) 翻訳文提出日 平成19年1月30日 (2007.1.30)	
(86) 国際出願番号 PCT/US2005/019316	
(87) 国際公開番号 W02005/122224	
(87) 国際公開日 平成17年12月22日 (2005.12.22)	(74) 代理人 100083932 弁理士 廣江 武典
(31) 優先権主張番号 60/576, 439	(74) 代理人 100129698 弁理士 武川 隆宣
(32) 優先日 平成16年6月3日 (2004.6.3)	(74) 代理人 100129676 弁理士 ▲高▼荒 新一
(33) 優先権主張国 米国 (US)	(74) 代理人 100135585 弁理士 西尾 務
	(74) 代理人 100147038 弁理士 神谷 英昭

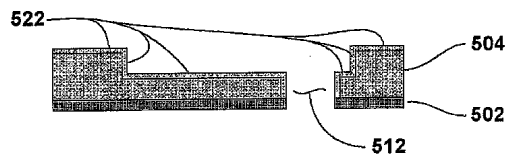
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改善された二重ダマシ集積構造およびその製造方法

(57) 【要約】

ガスクラスタイオンビーム処理を用いた多孔質超低k値(ULK)絶縁体材料内に二重ダマシ構造を形成する方法に関して開示する。これらの方法においては二重ダマシULK処理中におけるハードマスク層を最小にし、最終的なULK二重ダマシ構造内には、ハードマスク層が存在しない。ガスクラスタイオンビームのエッチング処理、緻密化処理、孔のシーリング処理、アッシング処理の各方法が記載されており、該方法は、材料の除去と同時にULKインターフェースの緻密化を進行させる。緻密なインターフェースとハードマスクがない新規なULK二重ダマシ構造が含まれている。

【選択図】 なし



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

二重ダマシ集積構造を製造する方法であって、  
 基板エッチングストップフィルム層上に多孔質の極めて低いk値を有する絶縁フィルム層を形成する工程；  
 前記多孔質絶縁フィルム層上にハードマスク層を形成する工程；  
 前記ハードマスク層の上に第一のマスキング材料層を適用する工程；  
 前記第一のマスキング材料層の中にビアパターンを形成する工程；  
 側壁を露出するとともに1以上のビアを形成するために、前記ハードマスク層および前記多孔質絶縁フィルム層を通して第一のマスキング材料層内のビアパターンをエッチングストップフィルム層まで転写させる工程、；  
 ガスクラスタライオンビームの照射によって前記多孔質な絶縁フィルム層内の1以上のビアの側壁の上に緻密化層を形成する工程；  
 前記第一マスキング材料層の残部を除去する工程；  
 1以上の形成されたビアを充填し、前記ハードマスク層の上に層を形成するために第二のマスキング材料層を適用する工程；  
 前記第二のマスキング材料層内にトレンチパターンを形成する工程；  
 露出された表面と側壁に1以上のトレンチを形成するために、前記ハードマスク層および少なくとも一部の前記多孔質絶縁フィルム層を通して前記第二のマスキング材料層内のトレンチパターンを転写させる工程；  
 前記第二マスキング材料層の残部を除去する工程；  
 1以上のトレンチの表面および側壁上に緻密化層を形成する工程；  
 ハードマスク層の一部もしくは全部を除去して、1以上のビアを基板エッチングストップ層に開けるためにガスクラスタライオンビームの照射によってエッチングする工程とを含むことを特徴とする、二重ダマシ集積構造を製造する方法。

10

20

## 【請求項 2】

前記転写させる工程が、反応イオンエッチングを用いて成される請求項1記載の方法。

## 【請求項 3】

前記転写させる工程が、ガスクラスタライオンビームの照射エッチングを用いて成される請求項1記載の方法。

30

## 【請求項 4】

少なくとも一つの転写工程において、酸素およびフッ素を含有するガスのガスクラスタライオンビームを用いる請求項3記載の方法。

## 【請求項 5】

前記ハードマスク層を形成する工程の前にガスクラスタライオンビームの照射により、多孔質の極めて低いk値を有する絶縁フィルム層の表面を緻密化する工程をさらに含む請求項1記載の方法。

## 【請求項 6】

前記表面の緻密化に用いられるガスクラスタライオンビームが、酸素、アルゴン、窒素、メタン、およびアルゴンとメタンの混合ガスより選択される一種以上のガスから形成されるガスクラスタライオンである請求項5記載の方法。

40

## 【請求項 7】

前記エッチングストップフィルム層が $Si_3N_4$ または $SiCN$ により構成される請求項1記載の方法。

## 【請求項 8】

前記ハードマスク層の材料が $SiCOH$ 、 $SiC$ 、 $SiCN$ 、 $Si_3N_4$ 、 $SiO_2$ よりなる群から選択される請求項1記載の方法。

## 【請求項 9】

前記1以上の残部除去工程がガスクラスタライオンビームの照射により成される請求項1記載の方法。

50

## 【請求項 10】

前記 1 以上の残部除去工程に用いられるガスクラスタライオンビームが、酸素、窒素、ヘリウム、水素より選択される一種以上ガスから形成されるガスクラスタライオンである請求項 1 記載の方法。

## 【請求項 11】

前記第一、第二マスクング材料層がそれぞれフォトレジスト層よりなる請求項 1 記載の方法。

## 【請求項 12】

前記第一、第二マスクング材料層の少なくとも一つが、反射防止被覆材料層をさらに含む請求項 11 記載の方法。

10

## 【請求項 13】

多孔質の極めて低い k 値を有する絶縁フィルム層上の緻密化層が、実質的に閉塞された孔を含む請求項 1 記載の方法。

## 【請求項 14】

前記ヴィアパターンの転写工程が、緻密化層形成に用いるガスクラスタライオンビームの照射と同時に進行する請求項 1 記載の方法。

## 【請求項 15】

シングルガスクラスタライオンビームの照射工程が酸素を含むガスクラスタライオンビームを用いる請求項 13 記載の方法。

## 【請求項 16】

二重ダマシ集積構造を製造する方法であって、  
基板エッチングストップフィルム層上に多孔質の極めて低い k 値を有する絶縁フィルム層を形成する工程；

20

前記多孔質絶縁フィルム層上にハードマスク層を形成する工程；

前記ハードマスク層の上に第一のマスクング材料層を適用する工程；

前記第一のマスクング材料層の中にトレンチパターンを形成する工程；

多孔質絶縁フィルム層の表面を露出するとともに 1 以上のトレンチ開口を形成するために、前記ハードマスク層を通して、前記第一のマスクング材料層内のトレンチパターンを、少なくとも前記多孔質絶縁フィルム層内に転写させる工程；

ガスクラスタライオンビームの照射によって、前記多孔質絶縁フィルム層の 1 以上のト

30

レンチ開口の露出された表面に、緻密化層を形成する工程；

前記第一マスクング材料層の残部を除去する工程；

1 以上のトレンチ開口と、前記ハードマスク層の上に第二のマスクング材料層を適用する工程；

前記第二のマスクング材料層内にヴィアパターンを形成する工程；

1 以上のヴィア開口を形成するために、少なくとも一部の前記多孔質絶縁フィルム層を通して、前記第二のマスクング材料層内のヴィアパターンを転写させる工程；

前記第二マスクング材料層の残部を除去する工程；

露出された側壁と表面を有する 1 以上のトレンチを完成するために 1 以上のトレンチ開口を深くし、露出された側壁を有する 1 以上のヴィアを完成するために 1 以上のヴィア開口を深くして、1 以上のヴィア内に基板エッチングストップ層を開口することを含む、エ

40

ッチング工程；

ハードマスク層を除去する工程；

露出された前記絶縁フィルム層の全ての表面および側壁上に、ガスクラスタライオンビーム照射により緻密化層を形成する工程；

とを含むことを特徴とする、二重ダマシ集積構造を製造する方法。

## 【請求項 17】

それぞれの転写工程が、反応イオンエッチングを用いて成される請求項 16 記載の方法。

## 【請求項 18】

50

それぞれの転写工程が、ガスクラスターイオンビーム照射を用いて成される請求項 16 記載の方法。

【請求項 19】

前記ヴィアパターンの転写工程が、酸素とフッ素を含有する混合ガスのガスクラスターイオンを有するガスクラスターイオンビームを用いて成される請求項 16 記載の方法。

【請求項 20】

前記ハードマスク層を形成する工程の前にガスクラスターイオンビームの照射により、多孔質の極めて低い k 値を有する絶縁フィルム層の表面を緻密化する工程をさらに含む請求項 16 記載の方法。

【請求項 21】

前記表面の緻密化に用いられるガスクラスターイオンビームが、酸素、アルゴン、窒素、メタン、およびアルゴンとメタンの混合ガスより選択される一種以上のガスから形成されるガスクラスターイオンである請求項 20 記載の方法。

【請求項 22】

前記エッチングストップフィルム層が  $Si_3N_4$  または  $SiCN$  により構成される請求項 16 記載の方法。

【請求項 23】

前記ハードマスク層の材料が  $SiCOH$ 、 $SiC$ 、 $SiCN$ 、 $Si_3N_4$ 、 $SiO_2$  よりなる群から選択される請求項 16 記載の方法。

【請求項 24】

前記 1 以上の残部除去工程がガスクラスターイオンビームの照射により成される請求項 16 記載の方法。

【請求項 25】

前記 1 以上の残部除去工程に用いられるガスクラスターイオンビームが、酸素、窒素、ヘリウム、水素より選択される一種以上のガスから形成されるガスクラスターイオンである請求項 24 記載の方法。

【請求項 25】

前記第一、第二マスク材料層がそれぞれフォトリソ層よりなる請求項 16 記載の方法。

【請求項 26】

前記第一、第二マスク材料層の少なくとも一つが、反射防止被覆材料層をさらに含む請求項 25 記載の方法。

【請求項 27】

前記トレンチパターンの転写工程が、緻密化層形成に用いるガスクラスターイオンビームの照射と同時に進行する請求項 16 記載の方法。

【請求項 28】

シングルガスクラスターイオンビームの照射工程が酸素を含むガスクラスターイオンビームを用いる請求項 27 記載の方法。

【請求項 29】

二重ダマシンのトレンチおよびヴィアパターンが、多孔質で極めて低い k 値を有する絶縁材料層と、基板エッチングストップ材料層とを含み、

前記絶縁材料層が、実質的に緻密化され、実質的に孔が無い表面および側壁を有する、ことを特徴とする二重ダマシン構造。

【請求項 30】

ハードマスク材料が前記多孔質で極めて低い k 値を有する絶縁材料層の表面を覆う請求項 29 記載の二重ダマシン構造。

【請求項 31】

前記ハードマスク材料と前記多孔質で極めて低い k 値を有する絶縁材料層の境界面が、実質的に緻密化され、実質的に孔の無い絶縁材料である請求項 30 記載の二重ダマシン構造。

10

20

30

40

50

## 【請求項 3 2】

本質的にハードマスク材料が無い、請求項 2 9 記載の二重ダマシ構造。

## 【請求項 3 3】

前記ビアの側壁が実質的に斜面を有さない請求項 2 9 記載の二重ダマシ構造。

## 【請求項 3 4】

多孔質で極めて低い k 値を有する絶縁材料層を形成する工程；

ガスクラスタイオンビームを一部に照射することによって、多孔質で極めて低い k 値を有する絶縁材料層の少なくとも一部をエッチングする工程；

とを含むことを特徴とする処理方法。

## 【請求項 3 5】

エッチングする工程が、実質的に斜面ではない側壁を有する少なくとも一つのトレンチまたはビアを、前記極めて低い k 値を有する絶縁材料層に形成する工程である請求項 3 4 記載の方法。

## 【請求項 3 6】

所望の構造を形成するためにマスク材料の適用によってビアパターンを転写し、半導体構造から残余のマスク材料を除去する方法であって、前記残余のマスク材料にガスクラスタイオンビームを照射する工程を含むことを特徴とする、除去方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0 0 0 1】

本発明は、低い誘電率 (low dielectric constant (low-k)) の絶縁体を利用した半導体集積回路 (semiconductor integrated circuits) のための改善された二重ダマシ集積構造 (dual damascene integration structures) および、低い k 値 (low-k) を有する絶縁体とガスクラスタイオンビーム処理を用いた前記構造の製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0 0 0 2】

半導体産業は、スケールリング (scaling) を用いることによって市場に費用対効果の高いチップ (chips) を供給することにより、すさまじい成功を収めた。スケールリングは装置や半導体プロセッサのフロントエンド (front end) に重要な役割を果たしたが、装置の配線はスケールリングに追従できず、内部抵抗や静電容量 (キャパシタンス (capacitance)) の低下を招いた。この問題を緩和するために、低抵抗コンダクタ (銅など) を使用したり、低い k 値を持つ絶縁体を導入してキャパシタンスの問題を低減した。近年、非常に多孔性 (30 ~ 50%) であることによって特徴的な超低 k 値 (ULK;  $k < 2.5$ ) の絶縁体が発展した。これらの材料は他の湿性な化合物やガス (wet chemicals and gases) により汚染されやすいので集積が非常に難しい。

## 【0 0 0 3】

通常の二重ダマシ - ULK 集積は、多孔性でもろい ULK フィルムの表面を高 k 値ハードマスクフィルムにより保護されて得られる。最も広く利用される二つのプロセスは、“ビアファースト (via first)” と通常の “二重ハードマスク” である。

## 【0 0 0 4】

図 2 A - 2 F は、二重ダマシ ULK 集積処理のための “ビアファースト” の各段階 (300 A - 300 F) を示した図である。“ビアファースト” 処理は、従来の金属配線上に絶縁フィルム連続層を形成するところから始まる (図示していない)。図 2 A に示すように、この絶縁堆積層 300 A は、エッチングストップフィルム 302、ULK 絶縁層 304、第一ハードマスク層 306、第二ハードマスク層 308、反射防止膜 310、フォトレジスト層 312 よりなる。エッチングストップフィルム 302 は、適当な低い k 値を有し、ULK 絶縁層 304 は、エッチングストップフィルム 302 に対して高いエッチ速度を持っている。もし最初 (基板) の金属配線層が銅であると、エッチングストップフィルム 302 は銅の拡散バリアでもある必要がある。この明細書ではエッチングストップフィルムとしてはほとんど SiCN、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 5 】

第一ハードマスク層 3 0 6 は、後のケミカルメカニカルポリッシング (chemical mechanical polishing (CMP)) 工程の効果から、もろくて多孔性の U L K 絶縁層 3 0 4 を保護するために二重ダマシ構造の一部として残される。第二ハードマスク層 3 0 8 は、抗酸化性を有し、フォトリワーク工程で反射防止膜 3 1 0 およびフォトレジスト 3 1 2 の除去ができるような材料である。典型的な材料としては、第一ハードマスク層 3 0 6 は Si C O H、Si C が、第二ハードマスク層 3 0 8 には Si O<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> が用いられる。第二ハードマスク層 3 0 8 は、犠牲層であり、銅およびバリア材料が CMP の間に除去されるのである。

## 【 0 0 0 6 】

図 2 B の 3 0 0 B の構造は、フォトレジスト層 3 1 2 に所望のヴィアパターンが描かれ、反応イオンエッチング (RIE) によりそのパターンが反射防止膜 3 1 0 と、ハードマスク層 3 0 6 および 3 0 8 と、U L K 絶縁層 3 0 4 を通して Si C N エッチングストップまで転写し、ヴィア 3 2 4 が形成された状態である。図 2 C は酸素その他の混合ガスのプラズマアッシング (plasma ashing) により残ったフォトレジスト層 3 1 2 と反射防止膜 3 1 0 が除去され、構造 3 0 0 C が得られた状態を示す。他の従来技術ではプラズマアッシングでも残る部分について、反射防止膜の除去のために溶媒を使用する。ヴィア側壁 3 1 4 上の RIE ポリマーはウェットクリーンにより除去される。酸素プラズマアッシングおよびウェットクリーンは、ともに、Si O<sub>2</sub> 絶縁体とともに使用され、多孔質の U L K 絶縁層材料 3 0 4 に損傷を与え、処理過程での損失や、形成される回路の信頼性や機能を損なうおそれがあるので、最高のものではないと思われる。

10

20

## 【 0 0 0 7 】

図 2 D に示したように、反射防止膜とフォトレジスト材料が、構造 3 0 0 D を得るためにパターン化ウエハに対して再度適用される。底部の反射防止膜 3 1 6 は、エッチングされたヴィア (例えばヴィア 3 2 4) を満たし、最初に平坦化するために使用される。フォトリワークにより処理される第三ハードマスク層 3 1 8 が形成され、続いて標準的な反射防止膜 3 2 0 とフォトレジスト層 3 2 2 が形成される。一つの従来技術では、前記の代わりに、フォトリワーク処理中に全ての反射防止膜およびフォトレジストが再適用される。

## 【 0 0 0 8 】

図 2 E には、フォトレジスト層 3 2 2 に所望のトレンチパターンが描かれ、反応イオンエッチング (RIE) によりそのパターンが第三ハードマスク層、底部の反射防止膜 3 1 6、第二ハードマスク層 3 0 8、第一ハードマスク層 3 0 6 を通して、さらに U L K 絶縁層 3 0 4 の一部を通してトレンチ 3 2 6 が構成された、堆積層 (構造 3 0 4 E) を示す。底部の反射防止膜 3 1 6 の材料は、U L K 絶縁層 3 0 4 やヴィアの周囲に残るエッチングされていない突出部よりもやや早く RIE エッチングされることに注意すべきである。

30

## 【 0 0 0 9 】

図 2 を参照すると、RIE は残ったフォトレジスト層 3 2 2、反射防止膜 3 2 0、第三ハードマスク層 3 1 8、底部の反射防止層 3 1 6、を除去し、基板エッチングストップフィルム 3 0 2 を開口させることにより、ヴィア 3 2 4 が完成し構造 3 0 0 F が得られる。酸素 RIE 処理および必要なウェットクリーンが、多孔質な U L K 層 3 0 4 材料に浸透しあるいはこれを削取するので、こうして形成された回路の信頼性と機能が低下する原因となりうる。

40

## 【 0 0 1 0 】

図 3 A ~ 3 G には、従来技術のうち広く利用されている第二の技術である、“二重ハードマスク”による二重ダマシ U L K 集積構造の形成に関し、構造体 4 0 0 A ~ 4 0 0 G とともに図示されている。

## 【 0 0 1 1 】

図 3 A には、金属配線層の上に連続する層が堆積される“二重ハードマスク”処理の第一段階が示されている。“ヴィアファースト”で述べたと同様に、この“二重ハードマスク”堆積層 (構造 4 0 0 A) は、エッチングストップ 4 0 2、U L K 絶縁層 4 0 4、第一

50

ハードマスク 406、第二ハードマスク 408、反射防止膜 410、フォトレジスト層 412 よりなる。この集積構造の第一ハードマスク層 406 は、後の CMP 工程の効果から、もろくて多孔性の ULK 絶縁層 404 を保護するために二重ダマシ構造の一部として残される。第二ハードマスク層 408 が第一ハードマスク層 406 よりも早くエッチングされるとい RIE エッチングの反応が起こり、続いて第二ハードマスク層 408 が ULK 絶縁層 404 よりも遅くエッチングされるとい反応が起こる。第二ハードマスク層 408 は、犠牲層であり、銅の CMP の間に除去されるバリア材料である。

**【0012】**

図 3B を参照すると、フォトレジスト層 412 に所望のトレンチパターンが描かれた後、RIE により反射防止膜 410、第二ハードマスク層 408 を通って第一ハードマスク層 406 までパターンを転写し、構造 400B の第二ハードマスク層 408 内にトレンチパターン 414 が形成される。

10

**【0013】**

図 3C に記載された構造 400C は、残ったフォトレジスト層 412 と反射防止膜 410 が、酸素と他のガスの混合ガスプラズマアッシングまたは（溶媒を用いた）ウェットクリーニングにより除去される。

**【0014】**

図 3D に示されるように、反射防止膜 416 やフォトレジスト層 418 が、パターン化されたウエハに再度適用されて構造 400D が得られる。

**【0015】**

図 3E にはフォトレジスト層 418 に所望のビアパターンを描き、RIE により、反射防止膜 416、第二ハードマスク層 408、第一ハードマスク層 406、そして部分的に ULK 絶縁層 404 内まで前記パターンを転写することで、ビア 420 が形成される。この処理の間、反射防止膜 416 の材料は第二ハードマスク層 408 と同様のエッチング速度を有することに注意すべきである。

20

**【0016】**

図 3F に示すように、アッシングまたは RIE プロセスにより、ワークピースから残ったフォトレジスト層 418、反射防止膜 416 を除去するために用いられ、構造 400F が得られる。

**【0017】**

図 3G には、構造 400G が示され、第二ハードマスク層のトレンチパターン 414 が、第一ハードマスク層 406 を通って ULK 絶縁層 404 の中に至るまで RIE プロセスを用いて延長され、トレンチ 424 が形成される。また同時にビアエッチングがなされ、基板エッチングストップフィルムを開口させ、ビア 422 が形成される。第二ハードマスク層 408 は、この処理の間に部分的に消費され、銅の CMP 処理の間に完全に除去される。ビア 422 の部分はこの RIE プロセスの間にハードマスクなどにより保護されていないので、ビアの形が図 3G に示されるように伸びた、傾斜部 426 が形成される傾向があることに注意しなければならない。銅バリアや成長層のためのアルゴンプレクリーニングプロセスが、この傾斜部 426 からビア 422 の底部にかけて材料をスパッタし、そのために銅金属層の汚染や信頼性が問題となる。

30

40

**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0018】**

前記したこれら従来技術（“ビアファースト”と“二重ハードマスク”）の共通の問題は、RIE が、トレンチパターンの深さや形をコントロールすることが困難なことによりマイクロローディング効果（micro-loading effects）を受け、配線抵抗やキャパシタンスの制御が困難なことである。この配線抵抗やキャパシタンスの決定的な問題が、チップの機能にマイナスの効果を与える。

**【0019】**

RIE は ULK 絶縁層表面に多孔構造を残すので、これらの境界面が、後のバリアや成

50

長層プロセスのために所望のALDやCVD技術を用いるのに際して、適合しなくなる。

【0020】

さらに、これらの多層ハードマスクによる集積技術は複雑でコストがかかる。最終的な二重ダマシ構造は、ハードマスク層を維持しているため、絶縁構造の効果的なk値を上げ、リーク、層間剥離の他、信頼性の問題を生じさせる。

【0021】

これらの集積方式には多くの問題がある。第一に、これらのプロセスによって得られる最終的な構造には1以上のハードマスク層が残っている。これは、絶縁構造の効果的なk値を上げ、好ましくない。これらのハードマスク層の使用を最小にして他の材料を界面に用いると、リーク、層間剥離の他、信頼性の問題が生じる。トレンチおよびビア構造の表面をエッチングしてオープンにすることは、後の処理工程において汚染の問題がある。例えば、通常のウェットまたはドライストリッピングプロセスは、ULKフィルムの汚染が認められるのである。さらに、化学蒸着法(CVD)や原子層堆積(ALD)処理は、後の処理工程においてバリアフィルムを吸着させるために用いられるが、ALDやCVD処理によりRIEエッチングされた多孔質な側壁に侵入し、ULKフィルムのk値を上げてしまう。最後に、通常のRIEはトレンチの形や深さが様々に変化することでマイクロローディング効果を生じやすく、配線抵抗やキャパシタンスが安定しない。この配線抵抗やキャパシタンスが制御不能であると、半導体の設計においてはチップ機能に重大なマイナスとなる。

10

【課題を解決するための手段】

20

【0022】

本発明は前記の多くの問題点を解決した、ガスクラスタライオンビーム(GCIB)処理を用いた新規な集積構造の形成方法に関する。

【0023】

表面処理にクラスタライオンビームを用いることは従来より公知である(例えば、米国特許5814194号、デグチら。本願にも参照している)。この記載の主体は、ガスクラスタライオンが、通常の温度圧力下でガス状態である物質をナノサイズで集合させるものである。そのようなガスクラスタライオンは、クラスタライオンを形成するために数個から何千の分子が緩やかな結合により集合しているものである。このクラスタライオンは電子衝撃または他の方法によりイオン化することができ、制御可能なエネルギーを有する直線的な光線として形成することができる。そのようなエッチングには、 $q \cdot e$  ( $e$ は電荷、 $q$ は1から数個の整数を表し、クラスタライオンの荷電状態を示す)で表される正電荷を運ぶ。イオン化されていないクラスタライオンも無論、そのクラスタライオンビームの中に存在する。サイズの大きなクラスタライオンは、クラスタライオン当たりの搬送エネルギー能力の点でしばしば最も有用である。それらは分子当たりの適度なエネルギーである数エレクトロンボルトから数十エレクトロンボルトの、エネルギーを有するからである。クラスタライオンは衝突により崩壊し、全クラスタライオンエネルギーのほんの一部を占める個々の分子に分解する。したがって、大きなクラスタライオンは相当の衝撃効果を有するが、表面から非常に浅い領域に限られる。従来のモノマイオンビーム処理によると表面下深くまで損傷を与える傾向があったが、前記により各種の表面修飾処理に効果的なクラスタライオンが作られる。

30

40

【0024】

GCIBを加速する装置については既に文献(USP5814194)に記載されている。現在利用可能なクラスタライオン源は、サイズN(このNは、各クラスタライオン中の分子数を示す。アルゴンのような単原子ガスの場合、単原子ガスの原子は一つの分子としてみなされ、単原子ガスのイオン化された原子は一つの分子イオンまたはモノマイオンとしてみなされる)が5000もしくはそれ以上の広い分散を有する。多くの有効な表面処理は、GCIBにより表面に衝突させることで得られる。この処理効果は、清浄化、平滑化、エッチング、ドーピング、フィルム形成、成長などがあり、これらに限定されるものではない

【0025】

50

この発明の目的は、低い $k$ 値を有する絶縁材料のG C I B処理方法を提供し、ハードマスクの使用を最小限に抑えて二重ダマシ集積構造を形成することである。

【0026】

他の目的は、低い $k$ 値を有する絶縁材料のG C I B処理方法を提供し、最終エッチング処理後の構造にハードマスクを含まない二重ダマシ集積構造を形成することである。

【0027】

また、別の目的は、すべてのエッチング表面を、緻密化し(densifying)、シーリングする(sealing)方法を提供し、後のプロセスにおいて汚染される影響を減少させることである。

【0028】

さらに別の目的は、エッチングによるトレンチの深さと形を制御して、内部抵抗やキャパシタンスを安定化することである。

【0029】

またさらに別の目的は、改善されたU L K集積構造の形成に際し、二重ダマシ形成プロセスにおいてハードマスクを使用しないかまたは減らすこと及び、最終のエッチング処理された構造には殆どハードマスクが残らないようにすることである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

図1には、以下に述べるG C I B処理装置100の典型的な基本構成が示されている。真空空間102は、三つの連結したチャンバに分けられ、ソースチャンバ104と、イオン化/加速化チャンバ106、処理チャンバ108を有する。三つのチャンバは真空ポンプシステム146a、146b、146cによって好適な操作圧力に調整されている。圧縮されたソースガス112(例えばアルゴンまたは窒素)がガス貯蔵容器111内に保存され、ガス供給管114とガスメータバルブ113を通過してスタグネーションチャンバ(stagnation chamber)116に送られ、適切な形状のノズル110を通過して実質的にかなり低い圧力中へ放出される。その結果、超音速ガスジェット118が生じる。ジェット内に膨張することで冷却され、ガスジェット118の一部が、数個から数千の原子や分子が緩やかに結合したクラスターに凝縮する。ガススキマ開口部(gas skimmer aperture)120は、クラスタージェットから凝縮していないガス分子を部分的に分離し、高い圧力が好ましくない下流域(例えば、イオナイザ122、高電圧電極126、処理チャンバ108など)の圧力を最小にする。圧縮されたソースガス112としては、アルゴン、窒素、二酸化炭素、酸素、およびその他のガスまたはそれらの混合物が好ましいが、これらに限定されるものではない。

【0031】

ガスクラスターを含む超音速ガスジェット118が形成された後、クラスターはイオナイザ122でイオン化される。イオナイザ122は典型的には電子衝撃イオナイザであり、一つ以上の白熱フィラメント124から熱電子を生じる。ジェットがイオナイザ122を通過する際、加速され、ガスジェット118中のガスクラスターに直接電子を衝突させる。電子衝撃によりクラスターから電子を放出させ、クラスターの一部が正にイオン化される。いくらかのクラスターは一以上の電子が放出され、マルチイオン化される。好適なバイアス高電圧電極126がイオナイザからクラスターイオンを引き出し、ビームを形成させ、所望のエネルギー(典型的には数百Vから数十kVの加速ポテンシャル)に加速し、G C I B128を形成するように合焦させる。フィラメント電源136はイオナイザフィラメント124を加熱するためフィラメント電圧 $V_f$ を与える。アノード電源134はアノード電圧 $V_A$ を与えて、フィラメント124から加速された熱電子を放出し、クラスターを含むガスジェット118に照射してイオンを生じさせる。抽出電源138は抽出電圧 $V_E$ を与えて、高電圧電極をバイアスし、イオナイザ122のイオン化領域でイオンを抽出してG C I B128を形成する。加速化電源140は加速電圧 $V_{A,c,c}$ を与えて、高電圧電極をバイアスし、全G C I B加速化ポテンシャルを $V_{A,c,c}$ と等しくする。一つ以上のレンズ電源(142および144として例示される)は、高電圧電極をバイアスし、

10

20

30

40

50

焦点電圧 ( $V_{L1}$ 、 $V_{L2}$ ) を与えて G C I B 1 2 8 を合焦させる。

【0032】

半導体ウエハや他の製品となるために G C I B 処理がなされる対象物 1 5 2 は、対象物ホルダ 1 5 0 に固定され、G C I B の通路に保持される。従って、大きな対象物に適用して均一に処理するためには、G C I B 1 2 8 の通路を空間的に横切るようにスキャンすることで処理することができる。

【0033】

G C I B 1 2 8 は固定されており軸 1 2 9 に対して、対象物 1 5 2 を機械的に動かし、対象物 1 5 2 の表面全体に G C I B 1 2 8 処理の効果を均一に分散させる。

【0034】

X スキャンアクチュエータ 2 0 2 は、対象物ホルダ 1 5 0 を直線的に動かし、X スキャン動作 2 0 8 (紙面に対して垂直方向) を行う。Y スキャンアクチュエータ 2 0 4 は、対象物 1 5 0 を直線的に動かし、X スキャン動作 2 0 8 に対して直交する方向に Y スキャン動作 2 1 0 を行う。X スキャンと Y スキャンを組み合わせると対象物を動かすことにより、対象物ホルダ 1 5 0 に保持された対象物 1 5 2 が動かされ、G C I B 1 2 8 を通してラスターの様な (raster (ブラウン管の走査線の交差点の軌跡) -like) なスキャン動作をすることにより、G C I B 1 2 8 による対象物 1 5 2 表面の均質な (もしくはプログラムされた) 照射が行われる。対象物 1 5 2 を G C I B 1 2 8 の軸に対して傾斜して、対象物ホルダ 1 5 0 に保持することにより対象物 1 5 2 の表面に対するビーム入射角 2 0 6 を持たせる。ビーム入射角 2 0 6 は好適な角度でよく、典型的には 9 0 度または 9 0 度近辺である。Y スキャン処理の間に、対象物ホルダ 1 5 0 に保持された対象物 1 5 2 は 1 5 2 A と 1 5 0 A で示された位置を交互に移動する。これら 2 つの位置間での移動中に対象物 1 5 2 が G C I B 1 2 8 のスキャンを受け、両端の位置においては G C I B 1 2 8 の通路から完全にはずれている (オーバースキャン) ことが分かる。図 1 には明確に示されていないけれども、X スキャン動作の方向 2 0 8 (紙面に対して垂直方向) に対しても同様にスキャンおよびオーバースキャンがされているのである。

【0035】

ビーム電流センサ 2 1 8 は G C I B 1 2 8 の通路の対象物ホルダ 1 5 0 の後ろに設けられ、対象物ホルダ 1 5 0 が G C I B 1 2 8 の通路をスキャンアウトされたとき G C I B 1 2 8 のサンプルをとらえる (intercept)。ビーム電流センサ 2 1 8 は典型的にはファラデーカップなどであり、ビームの入射口を除いて閉じられており、電気絶縁マウント 2 1 2 で真空容器 1 0 2 の壁に固定されている。

【0036】

マイコンベースのコントローラ 2 2 0 は X スキャンアクチュエータ 2 0 2 と Y スキャンアクチュエータ 2 0 4 に電氣的ケーブル 2 1 6 を介して接続され、両アクチュエーターを制御して対象物 1 5 2 が G C I B 1 2 8 の内外に出入りさせ、G C I B 1 2 8 に対して均一にスキャンし、G C I B 1 2 8 による対象物 1 5 2 の適切な処理を実現する。コントローラ 2 2 0 はリード 2 1 4 を介してビーム電流センサ 2 1 8 で集められるビーム電流のサンプルを受信し、G C I B をモニターし、所定の G C I B 照射量が投射されたときに G C I B 1 2 8 から対象物 1 5 2 を取り除くことにより G C I B の照射量を制御する。

【0037】

半導体の集積各工程において、本発明の G C I B 処理が有効である。これらには、エッチング処理、フォトレジストのアッシング、多孔質 U L K 絶縁体の緻密化、シーリングする工程が含まれる。

【0038】

表 1 は有用なガスおよび混合ガスの一例であるが、他のガスおよび混合ガスもまた、異なるエッチング処理において有効であり、本発明において表 1 に記載のガスおよび条件に限定されるものではない。最適なガスの流速は G C I B 処理システムの特徴により異なる。表 1 に記載のガスの流速は、エピオンコーポレーション (マサチューセッツ州、ビルリカ) 製の n F u s i o n<sup>TM</sup> 型 G C I B 2 0 0 処理システムまたは n F u s i o n<sup>TM</sup> 型 G C

10

20

30

40

50

I B 3 0 0 処理システムを使用したときの最適条件の一例である。

【 0 0 3 9 】

【表 1】

エッチング処理の為の GCIB 処理条件 (およその値)					
有用なガス	典型的なガス	ガス流量 (SCCM)	典型的なガス流量 (SCCM)	V <sub>ACC</sub> レンジ (kV)	典型的 V <sub>ACC</sub> (kV)
O <sub>2</sub> 、フッ素含有ガス (例えば CF <sub>4</sub> 、CHF <sub>3</sub> 、C <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 、SF <sub>6</sub> 、NF <sub>3</sub> ) およびフッ素含有ガスと O <sub>2</sub> との混合ガス (例えば 1-10%の NF <sub>3</sub> 、90-99%の O <sub>2</sub> )	5%NF <sub>3</sub> 、95%O <sub>2</sub>	200 ~2000	500	10~80	30

10

【 0 0 4 0 】

GCIBによるエッチング処理条件は、対象材料およびエッチングの深さにより決定されるが、典型的には  $1 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> オーダーである。ただし、一種以上の材料を同時期にエッチングしたり、エッチング処理速度を制御するために調整されることに留意すべきである。そうした場合、混合ガスを用いるのが特に効果的で、混合ガスの比率を制御するなどにより、異なる材料の異なるエッチング処理を制御可能である。例えば、1~10%の NF<sub>3</sub> と、99~90%の O<sub>2</sub> 混合ガスが表 1 に記載されているが、この混合ガスを変化させることによりエッチング速度の制御に有効なのである。

20

【 0 0 4 1 】

表 2 は有用なガスおよび混合ガスの一例であるが、他のガスおよび混合ガスもまた、異なるアッシング処理 (ashing situation) において有効であり、本発明において表 2 に記載のガスおよび条件に限定されるものではない。最適なガスの流速は GCIB 処理システムの特徴により異なる。表 2 に記載のガスの流速は、nFusion™ 型 GCIB 200 処理システムまたは nFusion™ 型 GCIB 300 処理システムを使用したときの最適条件の一例である。GCIBによるアッシング処理条件は、対象材料およびエッチングの深さにより決定されるが、典型的には  $1 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup> オーダーである。

30

【 0 0 4 2 】

【表 2】

アッシング処理の為の GCIB 処理条件 (およその値)					
有用なガス	典型的なガス	ガス流量 (SCCM)	典型的なガス流量 (SCCM)	V <sub>ACC</sub> レンジ (kV)	典型的 V <sub>ACC</sub> (kV)
O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、He、H <sub>2</sub> 、Ar およびこれらの混合ガス	N <sub>2</sub>	200 ~2000	700	10~80	30

40

【 0 0 4 3 】

表 3 は有用なガスおよび混合ガスの一例であるが、他のガスおよび混合ガスもまた、異なる ULK 絶縁体の表面の緻密化およびシーリング処理において有効であり、本発明において表 3 に記載のガスおよび条件に限定されるものではない。最適なガスの流速は GCIB 処理システムの特徴により異なる。表 3 に記載のガスの流速は、nFusion™ 型 GCIB 200 処理システムまたは nFusion™ 型 GCIB 300 処理システムを使用したときの最適条件の一例である。GCIBによる ULK 絶縁体の表面の緻密化およびシ

50

ーリング処理条件は、対象材料およびエッチングの深さにより決定されるが、典型的には  $1 \times 10^{14} \sim 5 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup> オーダーである。  $5 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup> より高くても使用できるが、飽和（サチュレーション：saturation）が起こり、高くしたことによる更なる改善がほとんど認められなくなる。GCIBの状態（V<sub>ACC</sub>、気体、その他表3に示される各種の）を制御すること、およびULK材料に適した条件を採用すると、実際に緻密化層の厚みが約50～約350オングストローム程度となる。

【0044】

【表3】

ULK絶縁体表面の緻密化および孔のシーリング処理の為のGCIB処理条件（およその値）					
有用なガス	典型的なガス	ガス流量 (SCCM)	典型的な ガス流量 (SCCM)	V <sub>ACC</sub> レンジ (kV)	典型的 V <sub>ACC</sub> (kV)
O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、 Ar および、CH <sub>4</sub> と Ar の混合ガス	N <sub>2</sub>	200 ～2000	700	2.5～20 (Arお よび Ar 混合ガ スの場合)	15
				2.5～80 (O <sub>2</sub> 、 N <sub>2</sub> の場合)	30

10

20

【0045】

図4A～4Gには、本発明の第一実施例により処理された各工程の集積構造500A～500Gが示され、これらの製造法によって多孔質ULK絶縁体に形成された二重ダマシ集積構造500Hが、図4Hに示されている。以下に述べる実施例は本発明の理解にのみ用いられ、本発明を限定するものではない。

【実施例】

【0046】

図4Aを参照すると、本発明の第一実施例において、金属配線上（図には示されていないが、構造500Aのストップフィルム層502の下にある）に絶縁フィルムが堆積されることから始められる。絶縁堆積層はエッチングストップフィルム502、多孔質ULK絶縁層504、ハードマスク層506からなる。エッチングストップの材料は従来のプロセスで使用されていると同様のものであり典型的には、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>またはSiCNよりなる。エッチングストップフィルム502は厚み約35nmである。多孔質のULK絶縁層504は厚み（実施例では）約300nmである。

30

【0047】

ハードマスク層506は、処理後の二重ダマシ構造には残留しない。従って、従来の集積法とは異なり、ハードマスク層として比較的高いk値を有するSiO<sub>2</sub>や、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>を用いることができる。SiO<sub>2</sub>や、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>は抗酸化性があり、フォトリワークが可能である。ハードマスク層506は厚み（実施例では）約40nmである。

【0048】

SiO<sub>2</sub>や、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>に加えて他の好適なハードマスク材料として、SiCOH、SiC、SiCNなどが挙げられるが、これらに限定されるものではない。ハードマスク層506が形成される前に、GCIB処理（表3に示す典型的な処理条件）により多孔質ULK絶縁層504の表面が緻密化およびシーリング処理される。

40

【0049】

図4Bは、反射防止膜508とフォトレジスト層510を公知の方法により堆積して、絶縁堆積層500Bを形成した状態を示す。反射防止膜508およびフォトレジスト510は共に公知の材料を適用できるが、反射防止膜の形成については必須ではない。反射防止膜508とフォトレジスト510はここでは“マスキング材料”として共通のものであり、同じ用語としてフォトレジスト単独層の場合にも使用する。反射防止膜508は（典

50

型的には)約40nmの厚みを有し、フォトレジスト層510は、膜508の表面から(例えば)約200nmの厚みである。反射防止膜508は(限定するものではないが)“AR40Anti-Reflectant”より成り、フォトレジスト層510は(これも限定するものではないが)“Epic<sup>TM</sup>2210ArFPhotoresist”より成り、ロームアンドハースエレクトリックマテリアルズ社(アリゾナ州 フェニックス)より供給されている。

#### 【0050】

図4Cには、レジストにビアパターンを描いた後、RIEまたは好ましくはGCIBエッチング処理(例えば表1に示す処理条件で)により反射防止膜508、ハードマスク層506、多孔質ULK絶縁層504を通して、エッチングストップフィルム502までパターンを転写させ、ビア512が形成された構造500Cが示されている。 10

#### 【0051】

図4Dには、残るフォトレジスト層510と反射防止膜508が、酸素その他の混合気体による通常のプラズマまたはGCIBアッシング処理(例えば表2に示す処理条件で)され、得られる構造500Dが示されている。好ましい実施例として、多孔質ULK絶縁層504内のビア512の側壁を、GCIB処理(例えば表3に示す処理条件で)により清浄化、緻密化され、多孔質部分が表面に無い状態にすることができる。これによって、ウェットクリーン工程や、多孔質絶縁体のウェットプロセスによる汚染される機会を避けることができる。 20

#### 【0052】

図4Eには、ウエハに次のパターンを形成するために、反射防止膜516とフォトレジスト層518より成る別のマスク材料層が堆積した構造500Eが示されている。マスク材料層の反射防止膜の一部はエッチングされたビア(ビア512として示される)を充填し、表面を平坦にした上にフォトレジストが形成される。反射防止膜516およびフォトレジスト層518は共に前記同様の材料より成る。ビア充填層を除いて、反射防止膜516は(例えば)約200nmの厚みを有する。フォトレジスト層518は(例えば)約200nmの厚みを有する。この構造は従来技術の2Dに示す構造よりもシンプルで改善されており、フォトリワーク(photo rework)を実行すれば、GCIBアッシング処理によりフォトレジストおよび反射防止膜を除去することができる。 30

#### 【0053】

図4Fには、所望のトレンチパターンをレジストに描いた後、RIEまたはGCIBエッチング処理によって、反射防止膜516、ハードマスク層506、多孔質なULK絶縁層504の一部を除去して形成されたトレンチ520が示されている。反射防止膜516の材料は、多孔質ULK絶縁層504の材料よりもエッチング速度が速く、ビア512の上側周辺部にエッチングされない突出部“フェンス(fences)”が残らないようになっている。(例えば表1に示される処理条件では、反射防止膜516と多孔質ULK絶縁層504のエッチング速度がNF<sub>3</sub>と、O<sub>2</sub>の混合ガスの組成により制御される)図4Gには、アッシング処理、好ましくはGCIBアッシング処理(例えば表3に示す処理条件)により、半製品500Gの表面から残っているフォトレジスト層518、反射防止膜516を除去した状態が示されている。さらにRIEまたはGCIBエッチング処理(例えば表1に示す処理条件)によりハードマスク層506を除去し、基板エッチングストップフィルム502を開口してビア512が完成するまでが示されている。 40

#### 【0054】

図4Hには、最後のGCIB処理(例えば表3に示す処理条件)により全てのULK絶縁層の表面522が緻密化、平滑化されて完成した、第一の実施例である改良された二重ダマシン構造500Hが示されている。

#### 【0055】

図5A~5Gには多孔質ULK絶縁体を用いて最終的に二重ダマシン集積構造600Gを形成した過程である本発明の第二の実施例が示されている。それは初めにトレンチパターンをハードマスクに形成したものである。 50

## 【0056】

図5Aには、第二の実施例として金属配線の上に絶縁フィルムを堆積した状態が示されている。この絶縁堆積層600Aはエッチングストップフィルム602、多孔質ULK絶縁層604、ハードマスク層606を有する。マスクング材料層は所望により反射防止膜608、フォトレジスト層610が前記絶縁堆積層上に形成され、図に示すような構造となっている。エッチングストップ材料は、従来公知の材料と同様であり、典型的には、 $Si_3N_4$ 、 $SiCN$ である。エッチングストップフィルム602は厚み(例えば)約35nmである。多孔質ULK絶縁層604は厚み(例えば)約300nmである。ハードマスク層606はプロセス終了後において、二重ダマシ構造の一部として残留することはない。従って、従来の集積法とは異なり、ハードマスク層606として比較的高いk値を有する $SiO_2$ や、 $Si_3N_4$ を用いることができる。 $SiO_2$ や、 $Si_3N_4$ は抗酸化性があり、フォトリワークが可能である。ハードマスク層606は厚み(例えば)約80nmである。この厚みは、ULKや基板エッチングストップに対するハードマスク材料のエッチング速度によって調製することができる。 $SiO_2$ や、 $Si_3N_4$ に加えて他の好適なハードマスク材料として、 $SiCOH$ 、 $SiC$ 、 $SiCN$ などが挙げられるが、これらに限定されるものではない。反射防止膜608は(例えば)約40nmの厚み、フォトレジスト層610は(例えば)約200nmの厚みを有する。反射防止膜608とフォトレジスト層610は、前記の他、公知の材料を用いることができる(限定されるものではない)。また、場合によっては、ハードマスク層506が形成される前に、ガスクラスタイオンビーム処理(表3に示す典型的な処理条件)により多孔質ULK絶縁層504の表面が緻密化およびシーリング処理することもできる。

## 【0057】

図5Bには、フォトレジスト層610に所望のトレンチパターンを描き、RIEまたはGCIBエッチング処理(例えば表1に示す処理条件)により反射防止膜608、ハードマスク層606を通して、多孔質ULK絶縁層604までエッチングして、ハードマスク層606内にトレンチパターン612が形成された構造600Bを示している。

## 【0058】

図5Cには、残っていたマスクング材料層が、酸素、窒素、水素、アルゴン、その他のガス(例えば表2に示す処理条件)を用いた通常のプラズマまたはGCIBアッシング処理によって除去され、同時に多孔質ULK絶縁層604の表面614が緻密化されている構造600Cを示している。

## 【0059】

図5Dには、次のパターンをウエハに適用するために、別のマスクング材料層として反射防止膜616とフォトレジスト層618を含む層が形成された状態(構造600D)が示されている。反射防止膜616は(限定するものではないが)“AR40Anti-Reflectant”より成り、フォトレジスト層618は(これも限定するものではないが)“Epic<sup>TM</sup>2210ArF Photoresist”より成る。

## 【0060】

図5Eには、フォトレジスト層618に所望のビアパターンが描かれた後、RIEまたはGCIBエッチング処理によって、反射防止膜616、ハードマスク層606、多孔質ULK絶縁層604の一部を除去して、パターンを転写した状態が示されている。反射防止膜の材料はこの工程においてハードマスク層606と同程度のエッチング速度を有する。(例えば表1に示される処理条件では、反射防止膜616と多孔質ULK絶縁層604のエッチング速度が $NF_3$ と、 $O_2$ の混合ガスの組成により制御される。)

## 【0061】

図5Fには、通常のプラズマまたは、好ましくはGCIBアッシング処理(例えば表2の処理条件)により残存したマスクング材料を除去した半製品(構造600F)が示されている。

## 【0062】

図5Gには、RIEまたはGCIBエッチング処理によりハードマスク層606を除去

して、トレンチパターン 6 1 2 を多孔質 U L K 絶縁層 6 0 4 の中に形成してトレンチ 6 2 4 とし、同時にビアをエッチングして基板エッチングストップを開口しビア 6 2 0 を完成させた（例えば表 1 に示される処理条件）状態を示している。ハードマスク層 6 0 6 はこのプロセス中に完全に除去される。最後に、別の G C I B 処理により、U L K の全表面 6 2 2 を平滑化、緻密化、シーリングを行う（例えば表 2 に示される処理条件）。G C I B エッチングは非常に指向性であり、従来の R I E 処理では生じていたビアの側壁に、浅い斜面（従来技術の問題として示した図 3 G 参照）が形成されることはない（実質的に斜面なし）。

#### 【 0 0 6 3 】

G C I B 処理の重要な効果は、G C I B 処理は、エッチングされた U L K 絶縁材料の平滑化、緻密化、シーリングができることにより、多孔質 U L K 絶縁材料を覆うハードマスクの必要性を失くした事である。U L K 絶縁材料のハードマスクを R I E により除去すると、多孔質 U L K 絶縁材料の表面が荒らされる。U L K 絶縁材料のハードマスクを C M P により除去すれば平滑化は可能であるが、緻密化、孔のシーリングができないために、多孔質 U L K 絶縁材料にウェット化学物質が侵入するという問題がある。

#### 【 0 0 6 4 】

本発明の他の効果として、二重ダマシ構造の製造に際しハードマスクの使用数を最小にできること及び、最終のエッチングされた二重ダマシ構造からはハードマスクが除去されていることが挙げられる。従って、最終の二重ダマシ構造は十分に低い k 値を有し、リークや層間剥離その他の関連する問題発生を最小にすることができるのである。多孔質エッチングされた U L K 絶縁体の表面をすべて緻密化、シーリングすることで、後工程における C V D や A L D 処理中の汚染の影響を受け難くなる。最後に、G C I B エッチング処理は、マイクロローディング効果を受けることなく、トレンチの深さ、形状の制御が容易であり、共通の設計から抵抗とキャパシタンスのより正確な仕様が可能になる。

#### 【 0 0 6 5 】

以上、本発明を様々な具体例を示して説明したが、本発明の思想の範囲内でその他の改良・改善が可能であると理解されるべきである。

#### 【 図面の簡単な説明 】

#### 【 0 0 6 6 】

【 図 1 】 図 1 は公知の G C I B 処理装置の基本的構成を示す概略図である。

【 図 2 A 】 図 2 A は公知の技術 “ ヴィアファスト ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 2 B 】 図 2 B は公知の技術 “ ヴィアファスト ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 2 C 】 図 2 C は公知の技術 “ ヴィアファスト ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 2 D 】 図 2 D は公知の技術 “ ヴィアファスト ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 2 E 】 図 2 E は公知の技術 “ ヴィアファスト ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 2 F 】 図 2 F は公知の技術 “ ヴィアファスト ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 3 A 】 図 3 A は公知の技術 “ 二重ハードマスク ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 3 B 】 図 3 B は公知の技術 “ 二重ハードマスク ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 3 C 】 図 3 C は公知の技術 “ 二重ハードマスク ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【 図 3 D 】 図 3 D は公知の技術 “ 二重ハードマスク ” により二重ダマシ U L K 集積構造を形成する工程を示す図である。

【図3E】図3Eは公知の技術“二重ハードマスク”により二重ダマシンULK集積構造を形成する工程を示す図である。

【図3F】図3Fは公知の技術“二重ハードマスク”により二重ダマシンULK集積構造を形成する工程を示す図である。

【図3G】図3Gは公知の技術“二重ハードマスク”により二重ダマシンULK集積構造を形成する工程を示す図である。

【図4A】図4Aは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図4B】図4Bは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図4C】図4Cは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図4D】図4Dは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図4E】図4Eは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図4F】図4Fは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図4G】図4Gは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図4H】図4Hは本発明による第一の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図5A】図5Aは本発明による第二の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図5B】図5Bは本発明による第二の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図5C】図5Cは本発明による第二の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図5D】図5Dは本発明による第二の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図5E】図5Eは本発明による第二の実施例による集積構造の形成を示す図である。

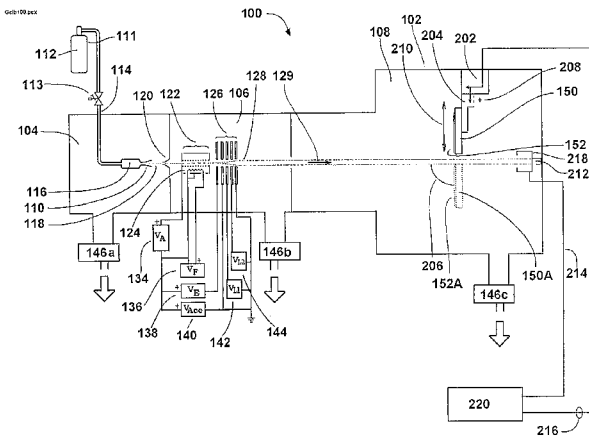
【図5F】図5Fは本発明による第二の実施例による集積構造の形成を示す図である。

【図5G】図5Gは本発明による第二の実施例による集積構造の形成を示す図である。

10

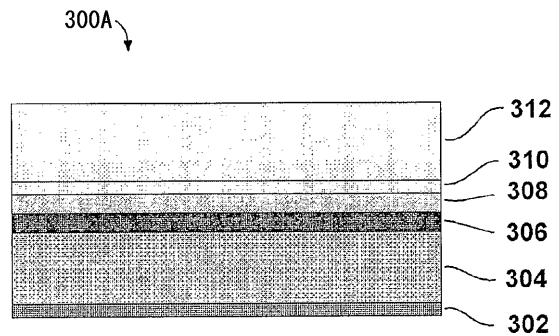
20

【図1】



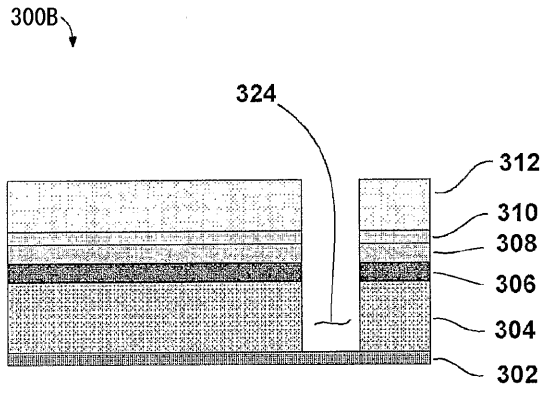
従来技術

【図2A】



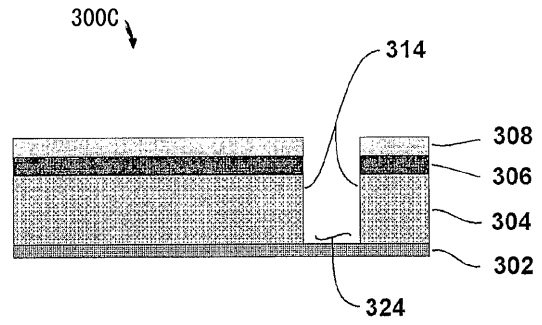
従来技術

【図 2 B】



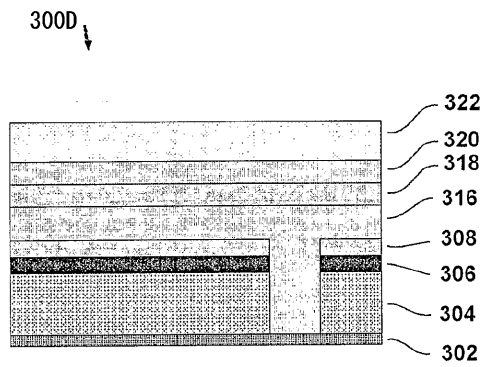
従来技術

【図 2 C】



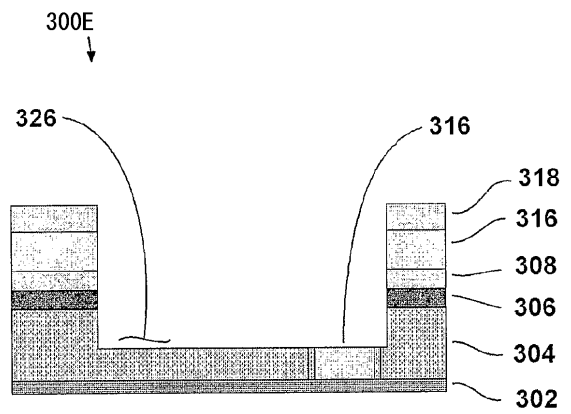
従来技術

【図 2 D】



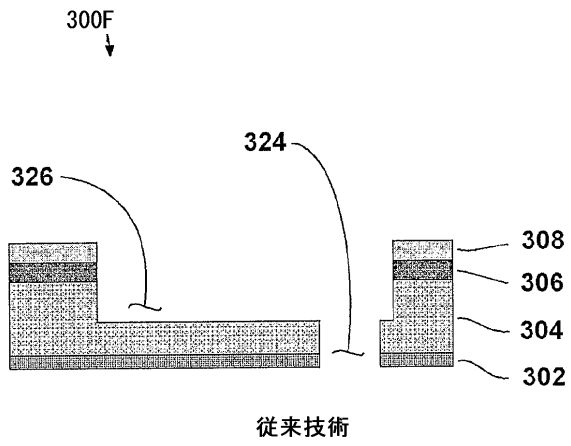
従来技術

【図 2 E】

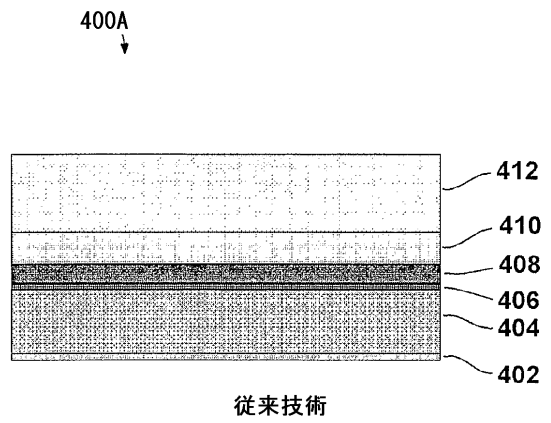


従来技術

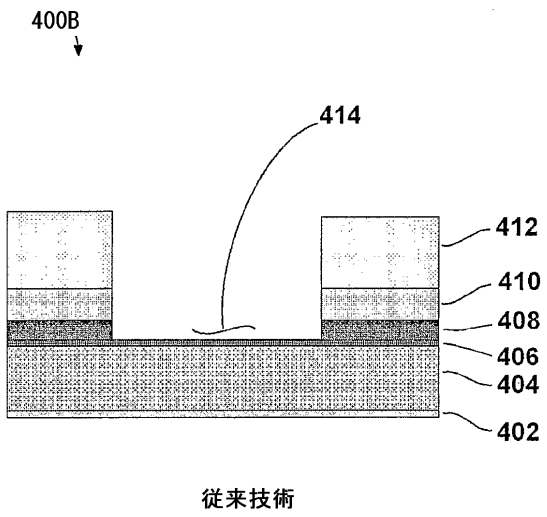
【 図 2 F 】



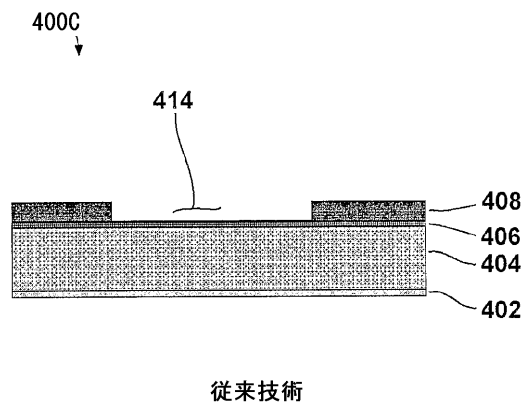
【 図 3 A 】



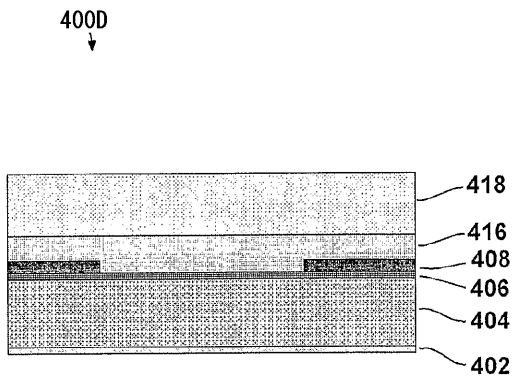
【 図 3 B 】



【 図 3 C 】

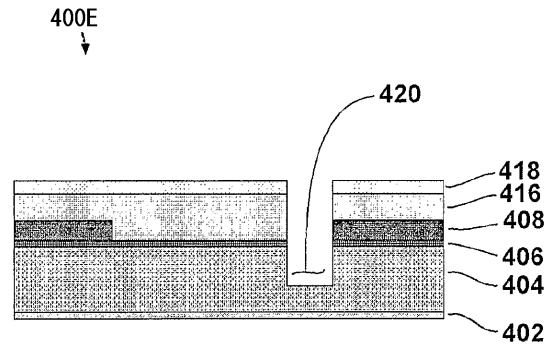


【図 3 D】



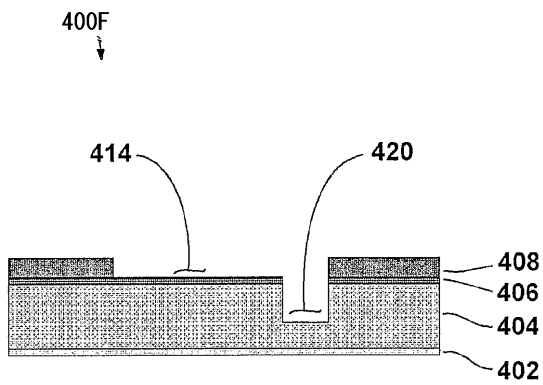
従来技術

【図 3 E】



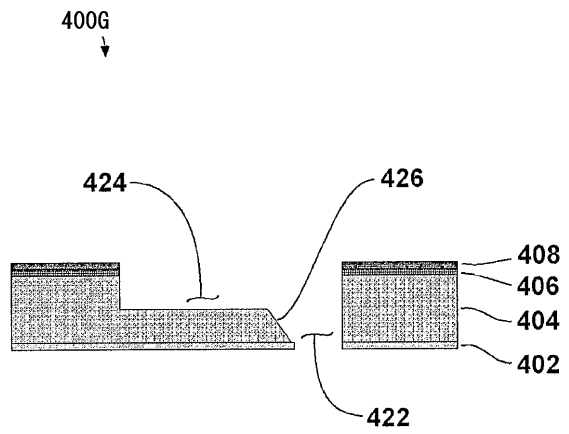
従来技術

【図 3 F】



従来技術

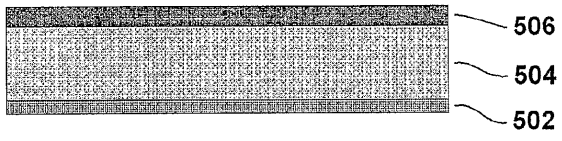
【図 3 G】



従来技術

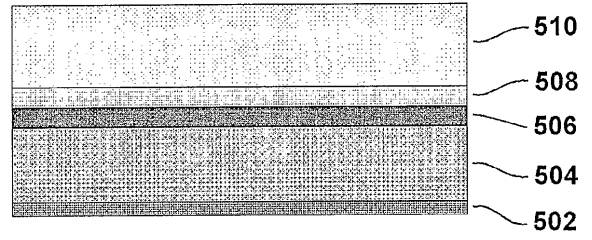
【 図 4 A 】

500A



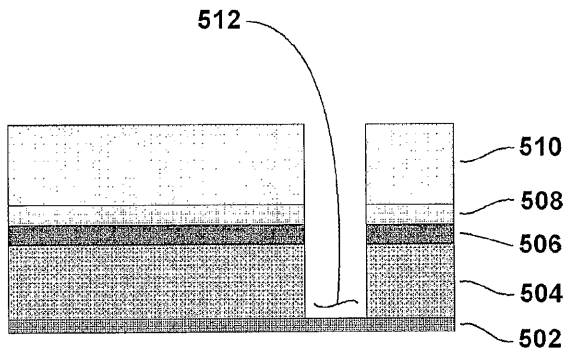
【 図 4 B 】

500B



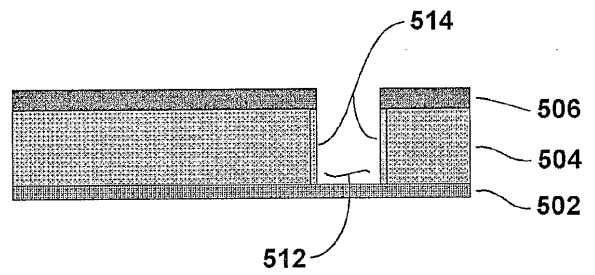
【 図 4 C 】

500C



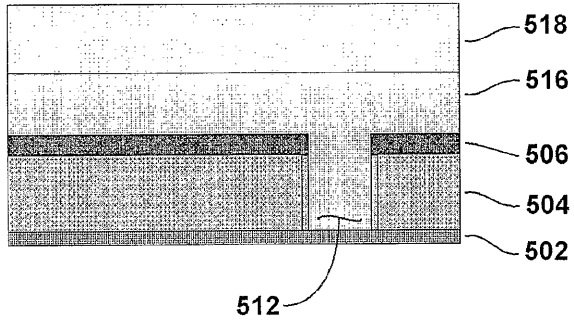
【 図 4 D 】

500D



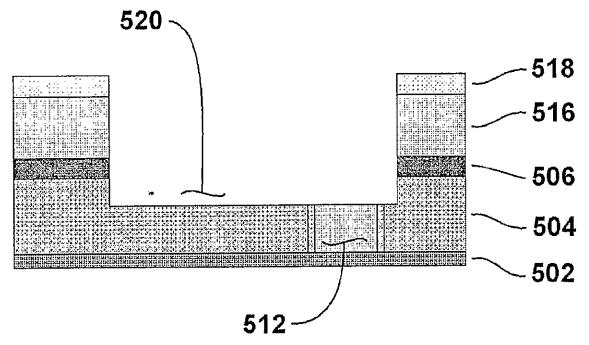
【 図 4 E 】

500E



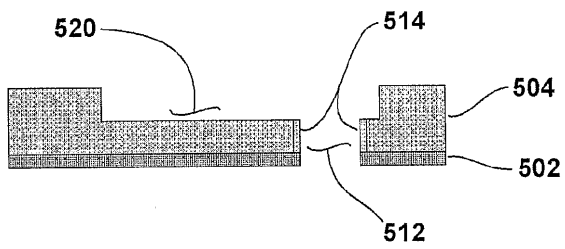
【 図 4 F 】

500F



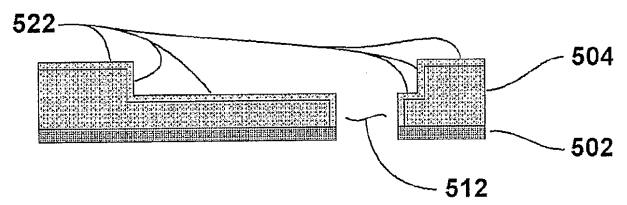
【 図 4 G 】

500G



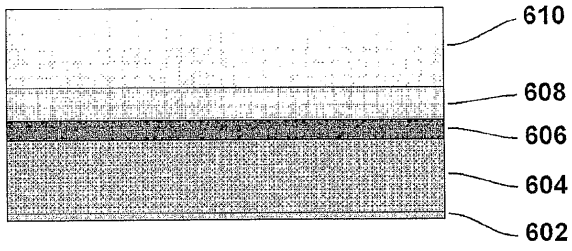
【 図 4 H 】

500H



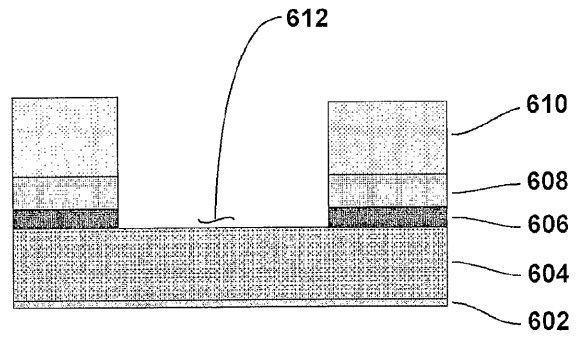
【 図 5 A 】

600A



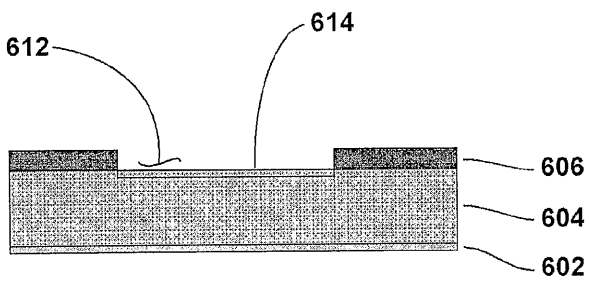
【 図 5 B 】

600B



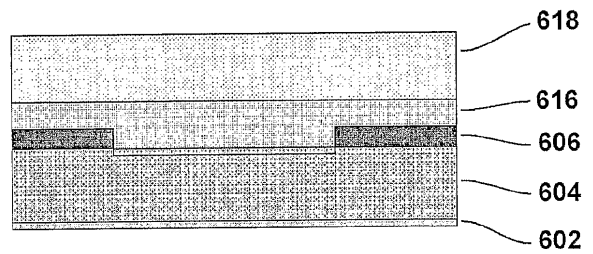
【 図 5 C 】

600C



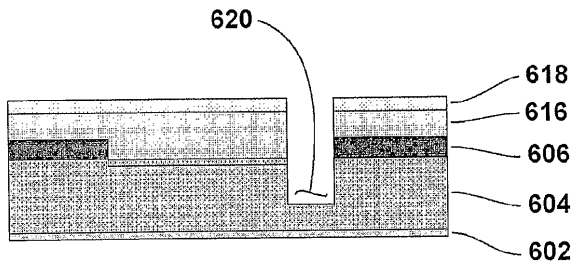
【 図 5 D 】

600D



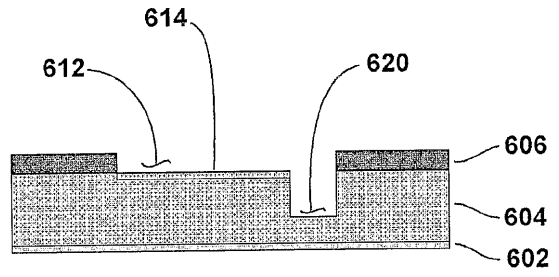
【 図 5 E 】

600E



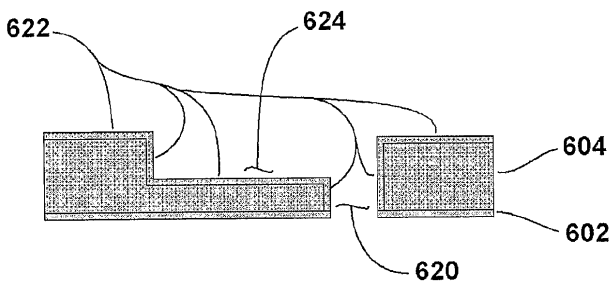
【 図 5 F 】

600F



【 図 5 G 】

600G



## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US05/19316															
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC: <b>H01L 21/302</b> (2006.01)  USPC: 438/706,710,714,723,725 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC																	
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) U.S. : 438/706,710,714,723,725  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)																	
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category *</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Y</td> <td>US 6,331,227 B1(DYKSTRA et al) 18 December 2001 (18.12.2001), column 1, lines 37-45; column 3, lines 25-42; column 9, lines 35-39.</td> <td style="text-align: center;">34-36</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Y, P</td> <td>US 2004/0229452 A1 (JOHNSTON et al) 18 November 2004 (18.11.2004), [0003][0016][0017].</td> <td style="text-align: center;">1-33</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>US 2002/0014407 A1 (ALLEN et al) 7 February 2002 (07.02.2002), entire document.</td> <td style="text-align: center;">1-35</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>US 2003/0073314 A1 (SKINNER et al) 17 April, 2003 (17.04.2003), entire document.</td> <td style="text-align: center;">1-35</td> </tr> </tbody> </table>			Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	US 6,331,227 B1(DYKSTRA et al) 18 December 2001 (18.12.2001), column 1, lines 37-45; column 3, lines 25-42; column 9, lines 35-39.	34-36	Y, P	US 2004/0229452 A1 (JOHNSTON et al) 18 November 2004 (18.11.2004), [0003][0016][0017].	1-33	A	US 2002/0014407 A1 (ALLEN et al) 7 February 2002 (07.02.2002), entire document.	1-35	A	US 2003/0073314 A1 (SKINNER et al) 17 April, 2003 (17.04.2003), entire document.	1-35
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.															
Y	US 6,331,227 B1(DYKSTRA et al) 18 December 2001 (18.12.2001), column 1, lines 37-45; column 3, lines 25-42; column 9, lines 35-39.	34-36															
Y, P	US 2004/0229452 A1 (JOHNSTON et al) 18 November 2004 (18.11.2004), [0003][0016][0017].	1-33															
A	US 2002/0014407 A1 (ALLEN et al) 7 February 2002 (07.02.2002), entire document.	1-35															
A	US 2003/0073314 A1 (SKINNER et al) 17 April, 2003 (17.04.2003), entire document.	1-35															
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.																	
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Special categories of cited documents:</th> <th style="width: 50%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</td> </tr> <tr> <td>"E" earlier application or patent published on or after the international filing date</td> <td>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</td> </tr> <tr> <td>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</td> <td>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</td> </tr> <tr> <td>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td>"&amp;" document member of the same patent family</td> </tr> <tr> <td>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Special categories of cited documents:		"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention	"E" earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone	"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art	"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family	"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed				
Special categories of cited documents:																	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention																
"E" earlier application or patent published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone																
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art																
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family																
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed																	
Date of the actual completion of the international search <b>21 August 2006 (21.08.2006)</b>		Date of mailing of the international search report <b>19 SEP 2006</b>															
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (571) 273-3201		Authorized officer Kin-Chan Chen <b>DEBORAH A. THOMAS</b> Telephone No. (571) 272-1461 <b>PARALEGAL SPECIALIST</b> <i>Deborah A. Thomas</i>															

---

 フロントページの続き

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 ゲフケン, ロバート, エム.

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01821, ビルリカ, マニング ロード 37番地,  
エピオン コーポレーション内

(72) 発明者 ハウタラ, ジョン, ジェイ.

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01821, ビルリカ, マニング ロード 37番地,  
エピオン コーポレーション内

F ターム(参考) 5F004 AA02 AA03 BA11 BB24 CA05 DA17 DA25 DA26 DA30 DB00  
DB26 EA03 EA22 EB01 EB03  
5F033 MM02 QQ04 QQ09 QQ13 QQ14 QQ15 QQ25 QQ28 QQ30 QQ35  
QQ54 QQ92 RR01 RR04 RR06 RR29 TT07 TT08 XX24 XX33