

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02004/061931

発行日 平成18年5月18日(2006.5.18)

(43) 国際公開日 平成16年7月22日(2004.7.22)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード(参考)
HO 1 L 21/3205 (2006.01)	HO 1 L 21/88 A	5 F O 3 3
HO 1 L 23/52 (2006.01)	HO 1 L 21/90 A	
HO 1 L 21/768 (2006.01)		

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 32 頁)

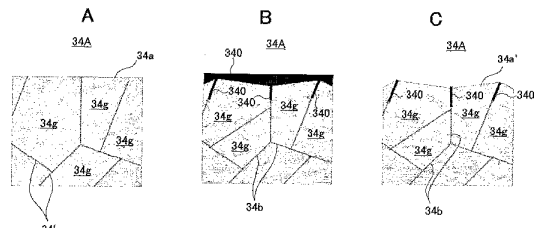
出願番号	特願2004-564427 (P2004-564427)	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社
(21) 国際出願番号	PCT/JP2002/013677		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 国際出願日	平成14年12月26日(2002.12.26)	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(81) 指定国	CN, JP, KR, US	(72) 発明者	山本 保 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	綿谷 宏文 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	北田 秀樹 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多層配線構造を有する半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】

多層配線構造は、第1の層間絶縁膜と、前記第1の層間絶縁上に形成された第2の層間絶縁膜と、前記第1の層間絶縁膜中に形成され第1のバリアメタル膜で側壁面および底面が覆われた配線溝と、前記第2の層間絶縁膜中に形成され第2のバリアメタル膜で側壁面と底面が覆われたビアホールと、前記配線溝を充填する配線パターンと、前記ビアホールを充填するビアプラグとよりなり、前記ビアプラグは前記配線パターンの表面にコンタクトし、前記配線パターンは前記表面に凹凸を有し、前記配線パターンは、前記配線パターン中において前記表面から前記配線パターン内部に向かって延在する結晶粒界に沿って、前記表面におけるよりも高い濃度で酸素原子を含むことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の層間絶縁膜と、

前記第 1 の層間絶縁上に形成された第 2 の層間絶縁膜と、

前記第 1 の層間絶縁膜中に形成され第 1 のバリアメタル膜で側壁面および底面が覆われた配線溝と、

前記第 2 の層間絶縁膜中に形成され第 2 のバリアメタル膜で側壁面と底面が覆われたビアホールと、

前記配線溝を充填する配線パターンと、

前記ビアホールを充填するビアプラグとよりなり、

前記ビアプラグは前記配線パターンの表面にコンタクトし、

前記配線パターンは前記表面に凹凸を有し、

前記配線パターンは、前記配線パターン中において前記表面から前記配線パターン内部に向かって延在する結晶粒界に沿って、前記表面におけるよりも高い濃度で酸素原子を含むことを特徴とする多層配線構造。

10

【請求項 2】

前記酸素原子は、前記結晶粒界において前記配線パターンを形成する金属元素と結合し、酸化物を形成することを特徴とする請求項 1 記載の多層配線構造。

【請求項 3】

前記配線パターンは銅配線パターンよりなり、前記酸化物は CuO あるいは Cu_2O よりなることを特徴とする請求項 1 記載の多層配線構造。

20

【請求項 4】

前記配線パターンは銅配線パターンよりなり、前記酸化物は CuO と Cu_2O の混合物よりなることを特徴とする請求項 1 記載の多層配線構造。

【請求項 5】

前記表面は酸化物を含まないことを特徴とする請求項 1 記載の多層配線構造。

【請求項 6】

前記凹凸は、前記配線パターン中の結晶粒に対応して形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の多層配線構造。

【請求項 7】

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、

前記配線溝を金属層により充填する工程と、

前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去し、前記配線溝中に金属配線パターンを形成する工程とよりなる多層配線構造の形成方法において、

前記化学機械研磨工程の後、前記金属配線パターンの表面を酸化し、酸化膜を形成する工程と、

前記酸化膜を除去する工程とをさらに含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法。

30

【請求項 8】

前記酸化膜を形成する工程は、前記金属配線パターンの表面を酸素プラズマで処理する工程を含むことを特徴とする請求項 7 記載の多層配線構造の形成方法。

40

【請求項 9】

前記酸化膜を形成する工程は、前記酸化膜を 30 nm 以下の膜厚に形成することを特徴とする請求項 7 記載の多層配線構造の形成方法。

【請求項 10】

前記酸化膜を除去する工程は、ドライプロセスにより行われることを特徴とする請求項 7 記載の多層配線構造の形成方法。

【請求項 11】

前記酸化膜を除去する工程は、還元性のプラズマ中において実行されることを特徴とする請求項 7 記載の多層配線構造の形成方法。

50

【請求項 1 2】

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、

前記配線溝を金属層により充填する工程と、

前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去する工程と、

前記化学機械研磨工程の後、前記金属層を熱処理する工程と、

前記熱処理工程の後、前記金属配線層の表面を平坦化する工程を含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法。

【請求項 1 3】

前記配線溝を前記金属層により充填する工程は、前記層間絶縁膜の上主面および前記配線溝の表面をバリアメタル膜で覆う工程と、前記金属層を前記バリアメタル膜上に堆積する工程とよりなり、前記化学機械研磨工程は、前記層間絶縁膜上の前記バリアメタル膜をストッパとして実行されることを特徴とする請求項 1 2 記載の多層配線構造の形成方法。

10

【請求項 1 4】

前記熱処理工程は、前記金属配線層中において応力緩和が生じるような温度で実行されることを特徴とする請求項 1 2 記載の多層配線構造の形成方法。

【請求項 1 5】

前記熱処理温度は 250 以上の温度で実行されることを特徴とする請求項 1 2 記載の多層配線構造の形成方法。

【請求項 1 6】

前記平坦化工程は、前記金属層を、前記層間絶縁膜の上主面が露出するまで実行される別の化学機械研磨工程よりなることを特徴とする請求項 1 2 記載の多層配線構造の形成方法。

20

【請求項 1 7】

前記配線溝を前記金属層により充填する工程は、前記層間絶縁膜の上主面および前記配線溝の表面をバリアメタル膜で覆う工程と、前記金属層を前記バリアメタル膜上に堆積する工程とよりなり、前記化学機械研磨工程は、前記層間絶縁膜上の前記バリアメタル膜をストッパとして実行され、前記平坦化工程は、前記金属層および前記バリアメタル膜を、前記層間絶縁膜の前記上主面が露出するまで研磨する別の化学機械研磨工程よりなることを特徴とする請求項 1 2 記載の多層配線構造の形成方法。

30

【請求項 1 8】

基板と、前記基板上に形成された多層配線構造とよりなる半導体装置であって、

前記多層配線構造は、

第 1 の層間絶縁膜と、

前記第 1 の層間絶縁上に形成された第 2 の層間絶縁膜と、

前記第 1 の層間絶縁膜中に形成され第 1 のバリアメタル膜で側壁面および底面が覆われた配線溝と、

前記第 2 の層間絶縁膜中に形成され第 2 のバリアメタル膜で側壁面と底面が覆われたビアホールと、

前記配線溝を充填する配線パターンと、

40

前記ビアホールを充填するビアプラグとよりなり、

前記ビアプラグは前記配線パターンの表面にコンタクトし、

前記配線パターンは前記表面に凹凸を有し、

前記配線パターンは、前記配線パターン中において前記表面から前記配線パターン内部に向かって延在する結晶粒界に沿って、前記表面におけるよりも高い濃度で酸素原子を含むことを特徴とする半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

本発明は、半導体装置及びその製造方法に関し、特に多層配線構造を有する半導体装置及びその製造方法に関する。

50

微細化技術の進展に伴い、半導体集積回路の集積密度は年々向上しているが、かかる集積密度の増大に伴い、半導体集積回路中における配線抵抗および配線容量に起因する配線遅延の問題が顕在化している。かかる配線遅延の問題に鑑み、最近では低抵抗のCuを配線パターンとして使用し、また低誘電率の有機膜を層間絶縁膜として使用する技術が研究されている。

従来よりCuをドライエッチングによりパターンニングする有効な方法が知られていないため、Cuを配線パターンに使う場合には、層間絶縁膜中に配線溝及びコンタクトホールを先に形成し、これをCuで埋めるいわゆるデュアルダマシン法が使われている。デュアルダマシン法では、コンタクトホールと配線溝をCu等の配線材料により埋め込み、さらに化学機械研磨(CMP; Chemical Mechanical Polishing)法により不要部分の配線材料を研磨・除去することによりコンタクトホール及び配線溝に埋め込まれた、平坦化された配線パターンを形成する。デュアルダマシン法によれば、幅の狭い高アスペクト比の配線パターンをエッチングにより形成する必要がなく、また配線間の微細なスペースを層間絶縁膜により埋め込む必要もなく、非常に微細化された配線パターンを容易に形成することができる。デュアルダマシン法による多層配線構造の形成は、配線のアスペクト比が高くなるほど、また配線総数が増大するほど有効であり、超微細化半導体装置の製造コストの削減に大きく寄与する。

10

【背景技術】

図1A~1Kは従来の典型的なデュアルダマシン法による多層配線構造の形成工程を示す。

20

図1Aを参照するに、図示を省略するトランジスタなどの活性素子が形成されたSi基板11上には、絶縁膜11Aを介してポリシリコン、W、Cu等の下層配線パターン20が形成されており、前記下層配線パターン20上にはSiNあるいはSiCよりなる第1のエッチングストップ膜22がプラズマCVD法などの堆積法により形成される。以下の説明は、前記下層配線パターン20がCu配線パターンである場合について行う。

前記エッチングストップ膜22上にはさらに低誘電率無機絶縁膜あるいは有機炭化水素ポリマなどの低誘電率有機絶縁膜よりなる第1の層間絶縁膜24が典型的にはスピノン法により形成され、さらに前記層間絶縁膜24上にはSiNあるいはSiCなどよりなる第2のエッチングストップ膜26がプラズマCVD法より形成される。

前記エッチングストップ膜26上には第2の層間絶縁膜28が同様にして形成され、前記層間絶縁膜28上にはさらにSiNあるいはSiCなどよりなる第3のエッチングストップ膜30が、プラズマCVD法などにより形成される。

30

図1Aの工程では前記エッチングストップ膜30上にレジストパターンR1が形成されるが、前記レジストパターンR1中にはレジスト開口部Raが、多層配線構造中に形成される第1層目の配線溝に対応して形成される。

次に図1Bの工程で、前記レジストパターンR1をマスクに前記SiN膜30に対してドライエッチングを行ない、前記レジスト開口部Raに対応した開口部を前記エッチングストップ膜30中に形成する。さらに、前記開口部の形成の後、前記レジストパターンR1をアッシングにより除去し、前記SiN膜30をマスクに前記層間絶縁膜28をドライエッチングし、前記層間絶縁膜28中に前記レジスト開口部Raに対応した配線溝28Aを形成する。

40

次に図1Cの工程で前記図1Bの構造上に、前記エッチングストップ膜30を覆うように、また前記配線溝28Aを充填するようにレジスト膜R2を形成し、さらにこれをパターンニングして前記配線溝28A中に、前記配線溝中に形成されるビアホールに対応したレジスト開口部Rbを形成する。

さらに図1Dの工程において前記エッチングストップ膜26を、前記レジストパターンR2をマスクにドライエッチングし、前記レジスト開口部Rbに対応した開口部を前記エッチングストップ膜26中に形成する。

図1Dの工程では、さらに前記層間絶縁膜24を前記エッチングストップ膜26および30をマスクにドライエッチングすることにより、前記層間絶縁膜24中に、前記レジス

50

ト開口部 R b に対応して、前記エッチングストップ膜 2 2 を露出するビアホール 2 4 A を形成する。

さらに図 1 E の工程において前記ビアホール 2 4 A の底に露出されたエッチングストップ膜 1 2 をエッチングにより除去し、コンタクトホール 2 8 の底に C u 配線パターン 1 0 を露出した後、図 1 F の工程において図 1 E の構造上に T a N 膜などの導電性窒化膜を含むバリアメタル膜 3 2 をスパッタリング法等により堆積し、前記配線溝 2 6 及びコンタクトホール 2 8 の表面を前記バリアメタル膜 3 2 およびシード C u 膜により覆う。

なお、図 1 E の構造を形成するにあたり、先にビアホール 2 4 A を形成し、その後で配線溝 2 8 A を形成する工程を採用することも可能である。

次に図 1 G の工程において前記配線溝 2 8 A およびビアホール 2 4 A を充填するように C u 層 3 4 を電解めっき法により形成し、さらにこれを窒素あるいは A r などの不活性雰囲気中で熱処理することにより C u 層 3 4 中の結晶粒を成長させ、安定な微構造を形成する。

次に図 1 H の工程において前記層間絶縁膜 2 8 上の C u 層 3 4 、バリアメタル膜 3 2 およびエッチングストップ膜 3 0 を化学機械研磨 (C M P) により除去し、図 1 H に示す平坦化された構造を得る。図 1 H の構造においては前記配線溝 2 8 A を充填するように C u 配線パターン 3 4 A が形成され、さらに前記 C u 配線パターン 3 4 A から前記ビアホール 2 4 A を充填するように C u プラグ 3 4 B が延出する。前記 C u 配線パターン 3 4 A と C u プラグ 3 4 B とは第 1 の配線層 3 1 を構成する。

次に図 1 H の構造は図 1 I の工程において H₂ , N H₃ , N₂ あるいは希ガスのプラズマにより処理され、その結果、図 1 H の C M P 工程の際に C u 配線パターン 3 4 A の表面に生じた汚染がプラズマにより除去される。

図 1 I の工程の後、図 1 J の工程において図 1 I の構造上に前記 C u 配線パターン 3 4 A を覆うように、 S i N などよりなるキャップ膜 3 5 が形成され、さらにこのキャップ膜 3 5 を先のエッチングストップ膜 2 2 と同様に使って図 1 A ~ 1 H の工程を繰り返すことにより、図 1 K に示すように、前記第 1 の配線層 3 1 上に第 2 の配線層 4 1 が形成された多層配線構造が形成される。

前記キャップ膜 3 5 を設けることにより、 C u 配線パターン 3 4 A の表面に沿った C u 原子の移動が抑制され、上層の配線層形成プロセスに伴って下層配線層中に生じる欠陥の発生が、また様々な条件下における多層配線構造の使用に伴って配線層中に生じる欠陥の発生が抑制される。また先に説明した図 1 I の表面処理工程を行うことにより、前記配線パターン 3 4 A とキャップ層 3 5 との密着性が向上する。図 1 I の工程による密着性の向上については、特開 2 0 0 0 - 2 0 0 8 3 2 号公報を参照。

一方、このような C u 多層配線構造を有する半導体装置に対して高温で通電試験を行った場合、 C u 原子が配線層表面を移動し、後にボイドなどの欠陥を生成させる現象が知られている。例えば通電試験は試験時間を短縮するため 4 0 0 程度の温度で行われることが多いが、このような試験の結果、図 2 に示すように、 C u 配線層 2 0 中にボイドないし欠陥 2 0 X が形成されることがある。ただし図 2 は図 1 K 中、破線で囲んだ部分の拡大図である。

図 2 を参照するに、前記 C u 配線層 2 0 は各々結晶粒界 2 0 b で画成された多数の C u 結晶粒 2 0 g より構成されているのがわかる。図示は省略するが、同様な微構造は、 C u プラグ 3 4 B 中にも形成されている。

このようなボイド 2 0 X の形成は、 C u 配線層 2 0 中において C u 原子が結晶粒界 2 0 b に沿って図中に矢印で示すように拡散し、その結果形成されるものと考えられる。同様な欠陥は、配線パターン 3 4 A においても、またビアプラグ 3 4 B においても生じ得る。このようなボイドの形成は、特に C u プラグ 3 4 B とコンタクトしている部分に発生した場合、多層配線構造の信頼性に対して深刻な問題となる。

また従来、図 1 I のプラズマによる表面処理工程の後、図 1 J のキャップ層 3 5 の堆積に先立って、被処理基板を 4 0 0 程度の温度に加熱することが行われているが、このような工程において、図 3 A , 3 B に示すように、 C u 配線パターン 3 4 A の表面に突起 3

10

20

30

40

50

4 X が形成されることがある。ただし図 3 A , 3 B は図 1 I 中、破線で囲んだ部分のそれぞれ拡大断面図および拡大平面図を示す。

図 3 A , 3 B を参照するに、前記 C u 配線パターン 3 4 A は各々結晶粒界 3 4 b により画成された多数の C u 結晶粒 3 4 g より構成されており、前記突起 3 4 X は主に三つの結晶粒界 3 4 b が交わるいわゆる三重点に対応して形成されているのがわかる。

このように突起 3 4 X は結晶粒界 3 4 b に対応して形成されており、このことから、突起 3 4 X も結晶粒界 3 4 b に沿って生じる C u 原子の移動により形成されるものと考えられる。ただし突起 3 4 X の場合には、結晶粒界に沿って生じる C u 原子の移動は、C u 配線パターン 3 4 A 中に存在する残留応力の緩和に伴って発生するものと考えられる。このような突起 3 4 X が形成されると、薄いキャップ膜 3 5 のバリア機能が損なわれる恐れがあり、多層配線構造に信頼性に対する深刻な問題となる。

10

【発明の開示】

そこで、本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な半導体装置およびその製造方法を提供することを概括的課題とする。

本発明の他のより具体的な課題は、欠陥が少なく信頼性の高い金属配線パターンを有する多層配線構造を提供することにある。

本発明の他の課題は、金属配線パターンを有する多層配線構造の形成の際に、結晶粒界に沿った金属原子の移動を効果的に抑制できる多層配線構造の製造方法を提供することにある。

20

本発明の他の課題は、

第 1 の層間絶縁膜と、

前記第 1 の層間絶縁上に形成された第 2 の層間絶縁膜と、

前記第 1 の層間絶縁膜中に形成され第 1 のバリアメタル膜で側壁面および底面が覆われた配線溝と、

前記第 2 の層間絶縁膜中に形成され第 2 のバリアメタル膜で側壁面と底面が覆われたビアホールと、

前記配線溝を充填する配線パターンと、

前記ビアホールを充填するビアプラグとよりなり、

前記ビアプラグは前記配線パターンの表面にコンタクトし、

前記配線パターンは前記表面に凹凸を有し、

30

前記配線パターンは、前記配線パターン中において前記表面から前記配線パターン内部に向かって延在する結晶粒界に沿って、前記表面におけるよりも高い濃度で酸素原子を含むことを特徴とする多層配線構造を提供することにある。

本発明の他の課題は、

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、

前記配線溝を金属層により充填する工程と、

前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去し、前記配線溝中に金属配線パターンを形成する工程とよりなる多層配線構造の形成方法において、

前記化学機械研磨工程の後、前記金属配線パターンの表面を酸化し、酸化膜を形成する工程と、

40

前記酸化膜を除去する工程とをさらに含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法を提供することにある。

本発明によれば、層間絶縁膜中の配線溝を充填するように形成された金属配線パターン中の結晶粒界に酸素を導入することにより、かかる結晶粒界に沿った金属配線パターン表面への金属元素の拡散が抑制され、かかる多層配線構造を有する半導体装置の動作中、例えば通電試験の際に多層配線構造を構成する金属配線パターンに生じるボイドなどの欠陥の発生が抑制される。また本発明によれば、前記金属配線パターン表面に凹凸が、酸化膜の形成および除去工程の結果、金属配線パターン中の結晶粒のモフォロジーに対応して形成され、これに伴い金属配線パターン表面に沿った金属原子の拡散距離が増大する。その

50

結果、金属原子の金属配線パターン外部への、拡散による流出が抑制される。

本発明の他の課題は、

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、

前記配線溝を金属層により充填する工程と、

前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去する工程と、

前記化学機械研磨工程の後、前記金属層を熱処理する工程と、

前記熱処理工程の後、前記金属配線層の表面を平坦化する工程を含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法を提供することにある。

本発明によれば、化学機械研磨を行った後の状態で金属層を熱処理することにより、前記金属層中に残留している応力が効果的に緩和される。かかる応力の緩和に伴い前記金属層の表面には金属原子のストレスマイグレーションにより先に図3A, 3Bで説明したような突起が形成されることがあるが、本発明ではその後で金属層の表面を平坦化することにより、このような突起が除去され、その結果、表面が平坦化され、しかも応力が完全に緩和された金属層あるいは金属配線パターンが得られる。特に前記熱処理を、前記化学機械研磨の結果、前記配線溝中に金属配線パターンが形成された状態で行った場合には、その後の平坦化工程は単にバリアメタル膜を層間絶縁膜表面から除去するだけのわずかな研磨処理で十分であり、平坦化工程により金属配線パターン中に再び残留応力が導入されるのが効果的に回避できる。このような金属層中の残留応力は、例えば図1GのCu層34の場合、再結晶化および結晶粒成長のために行われる熱処理の結果、Cu層34の全体としては緩和されているが、このような厚いCu層34が形成された状態で熱処理を行っただけでは、Cu層34の内部には局所的な残留応力が存在していると考えられる。また、図1Hの化学機械研磨の際にも、前記金属配線パターン中に新たに残留応力が導入される可能性がある。本発明は、このような従来の問題点を解決する。

本発明のその他の特徴および利点は、以下に図面を参照しながら行う発明の詳細な説明より明らかとなろう。

【図面の簡単な説明】

図1A～図1Kは、デュアルダマシン法を使った従来が多層配線構造の形成工程を示す図；

図2は、従来が多層配線構造において生じる欠陥の発生機構を示す図；

図3A, 3Bは従来が多層配線構造において生じる欠陥の発生機構を別の図；

図4A～4Cは、本発明の第1実施例による多層配線構造の形成方法を示す図；

図5は本発明第1実施例による多層配線構造を有する半導体装置の構成を示す図；

図6は、本発明の第1実施例による多層配線構造により得られるCu原子の拡散の抑制を示す図；

図7A～7Cは、本発明の第2実施例による多層配線構造の形成方法を示す図；

図8は、本発明の第2実施例において使われるCMP装置の構成を示す図である。

発明を実施するための最良の態様

[第1実施例]

以下、本発明の第1実施例を説明する。

本実施例においては最初に、先に説明した図1A～図1Hの工程を行ない、図1Hに示すように、層間絶縁膜28中にバリアメタル膜32を介してCu配線パターン34Aが形成され、また層間絶縁膜24中にバリアメタル膜32を介してCuプラグ34Bが形成された構造が得られる。

ただし本実施例では、前記層間絶縁膜24および28として、例えばダウケミカル社より登録商標S i L Kとして市販されている低誘電率芳香族炭化水素ポリマを使い、また前記エッチングストップ膜22として、プラズマCVD法により形成したS i C膜を使う。プラズマCVD法によるS i C膜の成膜は、例えばトリメチルシランを原料に使い、約400の基板温度で50～700Wの高周波パワーを供給しながら実行するのが好ましい。また前記バリアメタル膜32としては、厚さが10～20nm程度のT a N膜とT a膜

とを積層した通常のバリアメタル膜を使うことができる。これらのバリアメタル膜はスパッタリング法あるいは反応性スパッタリング法により形成することができる。

勿論、前記層間絶縁膜 28 としては有機炭化水素ポリマ膜以外にも、有機 SOG 膜、HSQ (hydrogen silsesquioxane) などの無機シロキサン膜、MSQ (methyl silsesquioxane) などの有機シロキサン膜、さらには低誘電率多孔質膜、あるいは従来 SiO₂ 膜を使うことも可能である。さらに前記バリアメタル膜 32 としては Ti 膜あるいは TiN 膜を使うことも可能である。

図 4 A は、図 1 H の状態における、前記 Cu 配線パターン 34 A の破線で囲んだ表面部分を拡大して示す図である。

図 4 A を参照するに、Cu 配線パターン 34 A は先に図 3 A, 3 B で説明したように粒界 34 b で画成された多数の Cu 結晶粒 34 g より構成されており、CMP 工程により平坦化された主面 34 a を有しているのがわかる。

本実施例では図 1 H の工程の後、図 1 I の工程の前に、図 1 H の構造に対して酸素プラズマ処理を行ない、図 4 B に示すように前記 Cu 配線パターン 34 A の表面 34 a に酸化膜 34 O を形成する。

本実施例では前記酸化処理は、被処理基板を処理容器中において室温に保持し、13.3 Pa (0.1 Torr) の圧力下、50 - 100 W の高周波プラズマを供給することにより行う。その際、前記処理容器中に酸素ガスを約 100 SCCM の流量で供給することにより、前記 Cu 配線パターン 34 A の表面 34 a に Cu の酸化膜 34 O を形成する。例えば上記のプラズマ酸化処理を 5 分間行うことにより、前記酸化膜 34 O を 25.4 nm の平均膜厚で形成できる。またこのプラズマ酸化処理を 2 分間行った場合には、前記酸化膜 34 O を 11 nm の平均膜厚に形成できる。

このようにして形成された酸化膜 34 O は CuO あるいは Cu₂O、あるいは CuO と Cu₂O の混合物よりなり、結晶粒界 34 b に対応して膜厚が変化することを特徴とする。またこのような酸化膜 34 O の形成に伴い、酸素原子が前記表面 34 a から結晶粒界に沿って Cu 配線パターン 34 A の内部に侵入し、その結果、特に前記表面 34 a から内部に連続して延在する結晶粒界 34 b には、酸素濃度の高い領域 34 o が形成される。このような高酸素濃度領域 34 o においても酸素は Cu 結晶 34 g を構成する Cu 原子と結合し、1 ないし数原子層程度の CuO あるいは Cu₂O よりなる酸化膜を形成しているものと考えられる。

本実施例では、図 4 B の工程の後、図 1 I の工程の代わりに図 4 C の工程を行ない、NH₃ プラズマあるいは水素プラズマを使って前記酸化膜 34 O を除去する。

例えばかかる酸化膜除去工程は、被処理基板を処理容器中において 400 の温度に保持し、240 Pa (1.8 Torr) の圧力下、200 W の高周波プラズマを供給することにより行う。その際、前記処理容器中に NH₃ ガスを 4000 SCCM の流量で供給することにより、前記酸化膜 34 O はプラズマ励起された水素ラジカルとの反応により除去され、その結果、図 4 C に示すように Cu 配線パターン 34 A の表面には、前記結晶粒 34 g に対応した凹凸 34 a' が形成される。図 4 C に示すように、このように前記酸化膜 34 O を除去した後も、前記結晶粒界に形成された酸化膜 34 o は残留する。なお図 4 C の酸化膜除去工程は NH₃ ガスの代わりに水素ガスを供給することで行うことも可能である。

なお、先に従来技術に関連して説明した図 1 I の工程は、特開平 2000 - 2008 32 号公報などにおいて Cu 配線層上に SiN や SiC などの無機バリア膜を形成する際に、Cu 配線層表面を H₂, N₂, NH₃ あるいは希ガスなどの非酸化性プラズマ雰囲気に曝露することで汚染を除去し、前記無機バリア層と Cu 配線層との密着性を向上させるために設けられているものであるが、図 4 C の工程は、先の図 4 B の工程で形成された酸化膜 34 O の除去のために設けられるものであり、同じような NH₃ プラズマあるいは水素プラズマを使うにしても、プロセスの意味合いは従来のものとは異なっていることに注意すべきである。

図 4 C の工程の結果、前記 Cu 配線パターン 34 A の表面には、前記表面に到達してい

る結晶粒界の部分を除き、酸素原子は存在しない。しかし、図4Cの構造はCu配線パターン34Aの表面に酸素が存在しない場合のみを表すものではなく、前記表面での酸素濃度が前記結晶粒界中における酸素濃度よりも低い状態をも表している。

図4Cの工程の後、先に説明したのと同様に図1J以降の工程が実行され、図5に示す多層配線構造が得られる。ただし本実施例においては前記配線パターン34Aの表面に凹凸34a'が形成され、また前記結晶粒界34bのうち、前記表面34a'から配線パターン34A内部に向かって延在する部分には、酸素原子濃度の高い酸化膜34oが形成されている。

本実施例においてはこのように前記配線パターン34Aの表面に凹凸34a'が存在するため配線パターン34Aの表面を通してCu原子が移動する際に拡散距離が増大し、その結果、配線パターン34Aの表面に沿ったCu原子の移動が抑制される。

また図6に示すように本実施例においては前記配線パターン34Aの表面近傍において結晶粒界に酸化膜ないし高酸素濃度領域34oが形成されているためこれらの領域においてはCu原子が酸素原子によりピニングされ、表面へのCu原子の拡散が効果的に抑制される。その結果、このような多層配線構造を有する半導体装置を動作させた場合、あるいは通電試験を行った場合などにおいて生じていた、図2で説明したボイド形成の問題が解消される。

なお、本実施例において前記酸化処理はプラズマ酸化処理としたが、これを酸素雰囲気中での急速熱処理により行うことも可能である。ただし酸素の侵入が結晶粒界34oに沿って配線パターン34Aの内部深くまで生じた場合には配線パターン34Aの電気抵抗が増大するため、前記酸化膜34oの形成は、30nm以下、例えば先に説明したように25.4nm程度あるいはそれ以下に留めるのが好ましい。

このようにして処理した配線パターン34Aの表面状態を走査型電子顕微鏡(SEM)により検査したところ、図2で説明したボイド20Xの割合が、このような処理を行わなかった比較対照例と比較して、面積比で60%低減されているのが確認されている。

[第2実施例]

次に本発明の第2実施例による多層配線構造の形成工程を説明する。

本実施例においては最初に、先に説明した図1A~図1Gの工程を行ない、図1Gに示すように、前記バリアメタル膜32上に、前記図1Fの配線溝28Aおよびビアホール24Aを充填するようにCu層34が電解めっき法などにより形成される。

先にも説明したように、本実施例においても前記層間絶縁膜24および28としては、例えばダウケミカル社より登録商標SILKとして市販されている低誘電率芳香族炭化水素ポリマが使われ、また前記エッチングストッパ膜22として、プラズマCVD法により形成したSiC膜が使われる。さらにバリアメタル膜32としてはTa₂N膜とTa膜とを積層した通常のバリアメタル膜が使われる。

また本実施例においても前記層間絶縁膜28としては、有機炭化水素ポリマ膜以外にも、有機SiO₂膜、HSQ(hydrogen silsesquioxane)などの無機シロキサン膜、MSQ(methyl silsesquioxane)などの有機シロキサン膜、さらには低誘電率多孔質膜、あるいは従来SiO2膜を使うことも可能である。さらに前記バリアメタル膜32としてはTi膜あるいはTiN膜を使うことも可能である。

本実施例では図1Gの工程の後、図7Aの工程が実行され、前記バリアメタル膜32上に堆積しているCu層34が、前記バリアメタル膜32をストッパに、CMP法により除去される。

先にも説明したように、図1Gの工程において前記Cu層34を再結晶させる熱処理が行われていても、前記Cu層34の内部には局所的な残留応力が残留している可能性があり、また図1HのCMP工程において前記Cu層34中には新たに応力が蓄積される可能性がある。すなわち、図7Aの状態では、前記Cu配線パターン34A中に実質的な残留応力が存在する可能性があり、このような残留応力が、先に図3A, 3Bで説明したCu原子の界面拡散による欠陥34Xの発生をもたらすと考えられる。

10

20

30

40

50

そこで、本実施例においては前記図7Aの工程に引き続いて図7Bの工程を行ない、図7Aの構造を不活性雰囲気中、250以上、400以下の温度で熱処理する。例えばかかる熱処理を大気圧の窒素雰囲気中で10分間程度行うことにより、前記Cu配線パターン34A中には応力緩和が生じ、これに伴うCu原子の拡散の結果、図7Bに示すように前記Cu配線パターン34A上には、先に図3A, 3Bで説明したのと同様な突起34Xが形成される。このような突起34Xは、一般に1 μ m以下の高さを有している。

次に図7Bの工程において前記SiC膜30をストッパにCMP工程を行ない、前記SiC膜30上のバリアメタル膜32およびSiC膜30を除去する。この工程により、前記Cu配線パターン34Aの表面も研磨により平坦化され、その結果、図7Cに示すように前記突起34Xは除去される。

10

図7Cの工程の後、図1Iのクリーニング工程において前記Cu配線パターン34A表面の不純物が除去され、さらに図1J以降の工程を行うことにより、図1Kに示す構造の多層配線構造を有する半導体装置が得られる。

図7CのCMP工程では前記Cu配線パターン34A中に研磨に伴う応力が蓄積される可能性はあるが、前記バリアメタル膜32およびSiC膜30は合計しても100nm未満の膜厚しか有していないため、このような研磨工程を行っても、前記Cu配線パターン34A中に実質的な、すなわち熱処理により突起34Xが形成されるような応力が蓄積されることはない。

このように本実施例によれば、前記配線パターン34Aおよびビアプラグ34B中に残留応力のない配線構造を、ダマシン法あるいはデュアルダマシン法により形成することができる。本実施例のシングルダマシン法への拡張は自明であり、説明を省略する。

20

図8は、本実施例において使われるCMP装置100の構成を示す。ただし図示のCMP装置100は本実施例に必須なものではなく、他の装置により本実施例を実施することも可能である。

図8を参照するに、CMP装置100は基台101上にウェハカセット102A~102Cを保持するウェハカセット保持部102と、前記ウェハカセット保持部102中のウェハを受け渡すウェハ搬送ユニット103とを備え、さらに前記ウェハ搬送ユニット103との間でウェハをやりとりする研磨プラテンユニット104および105を備えている。このうち研磨プラテンユニット104はCu層のCMPに、また研磨プラテンユニット105はバリアメタル層のCMPに使われる。

30

さらに前記基台101上には前記研磨プラテン104, 105で研磨されたウェハを洗浄する洗浄ユニット106と、図7Bの熱処理工程を行うための炉107とが設けられている。

そこで図1Gの状態の被処理基板が前記ウェハカセット保持部102中のウェハカセット102A~102Cのいずれかに保持されると、前記ウェハ搬送ユニット103がこれを研磨プラテンユニット104に搬送し、前記Cu層34が研磨される。前記研磨プラテンユニット104におけるCMP工程の結果、図7Aの構造の試料が得られ、これが前記洗浄ユニット106における洗浄の後、前記ウェハ搬送ユニット103を介して炉107に送られる。

炉107では図7Bで説明した熱処理工程が行われ、得られた試料は前記ウェハ搬送ユニット103を介して研磨プラテン105に送られる。

40

研磨プラテン105においては図7CのCMP工程が行われ、得られた試料は前記洗浄ユニット106で洗浄の後、前記ウェハカセット保持部102に戻される。なお、ウェハ搬送ユニット103には、研磨プラテン104および105で処理され純水が付着したウェハを搬送するウェットユニットと、ウェハカセット102A~102C、洗浄ユニット106および炉107から送られる乾燥状態のウェハを搬送するドライユニットとが含まれる。

図8のCMP装置100を使うことにより、図7A~7Cの工程を枚葉プロセスにより、他の工程と協同しながら効率的に実行することができる。

なお図8のCMP装置100において基台上に炉107が設けられていない場合には、

50

研磨プラテン104で処理された図7Aの状態の試料を外部の炉に搬送することにより、
所望の処理を行うことが可能である。

なお本実施例では図7Bの熱処理工程を、大気圧の窒素雰囲気中において行う例を説明したが、前記窒素雰囲気に非酸化性ガス、例えば水素ガスを添加することも可能である。またこの熱処理を $1.33 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ (10^{-5} Torr)以下の真空雰囲気中において行うことも可能である。前記熱処理工程の温度が250よりも低い場合には、図7Bの工程において十分な応力の緩和が達成されず、前記Cu配線パターン34A中に応力が残留してしまう。一方、前記熱処理工程の温度が500を超えると、特に層間絶縁膜として低誘電率有機絶縁膜を使っている場合、層間絶縁膜が熱処理に耐えられなくなる。このことから、図7Bの工程における熱処理は、250～400の範囲の温度で行うのが好ましい。

10

さらに、本実施例においてCu配線パターン34Aを形成した場合、図7Cの構造に対して先の実施例の酸化処理および酸化膜除去処理を行うことも可能である。

さらに以上の各実施例においてCu配線パターン34Aは銅合金であってもよい。

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【産業上の利用可能性】

本発明によれば、層間絶縁膜中の配線溝を充填するように形成された金属配線パターン中の結晶粒界に酸素を導入することにより、かかる結晶粒界に沿った金属配線パターン表面への金属元素の拡散が抑制され、かかる多層配線構造を有する半導体装置の動作中、例えば通電試験の際に多層配線構造を構成する金属配線パターンに生じるボイドなどの欠陥の発生が抑制される。また本発明によれば、前記金属配線パターン表面に凹凸が、酸化膜の形成および除去工程の結果、金属配線パターン中の結晶粒のモフォロジーに対応して形成され、これに伴い金属配線パターン表面に沿った金属原子の拡散距離が増大する。その結果、金属原子の金属配線パターン外部への、拡散による流出が抑制される。

20

また本発明によれば、化学機械研磨を行った後の状態で金属層を熱処理することにより、前記金属層中に残留している応力が効果的に緩和される。かかる応力の緩和に伴い前記金属層の表面には金属原子のストレスマイグレーションにより先に図3A, 3Bで説明したような突起が形成されることがあるが、本発明ではその後で金属層の表面を平坦化することにより、このような突起が除去され、その結果、表面が平坦化され、しかも応力が完全に緩和された金属層あるいは金属配線パターンが得られる。特に前記熱処理を、前記化学機械研磨の結果、前記配線溝中に金属配線パターンが形成された状態で行った場合には、その後の平坦化工程は単にバリアメタル膜を層間絶縁膜表面から除去するだけのわずかな研磨処理で十分であり、平坦化工程により金属配線パターン中に再び残留応力が導入されるのが効果的に回避できる。このような金属層中の残留応力は、例えば図1GのCu層34の場合、再結晶化および結晶粒成長のために行われる熱処理の結果、Cu層34の全体としては緩和されているものの、このような厚いCu層34が形成された状態で熱処理を行っただけでは、Cu層34の内部には局所的な残留応力が存在していると考えられる。また、図1Hの化学機械研磨の際にも、前記金属配線パターン中に新たに残留応力が導入される可能性がある。本発明は、このような従来の問題点を解決することができる。

30

40

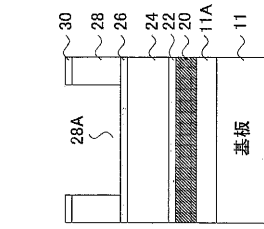


FIG. 1B

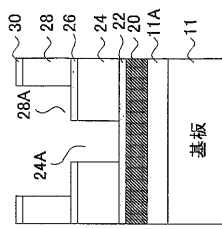


FIG. 1D

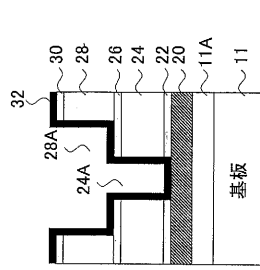


FIG. 1F

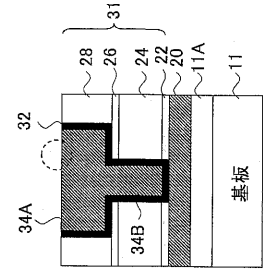


FIG. 1H

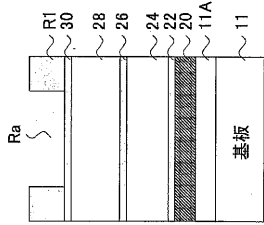


FIG. 1A

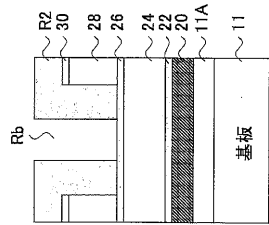


FIG. 1C

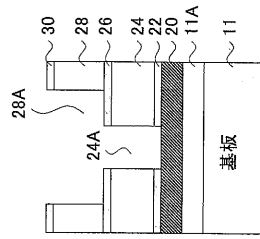


FIG. 1E

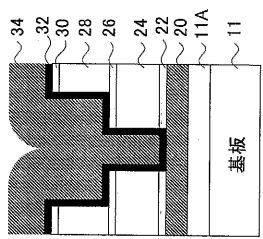


FIG. 1G

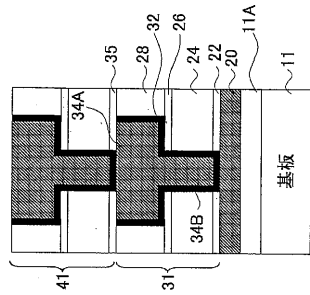


FIG. 1K

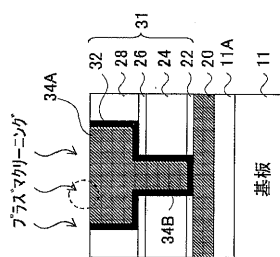


FIG. 1I

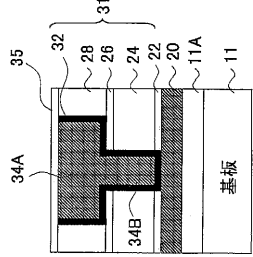


FIG. 1J

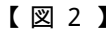


FIG. 2

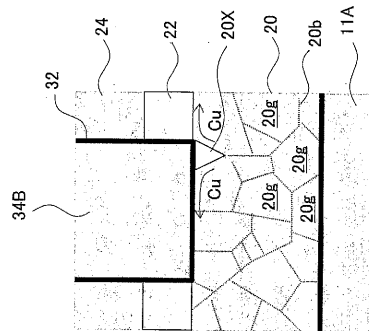


FIG.3B

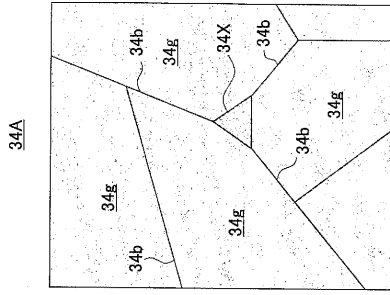
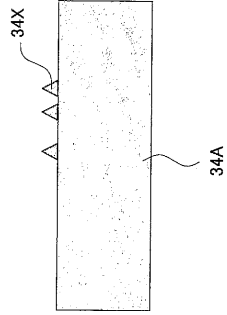
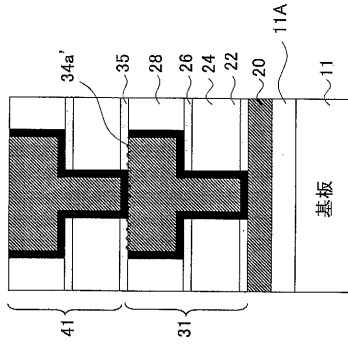


FIG.3A



【 図 5 】

FIG.5



【 図 6 】

FIG.6

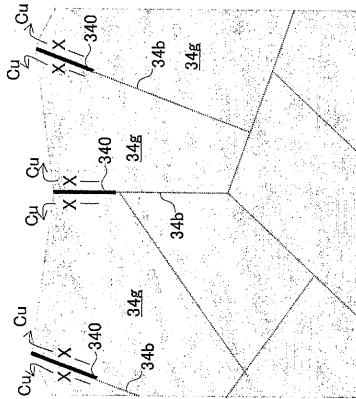


FIG.4C

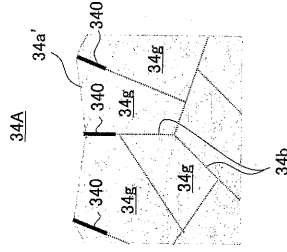


FIG.4B

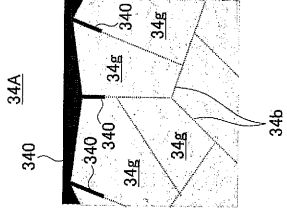


FIG.4A

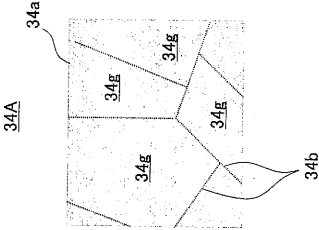


FIG.7C

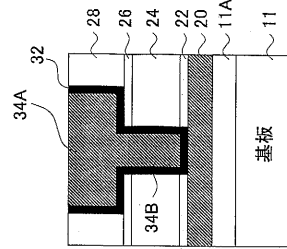


FIG.7B

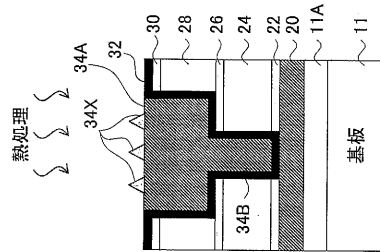
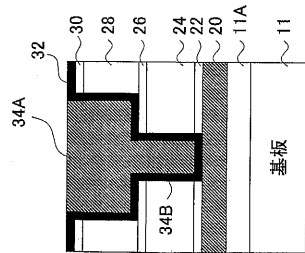
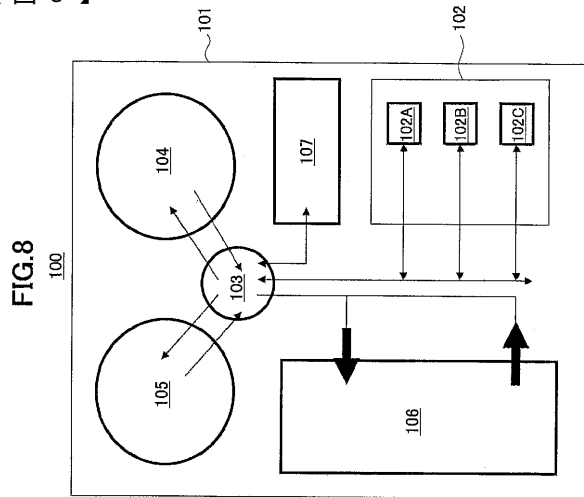


FIG.7A



【 図 8 】



【 手続補正書 】

【 提出日 】 平成17年1月18日 (2005.1.18)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

第 1 の層間絶縁膜と、

前記第 1 の層間絶縁上に形成された第 2 の層間絶縁膜と、

前記第 2 の層間絶縁膜中に形成され第 1 のバリアメタル膜で側壁面および底面が覆われた配線溝と、

前記第 1 の層間絶縁膜中に形成され第 2 のバリアメタル膜で側壁面と底面が覆われたビアホールと、

前記配線溝を充填する配線パターンと、

前記ビアホールを充填するビアプラグとよりなり、

前記ビアプラグは前記配線パターンの表面にコンタクトし、

前記配線パターンは前記表面に凹凸を有し、

前記配線パターンは、前記配線パターン中において前記表面から前記配線パターン内部に向かって延在する結晶粒界に沿って、前記表面におけるよりも高い濃度で酸素原子を含むことを特徴とする多層配線構造。

【 請求項 2 】

前記酸素原子は、前記結晶粒界において前記配線パターンを形成する金属元素と結合し、酸化物を形成することを特徴とする請求項 1 記載の多層配線構造。

【請求項 3】

前記配線パターンは銅配線パターンよりなり、前記酸化物はCuOあるいはCu₂Oよりなることを特徴とする請求項1記載の多層配線構造。

【請求項 4】

前記配線パターンは銅配線パターンよりなり、前記酸化物はCuOとCu₂Oの混合物よりなることを特徴とする請求項1記載の多層配線構造。

【請求項 5】

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、
前記配線溝を金属層により充填する工程と、
前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去し、前記配線溝中に金属配線パターンを形成する工程とよりなる多層配線構造の形成方法において、
前記化学機械研磨工程の後、前記金属配線パターンの表面を酸化し、酸化膜を形成する工程と、
前記酸化膜を除去する工程とをさらに含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法。

【請求項 6】

前記酸化膜を形成する工程は、前記金属配線パターンの表面を酸素プラズマで処理する工程を含むことを特徴とする請求項5記載の多層配線構造の形成方法。

【請求項 7】

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、
前記配線溝を金属層により充填する工程と、
前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去する工程と、
前記化学機械研磨工程の後、前記金属層を熱処理する工程と、
前記熱処理工程の後、前記金属配線層の表面を平坦化する工程を含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法。

【請求項 8】

前記配線溝を前記金属層により充填する工程は、前記層間絶縁膜の上主面および前記配線溝の表面をバリアメタル膜で覆う工程と、前記金属層を前記バリアメタル膜上に堆積する工程とよりなり、前記化学機械研磨工程は、前記層間絶縁膜上の前記バリアメタル膜をストッパとして実行されることを特徴とする請求項7記載の多層配線構造の形成方法。

【請求項 9】

前記配線溝を前記金属層により充填する工程は、前記層間絶縁膜の上主面および前記配線溝の表面をバリアメタル膜で覆う工程と、前記金属層を前記バリアメタル膜上に堆積する工程とよりなり、前記化学機械研磨工程は、前記層間絶縁膜上の前記バリアメタル膜をストッパとして実行され、前記平坦化工程は、前記金属層および前記バリアメタル膜を、前記層間絶縁膜の前記上主面が露出するまで研磨する別の化学機械研磨工程よりなることを特徴とする請求項7記載の多層配線構造の形成方法。

【請求項 10】

基板と、前記基板上に形成された多層配線構造とよりなる半導体装置であって、
前記多層配線構造は、
第1の層間絶縁膜と、
前記第1の層間絶縁上に形成された第2の層間絶縁膜と、
前記第2の層間絶縁膜中に形成され第1のバリアメタル膜で側壁面および底面が覆われた配線溝と、
前記第1の層間絶縁膜中に形成され第2のバリアメタル膜で側壁面と底面が覆われたビアホールと、
前記配線溝を充填する配線パターンと、
前記ビアホールを充填するビアプラグとよりなり、
前記ビアプラグは前記配線パターンの表面にコンタクトし、

前記配線パターンは前記表面に凹凸を有し、

前記配線パターンは、前記配線パターン中において前記表面から前記配線パターン内部に向かって延在する結晶粒界に沿って、前記表面におけるよりも高い濃度で酸素原子を含むことを特徴とする半導体装置。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置及びその製造方法に関し、特に多層配線構造を有する半導体装置及びその製造方法に関する。

微細化技術の進展に伴い、半導体集積回路の集積密度は年々向上しているが、かかる集積密度の増大に伴い、半導体集積回路中における配線抵抗および配線容量に起因する配線遅延の問題が顕在化している。かかる配線遅延の問題に鑑み、最近では低抵抗のCuを配線パターンとして使用し、また低誘電率の有機膜を層間絶縁膜として使用する技術が研究されている。

従来よりCuをドライエッチングによりパターンニングする有効な方法が知られていないため、Cuを配線パターンに使う場合には、層間絶縁膜中に配線溝及びコンタクトホールを先に形成し、これをCuで埋めるいわゆるデュアルダマシン法が使われている。デュアルダマシン法では、コンタクトホールと配線溝をCu等の配線材料により埋め込み、さらに化学機械研磨(CMP; Chemical Mechanical Polishing)法により不要部分の配線材料を研磨・除去することによりコンタクトホール及び配線溝に埋め込まれた、平坦化された配線パターンを形成する。デュアルダマシン法によれば、幅の狭い高アスペクト比の配線パターンをエッチングにより形成する必要がなく、また配線間の微細なスペースを層間絶縁膜により埋め込む必要もなく、非常に微細化された配線パターンを容易に形成することができる。デュアルダマシン法による多層配線構造の形成は、配線のアスペクト比が高くなるほど、また配線総数が増大するほど有効であり、超微細化半導体装置の製造コストの削減に大きく寄与する。

【背景技術】

図1Aの(A)~図1Cの(K)は従来の典型的なデュアルダマシン法による多層配線構造の形成工程を示す。

図1Aの(A)を参照するに、図示を省略するトランジスタなどの活性素子が形成されたSi基板11上には、絶縁膜11Aを介してポリシリコン、W、Cu等の下層配線パターン20が形成されており、前記下層配線パターン20上にはSiNあるいはSiCよりなる第1のエッチングストップ膜22がプラズマCVD法などの堆積法により形成される。以下の説明は、前記下層配線パターン20がCu配線パターンである場合について行う。

前記エッチングストップ膜22上にはさらに低誘電率無機絶縁膜あるいは有機炭化水素ポリマなどの低誘電率有機絶縁膜よりなる第1の層間絶縁膜24が典型的にはスピノン法により形成され、さらに前記層間絶縁膜24上にはSiNあるいはSiCなどよりなる第2のエッチングストップ膜26がプラズマCVD法より形成される。

前記エッチングストップ膜26上には第2の層間絶縁膜28が同様にして形成され、前記層間絶縁膜28上にはさらにSiNあるいはSiCなどよりなる第3のエッチングストップ膜30が、プラズマCVD法などにより形成される。

図1Aの工程(A)では前記エッチングストップ膜30上にレジストパターンR1が形成されるが、前記レジストパターンR1中にはレジスト開口部Raが、多層配線構造中に形成される第1層目の配線溝に対応して形成される。

次に図1Aの工程(B)で、前記レジストパターンR1をマスクに前記SiN膜30に

対してドライエッチングを行ない、前記レジスト開口部 R a に対応した開口部を前記エッチングストップ膜 3 0 中に形成する。さらに、前記開口部の形成の後、前記レジストパターン R 1 をアッシングにより除去し、前記 S i N 膜 3 0 をマスクに前記層間絶縁膜 2 8 をドライエッチングし、前記層間絶縁膜 2 8 中に前記レジスト開口部 R a に対応した配線溝 2 8 A を形成する。

次に図 1 A の工程 (C) で前記図 1 A の工程 (B) の構造上に、前記エッチングストップ膜 3 0 を覆うように、また前記配線溝 2 8 A を充填するようにレジスト膜 R 2 を形成し、さらにこれをパターニングして前記配線溝 2 8 A 中に、前記配線溝中に形成されるビアホールに対応したレジスト開口部 R b を形成する。

さらに図 1 A の工程 (D) において前記エッチングストップ膜 2 6 を、前記レジストパターン R 2 をマスクにドライエッチングし、前記レジスト開口部 R b に対応した開口部を前記エッチングストップ膜 2 6 中に形成する。

図 1 A の工程 (D) では、さらに前記層間絶縁膜 2 4 を前記エッチングストップ膜 2 6 および 3 0 をマスクにドライエッチングすることにより、前記層間絶縁膜 2 4 中に、前記レジスト開口部 R b に対応して、前記エッチングストップ膜 2 2 を露出するビアホール 2 4 A を形成する。

さらに図 1 B の工程 (E) において前記ビアホール 2 4 A の底に露出されたエッチングストップ膜 2 2 をエッチングにより除去し、ビアホール 2 4 A の底に C u 配線パターン 2 0 を露出した後、図 1 B の工程 (F) において図 1 B の工程 (E) の構造上に T a N 膜などの導電性窒化膜を含むバリアメタル膜 3 2 をスパッタリング法等により堆積し、前記配線溝 2 8 A 及びビアホール 2 4 A の表面を前記バリアメタル膜 3 2 およびシード C u 膜により覆う。

なお、図 1 B の工程 (E) の構造を形成するにあたり、先にビアホール 2 4 A を形成し、その後で配線溝 2 8 A を形成する工程を採用することも可能である。

次に図 1 B の工程 (G) において前記配線溝 2 8 A およびビアホール 2 4 A を充填するように C u 層 3 4 を電解めっき法により形成し、さらにこれを窒素あるいは A r などの不活性雰囲気中で熱処理することにより C u 層 3 4 中の結晶粒を成長させ、安定な微構造を形成する。

次に図 1 B の工程 (H) において前記層間絶縁膜 2 8 上の C u 層 3 4 、バリアメタル膜 3 2 およびエッチングストップ膜 3 0 を化学機械研磨 (C M P) により除去し、図 1 B の工程 (H) に示す平坦化された構造を得る。図 1 B の工程 (H) 構造においては前記配線溝 2 8 A を充填するように C u 配線パターン 3 4 A が形成され、さらに前記 C u 配線パターン 3 4 A から前記ビアホール 2 4 A を充填するように C u プラグ 3 4 B が延出する。前記 C u 配線パターン 3 4 A と C u プラグ 3 4 B とは第 1 の配線層 3 1 を構成する。

次に図 1 B の工程 (H) の構造は図 1 C の工程 (I) において H₂ , N H₃ , N₂ あるいは希ガスのプラズマにより処理され、その結果、図 1 B の工程 (H) の C M P 工程の際に C u 配線パターン 3 4 A の表面に生じた汚染がプラズマにより除去される。

図 1 C の工程 (I) の後、図 1 C の工程 (J) において図 1 C の工程 (I) の構造上に前記 C u 配線パターン 3 4 A を覆うように、S i N などよりなるキャップ膜 3 5 が形成され、さらにこのキャップ膜 3 5 を先のエッチングストップ膜 2 2 と同様に使って図 1 A の工程 (A) ~ 図 1 C の工程 (H) を繰り返すことにより、図 1 C の工程 (K) に示すように、前記第 1 の配線層 3 1 上に第 2 の配線層 4 1 が形成された多層配線構造が形成される。

前記キャップ膜 3 5 を設けることにより、C u 配線パターン 3 4 A の表面に沿った C u 原子の移動が抑制され、上層の配線層形成プロセスに伴って下層配線層中に生じる欠陥の発生が、また様々な条件下における多層配線構造の使用に伴って配線層中に生じる欠陥の発生が抑制される。また先に説明した図 1 C の工程 (I) の表面処理工程を行うことにより、前記配線パターン 3 4 A とキャップ層 3 5 との密着性が向上する。図 1 C の工程 (I) による密着性の向上については、特開 2 0 0 0 - 2 0 0 8 3 2 号公報を参照。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

一方、このようなCu多層配線構造を有する半導体装置に対して高温で通電試験を行った場合、Cu原子が配線層表面を移動し、後にポイドなどの欠陥を生成させる現象が知られている。例えば通電試験は試験時間を短縮するため400程度の温度で行われることが多いが、このような試験の結果、図2に示すように、Cu配線層20中にポイドないし欠陥20Xが形成されることがある。ただし図2は図1K中、破線で囲んだ部分の拡大図である。

図2を参照するに、前記Cu配線層20は各々結晶粒界20bで画成された多数のCu結晶粒20gより構成されているのがわかる。図示は省略するが、同様な微構造は、Cuプラグ34B中にも形成されている。

このようなポイド20Xの形成は、Cu配線層20中においてCu原子が結晶粒界20bに沿って図中に矢印で示すように拡散し、その結果形成されるものと考えられる。同様な欠陥は、配線パターン34Aにおいても、またビアプラグ34Bにおいても生じ得る。このようなポイドの形成は、特にCuプラグ34Bとコンタクトしている部分に発生した場合、多層配線構造の信頼性に対して深刻な問題となる。

また従来、図1Cの工程(I)のプラズマによる表面処理工程の後、図1Cの工程(J)のキャップ層35の堆積に先立って、被処理基板を400程度の温度に加熱することが行われているが、このような工程において、図3(A)、(B)に示すように、Cu配線パターン34Aの表面に突起34Xが形成されることがある。ただし図3(A)、(B)は図1Cの工程(I)中、破線で囲んだ部分のそれぞれ拡大断面図および拡大平面図を示す。

図3(A)、(B)を参照するに、前記Cu配線パターン34Aは各々結晶粒界34bにより画成された多数のCu結晶粒34gより構成されており、前記突起34Xは主に三つの結晶粒界34bが交わるいわゆる三重点に対応して形成されているのがわかる。

このように突起34Xは結晶粒界34bに対応して形成されており、このことから、突起34Xも結晶粒界34bに沿って生じるCu原子の移動により形成されるものと考えられる。ただし突起34Xの場合には、結晶粒界に沿って生じるCu原子の移動は、Cu配線パターン34A中に存在する残留応力の緩和に伴って発生するものと考えられる。このような突起34Xが形成されると、薄いキャップ膜35のバリア機能が損なわれる恐れがあり、多層配線構造に信頼性に対する深刻な問題となる。

そこで、本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な半導体装置およびその製造方法を提供することを概括的課題とする。

本発明の他のより具体的な課題は、欠陥が少なく信頼性の高い金属配線パターンを有する多層配線構造を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

本発明の他の課題は、金属配線パターンを有する多層配線構造の形成の際に、結晶粒界に沿った金属原子の移動を効果的に抑制できる多層配線構造の製造方法を提供することにある。

本発明の他の課題は、

第1の層間絶縁膜と、

前記第1の層間絶縁上に形成された第2の層間絶縁膜と、

前記第1の層間絶縁膜中に形成され第1のバリアメタル膜で側壁面および底面が覆われた配線溝と、

前記第2の層間絶縁膜中に形成され第2のバリアメタル膜で側壁面と底面が覆われたビアホールと、

前記配線溝を充填する配線パターンと、

前記ビアホールを充填するビアプラグとよりなり、

前記ビアプラグは前記配線パターンの表面にコンタクトし、

前記配線パターンは前記表面に凹凸を有し、

前記配線パターンは、前記配線パターン中において前記表面から前記配線パターン内部

に向かって延在する結晶粒界に沿って、前記表面におけるよりも高い濃度で酸素原子を含むことを特徴とする多層配線構造を提供することにある。

本発明の他の課題は、

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、

前記配線溝を金属層により充填する工程と、

前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去し、前記配線溝中に金属配線パターンを形成する工程とよりなる多層配線構造の形成方法において、

前記化学機械研磨工程の後、前記金属配線パターンの表面を酸化し、酸化膜を形成する工程と、

前記酸化膜を除去する工程とをさらに含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法を提供することにある。

本発明によれば、層間絶縁膜中の配線溝を充填するように形成された金属配線パターン中の結晶粒界に酸素を導入することにより、かかる結晶粒界に沿った金属配線パターン表面への金属元素の拡散が抑制され、かかる多層配線構造を有する半導体装置の動作中、例えば通電試験の際に多層配線構造を構成する金属配線パターンに生じるボイドなどの欠陥の発生が抑制される。また本発明によれば、前記金属配線パターン表面に凹凸が、酸化膜の形成および除去工程の結果、金属配線パターン中の結晶粒のモフォロジーに対応して形成され、これに伴い金属配線パターン表面に沿った金属原子の拡散距離が増大する。その結果、金属原子の金属配線パターン外部への、拡散による流出が抑制される。

本発明の他の課題は、

層間絶縁膜中に配線溝を形成する工程と、

前記配線溝を金属層により充填する工程と、

前記金属層のうち、前記層間絶縁膜の表面上に堆積した部分を化学機械研磨により除去する工程と、

前記化学機械研磨工程の後、前記金属層を熱処理する工程と、

前記熱処理工程の後、前記金属配線層の表面を平坦化する工程を含むことを特徴とする多層配線構造の形成方法を提供することにある。

本発明によれば、化学機械研磨を行った後の状態で金属層を熱処理することにより、前記金属層中に残留している応力が効果的に緩和される。かかる応力の緩和に伴い前記金属層の表面には金属原子のストレスマイグレーションにより先に図3A、3Bで説明したような突起が形成されることがあるが、本発明ではその後で金属層の表面を平坦化することにより、このような突起が除去され、その結果、表面が平坦化され、しかも応力が完全に緩和された金属層あるいは金属配線パターンが得られる。特に前記熱処理を、前記化学機械研磨の結果、前記配線溝中に金属配線パターンが形成された状態で行った場合には、その後の平坦化工程は単にバリアメタル膜を層間絶縁膜表面から除去するだけのわずかな研磨処理で十分であり、平坦化工程により金属配線パターン中に再び残留応力が導入されるのが効果的に回避できる。このような金属層中の残留応力は、例えば図1GのCu層34の場合、再結晶化および結晶粒成長のために行われる熱処理の結果、Cu層34の全体としては緩和されているが、このような厚いCu層34が形成された状態で熱処理を行っただけでは、Cu層34の内部には局所的な残留応力が存在していると考えられる。また、図1Hの化学機械研磨の際にも、前記金属配線パターン中に新たに残留応力が導入される可能性がある。本発明は、このような従来の問題点を解決する。

【発明の効果】

本発明によれば、層間絶縁膜中の配線溝を充填するように形成された金属配線パターン中の結晶粒界に酸素を導入することにより、かかる結晶粒界に沿った金属配線パターン表面への金属元素の拡散が抑制され、かかる多層配線構造を有する半導体装置の動作中、例えば通電試験の際に多層配線構造を構成する金属配線パターンに生じるボイドなどの欠陥の発生が抑制される。また本発明によれば、前記金属配線パターン表面に凹凸が、酸化膜の形成および除去工程の結果、金属配線パターン中の結晶粒のモフォロジーに対応して形

成され、これに伴い金属配線パターン表面に沿った金属原子の拡散距離が増大する。その結果、金属原子の金属配線パターン外部への、拡散による流出が抑制される。

また本発明によれば、化学機械研磨を行った後の状態で金属層を熱処理することにより、前記金属層中に残留している応力が効果的に緩和される。かかる応力の緩和に伴い前記金属層の表面には金属原子のストレスマイグレーションにより先に図3A, 3Bで説明したような突起が形成されることがあるが、本発明ではその後で金属層の表面を平坦化することにより、このような突起が除去され、その結果、表面が平坦化され、しかも応力が完全に緩和された金属層あるいは金属配線パターンが得られる。特に前記熱処理を、前記化学機械研磨の結果、前記配線溝中に金属配線パターンが形成された状態で行った場合には、その後の平坦化工程は単にバリアメタル膜を層間絶縁膜表面から除去するだけのわずかな研磨処理で十分であり、平坦化工程により金属配線パターン中に再び残留応力が導入されるのが効果的に回避できる。このような金属層中の残留応力は、例えば図1Bの工程(G)のCu層34の場合、再結晶化および結晶粒成長のために行われる熱処理の結果、Cu層34の全体としては緩和されているものの、このような厚いCu層34が形成された状態で熱処理を行っただけでは、Cu層34の内部には局所的な残留応力が存在していると考えられる。また、図1Cの工程(H)の化学機械研磨の際にも、前記金属配線パターン中に新たに残留応力が導入される可能性がある。本発明は、このような従来の問題点を解決することができる。

本発明のその他の特徴および利点は、以下に図面を参照しながら行う発明の詳細な説明より明らかとなろう。

【図面の簡単な説明】

【図1A】(A)~(D)は、デュアルダマシン法を使った従来の多層配線構造の形成工程を示す図(その1)である。

【図1B】(E)~(H)は、デュアルダマシン法を使った従来の多層配線構造の形成工程を示す図(その2)である。

【図1C】(I)~(K)は、デュアルダマシン法を使った従来の多層配線構造の形成工程を示す図(その3)である。

【図2】従来の多層配線構造において生じる欠陥の発生機構を示す図である。

【図3】(A), (B)は従来の多層配線構造において生じる欠陥の発生機構を示す別の図である。

【図4】(A)~(C)は、本発明の第1実施例による多層配線構造の形成方法を示す図である。

【図5】本発明第1実施例による多層配線構造を有する半導体装置の構成を示す図である。

【図6】本発明の第1実施例による多層配線構造により得られるCu原子の拡散の抑制を示す図である。

【図7】(A)~(C)は、本発明の第2実施例による多層配線構造の形成方法を示す図である。

【図8】本発明の第2実施例において使われるCMP装置の構成を示す図である。

【発明を実施するための最良の形態】

[第1実施例]

以下、本発明の第1実施例を説明する。

本実施例においては最初に、先に説明した図1Aの工程(A)~図1Cの工程(H)の工程を行ない、図1Cの工程(H)に示すように、層間絶縁膜28中にバリアメタル膜32を介してCu配線パターン34Aが形成され、また層間絶縁膜24中にバリアメタル膜32を介してCuプラグ34Bが形成された構造が得られる。

ただし本実施例では、前記層間絶縁膜24および28として、例えばダウケミカル社より登録商標SiLKとして市販されている低誘電率芳香族炭化水素ポリマを使い、また前記エッチングストップ膜22として、プラズマCVD法により形成したSiC膜を使う。プラズマCVD法によるSiC膜の成膜は、例えばトリメチルシランを原料に使い、約4

00 の基板温度で50～700Wの高周波パワーを供給しながら実行するのが好ましい。また前記バリアメタル膜32としては、厚さが10～20nm程度のTa₂N膜とTa膜とを積層した通常のバリアメタル膜を使うことができる。これらのバリアメタル膜はスパッタリング法あるいは反応性スパッタリング法により形成することができる。

勿論、前記層間絶縁膜28としては有機炭化水素ポリマ膜以外にも、有機SiO₂膜、HSQ (hydrogen silsesquioxane) などの無機シロキサン膜、MSQ (methyl silsesquioxane) などの有機シロキサン膜、さらには低誘電率多孔質膜、あるいは従来のSiO₂膜を使うことも可能である。さらに前記バリアメタル膜32としてはTi膜あるいはTiN膜を使うことも可能である。

図4の(A)は、図1Cの工程(H)の状態における、前記Cu配線パターン34Aの破線で囲んだ表面部分を拡大して示す図である。

図4の(A)を参照するに、Cu配線パターン34Aは先に図3の(A)、(B)で説明したように粒界34bで画成された多数のCu結晶粒34gより構成されており、CMP工程により平坦化された主面34aを有しているのがわかる。

本実施例では図1Cの工程(H)の工程の後、図1Cの工程(I)の前に、図1Cの工程(H)の構造に対して酸素プラズマ処理を行ない、図4の(B)Bに示すように前記Cu配線パターン34Aの表面34aに酸化膜34Oを形成する。

本実施例では前記酸化処理は、被処理基板を処理容器中において室温に保持し、13.3Pa(0.1Torr)の圧力下、50-100Wの高周波プラズマを供給することにより行う。その際、前記処理容器中に酸素ガスを約100SCCMの流量で供給することにより、前記Cu配線パターン34Aの表面34aにCuの酸化膜34Oを形成する。例えば上記のプラズマ酸化処理を5分間行うことにより、前記酸化膜34Oを25.4nmの平均膜厚で形成できる。またこのプラズマ酸化処理を2分間行った場合には、前記酸化膜34Oを11nmの平均膜厚に形成できる。

このようにして形成された酸化膜34OはCuOあるいはCu₂O、あるいはCuOとCu₂Oの混合物よりなり、結晶粒界34bに対応して膜厚が変化することを特徴とする。またこのような酸化膜34Oの形成に伴い、酸素原子が前記表面34aから結晶粒界に沿ってCu配線パターン34Aの内部に侵入し、その結果、特に前記表面34aから内部に連続して延在する結晶粒界34bには、酸素濃度の高い領域34oが形成される。このような高酸素濃度領域34oにおいても酸素はCu結晶34gを構成するCu原子と結合し、1ないし数原子層程度のCuOあるいはCu₂Oよりなる酸化膜を形成しているものと考えられる。

本実施例では、図4の(B)の工程の後、図1Cの工程(I)の代わりに図4の(C)の工程を行ない、NH₃プラズマあるいは水素プラズマを使って前記酸化膜34Oを除去する。

例えばかかる酸化膜除去工程は、被処理基板を処理容器中において400の温度に保持し、240Pa(1.8Torr)の圧力下、200Wの高周波プラズマを供給することにより行う。その際、前記処理容器中にNH₃ガスを4000SCCMの流量で供給することにより、前記酸化膜34Oはプラズマ励起された水素ラジカルとの反応により除去され、その結果、図4の(C)に示すようにCu配線パターン34Aの表面には、前記結晶粒34gに対応した凹凸34a'が形成される。図4の(C)に示すように、このように前記酸化膜34Oを除去した後も、前記結晶粒界に形成された酸化膜34oは残留する。なお図4の(C)の酸化膜除去工程はNH₃ガスの代わりに水素ガスを供給することで行うことも可能である。

なお、先に従来技術に関連して説明した図1Cの工程(I)は、特開平2000-200832号公報などにおいてCu配線層上にSiNやSiCなどの無機バリア膜を形成する際に、Cu配線層表面をH₂, N₂, NH₃あるいは希ガスなどの非酸化性プラズマ雰囲気に曝露することで汚染を除去し、前記無機バリア層とCu配線層との密着性を向上させるために設けられているものであるが、図4の工程(C)は、先の図4の工程(B)で形成された酸化膜34Oの除去のために設けられるものであり、同じようなNH₃プラズマ

あるいは水素プラズマを使うにしても、プロセスの意味合いは従来のものとは異なっていることに注意すべきである。

図4の工程(C)の結果、前記Cu配線パターン34Aの表面には、前記表面に到達している結晶粒界の部分を除き、酸素原子は存在しない。しかし、図4の(C)の構造はCu配線パターン34Aの表面に酸素が存在しない場合のみを表すものではなく、前記表面での酸素濃度が前記結晶粒界中における酸素濃度よりも低い状態をも表している。

図4の工程(C)の後、先に説明したのと同様に図1Cの工程(J)以降の工程が実行され、図5に示す多層配線構造が得られる。ただし本実施例においては前記配線パターン34Aの表面に凹凸34a'が形成され、また前記結晶粒界34bのうち、前記表面34a'から配線パターン34A内部に向かって延在する部分には、酸素原子濃度の高い酸化膜34oが形成されている。

本実施例においてはこのように前記配線パターン34Aの表面に凹凸34a'が存在するため配線パターン34Aの表面を通してCu原子が移動する際に拡散距離が増大し、その結果、配線パターン34Aの表面に沿ったCu原子の移動が抑制される。

また図6に示すように本実施例においては前記配線パターン34Aの表面近傍において結晶粒界に酸化膜ないし高酸素濃度領域34oが形成されているためこれらの領域においてはCu原子が酸素原子によりピニングされ、表面へのCu原子の拡散が効果的に抑制される。その結果、このような多層配線構造を有する半導体装置を動作させた場合、あるいは通電試験を行った場合などにおいて生じていた、図2で説明したボイド形成の問題が解消される。

なお、本実施例において前記酸化処理はプラズマ酸化処理としたが、これを酸素雰囲気中での急速熱処理により行うことも可能である。ただし酸素の侵入が結晶粒界34oに沿って配線パターン34Aの内部深くまで生じた場合には配線パターン34Aの電気抵抗が増大するため、前記酸化膜34oの形成は、30nm以下、例えば先に説明したように25.4nm程度あるいはそれ以下に留めるのが好ましい。

このようにして処理した配線パターン34Aの表面状態を走査型電子顕微鏡(SEM)により検査したところ、図2で説明したボイド20Xの割合が、このような処理を行わなかった比較対照例と比較して、面積比で60%低減されているのが確認されている。

[第2実施例]

次に本発明の第2実施例による多層配線構造の形成工程を説明する。

本実施例においては最初に、先に説明した図1Aの工程(A)～図1Bの工程(G)を行ない、図1Bの(G)に示すように、前記バリアメタル膜32上に、前記図1Bの(F)の配線溝28Aおよびビアホール24Aを充填するようにCu層34が電解めっき法などにより形成される。

先にも説明したように、本実施例においても前記層間絶縁膜24および28としては、例えばダウケミカル社より登録商標SILKとして市販されている低誘電率芳香族炭化水素ポリマが使われ、また前記エッチングストップ膜22として、プラズマCVD法により形成したSiC膜が使われる。さらにバリアメタル膜32としてはTaN膜とTa膜とを積層した通常のバリアメタル膜が使われる。

また本実施例においても前記層間絶縁膜28としては、有機炭化水素ポリマ膜以外にも、有機SiO₂膜、HSQ(hydrogen silsesquioxane)などの無機シロキサン膜、MSQ(methyl silsesquioxane)などの有機シロキサン膜、さらには低誘電率多孔質膜、あるいは従来のSiO₂膜を使うことも可能である。さらに前記バリアメタル膜32としてはTi膜あるいはTiN膜を使うことも可能である。

本実施例では図1Bの工程(G)の後、図7の工程(A)が実行され、前記バリアメタル膜32上に堆積しているCu層34が、前記バリアメタル膜32をストップに、CMP法により除去される。

先にも説明したように、図1Bの工程(G)において前記Cu層34を再結晶させる熱処理が行われていても、前記Cu層34の内部には局所的な残留応力が残留している可能

性があり、また図1CのCMP工程(H)において前記Cu層34中には新たに応力が蓄積される可能性がある。すなわち、図7の工程(A)の状態では、前記Cu配線パターン34A中に実質的な残留応力が存在する可能性があり、このような残留応力が、先に図3の(A)、(B)で説明したCu原子の界面拡散による欠陥34Xの発生をもたらすと考えられる。

そこで、本実施例においては前記図7Aの工程に引き続いて図7の工程(B)を行ない、図7の工程(A)の構造を不活性雰囲気中、250以上、400以下の温度で熱処理する。例えばかかる熱処理を大気圧の窒素雰囲気中で10分間程度行うことにより、前記Cu配線パターン34A中には応力緩和が生じ、これに伴うCu原子の拡散の結果、図7の工程(B)に示すように前記Cu配線パターン34A上には、先に図3の(A)、(B)で説明したのと同様な突起34Xが形成される。このような突起34Xは、一般に1 μ m以下の高さを有している。

次に図7の工程(B)において前記SiC膜30をストッパにCMP工程を行ない、前記SiC膜30上のバリアメタル膜32およびSiC膜30を除去する。この工程により、前記Cu配線パターン34Aの表面も研磨により平坦化され、その結果、図7の工程(C)に示すように前記突起34Xは除去される。

図7の工程(C)の後、図1の工程(I)のクリーニング工程において前記Cu配線パターン34A表面の不純物が除去され、さらに図1Cの工程(J)以降の工程を行うことにより、図1Cの(K)に示す構造の多層配線構造を有する半導体装置が得られる。

図7の(C)のCMP工程では前記Cu配線パターン34A中に研磨に伴う応力が蓄積される可能性はあるが、前記バリアメタル膜32およびSiC膜30は合計しても100nm未満の膜厚しか有していないため、このような研磨工程を行っても、前記Cu配線パターン34A中に実質的な、すなわち熱処理により突起34Xが形成されるような応力が蓄積されることはない。

このように本実施例によれば、前記配線パターン34Aおよびビアプラグ34B中に残留応力のない配線構造を、ダマシン法あるいはデュアルダマシン法により形成することができる。本実施例のシングルダマシン法への拡張は自明であり、説明を省略する。

図8は、本実施例において使われるCMP装置100の構成を示す。ただし図示のCMP装置100は本実施例に必須なものではなく、他の装置により本実施例を実施することも可能である。

図8を参照するに、CMP装置100は基台101上にウェハカセット102A~102Cを保持するウェハカセット保持部102と、前記ウェハカセット保持部102中のウェハを受け渡しするウェハ搬送ユニット103とを備え、さらに前記ウェハ搬送ユニット103との間でウェハをやりとりする研磨プラテンユニット104および105を備えている。このうち研磨プラテンユニット104はCu層のCMPに、また研磨プラテンユニット105はバリアメタル層のCMPに使われる。

さらに前記基台101上には前記研磨プラテン104、105で研磨されたウェハを洗浄する洗浄ユニット106と、図7Bの熱処理工程を行うための炉107とが設けられている。

そこで図1Bの工程(G)の状態の被処理基板が前記ウェハカセット保持部102中のウェハカセット102A~102Cのいずれかに保持されると、前記ウェハ搬送ユニット103がこれを研磨プラテンユニット104に搬送し、前記Cu層34が研磨される。前記研磨プラテンユニット104におけるCMP工程の結果、図7の(A)の構造の試料が得られ、これが前記洗浄ユニット106における洗浄の後、前記ウェハ搬送ユニット103を介して炉107に送られる。

炉107では図7の(B)で説明した熱処理工程が行われ、得られた試料は前記ウェハ搬送ユニット103を介して研磨プラテン105に送られる。

研磨プラテン105においては図7のCMP工程(C)が行われ、得られた試料は前記洗浄ユニット106で洗浄の後、前記ウェハカセット保持部102に戻される。なお、ウェハ搬送ユニット103には、研磨プラテン104および105で処理され純水が付着し

たウェハを搬送するウェットユニットと、ウェハカセット102A～102C、洗浄ユニット106および炉107から送られる乾燥状態のウェハを搬送するドライユニットとが含まれる。

図8のCMP装置100を使うことにより、図7の(A)～(C)の工程を枚葉プロセスにより、他の工程と協同しながら効率的に実行することができる。

なお図8のCMP装置100において基台上に炉107が設けられていない場合には、研磨プラテン104で処理された図7の(A)の状態の試料を外部の炉に搬送することにより、所望の処理を行うことが可能である。

なお本実施例では図7Bの熱処理工程を、大気圧の窒素雰囲気中において行う例を説明したが、前記窒素雰囲気に非酸化性ガス、例えば水素ガスを添加することも可能である。またこの熱処理を $1.33 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ (10^{-5} Torr)以下の真空雰囲気中において行うことも可能である。前記熱処理工程の温度が250よりも低い場合には、図7の工程(B)において十分な応力の緩和が達成されず、前記Cu配線パターン34A中に応力が残留してしまう。一方、前記熱処理工程の温度が500を超えると、特に層間絶縁膜として低誘電率有機絶縁膜を使っている場合、層間絶縁膜が熱処理に耐えられなくなる。このことから、図7の工程(B)における熱処理は、250～400の範囲の温度で行うのが好ましい。

さらに、本実施例においてCu配線パターン34Aを形成した場合、図7の(C)の構造に対して先の実施例の酸化処理および酸化膜除去処理を行うことも可能である。

さらに以上の各実施例においてCu配線パターン34Aは銅合金であってもよい。

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【産業上の利用可能性】

本発明によれば、層間絶縁膜中の配線溝を充填するように形成された金属配線パターン中の結晶粒界に酸素を導入することにより、かかる結晶粒界に沿った金属配線パターン表面への金属元素の拡散が抑制され、かかる多層配線構造を有する半導体装置の動作中、例えば通電試験の際に多層配線構造を構成する金属配線パターンに生じるボイドなどの欠陥の発生が抑制される。また本発明によれば、前記金属配線パターン表面に凹凸が、酸化膜の形成および除去工程の結果、金属配線パターン中の結晶粒のモフォロジーに対応して形成され、これに伴い金属配線パターン表面に沿った金属原子の拡散距離が増大する。その結果、金属原子の金属配線パターン外部への、拡散による流出が抑制される。

また本発明によれば、化学機械研磨を行った後の状態で金属層を熱処理することにより、前記金属層中に残留している応力が効果的に緩和される。かかる応力の緩和に伴い前記金属層の表面には金属原子のストレスマイグレーションにより先に図3A, 3Bで説明したような突起が形成されることがあるが、本発明ではその後で金属層の表面を平坦化することにより、このような突起が除去され、その結果、表面が平坦化され、しかも応力が完全に緩和された金属層あるいは金属配線パターンが得られる。特に前記熱処理を、前記化学機械研磨の結果、前記配線溝中に金属配線パターンが形成された状態で行った場合には、その後の平坦化工程は単にバリアメタル膜を層間絶縁膜表面から除去するだけのわずかな研磨処理で十分であり、平坦化工程により金属配線パターン中に再び残留応力が導入されるのが効果的に回避できる。このような金属層中の残留応力は、例えば図1GのCu層34の場合、再結晶化および結晶粒成長のために行われる熱処理の結果、Cu層34の全体としては緩和されているものの、このような厚いCu層34が形成された状態で熱処理を行っただけでは、Cu層34の内部には局所的な残留応力が存在していると考えられる。また、図1Hの化学機械研磨の際にも、前記金属配線パターン中に新たに残留応力が導入される可能性がある。本発明は、このような従来の問題点を解決することができる。

【手続補正3】

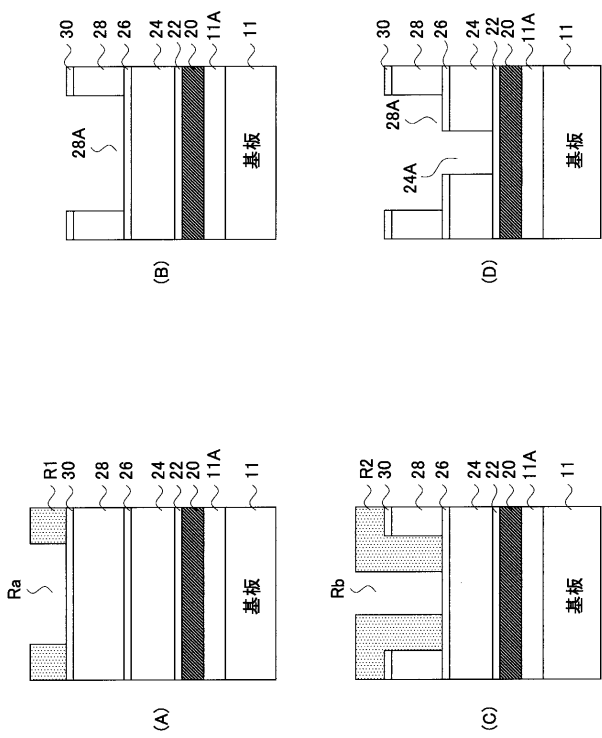
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

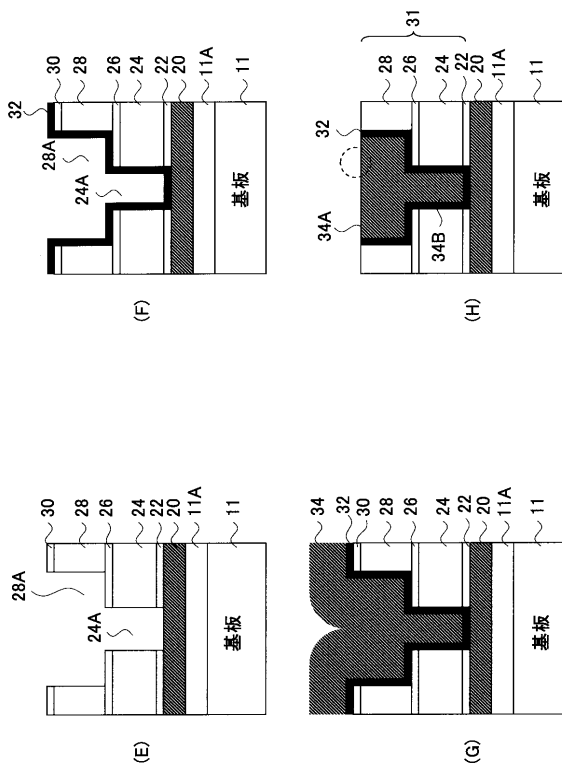
【補正方法】変更

【補正の内容】

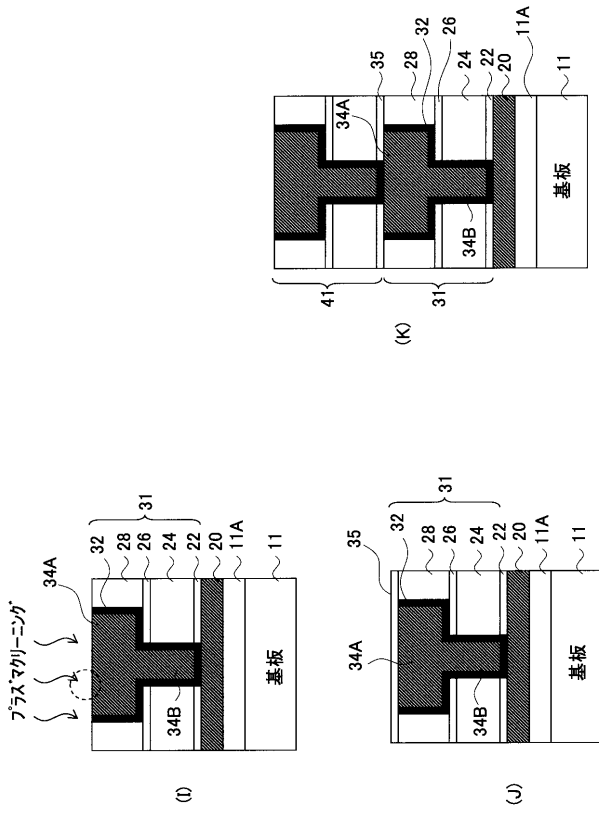
【図 1 A】



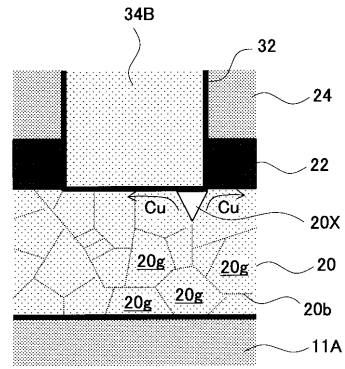
【図 1 B】



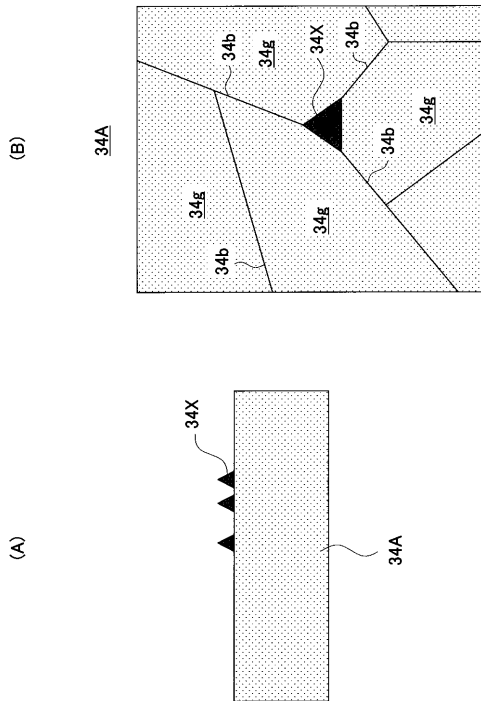
【 図 1 C 】



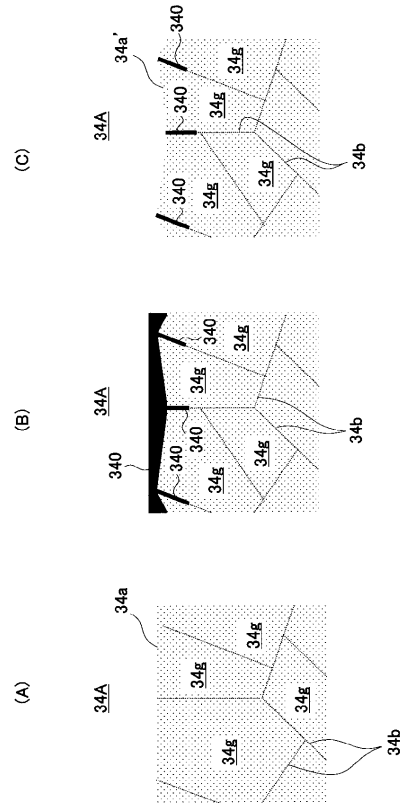
【 図 2 】



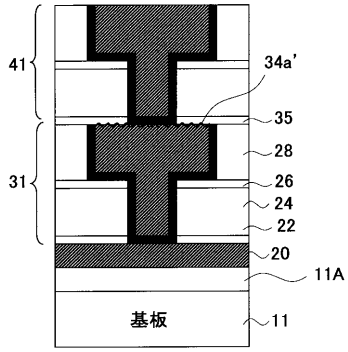
【 図 3 】



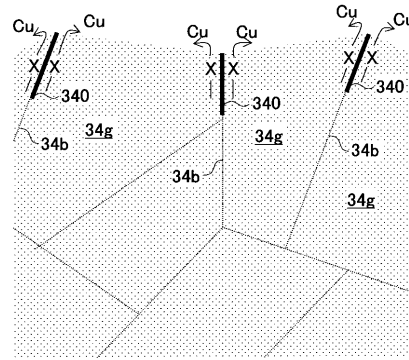
【 図 4 】



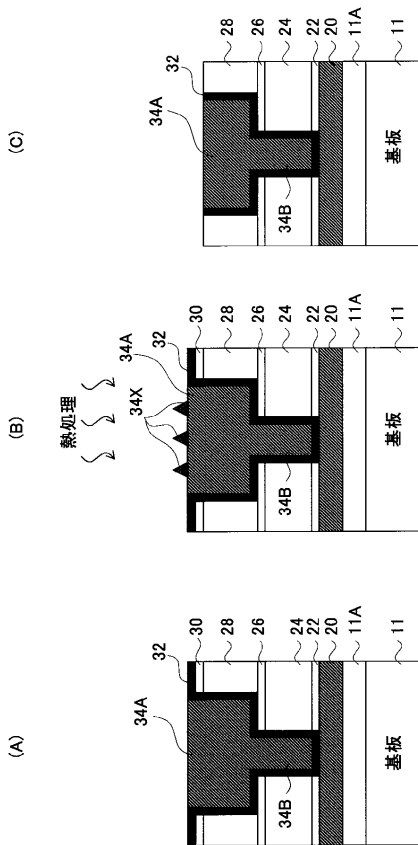
【 図 5 】



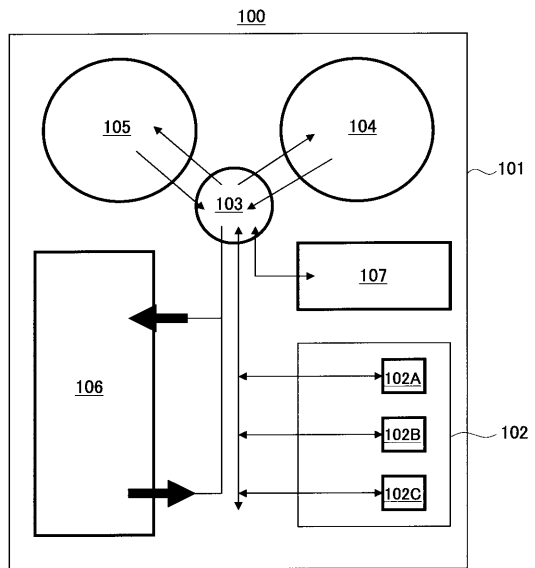
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 国際調査報告 】


INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP02/13677
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ H01L21/3205, H01L21/768		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ H01L21/3205, H01L21/768		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001-284355 A (Sony Corp.), 12 October, 2001 (12.10.01), Par. Nos. [0040] to [0045]; Fig. 4 (Family: none)	7, 8
X	JP 2002-33385 A (Toshiba Corp.), 31 January, 2002 (31.01.02), Par. Nos. [0006] to [0008]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	7, 10, 11
X	JP 2001-44200 A (Hitachi, Ltd.), 16 February, 2001 (16.02.01), Full text; Figs. 1 to 11 (Family: none)	12-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents:		"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"E" earlier document but 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)	"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"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
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search 07 April, 2003 (07.04.03)	Date of mailing of the international search report 22 April, 2003 (22.04.03)	
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	
Facsimile No.	Telephone No.	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/13677

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-257209 A (Kobe Steel, Ltd.), 21 September, 2001 (21.09.01), Full text; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1-11, 18
A	JP 11-186261 A (Fujitsu Ltd.), 09 July, 1999 (09.07.99), Par. Nos. [0023] to [0049]; Fig. 1 (Family: none)	12-17
A	EP 982771 A1 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.), 01 March, 2000 (0.03.00), Full text; Fig. 1 & JP 2000-77527 A Full text; Fig. 1 & US 6297154 B1 & KR 2000017528 A	12-17

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO2/13677
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ H01L21/3205, H01L21/768		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ H01L21/3205, H01L21/768		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2003年 日本国実用新案登録公報 1996-2003年 日本国登録実用新案公報 1994-2003年		
国際調査で使った電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2001-284355 A (ソニー株式会社) 2001. 10. 12, 段落番号【0040】-【0045】, 図4 (ファミリーなし)	7, 8
X	JP 2002-33385 A (株式会社東芝) 2002. 01. 31, 段落番号【0006】-【0008】, 図1-2 (ファミリーなし)	7, 10, 11
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	07. 04. 03	国際調査報告の発送日 22.04.03
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JIP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 早川 朋一	4L 9733 
		電話番号 03-3581-1101 内線 3496

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO2/13677
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2001-44200 A (株式会社日立製作所) 2001.02.16, 全文, 図1-11 (ファミリーなし)	12-17
A	JP 2001-257209 A (株式会社神戸製鋼所) 2001.09.21, 全文, 図1-2 (ファミリーなし)	1-11, 18
A	JP 11-186261 A (富士通株式会社) 1999.07.09, 段落番号【0023】-【0049】, 図1 (ファミリーなし)	12-17
A	EP 982771 A1 (LUCENT TECHNOLOGIES INC.) 2000.03.01, 全文, 図1 & JP 2000-77527 A, 全文, 図1 & US 6297154 B1 & KR 2000017528 A	12-17

フロントページの続き

(72)発明者 堀内 博志

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72)発明者 宮嶋 基守

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 5F033 HH11 HH18 HH21 HH32 HH33 JJ01 JJ11 JJ18 JJ21 JJ32
JJ33 KK11 KK19 KK21 KK32 LL03 MM01 MM02 MM12 MM13
MM26 NN06 NN07 NN12 PP15 PP16 PP27 PP33 QQ00 QQ09
QQ11 QQ25 QQ37 QQ48 QQ49 QQ53 QQ59 QQ63 QQ73 QQ89
QQ91 RR01 RR03 RR04 RR06 RR09 RR21 RR25 SS03 SS15
SS22 WW02 WW03 XX01 XX05 XX19

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。