

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4938222号
(P4938222)

(45) 発行日 平成24年5月23日(2012.5.23)

(24) 登録日 平成24年3月2日(2012.3.2)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 23/532	(2006.01)	HO 1 L 21/90		M
HO 1 L 21/768	(2006.01)	HO 1 L 21/316		X
HO 1 L 21/316	(2006.01)			

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2004-27158 (P2004-27158)	(73) 特許権者	302062931 ルネサスエレクトロニクス株式会社
(22) 出願日	平成16年2月3日(2004.2.3)		神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地
(65) 公開番号	特開2005-223012 (P2005-223012A)	(74) 代理人	100110928 弁理士 速水 進治
(43) 公開日	平成17年8月18日(2005.8.18)	(72) 発明者	大音 光市 神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地 NECエレクトロニクス株式会社内
審査請求日	平成19年1月12日(2007.1.12)	(72) 発明者	宇佐美 達矢 神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地 NECエレクトロニクス株式会社内
		(72) 発明者	佐々木 洋一 神奈川県川崎市中原区下沼部1753番地 NECエレクトロニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板と、該半導体基板上に設けられた層間絶縁膜とを備え、
前記層間絶縁膜は、第一の絶縁膜と、前記第一の絶縁膜と接するように形成され、前記第一の絶縁膜よりも低い膜密度を有する第二の絶縁膜とを有する積層膜を含み、
前記第二の絶縁膜は、第一の絶縁膜の近傍を起点として第一の絶縁膜から遠ざかる方向に膜密度が連続的に減少する第一の密度遷移領域を有し、
前記第二の絶縁膜の下面または上面に前記第一の絶縁膜が設けられ、前記第一の絶縁膜が設けられた側と反対側の前記第二の絶縁膜の面に、前記第二の絶縁膜よりも高い膜密度を有する第三の絶縁膜が設けられ、
前記第二の絶縁膜は、前記第三の絶縁膜の近傍を起点として前記第三の絶縁膜から遠ざかる方向に膜密度が漸次的に減少する第二の密度遷移領域を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項2】

請求項1に記載の半導体装置において、
前記第三の絶縁膜は、SiC膜、SiCN膜、SiN膜またはSiO₂膜である半導体装置。

【請求項3】

請求項1または2に記載の半導体装置において、
前記第二の密度遷移領域は、組成不連続面を含まない単層膜を構成することを特徴とす

る半導体装置。

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の半導体装置において、

前記第二の密度遷移領域は、膜密度の異なる多層膜からなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】

半導体基板と、該半導体基板上に設けられた層間絶縁膜とを備え、

前記層間絶縁膜は、第一の絶縁膜と、前記第一の絶縁膜と接するように形成され、前記第一の絶縁膜よりも低い膜密度を有する第二の絶縁膜とを有する積層膜を含み、

前記第二の絶縁膜は、第一の絶縁膜の近傍を起点として第一の絶縁膜から遠ざかる方向に膜密度が連続的に減少する第一の密度遷移領域を有し、

前記第二の絶縁膜は、珪素および炭素を必須成分として含む膜であり、

前記第二の絶縁膜は、CVD-SiOC膜であることを特徴とする半導体装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 いずれかに記載の半導体装置において、

前記第一の絶縁膜は、SiC膜、SiCN膜、SiN膜またはSiO₂膜である半導体装置。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 いずれかに記載の半導体装置において、

前記第一の密度遷移領域は、組成不連続面を含まない単層膜からなることを特徴とする半導体装置。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 いずれかに記載の半導体装置において、

前記第二の絶縁膜の誘電率が、3.0以下である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】

【0001】

本発明は、層間絶縁膜における層間密着性を改善した半導体装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体素子の高速動作性に対する要求に伴い、金属配線を銅により構成して配線抵抗の低抵抗化を図る技術が広く利用されている。こうした配線構造は、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 工程を含むダマシンプロセスにより形成される。

【0003】

ダマシンプロセスを形成する場合、配線溝やスルーホールを形成するためのエッチング阻止膜や、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 工程における層間絶縁膜の損傷を抑制するための保護膜を設けることが必要となる。ところが、こうしたエッチング阻止膜や保護膜は、他の絶縁膜との密着性が十分に得られないことがあり、改善の余地を有していた。

【0004】

このような密着性の課題は、層間絶縁膜の材料として低誘電率絶縁材料を用いた場合、特に顕著となる。最近では、層間絶縁膜を従来のシリコン酸化膜 (誘電率 $K = 4.3$ 程度) から誘電率が 3.0 以下の低誘電率材料に変更し、配線間容量を低減する検討が精力的に行われている。このような低誘電率絶縁材料を層間絶縁膜に用いることで、配線間のクロストークを低減でき素子の高速動作を実現することが可能となるが、エッチング阻止膜や保護膜との密着性が十分に得られないことがある。かかる密着性の課題は、CVD法により形成されるSiOC膜 (以下、CVD-SiOC膜という) や、ポーラス膜を用いた場合に顕著となる。

【0005】

10

20

30

40

50

従来、層間絶縁膜における密着性を改善する検討が種々なされている。たとえば本出願人は、特許文献1において、膜材料を適宜に選択することにより密着性改善を図る技術を提案している。

【0006】

【特許文献1】特開2001-326222号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は上記事情に鑑みなされたものであって、層間絶縁膜における層間密着性を改善する技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

従来、異種膜界面の密着性を向上させる手法として、材料を適宜に選択し、膜組成を好適に設計する手法が検討されてきた。しかしながら、この手法では、近年望まれている高い水準の密着性を得ることは必ずしも容易ではない。本発明者らは、半導体製造工程において受ける熱履歴により、膜間に熱応力が残存し、これが膜の密着性低下をもたらしているものと推察し、上記課題の解決を図った。かかる観点から鋭意検討を行った結果、本発明者らは、膜密度に着目した層間絶縁膜の設計が界面密着性改善に有効であることを見出し、かかる新規な知見に基づいて本発明に到達した。

【0009】

上記課題を解決する本発明によれば、半導体基板と、該半導体基板上に設けられた層間絶縁膜とを備え、前記層間絶縁膜は、第一の絶縁膜と、前記第一の絶縁膜上に形成され、前記第一の絶縁膜よりも低い膜密度を有する第二の絶縁膜とを有する積層膜を含み、前記第二の絶縁膜は、第一の絶縁膜の近傍を起点として第一の絶縁膜から遠ざかる方向に膜密度が連続的に減少する第一の密度遷移領域を有することを特徴とする半導体装置が提供される。

【0010】

本発明に係る半導体装置は、第一の絶縁膜の近傍を起点として第一の絶縁膜から遠ざかる方向に膜密度が漸次的に減少する第一の密度遷移領域を有する。このため、低誘電率でありながら、積層膜内部の密着性が良好な層間絶縁膜を実現することができる。上記のように、第一の絶縁膜の設けられた側で膜密度が漸次的に減少することにより、第一の絶縁膜と第二の絶縁膜との間の界面における応力が徐々に緩和され、両者の間の密着性が顕著に改善される。これにより、ヒートサイクル耐性等が向上し、信頼性の高い半導体装置を実現することができる。第二の絶縁膜は、第一の絶縁膜の設けられた側では上記構成の密度遷移領域を設ける関係で誘電率の設定に一定の条件が課せられることとなるが、それ以外の領域においては誘電率を任意に低く設定することができるので、第二の絶縁膜全体としては低誘電率化を図ることができる。

【0011】

第一の絶縁膜は、たとえばエッチング阻止膜や保護膜であり、第二の絶縁膜は、たとえば配線間やビア間に埋設される絶縁膜とする。本発明によれば、こうした膜間の密着性が顕著に改善される。

【0012】

ここで、膜密度の大小は、たとえば走査型電子顕微鏡（SEM: Scanning Electron Microscope）観察により確認することができる。測定試料の断面をSEM観察し、得られたSEM画像（二次電子像）の濃淡により密度の大小を確認することができる。

【0013】

上記第一の密度遷移領域における膜密度プロファイルは、第一の絶縁膜近傍において第一の絶縁膜と略等しい膜密度とすることが好ましい。こうすることにより、両者の密着性をより顕著に向上させることができる。

【0014】

10

20

30

40

50

本発明において、第二の絶縁膜の下面または上面の側に第一の絶縁膜が設けられ、第一の絶縁膜が設けられた側と反対側の第二の絶縁膜の面に、第二の絶縁膜よりも高い膜密度を有する第三の絶縁膜が設けられ、第二の絶縁膜は、第三の絶縁膜の近傍を起点として第三の絶縁膜から遠ざかる方向に膜密度が漸次的に減少する第二の密度遷移領域を有する構成としてもよい。こうすることにより、第二の絶縁膜と、その上部および下部に位置する他の絶縁膜との間の密着性が良好となり、一層、信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

【0015】

第二の絶縁膜および第三の絶縁膜は、たとえば、SiC膜、SiCN膜、SiN膜またはSiO₂膜とすることができる。

10

【0016】

第一の密度遷移領域および第二の密度遷移領域は、組成不連続面を含まない単層膜を構成するものとしてもよい。ここで、組成不連続面を含まないとは、膜中に界面が生じていないことをいい、こうすることにより、膜中の安定な密着性が得られる。

【0017】

第一の密度遷移領域および第二の密度遷移領域は、膜密度の異なる多層膜からなる構成としてもよい。こうすることにより、簡便な工程で、膜中の安定な密着性が得られる。

【0018】

本発明は、第二の絶縁膜が、珪素および炭素を必須成分として含む膜、特にCVD-SiOC膜である場合、特に顕著な効果を奏する。誘電率が3.0以下であってもよい。

20

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、層間絶縁膜中に膜密度が漸次的に変化する積層膜を有するため、層間絶縁膜を構成する膜同士の密着性を改善することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、本発明をダマシン銅配線構造に適用した例について図面を参照して説明する。なお、すべての図面において、同様の構成要素には同様の符号を付し、以下の説明において詳細な説明を適宜省略する。

【0021】

30

第一の実施形態

図1は、本実施の形態に係る半導体装置の構造を示す断面図である。本実施の形態に係る半導体装置は、シリコン基板上に層間絶縁膜が形成され、層間絶縁膜中に銅配線およびビアからなる多層配線構造が設けられた構造を有する。図示した構造は、こうした多層配線構造の一部を示すものであり、Cu膜209からなる下層配線が銅プラグ228を介して、Cu膜223からなる上層配線に接続された構成を有している。

【0022】

Cu膜209からなる下層配線は、下地絶縁膜201、SiCN膜202、SiOC膜203およびSiO₂膜204からなる積層膜中に形成されている。Cu膜209の側面と底面はTa/TaN膜208(Cu膜側からTa、TaNの順に積層。以下同様)に覆われている。

40

【0023】

銅プラグ228は、SiCN膜211およびSiO₂膜212からなる積層膜に形成されたビアホールに設けられており、その側面と底面はTa/TaN膜226に覆われている。

【0024】

Cu膜223からなる上層配線は、SiCN膜213、SiOC膜216およびSiO₂膜217からなる積層膜に形成されている。Cu膜223の側面と底面はTa/TaN膜220に覆われている。Cu膜223の上部には、SiCN膜222が設けられている。

50

【0025】

図1中、SiCN膜202、SiCN膜211およびSiCN膜213は、ドライエッチングによりビアホール乃至配線溝を形成する際のエッチング阻止膜である。SiO₂膜204およびSiO₂膜217は、ダマシン工程において銅膜をCMPにより研磨する際の保護膜である。また、「SiOC膜」とは、CVD法により形成されたシリコン、酸素、炭素および水素を必須元素とする膜であり、「SiOCH膜」と表記されることもある。また、「SiCN膜」とは、CVD法により形成されたシリコン、炭素、窒素および水素を必須元素とする膜であり、「SiCNH膜」と表記されることもある。

【0026】

図1において、SiCN膜202およびSiOC膜203からなる積層膜は、エッチング阻止膜となるSiCN膜202と、これよりも膜密度の低いSiOC膜203が積層した構造を有する。SiOC膜203は、SiCN膜202と接しており、その接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向（積層方向上部に向かう方向）に膜密度が漸次的に減少する膜密度プロファイルを有する。また、このような膜密度とした結果、弾性率、硬さの膜内分布も、SiCN膜202との接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向に漸次的に減少するプロファイルとなる。さらに、膜応力は、SiCN膜202との接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向に漸次的に増大するプロファイルとなる。すなわち、上記接触面近傍では、膜応力はSiCN膜202の膜応力に近い圧縮モードの値をとり、SiCN膜202から遠ざかる方向に向かって引っ張りモードの応力が増大する分布となる。

【0027】

ここで、弾性率とはヤング率のことであり、硬さとはビッカース硬度のことである。また、膜応力は、シリコン基板上に単層膜を形成した場合に観測される応力の値を示す。

【0028】

本実施形態に係る半導体装置は、上記のような構成の積層膜を設けるため、SiCN膜202とSiOC膜203との間の界面に発生する熱応力が徐々に緩和され、両者の間の密着性が顕著に改善される。これにより、ヒートサイクル耐性等が向上し、信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

【0029】

SiOC膜203の誘電率プロファイルに注目すると、中央部は低い誘電率を有し、SiCN膜202近傍では高い誘電率となる。したがって、SiOC膜203全体としては低い誘電率となり、優れた層間密着性および低誘電率を兼ね備えた層間絶縁膜が実現される。

【0030】

上記のように、膜内に膜密度分布を有するSiOC膜203は、たとえば、CVD成膜時の成膜ガスを変化させることにより形成することができる。具体的には、炭素源となるトリメチルシラン(TMS)の流量をSiCN膜202の近傍では低くし、次第にその流量が高くなるように設定し、成膜条件を適宜に設定することで上記構成の膜を形成できる。トリメチルシランは、メチル基を有するため、モノシラン等と比較して嵩高い分子構造を有する。このため、原料ガス中のトリメチルシラン量を増加させることにより、膜密度が減少する。詳細な製造方法については後述する。

【0031】

以上、SiOC膜203の構成について説明したが、同様の構成を、SiOC膜216に適用してもよい。すなわち、SiOC膜216が、SiCN膜213から遠ざかる方向に膜密度が漸次的に減少する膜密度プロファイルを有する構成としてもよい。

【0032】

また、本実施形態においては、SiOC膜203の膜密度が、SiCN膜202から離れるにしたがって連続的に単調に減少する例について説明したが、途中、膜密度が一定となっている領域があってもよい。要は、SiOC膜203とSiCN膜202との間の熱応力が緩和される膜密度分布になっていればよい。本実施形態のように膜密度が連続的に

10

20

30

40

50

変化する構成とすれば、膜中の応力が、より好適に分散され、顕著な密着性改善効果が安定的に得られる。

【0033】

また、本実施形態では上記膜密度分布を有する密度遷移領域をSiOC膜203の全体にわたって設けたが、SiOC膜203の一部にのみ密度遷移領域を設けてもよい。この場合、密度遷移領域の上部の膜密度プロファイルは任意に設定することができ、低誘電率化の観点から、ポラス膜で構成する等して、たとえば比誘電率2.7以下の膜とすることができる。

【0034】

こうした密度遷移領域は、SiOC膜203のSiCN膜202側だけでなく、SiO₂膜204の側に設けても良い。すなわち、SiO₂膜204から離れるにしたがって膜密度が漸次的に減少する膜密度分布を設けても良い。これにより、SiCN膜202側にくわえ、SiO₂膜204側の密着性も向上する。

【0035】

本実施形態においては、第一の絶縁膜としてSiCN膜を用いた場合について説明したが、その他にたとえばSiC膜、SiN膜またはSiO₂膜等とすることができる。また、第二の絶縁膜としてSiOC膜を用いた場合について説明したが、その他に炭素を含む物質、たとえば、メチルシルセスキオキサン(MSQ)、メチレーテッドハイドロシルセスキオキサン(MHSQ)等の塗布膜や、炭化シリコン(SiC)等のCVD膜、またはこれらの膜をポラス化したものとしてもよい。

【0036】

また、本実施形態においては、シングルダマシン構造において、本発明を適用した形態について説明したが、デュアルダマシン構造について本発明を適用してもよい。この場合には、図2に示す構造のSiOC膜203とSiOC膜216を、本実施形態において説明されたCVD成膜時の成膜ガスを変化させる方法で形成することにより、所望の膜密度分布を得ることができ、優れた層間密着性および低誘電率を兼ね備えた層間絶縁膜が実現される。

【0037】

第二の実施形態

図3は、本実施形態に係る半導体装置の構造を示す断面図である。本実施の形態に係る半導体装置は、シリコン基板上に層間絶縁膜が形成され、層間絶縁膜中に銅配線およびビアからなる多層配線構造が設けられた構造を有する。図示した構造は、こうした多層配線構造の一部を示すものであり、Cu膜209からなる下層配線が銅プラグ228を介して、Cu膜223からなる上層配線に接続された構成を有している。

【0038】

銅プラグ228は、SiCN膜211、SiOC膜230、およびSiO₂膜212からなる積層膜に形成されたビアホールに設けられており、その側面と底面はTa/TaN膜226に覆われている。

【0039】

図3において、SiCN膜211およびSiOC膜230からなる積層膜は、エッチング阻止膜となるSiCN膜211と、これよりも膜密度の低いSiOC膜230が積層した構造を有する。SiOC膜230は、SiCN膜211と接しており、その接触面を起点としてSiCN膜211から遠ざかる方向(積層方向上部に向かう方向)に膜密度が漸次的に減少する膜密度プロファイルを有する。また、このような膜密度とした結果、弾性率、硬さの膜内分布も、SiCN膜211との接触面を起点としてSiCN膜211から遠ざかる方向に漸次的に減少するプロファイルとなる。さらに、膜応力は、SiCN膜211との接触面を起点としてSiCN膜211から遠ざかる方向に漸次的に増大するプロファイルとなる。すなわち、上記接触面近傍では、膜応力はSiCN膜211の膜応力に近い圧縮モードの値をとり、SiCN膜211から遠ざかる方向に向かって引っ張りモードの応力が増大する分布となる。

10

20

30

40

50

【0040】

ここで、弾性率とはヤング率のことであり、硬さとはピッカース硬度のことである。また、膜応力は、シリコン基板上に単層膜を形成した場合に観測される応力の値を示す。

【0041】

本実施形態に係る半導体装置は、上記のような構成の積層膜を設けるため、SiCN膜211とSiOC膜230との間の界面に発生する熱応力が徐々に緩和され、両者の間の密着性が顕著に改善される。これにより、ヒートサイクル耐性等が向上し、信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

【0042】

SiOC膜230の誘電率プロファイルに注目すると、中央部は低い誘電率を有し、SiCN膜211近傍では高い誘電率となる。したがって、SiOC膜230全体としては低い誘電率となり、優れた層間密着性および低誘電率を兼ね備えた層間絶縁膜が実現される。

10

【0043】

上記のように、膜内に膜密度分布を有するSiOC膜230は、たとえば、CVD成膜時の成膜ガスを変化させることにより形成することができる。具体的には、炭素源となるトリメチルシラン(TMS)の流量をSiCN膜211の近傍では低くし、次第にその流量が高くなるように設定し、成膜条件を適宜に設定することで上記構成の膜を形成できる。トリメチルシランは、メチル基を有するため、モノシラン等と比較して嵩高い分子構造を有する。このため、原料ガス中のトリメチルシラン量を増加させることにより、膜密度が減少する。詳細な製造方法については後述する。

20

【0044】

また、本実施形態においては、SiOC膜230の膜密度が、SiCN膜211から離れるにしたがって連続的に単調に減少する例について説明したが、途中、膜密度が一定となっている領域があってもよい。要は、SiOC膜230とSiCN膜211との間の熱応力が緩和される膜密度分布になっていればよい。本実施形態のように膜密度が連続的に変化する構成とすれば、膜中の応力が、より好適に分散され、顕著な密着性改善効果が安定的に得られる。

【0045】

また、本実施形態では上記膜密度分布を有する密度遷移領域をSiOC膜230の全体にわたって設けたが、SiOC膜230の一部にのみ密度遷移領域を設けてもよい。この場合、密度遷移領域の上部の膜密度プロファイルは任意に設定することができ、低誘電率化の観点から、ポーラス膜で構成する等して、たとえば比誘電率2.7以下の膜とすることができる。

30

【0046】

こうした密度遷移領域は、SiOC膜230のSiCN膜211側だけでなく、SiO₂膜213の側に設けても良い。すなわち、SiO₂膜213から離れるにしたがって膜密度が漸次的に減少する膜密度分布を設けても良い。これにより、SiCN膜211側に比べ、SiO₂膜213側の密着性も向上する。

【0047】

また、本実施形態では、SiOC膜230のみが密度遷移領域を有する形態について説明したが、密度遷移領域を有するSiOC膜203およびSiOC膜216と組み合わせてもよい。これにより、SiOC膜230の密着性に比べ、SiOC膜203およびSiOC膜216の密着性も向上する。

40

【0048】

本実施形態においては、第一の絶縁膜としてSiCN膜を用いた場合について説明したが、その他にたとえばSiC膜、SiN膜またはSiO₂膜等とすることができる。また、第二の絶縁膜としてSiOC膜を用いた場合について説明したが、その他に炭素を含む物質、たとえば、メチルシルセスキオキサン(MSQ)、メチレーテッドハイドロシルセスキオキサン(MHSQ)等の塗布膜や、炭化シリコン(SiC)等のCVD膜、または

50

これらの膜をポーラス化したものとしてもよい。

【0049】

第三の実施形態

本実施形態では、第一の実施形態で示した半導体装置の製造方法の一例を示す。以下、図4を参照して説明する。

【0050】

はじめに、図4(a)に示す構造を作製する。まず、半導体素子を形成した基板(不図示)上に下地絶縁膜201を設け、その上に、配線溝形成時のエッチング阻止膜となるSiCN膜202をプラズマCVD法により50nm成膜する。

【0051】

次に、トリメチルシランガスの流量を段階的に増加させたプラズマCVD法によりSiOC膜203を300nm成膜する。ここで、トリメチルシランガスの流量を段階的に増加させることにより、SiOC膜203の膜密度が次第に低下する。トリメチルシランは、メチル基を有するため、モノシラン等と比較して嵩高い分子構造を有する。このため、原料ガス中のトリメチルシラン量を増加させることにより、膜密度が減少するのである。

【0052】

ここで、図5の工程ブロック図に示すように、CVD反応装置内に導入されたトリメチルシランガスは、すべてが導入された時にプラズマCVD法による成膜に用いられるのではなく、CVD法による成膜に用いられなかった未反応ガスもCVD反応装置内に存在する。このため、CVD反応装置内の未反応ガスとCVD反応装置内に新たに導入されたトリメチルシランガスとが混合されたガスが次の成膜に用いられることとなる。

【0053】

したがって、トリメチルシランガスの流量を段階的に増加させたとしても、SiOC膜203の成膜に用いられるガス中の炭素含有率は連続的に増加されることとなる。この結果、成膜されたSiOC膜203の膜密度、弾性率、熱応力は段階的な数値になるのではなく、連続的に変化する数値となる。

【0054】

その後、プラズマCVD法によりSiO₂膜204を100nm成膜して図4(a)の構造体を得る。

【0055】

その後、不図示のレジストマスクを用いてSiO₂膜204とSiOC膜203を選択的にドライエッチングし、配線溝207を形成する(図4(b))。

【0056】

次に、SiCNを除去するため、エッチバックを行う。その後、バリアメタルとしてTa/TaN膜208(上層がTa、下層がTa₂Nの積層膜。以下同様。)を30nm程度、スパッタリング法により成膜した後、その上にシード層となるCu膜をスパッタリング法により成膜する。その後、配線溝207を埋め込むように、電解メッキ法によりCu膜209を成膜する(図4(c))。このCu膜209をN₂雰囲気中で400℃、30分間アニールし、結晶化させる。次に、SiO₂膜204上のCu膜209およびTa/TaN膜208をCMPにより除去して配線溝207外部の銅を除去する。CMPは、SiO₂膜204表面が露出するまで行う。これにより銅配線が形成される(図4(d))。

【0057】

図4(d)の後、さらに、層間絶縁膜を形成し、同様の工程を実施して多層配線構造を得ることができる。また、図では単一の銅配線の断面のみを示したが、他の領域に複数の配線を同時に設けてもよい。

【0058】

以上のプロセスを経ることにより、図1に示した銅配線を形成することができる。

【0059】

したがって、SiOC膜203は、SiCN膜202と接しており、その接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向(積層方向上部に向かう方向)に膜密度が漸次

10

20

30

40

50

的に減少する膜密度プロファイルを有する。また、このような膜密度とした結果、弾性率、硬さの膜内分布も、SiCN膜202との接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向に漸次的に減少するプロファイルとなる。さらに、膜応力は、SiCN膜202との接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向に漸次的に増大するプロファイルとなる。すなわち、上記接触面近傍では、膜応力はSiCN膜202の膜応力に近い圧縮モードの値をとり、SiCN膜202から遠ざかる方向に向かって引っ張りモードの応力が増大する分布となる。

【0060】

ここで、弾性率とはヤング率のことであり、硬さとはピッカース硬度のことである。また、膜応力は、シリコン基板上に単層膜を形成した場合に観測される応力の値を示す。

10

【0061】

本実施形態に係る半導体装置は、上記のような構成の積層膜を設けるため、SiCN膜202とSiOC膜203との間の界面に発生する熱応力が徐々に緩和され、両者の間の密着性が顕著に改善される。これにより、ヒートサイクル耐性等が向上し、信頼性の高い半導体装置を実現することができる。

【0062】

SiOC膜203の誘電率プロファイルに注目すると、中央部は低い誘電率を有し、SiCN膜202近傍では高い誘電率となる。したがって、SiOC膜203全体としては低い誘電率となり、優れた層間密着性および低誘電率を兼ね備えた層間絶縁膜が実現される。

20

【0063】

なお、本実施形態においては、SiOC膜203の膜密度が、SiCN膜202から離れるにしたがって連続的に単調に減少する例について説明したが、途中、膜密度が一定となっている領域があってもよい。要は、SiOC膜203とSiCN膜202との間の熱応力が緩和される膜密度分布になっていればよい。

【0064】

また、本実施形態では上記膜密度分布を有する密度遷移領域をSiOC膜203の全体にわたって設けたが、SiOC膜203の一部にのみ密度遷移領域を設けてもよい。この場合、密度遷移領域の上部の膜密度プロファイルは任意に設定することができ、低誘電率化の観点から、ポラス膜で構成する等して、たとえば比誘電率2.7以下の膜とすることができる。

30

【0065】

こうした密度遷移領域は、SiOC膜203のSiCN膜202側だけでなく、SiO₂膜204の側に設けても良い。すなわち、SiO₂膜204から離れるにしたがって膜密度が漸次的に減少する膜密度分布を設けても良い。これにより、SiCN膜202側に比べ、SiO₂膜204側の密着性も向上する。

【0066】

この場合には、トリメチルシランガスの流量を段階的に増加させた後、一定の流量で成膜をした後、流量を段階的に減少させるプラズマCVD法によりSiOC膜203を300nm成膜する。ここで、トリメチルシランガスの流量を段階的に増加させた後、一定の流量で成膜をした後、流量を段階的に減少させることにより、SiOC膜203の膜密度が次第に低下した後、膜密度が一定になり、その後ふたたび膜密度が次第に上昇する。トリメチルシランは、メチル基を有するため、モノシラン等と比較して嵩高い分子構造を有する。このため、原料ガス中のトリメチルシラン量を増加させることにより、膜密度が減少するのである。

40

【0067】

本実施形態においては、第一の絶縁膜としてSiCN膜を用いた場合について説明したが、その他にたとえばSiC膜、SiN膜またはSiO₂膜等とすることができる。また、第二の絶縁膜としてSiOC膜を用いた場合について説明したが、その他に炭素を含む物質、たとえば、メチルシルセスキオキサン(MSQ)、メチレーテッドハイドロシルセ

50

スキオキサン (MHSQ) 等の塗布膜や、炭化シリコン (SiC) 等のCVD膜、またはこれらの膜をポーラス化したものとしてもよい。

【実施例】

【0068】

実施例 1

本実施例では、プラズマCVD法を用いて、SiCN膜の上に下面に向かって膜密度を高くしたSiOC膜を成膜した。

【0069】

図6は本実施例に用いたプラズマCVD装置の概略図であり、成膜室300、ヒーター301、上部電極302、RF発振器304、マスフローコントローラー305、排気ポンプ306から構成され、ヒーター301上にシリコン基板303を設置する。SiOC膜の成膜条件は図7に示すとおりである。温度：350、圧力：4 Torr、RFパワー：600W、O₂：500 sccm、He：300 sccmは成膜段階にかかわらず固定し、トリメチルシランの流入量を変化させる。ここで、図7(c)に示すように、トリメチルシランの流量を一定にする成膜段階を設けずに成膜することもできる。

10

【0070】

上記の方法で成膜したSiOC膜の物性値は図8に示すとおりである。図8(a)より、トリメチルシランガスの流量を増加させるにつれて膜密度および誘電率が減少することがわかる。

【0071】

20

ここで、成膜したSiOC膜とSiCN膜との密着性について、m-ELT法を用いて測定した。m-ELT法とは、サンプルの上にエポキシを塗布し、冷却によりエポキシを収縮させて、その収縮による剥離度によって密着性を測定するものである。このm-ELT法を用いてSiOC膜とSiCN膜との密着性を測定したところ、図8(a)に示すように、SiOC膜の膜密度が1.5 g/cm³以上であればSiCN膜との剥離が観察されなかったので、SiCN膜上にSiOC膜を成膜する場合、SiCN膜と接する最下層には膜密度が1.5 g/cm³以上のSiOC層を形成するのが好ましい。

【0072】

ここで、図8(b)は、上記の方法で成膜したSiOC膜を連続膜とし、トリメチルシランガスの流量を一定にして成膜したSiOC膜を単層膜とした時の密着力の差を示すものであり、連続膜のほうが単層膜よりも密着力に優れていることがわかる。

30

【0073】

また、図8(c)は、連続膜と単層膜それぞれについての、製品での耐久試験の歩留まり評価の結果である。これにより、連続膜のほうが単層膜よりも密着力に優れていることがわかる。

【0074】

ここで、SiCN膜の膜密度は1.5 g/cm³である。したがって、本実施例より、密着性が安定的に改善されるためには、SiOC膜とSiCN膜との膜密度の差異は0.7 g/cm³以下であることが好ましいことがわかる。

【0075】

40

また、SiO₂膜の膜密度は2.2 g/cm³である。したがって、本実施例より、密着性が安定的に改善されるためには、SiOC膜とSiO₂膜との膜密度の差異は0.7 g/cm³以下であることが好ましいことがわかる。

【0076】

また、上記の方法で成膜した場合には、このような膜密度となる結果、弾性率、硬さの膜内分布も、SiCN膜202との接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向に漸次的に減少するプロファイルとなる。さらに、膜応力は、SiCN膜202との接触面を起点としてSiCN膜202から遠ざかる方向に漸次的に増大するプロファイルとなる。すなわち、上記接触面近傍では、膜応力はSiCN膜202の膜応力に近い圧縮モードの値をとり、SiCN膜202から遠ざかる方向に向かって引っ張りモードの応力が

50

増大する分布となる。

【0077】

実施例2

本実施例では、プラズマCVD法を用いて、SiCN膜の上に、下面および上面に向かって膜密度を高くしたSiOC膜を成膜した。

【0078】

図6は本実施例に用いたプラズマCVD装置の概略図であり、成膜室300、ヒーター301、上部電極302、RF発振器304、マスフローコントローラー305、排気ポンプ306から構成され、ヒーター301上にシリコン基板303を設置する。SiOC膜の成膜条件は図9に示すとおりである。温度：350、圧力：4 Torr、RFパワー：600W、O₂：500 sccm、He：300 sccmは成膜段階にかかわらず固定し、トリメチルシランの流入量を変化させる。

10

【0079】

上記の方法で成膜したSiOC膜の物性値は図8に示すとおりである。トリメチルシランガスの流量を増加させるにつれて膜密度および誘電率が減少し、流量を減少させるにつれて膜密度および誘電率が増加することがわかる。

【0080】

実施例3

本実施例では、スピンコート法を用いて、SiCN膜の上に下面に向かって膜密度を高くしたSiOC膜を成膜した。

20

【0081】

図10に示すように、SiOC膜410の成膜は、SiO₂膜401の上に成膜されたSiCN膜402の上に密度が高い第一のSiOCを回転塗布し、150 から250 で5分程度キュアし溶媒を飛ばして、第一のSiOC膜404を成膜する。次に、密度が中間の第二のSiOCを回転塗布し、150 から250 で5分程度キュアし溶媒を飛ばして、第二のSiOC膜406を成膜する。その次に、密度が低い第三のSiOCを回転塗布し、150 から250 で5分程度キュアし溶媒を飛ばして、第三のSiOC膜408を成膜する。その後、400 で1時間焼成し、添加剤を除去して膜密度の異なるSiOC膜410を成膜する。

【0082】

30

ここで、回転塗布に用いた塗布液は、SiOC膜の材料と添加剤を混合したものであり、添加剤は高温焼成時に揮発する性質を有することが必要であり、たとえば、1,2-ジクロロエタン、テトラヒドロフラン、ジオキサン、トルエン、アセトンなどの有機化合物が好ましく用いられる。

【0083】

本実施例で説明したように、スピンコート法によるSiOC膜の成膜においても、SiCN膜402との界面での密着性が安定的に改善される。

【0084】

本実施例において、SiOCの密度の高低はポロシティの高低によって定まるので、成膜されたSiOC膜は膜密度が段階的に変化するポーラス膜であり、ポロシティが低いほど膜密度は高くなる。

40

【0085】

比較例

本比較例では、SiOC膜内の炭素濃度の違いによる密着性の違いと、SiOC膜の膜密度の違いによる密着性の違いについて比較する。

【0086】

図11(a)はSiOC膜内の炭素濃度とSiOC膜の密着強度との関係を示す図であり、図11(b)は、炭素濃度が13~15%程度の場合のSiOC膜の膜密度とSiOC膜の密着強度との関係を示す図である。図11(a)より、SiOC膜の密着強度は、SiOC膜内の炭素濃度には依存しないことが示される。また、図11(b)より、Si

50

OC膜内の炭素濃度が13～15%程度の場合には、SiOC膜の密着強度はSiOC膜の膜密度に依存することが示される。

【0087】

ここで、SiOC膜内の炭素濃度とSiOC膜の膜密度との間には必ずしも相関関係があるわけではない。したがって、SiOC膜内の炭素濃度を調整してもSiOC膜の膜密度は所望の密度には調整することは出来ず、他の成膜条件を調整することによって、SiOC膜の膜密度を所望の密着強度が得られる所望の膜密度に調整することが可能になる。

【0088】

以上、実施の形態に基づいて本発明を説明したが、これらは例示であり、その構成やプロセスを適宜変更することができる。

10

【0089】

たとえば、上記実施の形態では銅配線を用いたが、配線中にAl、Ag(銀)、W(タングステン)、Mg(マグネシウム)、Be(ベリリウム)、Zn(亜鉛)、Pc(パラジウム)、Cd(カドミウム)、Au(金)、Hg(水銀)、Pt(白金)、Si(シリコン)、Zr(ジルコニウム)、Ti(チタン)、Sn(スズ)、Ni(ニッケル)、Nd(ネオジウム)およびFe(鉄)といった異種元素のうち少なくとも一つと合金を形成した銅合金配線とすることもできる。

【0090】

また、上記実施の形態ではバリアメタルにTa/TaN膜を用いたが、バリアメタルは、Ti、TiN、TiSiN、Ta、TaN、およびTaSiNのうち少なくとも一つ有する構成とすることもできる。

20

【0091】

また、上記実施の形態ではプラズマCVD法による絶縁膜の成膜には原料ガスとしてトリメチルシランガスおよびO₂ガスを用いたが、アルキルシランガスおよび酸化性ガスの混合ガスを用いてもよい。アルキルシランガスとしては、モノメチルシラン、ジメチルシラン、テトラメチルシラン等が挙げられ、これらを単独で使用、または2種以上を併用することができる。酸化性ガスとは、アルキルシランに対する酸化作用を示すガスであって、分子中に酸素元素を含むものが用いられる。たとえば、NO、NO₂、N₂O、CO、CO₂およびO₂からなる群から選ばれる一または二以上のガスを用いることができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0092】

【図1】実施の形態における銅配線構造を示す断面図である。

【図2】実施の形態における銅配線構造を示す断面図である。

【図3】実施の形態における銅配線構造を示す断面図である。

【図4】実施の形態における銅配線形成プロセスを示す工程断面図である。

【図5】実施の形態における銅配線形成プロセスを示すブロック図である。

【図6】実施の形態におけるCVD装置の概略図である。

【図7】実施の形態における成膜条件を示す図である。

【図8】SiOC膜の物性データを示す図である。

【図9】実施の形態における成膜条件を示す図である。

40

【図10】実施の形態における成膜プロセスを示す工程断面図である。

【図11】密着強度と炭素濃度との関係を示す図である。

【符号の説明】

【0093】

200 半導体装置

201 下地絶縁膜

202 SiCN膜

203 SiOC膜

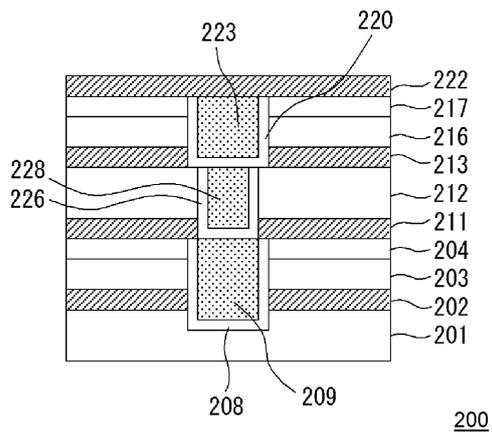
204 SiO₂膜

208 Ta/TaN膜

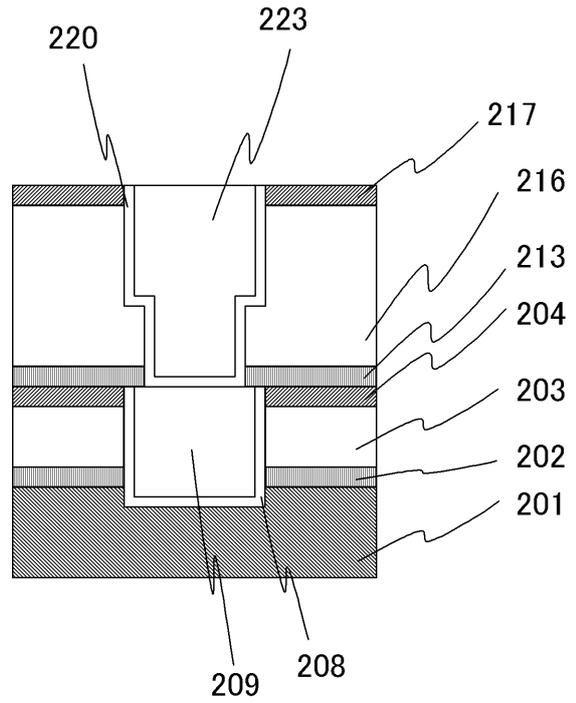
50

2 0 9	C u 膜	
2 1 3	S i C N 膜	
2 1 6	S i O C 膜	
2 1 7	S i O ₂ 膜	
2 2 0	T a / T a N 膜	
2 2 1	C u 膜	
2 2 3	C u 膜	
2 2 6	T a / T a N 膜	
2 2 7	C u 膜	
2 2 8	銅プラグ	10
2 3 0	S i O C 膜	
3 0 0	成膜室	
3 0 1	ヒーター	
3 0 2	上部電極	
3 0 3	シリコン基板	
3 0 4	R F 発振器	
3 0 5	マスフローコントローラー	
3 0 6	排気ポンプ	
4 0 0	半導体装置	
4 0 1	S i O ₂ 膜	20
4 0 2	S i C N 膜	
4 0 4	S i O C 膜	
4 0 6	S i O C 膜	
4 0 8	S i O C 膜	
4 1 0	S i O C 膜	
5 0 0	半導体装置	

【図1】

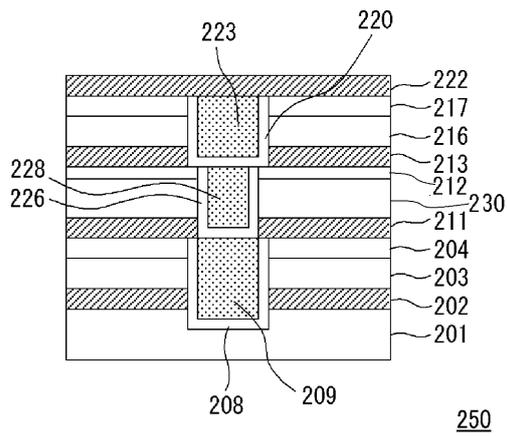


【図2】

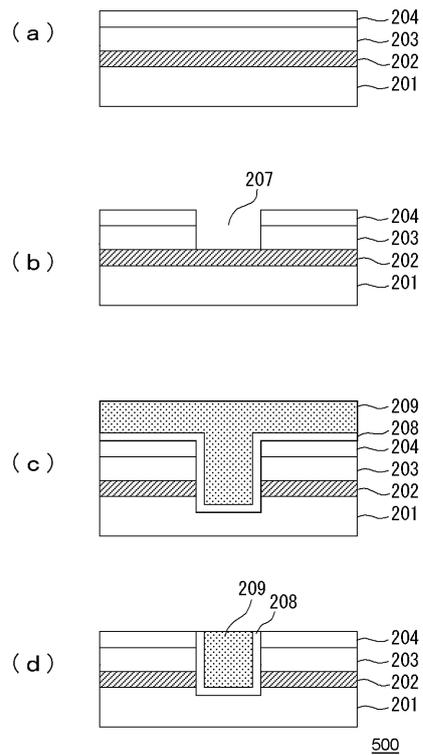


400

【図3】

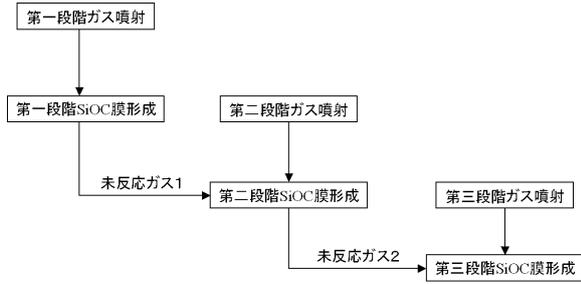


【図4】

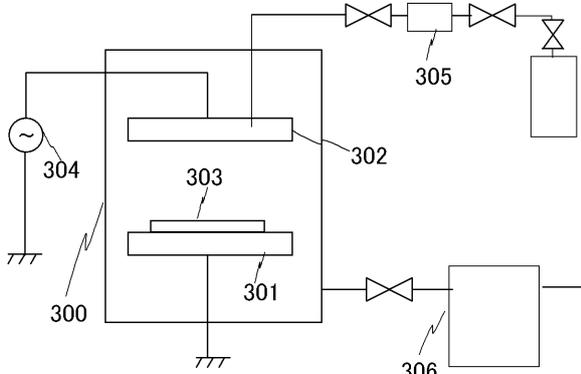


500

【図5】



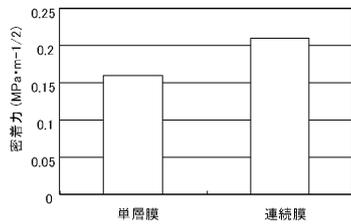
【図6】



【図8】

	SiOCH連続成膜ステップ		
	ini. 1st	ini. 2nd	main
密度 (g/cm ³)	2.08	1.50	1.33
弾性率 (GPa)	60.16	15.80	9.65
m-ELT (MPa·m ^{-1/2})	剥離無し	剥離無し	0.17

(a)



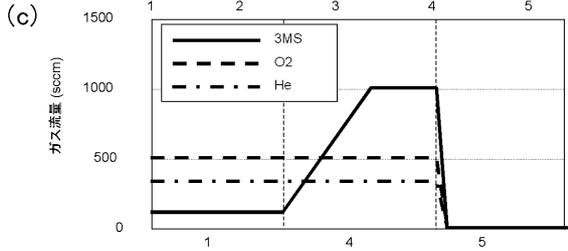
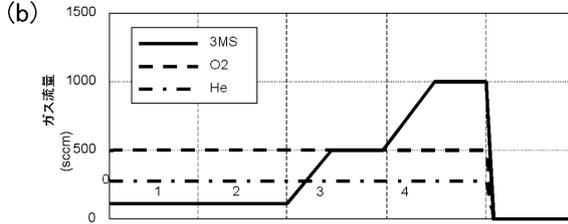
(b)

	単層膜	連続膜
	45%	100%

(c)

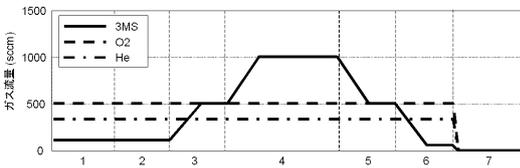
【図7】

成膜段階	1	2	3	4	5
	Stab.	1st	2nd	main	pump
温度 (°C)	350	350	350	350	350
圧力 (Torr)	4	4	4	4	4
RF power (W)	600	600	600	600	600
トリメチルシランガス (3MS) 流量 (sccm)	100	100	500	1000	0
O ₂ (sccm)	500	500	500	500	0
He (sccm)	300	300	300	300	0

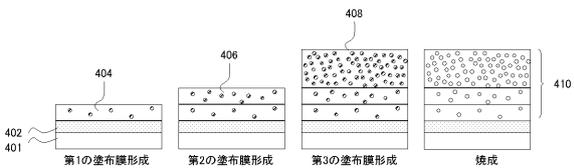


【図9】

成膜段階	1	2	3	4	5	6	7
	Stab.	1st	2nd	main	4th	5th	pump
温度 (°C)	350	350	350	350	350	350	350
圧力 (Torr)	4	4	4	4	4	4	4
RF power (W)	600	600	600	600	600	600	600
トリメチルシラン (3MS) ガス流量 (sccm)	100	100	500	1000	500	100	0
O ₂ (sccm)	500	500	500	500	500	500	0
He (sccm)	300	300	300	300	300	300	0

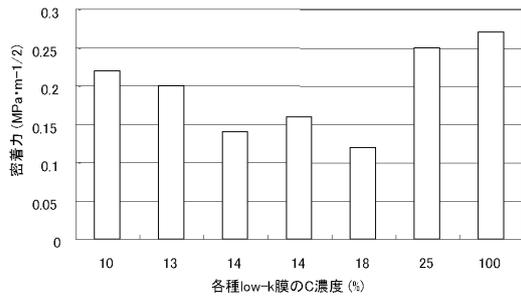


【図10】

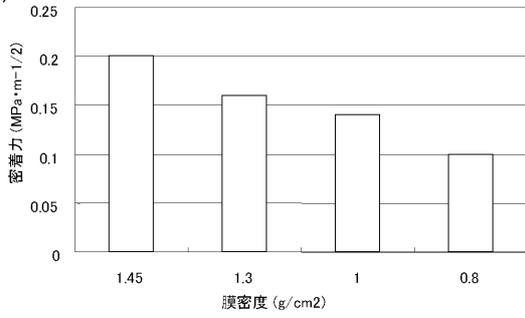


【 1 1】

(a)



(b)



フロントページの続き

審査官 池淵 立

(56)参考文献 特開2001-230244(JP,A)
特開2005-117026(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/768

H01L 21/316

H01L 23/522