

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5466365号
(P5466365)

(45) 発行日 平成26年4月9日(2014.4.9)

(24) 登録日 平成26年1月31日(2014.1.31)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 L 21/312	(2006.01)
HO 1 L 21/768	(2006.01)
HO 1 L 23/532	(2006.01)
HO 1 L 23/522	(2006.01)
C23C 16/42	(2006.01)
HO 1 L 21/90	
HO 1 L 21/90	
C 23 C 16/42	

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-556243 (P2007-556243)
(86) (22) 出願日	平成18年2月14日 (2006.2.14)
(65) 公表番号	特表2008-530821 (P2008-530821A)
(43) 公表日	平成20年8月7日 (2008.8.7)
(86) 国際出願番号	PCT/US2006/005204
(87) 国際公開番号	W02006/088881
(87) 国際公開日	平成18年8月24日 (2006.8.24)
審査請求日	平成20年12月12日 (2008.12.12)
(31) 優先権主張番号	10/906,370
(32) 優先日	平成17年2月16日 (2005.2.16)
(33) 優先権主張国	米国 (US)

(73) 特許権者	390009531 インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION アメリカ合衆国10504 ニューヨーク 州 アーモンク ニュー オーチャード ロード
(73) 特許権者	000002185 ソニー株式会社 東京都港区港南1丁目7番1号
(74) 代理人	100108501 弁理士 上野 剛史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板上にSiCOH誘電体を形成する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上にSiCOH誘電体を形成する方法であって、
リアクタ内に基板を配置するステップと、
Si、C、O及びHの原子を含む環状シロキサンである第1の前駆体と、酸化剤と、不活性キャリアとを前記リアクタ内に導入するステップと、
Si、C、O及びHの原子を含み、三次元ネットワーク構造を有するSiCOH誘電体材料を前記基板上に堆積させるステップとを含み、

前記堆積させるステップは、基板温度を300から400までの間に設定するステップと、RF電源の高周波電力密度を0.4W/cm²から0.6W/cm²までの間に設定するステップと、前記第1の前駆体の流量を2500mg/分から3000mg/分までの間に設定するステップと、前記酸化剤の流量を200sccmから250sccmまでの間に設定するステップと、前記不活性キャリアの流量を800sccmから1200sccmまでの間に設定するステップと、リアクタ圧力を5Torrから6Torrまでの間の圧力に設定するステップと、RF電源の高周波電力を300Wから500Wまでの間に設定するステップと、RF電源の低周波電力を40Wから80Wまでの間に設定するステップとを含む、

方法。

【請求項2】

前記第1の前駆体は、1,3,5,7-テトラメチルシクロテトラシロキサン (「TM」)

10

20

C T S」又は「C₄H₁₆O₄Si₄」)、オクタメチルシクロテトラシロキサン(OMCTS)のうちの1つを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記酸化剤は、O₂、CO₂、又はN₂Oのうちの少なくとも1つを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記不活性キャリアは、Ar、He、Ne、Xe、又はこれらの混合物を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記第1の前駆体はOMCTSであり、前記酸化剤はO₂であり、前記不活性キャリアはHeである、請求項1に記載の方法。 10

【請求項6】

前記堆積された誘電体材料に後処理ステップを施すステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

前記後処理ステップは、熱、電子ビーム、プラズマ、マイクロ波、及びUV光放射から選択されるエネルギー源を用いるステップを含む、請求項6に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

20

本発明は、多孔質であり、かつ、約3.0未満のオーダーの誘電率(k)を有する、Si、C、O及びHの原子を含む誘電体材料(以下、「SiCOH」誘電体材料)、並びに、これらの材料から作製された膜、及びこうした膜を含む電子デバイスを製造する方法に関する。本発明のSiCOH誘電体材料は、従来技術のSiCOH誘電体材料と比べて高い多孔度と、改善された機械的特性とをもたらす度合いの大きい結晶結合相互作用とを有する。本発明はまた、本発明の材料を製造するための非平衡法、並びに、超大規模集積(ULSI)回路及び関連する電子構造体の後工程(back-end-of line、BEOL)相互接続構造体において、この誘電体材料を、層内(intralevel)又は層間(interlevel)誘電体膜、誘電体キャップ、或いはハード・マスク/研磨停止として使用することに関する。

【背景技術】

30

【0002】

近年、ULSI(ultra large scale integration:超々大規模集積)回路において用いられる電子デバイスの寸法が縮小し続けていることの結果として、BEOLメタライゼーションの抵抗、並びに、層内及び層間誘電体の静電容量が増大した。この影響が組み合わされることで、ULSI電子デバイスにおける信号の遅延が増大する。今後のULSI回路のスイッチング性能を改善するため、低誘電率(k)の絶縁体、及び、特に酸化シリコンのものより著しく低いkを有する絶縁体が、静電容量を減少させるために必要とされている。

【0003】

超大規模集積回路(VLSI)チップ及びULSIチップの製造ステップの大部分は、プラズマ強化化学気相堆積技法又は物理気相堆積技法によって行われる。したがって、既に設置されており利用可能な処理装置を用いて、プラズマ強化化学気相堆積(PECVD)技法によって低k材料を製造することができると、製造プロセスにおけるその集積が簡略化され、製造コストが削減し、有害な廃棄物の生成が抑えられる。これらの特許の全体が引用により本明細書に組み込まれる、特許文献1及び特許文献2は、誘電率が3.6以下であるSi、C、O及びH原子の元素からなり、非常に小さいクラック伝播速度を示す低誘電率材料について記載している。

【0004】

これらの特許の全体が引用により本明細書に組み込まれる、特許文献3、特許文献4及び特許文献5は、Si、C、O及びH原子の元素から構成されたマトリクス(matrix)か

40

50

らなり、1つの相 (phase) は、主に C と H から構成され、3.2 以下の誘電率を有する、多相低 k 誘電体材料について記載する。

【0005】

当技術分野において、2.7 未満 (好ましくは、2.3 未満) の誘電率を有する超低 k 誘電体材料も周知である。低 k 及び超低 k SiCOH 膜は、非多孔質とすることも、又は多孔質とすることもできる。多孔質膜は、典型的には、膜の堆積の際にポロゲンを導入することによって形成され、ポロゲンは、その後、堆積後に通常の硬化プロセスを用いて除去される。一般に、多孔質 SiCOH 膜は、対応する非多孔質 SiCOH 膜と比べると、低い誘電率を有する。

【0006】

従来技術の低 k 及び超低 k SiCOH 膜に関連した重要な問題は、これらの機械的特性 (例えば、高いクラック速度及び応力、並びに低い弾性率 (モジュラス) 及び硬度といった) が不十分なものであることがある。一般に、従来技術の SiCOH 誘電体の機械的特性は、材料の誘電率が減少するにつれて低下する。したがって、多孔質 SiCOH 誘電体は、対応する非多孔質 SiCOH 誘電体と比べると、低い機械的特性を有する傾向がある。

10

【0007】

当技術分野において、堆積後に SiCOH 膜を処理することによって、低 k 又は超低 k SiCOH 誘電体の改善された機械的特性を達成することができる。例えば、低 k 又は超低 k 誘電体材料を安定化させ、その機械的特性を改善させるために、熱、UV 光、電子ビーム照射、化学エネルギー、又はこれらのエネルギー源の組み合わせを用いる硬化又は処理が使用された。このような堆積後の処理は可能であるが、それらは、低 k 又は超低 k 誘電体膜の製造に、余分な処理ステップ、よって、コストを付加することになる。

20

【0008】

【特許文献 1】米国特許第 6,147,009 号明細書

【特許文献 2】米国特許第 6,497,963 号明細書

【特許文献 3】米国特許第 6,312,793 号明細書

【特許文献 4】米国特許第 6,441,491 号明細書

【特許文献 5】米国特許第 6,479,110 B2 号明細書

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記を鑑みて、後の膜処理を必要とすることなく、又は堆積プロセスの際に多孔化剤 (ポロゲン) を導入する必要なく、良好な電子特性及び機械的特性を示す、多孔質の低 k 又は超低 k 誘電体膜を提供する必要性がある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、共有結合三次元ネットワーク構造 (tri-dimensional network structure) において Si、C、及び H (以下、「SiCOH」) の原子を含み、約 3.0 未満の誘電率、より度合いの大きい結晶結合相互作用、並びに、従来技術の SiCOH 誘電体と比べて、メチル終端基のようなより多くの炭素及びより少ないメチレン、-CH₂- 架橋基を有する、多孔質の低 k 又は超低 k 誘電体膜を提供するものである。「三次元ネットワーク構造」という用語は、本発明の全体を通して、x、y 及び z 方向に相互接続され、相互に関係付けられる、Si、C、O 及び H の原子を含む SiCOH 誘電体材料を示すように用いられる。「より度合いが大きい結晶相互作用」という語句は、Si、C、O 及び H の間により多くの局所的結合 (local bonding) を有する SiCOH 膜を示すように用いられる。このことは、結合結晶性の度合いがより小さい標準的な膜と比べて、対応する結合ピークが、より狭い結合ピーク幅で鋭くなる FTIR 及び NMR 結合スペクトルにおいて見ることができた。

40

【0011】

50

より度合いが大きい結晶結合相互作用により、従来技術のSiCOH誘電体と比べて、改善された機械的強度を有する本発明のSiCOH誘電体材料が提供されると考えられる。本発明の膜内に存在する減少した量のメチレン架橋基は、従来技術のSiCOH対応物と比べて多孔度が高く、分極基が増加した膜を提供する。

【0012】

大まかに言うと、本発明は、Si、C、O及びHの原子を含み、三次元ネットワーク構造を有する誘電体材料を提供するものであり、該材料は、約1.40未満のCH₃+CH₂伸縮についてのピーク面積、約2.0未満のSiH伸縮についてのピーク面積、約2.0より大きいSiCH₃結合についてのピーク面積、及び約60より大きいSi-O-Siの結合についてのピーク面積を含むFTIRスペクトルと、約20%より大きい、部分メソ細孔体積の分布で表した、多孔度とを有する。述べられた各ピーク面積は、誘電体材料の所定の厚さに対して正規化される。 10

【0013】

上述の値は、何らかの後処理ステップなしで予め形成された、堆積されたままのSiCOH誘電体についてのものである。UV処理のような後処理は、Si-H及びSi-CH₂-Si架橋結合を減少させ、Si-O-Si結合を増加させることが見出された。後処理プロセスは、本発明のSiCOH誘電体膜の機械的特性及び電気特性をさらに改善することが可能である。

【0014】

本発明はまた、電子構造体にも関し、電子構造体において、本発明のSiCOH誘電体材料を、層間又は層内誘電体、キャッピング層、及び/又はハード・マスク/研磨停止層として用いることができる。 20

【0015】

具体的には、本発明の電子構造体は、第1の絶縁材料層に埋め込まれた第1の金属領域と、第2の絶縁材料層に埋め込まれた第1の導体領域であって、第2の絶縁材料層が第1の絶縁材料層と緊密に接触し、第1の導体領域は第1の金属領域と電気的に連絡する第1の導体領域と、第1の導体領域と電気的に連絡し、第3の絶縁材料層内に埋め込まれた第2の導体領域であって、第3の絶縁材料層は第2の絶縁材料層と密接に接触している第2の導体領域とを有する、前処理された半導体基板を含む。

【0016】

上記の構造体においては、絶縁層の各々は、本発明の低k又は超低kSiCOH誘電体材料を含むことができる。 30

【0017】

電子構造体は、第1の絶縁材料層と第2の絶縁材料層との間に配置された誘電体キャップ層をさらに含むことができ、第2の絶縁材料層と第3の絶縁材料層との間に配置された誘電体キャップ層をさらに含むことができる。電子構造体は、第2の絶縁材料層と第3の絶縁材料層との間の第1の誘電体キャップ層と、第3の絶縁材料層の上の第2の誘電体キャップ層とをさらに含むことができる。

【0018】

幾つかの実施形態において、誘電体キャップ自体が、本発明の低k又は超低kSiCOH誘電体材料を含むことができる。 40

【0019】

電子構造体は、第2の絶縁材料層及び第3の絶縁材料層のうちの少なくとも一方の上に堆積された誘電体材料の拡散障壁層をさらに含むことができる。電子構造体は、RIEハード・マスク/研磨停止層として用いるための、第2の絶縁材料層の上の誘電体層と、誘電体RIEハード・マスク/研磨停止層の上の誘電体拡散障壁層とをさらに含むことができる。電子構造体は、第2の絶縁材料層の上の第1の誘電体RIEハード・マスク/研磨停止層と、第1の誘電体研磨停止層の上の第1の誘電体RIE拡散障壁層と、第3の絶縁材料層の上の第2の誘電体RIEハード・マスク/研磨停止層と、第2の誘電体研磨停止層の上の第2の誘電体拡散障壁層とをさらに含むことができる。誘電体RIEハード・マ 50

スク／研磨停止層もまた、本発明のSiCOH誘電体材料から構成されてもよい。

【0020】

本発明は、本発明のSiCOH材料を製造する方法にも関する。具体的には、大まかに言うと、本発明の方法は、リアクタ内に基板を配置するステップと、Si、C、O及びHの原子を含む第1の前駆体と、酸化剤と、不活性キャリアとをリアクタ内に導入するステップと、Si、C、O及びHの原子を含み、三次元ネットワーク構造を有するSiCOH誘電体膜を基板上に堆積させるステップであって、該材料は、約1.40未満のCH₃ + CH₂伸縮についてのピーク面積、約0.20未満のSiH伸縮についてのピーク面積、約2.0より大きいSiCH₃結合についてのピーク面積、及び約60より大きいSi-O-Si結合についてのピーク面積を含むFTIRスペクトルと、約20%より大きい多孔度とを有する、ステップとを含む。

【0021】

堆積ステップの際に、低い高周波(HF)／低周波(LF)電力(約150ワット以下のオーダー)を用いて、イオン衝撃を減少させる。低いHF/LF電力を用いることによって、より多くの第1の前駆体の二量体種、三量体種、及び／又は四量体種が、プラズマ内に存在する。さらに、本発明の堆積ステップは、より大きい酸化剤／第1の前駆体の比を用いて実行される。一般的に、この比率は、約1:2又はそれより大きい。より大きい酸化剤／第1の前駆体の比により、より大量の大きい反応種がもたらされるが、架橋結合は減少される。具体的には、本発明の堆積ステップは、非平衡プラズマCVD領域において実行され、放出において、より大きい多重結合分子量の反応種(例えば、元の有機シリコン前駆体の二量体、三量体、四量体断片)が形成され、多孔質膜の一部として堆積される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

良好な電子特性及び機械的特性を有する低k又は超低kSiCOH誘電体膜を提供する本発明が、ここでより詳細に説明される。本発明のSiCOH膜、及びこれを含むことができる幾つかの電子構造体を形成するプロセスを示すために用いられる図面は、縮尺に合わせて描かれていない。

【0023】

最初に、基板10の表面上に本発明のSiCOH誘電体膜12を形成した後に提供される構造体を示す図1を参照する。基板10に関連して用いられたときの「基板」という用語は、半導体材料、絶縁材料、導電性材料、又は多層構造を含むこれらのいずれかの組み合わせを含む。したがって、例えば、基板10は、Si、SiGe、SiGeC、SiC、GaAs、InAs、InP及び他のII/VI族又はII/VI族化合物半導体のような半導体材料とすることができます。半導体基板10はまた、例えば、Si/SiGe、Si/SiC、シリコン・オン・インシュレータ(silicon-on-insulator、SOI)、又はシリコン・ゲルマニウム・オン・インシュレータ(silicon germanium-on-insulator、SGOI)のような層状基板を含むこともできる。

【0024】

基板10が絶縁材料である場合、絶縁材料は、有機絶縁体、無機絶縁体、又は多層構造を含むそれらの組み合わせとすることができます。基板10が導電性材料である場合、基板10は、例えば、ポリSi、元素状金属、元素状金属の合金、金属シリサイド、金属窒化物及び多層構造を含むこれらの組み合わせを含むことができる。

【0025】

幾つかの実施形態において、基板10は、半導体材料と絶縁材料の組み合わせ、半導体材料と導電性材料の組み合わせ、又は半導体材料と絶縁材料と導電性材料の組み合わせを含む。

【0026】

基板10が半導体材料を含む場合、相補的金属酸化物半導体(CMOS)デバイスのような1つ又は複数の半導体デバイスを上に製造することができる。明確にするために、本

出願の図面において、1つ又は複数の半導体デバイスは示されていない。

【0027】

本発明の誘電体膜12は、Cドープ酸化物(CDO)又は有機シリケート・ガラス(OSG)とも呼ばれる、Si、C、O、及びH(SiCOH)の原子を含む多孔度誘電体材料を含む。堆積されたSiCOH誘電体膜12の厚さは、異なる場合があり、堆積されたSiCOH誘電体膜12についての典型的な範囲は、約50nmから約1μmまであり、100nmから500nmまでの厚さがより典型的である。本発明の誘電体膜の誘電率は、約3.0未満であり、約2.2から約2.8までの誘電率がより典型的である。約2.7未満の誘電率を有する誘電体が、本明細書において超低k誘電体とみなされる。

【0028】

本発明のSiCOH誘電体12は、Si、C、O、及びHが、x、y及びz方向に相互接続されて相互に関係付けられた、三次元ネットワーク構造を有する。本発明のSiCOH誘電体は、約1.40未満のCH₃+CH₂伸縮についてのピーク面積、約0.20未満のSiH伸縮についてのピーク面積、約2.0より大きいSiCH₃結合についてのピーク面積、及び約60より大きいSi-O-Si結合についてのピーク面積を含むFTIRスペクトルと、部分メソ細孔体積の分布で表した、約20%より大きい多孔度とを有するものとして特徴付けられる。述べられた各ピーク面積は、誘電体材料の所定の厚さに対して正規化される。

【0029】

典型的には、本発明のSiCOH誘電体12は、約2830cm⁻¹から約3050cm⁻¹のCH₃+CH₂伸縮についてのピーク面積と、約2170cm⁻¹から約2240cm⁻¹のSiH伸縮についてのピーク面積と、約1250cm⁻¹から約1290cm⁻¹及び約750cm⁻¹から約860cm⁻¹のSiCH₃結合についてのピーク面積と、約960cm⁻¹から約1220cm⁻¹のSi-O-Si結合についてのピーク面積とを有するFTIRスペクトルを有する。幾つかの実施形態において、本発明のSiCOH誘電体12は、約1.35のCH₃+CH₂伸縮についてのピーク面積と、約0.13のSiH伸縮についてのピーク面積と、約2.18のSiCH₃結合についてのピーク面積と、約62.9のSi-O-Si結合についてのピーク面積とを備えたFTIRスペクトルを有するものとして特徴付けられる。

【0030】

SiCOH誘電体膜12は、典型的には、約5原子百分率から約40原子百分率までの間のSiと、約5原子百分率から約45原子百分率までの間のCと、0原子百分率から約50原子百分率までの間のOと、約10原子百分率から約55原子百分率までの間のHとを有する。

【0031】

本発明のSiCOH誘電体膜12は、低いHF/LF電力比を用いて、堆積されたままの膜上のイオン衝撃を減少させるプロセスを用いて作製される。これにより、プラズマ中に、より多くの第1の前駆体の二量体反応種、三量体反応種、及び/又は四量体反応種が生成される。このことは、度合いが大きい結晶性及び改善された機械的特性を有する本発明のSiCOH誘電体膜を提供する。さらに、膜内の架橋を減少させるのに役立つより大きい反応種を提供するように、酸化剤と第1の前駆体の比が選択される。

【0032】

本発明のSiCOH誘電体膜12は、従来技術のSiCOH誘電体膜と比べて、多孔度が高い。具体的には、本発明のSiCOH誘電体膜12は、約20%以上のオーダーの測定された多孔度を有し、約22%から約25%までの測定された多孔度がより典型的である。本発明の膜12の多孔度は、多孔度が典型的には約15%未満のオーダーである従来技術のSiCOH誘電体の多孔度より高い。

【0033】

堆積されたままのSiCOH誘電体膜12の機械的特性は、約6GPaから約12GPaまでの範囲のモジュラス値と、約0.8GPaから約1.6GPaまでの範囲の硬度と

10

20

30

40

50

、約35 MPaから約70 MPaまでの範囲の応力と、約2.5 J/m²から約6 J/m²までの結合力 (cohesive strength) と、約1×10⁻¹ m/秒から約4×10⁻¹ m/秒までの、1.2 μmにおけるクラック速度と、約4×10² 原子/cm³から約9×10² 原子/cm³までの、RBSによって測定される密度とを含む。より典型的には、堆積されたままのSiCOH誘電体膜12の機械的特性は、約7 GPaから約10 GPaまでの範囲のモジュラス値と、約0.9 GPaから約1.2 GPaまでの範囲の硬度と、約40 MPaから約60 MPaまでの範囲の応力と、約3.5 J/m²から約4.5 J/m²までの結合力と、約5×10⁻¹ m/秒から約1.5×10⁻¹ m/秒までの、1.2 μmにおけるクラック速度と、約5×10² 原子/cm³から約7×10² 原子/cm³までの、RBSによって測定される密度とを含む。

10

【0034】

本発明のSiCOH膜12の電子特性は、約7 MV/cmより大きい破壊電圧と、2 MV/cm以上の印加電圧における約1×10⁻⁹ Amp/cm²の漏れ密度とを含む。より典型的には、本発明のSiCOH膜12は、約8 MV/cmより大きい破壊電圧と、2 MV/cm以上の印加電圧における約1×10⁻⁹ Amp/cm²の漏れ密度を有する。

【0035】

SiCOH誘電体膜12は、プラズマ強化化学気相堆積 (PECVD) を用いて、基板10をリアクタチャンバ内に配置することによって堆積される。具体的には、SiCOH誘電体膜12は、少なくともSi、C、O及びH原子を含む第1の前駆体 (precursor) (液体、気体、又は蒸気) と、酸化剤と、He又はArのような不活性キャリアとを準備し、それらを、好ましくはPECVDリアクタであるリアクタ内に導入し、次に、本発明のSiCOH誘電体材料を形成するのに有効な条件を用いて、前述の第1の前駆体から得られた膜を適切な基板上に堆積させることによって形成される。

20

【0036】

第1の前駆体は、1,3,5,7-テトラメチルシクロテトラシロキサン (「TMCTS」又は「C₄H₁₆O₄Si₄」)、オクタメチルシクロテトラシロキサン (OMCTS)、ジエトキシメチルシラン (DEMS)、ジメチルジメトキシシラン (DMDMOS)、ジエチルメトキシシラン (DEDMOS)、並びに関連する環状及び非環状シラン、シロキサンなどのようなSiCOH成分を含む環構造をもつ有機分子から選択される。

【0037】

30

本発明に用いることができる酸化剤の例は、O₂、CO₂、N₂O、又はこれらの組み合わせを含む。リアクタ内の反応物を安定化させるために、酸化剤が用いられ、このことは、基板10上に堆積されたSiCOH誘電体膜12の均一性の改善に役立つ。不活性キャリアは、Ar、He、Ne、Xe、又はこれらの混合物を含み、Heが最も典型的である。

【0038】

本発明の好ましい実施形態において、SiCOH誘電体膜12は、約85 cm²から約750 cm²までの間の基板チャックの導電性領域と、基板と上部電極との間の約1 cmから約1.2 cmまでの間のギャップ、すなわち間隔とを有する、平行板リアクタを準備するステップを含む方法を用いて堆積させることができる。リアクタはまた、別の電極を含むこともできる。高周波RF電力が、電極の1つに印加され、典型的には、付加的な低周波電力が、リアクタ内の別の電極に印加される。

40

【0039】

堆積ステップに用いられる条件は、SiCOH誘電体膜の所望の最終誘電率に応じて変わり得る。大まかに言うと、Si、C、O及びH元素を含み、約3.0未満の誘電率を有する安定した誘電体材料を提供するために用いられる条件は、基板温度を約250から約450までの間に設定すること、高周波RF電力密度を約0.20 W/cm²から約0.85 W/cm²までの間に設定すること、第1の前駆体の流量を約1800 mg/minから約3600 mg/minまでの間に設定すること、酸化剤の流量を約120 sccmから約320 sccmまでの間に設定すること、ヘリウム (及び/又は、アルゴン) のような

50

不活性キャリア・ガスの流量を約 500 sccm から約 2000 sccm までの間に設定すること、リアクタの圧力を約 4 Torr から約 8 Torr までの間の圧力に設定すること、高周波 RF 電力を約 150 W から約 800 W までの間に設定すること、及び低周波電力を約 0 W から約 200 W までの間に設定することを含む。

【0040】

より好ましくは、Si、C、O 及びH元素を含み、約 3.0 未満の誘電率を有する安定した誘電体材料を提供するために用いられる条件は、基板温度を約 300 から約 400 までの間に設定すること、高周波 RF 電力密度を約 0.4 W/cm² から約 0.6 W/cm² までの間に設定すること、第 1 の前駆体の流量を約 2500 mg / 分から約 300 0 mg / 分までの間に設定すること、酸化剤の流量を約 200 sccm から約 250 sccm までの間に設定すること、ヘリウム（及び / 又は、アルゴン）のような不活性キャリア・ガスの流量を約 800 sccm から約 1200 sccm までの間に設定すること、リアクタの圧力を約 5 Torr から約 6 Torr までの間の圧力に設定すること、高周波 RF 電力を約 300 W から約 500 W までの間に設定すること、及び低周波電力を約 40 W から約 80 W までの間に設定することを含む。基板チャックの導電性領域が X 倍に変化するとき、基板チャックに加えられる RF 電力も X 倍で変化する。

【0041】

堆積後、SiCOH 誘電体材料 12 は、随意的に、熱、電子ビーム、プラズマ、マイクロ波、或いは UV 又はレーザなどの光放射のようなエネルギー源を用いて処理することができる。前述のエネルギー源の組み合わせを本発明に用いることもできる。

【0042】

熱エネルギー源としては、例えば、堆積された SiCOH 誘電体膜 12 を 450 までの温度に加熱することができる、発熱体又はランプのようないすれかの源を含む。熱エネルギー源は、SiCOH 誘電体 12 を約 200 から約 450 までの温度に加熱できることがより好ましく、約 350 から約 425 までの温度がさらにより好ましい。この熱処理プロセスは、様々な時間で実行することができるが、約 0.5 分から約 300 分までの時間が典型的である。熱処理ステップは、典型的には、He、Ar、Ne、Xe、N₂、又はこれらの混合物のような不活性ガスの存在下で実行される。熱処理ステップは、アニール・ステップと呼ぶことができ、このステップでは、急速熱アニール、炉アニール、レーザ・アニール、又はスパイク・アニール条件が用いられる。

【0043】

幾つかの実施形態において、熱処理ステップは、例えば、H₂ 又は炭化水素のような水素源ガスを含むガス混合物の存在下で実行することができる。さらに他の実施形態においては、熱処理ステップは、100 万当たり 1000 部より少ない範囲の、非常に低い分圧の O₂ 及び H₂O を含むガス混合物の存在下で実行することができる。

【0044】

UV 光処理ステップは、基板を照射するために約 500 nm から約 150 nm までの波長を有する光を生成できる源を用いて実行され、このとき、ウェハ温度は 450 までに維持され、200 から 450 までの温度が好ましく、350 から 425 までの温度がさらにより好ましい。重要な結合を解離させ又は活性化させるには > 370 nm の放射エネルギーは不十分であり、そのため、好ましい波長範囲は、150 nm ~ 370 nm である。文献データ及び堆積されたままの膜で測定された吸光度スペクトルを使用して、SiCOH 膜の劣化のために、< 170 nm の放射は好都合でない可能性があることが見出された。さらに、エネルギー範囲 310 nm ~ 370 nm は、その光子当たりのエネルギーが相対的に低いため、範囲 150 nm ~ 310 nm と比べるとあまり有効ではない。150 nm ~ 310 nm 範囲では、堆積されたままの膜の吸光度スペクトルとの（疎水性などの）膜特性の最小劣化の最適なオーバーラップを随意的に使用して、SiCOH 特性を変えるのに最も有効な UV スペクトル領域を選択することができる。

【0045】

UV 光処理ステップは、上述の分圧範囲を用いて、不活性ガス、水素源ガス、又は O₂

10

20

30

40

50

及び H_2O のガス混合物において実行することができる。

【0046】

電子ビーム処理ステップは、ウェハ面にわたって均一な電子束 (electron flux) を生み出すことができる、0.5 keV から 25 keV までのエネルギー、及び 0.1 マイクロアンペア / cm^2 から 100 マイクロアンペア / cm^2 まで (好ましくは、1 マイクロアンペア / cm^2 から 5 マイクロアンペア / cm^2 まで) の電流密度を有する源を用いて実行され、このときウェハ温度は、450 までの温度に維持され、200 から 450 までの温度が好ましく、350 から 425 までの温度がさらにより好ましい。電子ビーム処理ステップに用いられる好ましい電子の線量は、50 マイクロクーロン / cm^2 から 500 マイクロクーロン / cm^2 までであり、100 マイクロクーロン / cm^2 から 300 マイクロクーロン / cm^2 までの範囲が好ましい。 10

【0047】

電子ビーム処理ステップは、上述の分圧範囲を用いて、不活性ガス、水素源ガス、又は O_2 及び H_2O のガス混合物において実行することができる。

【0048】

プラズマ処理ステップは、原子状水素 (H) 及び随意的に CH_3 、又は他の炭化水素ラジカルを生成することができる源を用いて実行される。直接プラズマ照射よりもダウンストリーム・プラズマ源 (downstream plasma source) の方が好ましい。プラズマ処理の間、ウェハ温度は、450 までの温度に維持され、200 から 450 までの温度が好ましく、350 から 425 までの温度がさらに非常に好ましい。 20

【0049】

プラズマ処理ステップは、プラズマを発生させることができるガスをリアクタ内に導入することによって実行され、その後にこのガスをプラズマに変換させる。プラズマ処理に使用できるガスは、Ar、N、He、Xe、又はKrのような不活性ガス (He が好ましい)、水素又は関連した原子状水素源、メタン、メチルシラン、関連した CH_3 基源、及びこれらの混合物を含む。プラズマ処理のガスの流量は、使用されているリアクタ・システムに応じて変わり得る。チャンバ圧は、0.05 Torr から 20 Torr までの範囲にすることができるが、圧力操作の好ましい範囲は、1 Torr から 10 Torr までである。プラズマ処理ステップは、典型的には、約 1/2 分から約 10 分行われるが、本発明ではより長い時間を用いることもできる。 30

【0050】

上記のプラズマの発生には一般に RF 又はマイクロ波電源が用いられる。RF 電源は、高周波範囲 (約 100 W 以上のオーダー)、低周波範囲 (250 W 未満) のいずれかで動作することができ、或いは、これらを組み合わせて用いることもできる。高周波電力密度は、0.1 W / cm^2 から 2.0 W / cm^2 までの範囲にすることができるが、好ましい動作範囲は、0.2 W / cm^2 から 1.0 W / cm^2 までである。低周波電力密度は、0.1 W / cm^2 から 1.0 W / cm^2 までの範囲にすることができるが、好ましい動作範囲は、0.2 W / cm^2 から 0.5 W / cm^2 までである。露出した誘電体表面の著しいスパッタ・エッティングを防ぐ (除去を < 5 ナノメートルにする) ため、選択される電力レベルは十分に低くなければならない。 40

【0051】

上記に加えて、深紫外線 (DUV) レーザ源を用いることもできる。堆積された SiC OH 誘電体 12 を処理するのに用いられるレーザ源は、典型的には、レーザガス混合物によって幾つかの DUV 波長の 1 つで動作するエキシマレーザである。例えば、308 nm の放射を発生させる XeF レーザを用いることができる。また、本発明においては、248 nm の放射を発生させる KrF レーザ又は 193 nm の放射を発生させる ArF レーザを用いることができる。エキシマレーザは、結果として数百ワット (W) の出力をもたらすジュール (J) に至るパルス・エネルギーにより毎秒数百パルスで動作することができる。

【0052】

堆積されたままの SiCOH 誘電体 12 を処理するのに用いられるレーザは、パルスモード下で動作することが好ましい。レーザビームを拡げて、サンプル全体を照射することができる。代替的に、より大きなサンプルについては、レーザ照射領域をサンプル全体にわたってラスター走査し、一様な線量（ドーズ量）を与えることができる。エキシマレーザを用いる際、フルエンスがパルス当たり 5 mJ/cm^2 未満に制限され、アブレーションが生じないことを保証する。エキシマレーザについては、約 10 ns の短いパルス幅により、 20 mJ/cm^2 より高いフルエンス・レベルにおいて材料のアブレーションが生じる場合がある。典型的には、パルス毎 $0.1 \text{ J/cm} - 5 \text{ mJ/cm}^2$ のレーザ・フルエンス・レベルが用いられる。総線量は、 1 ジュール/cm^2 から 10000 ジュール/cm^2 まで、好ましくは 500 J/cm^2 から 2000 J/cm^2 まで変わり得る。このことは、多数回のレーザ・パルス照射によって達成される。例えば、 10^6 パルス幅について 1 mJ/cm^2 のフルエンスを用いて、 1000 J/cm^2 の線量を得ることができる。エキシマレーザは、通常、毎秒数百パルスで動作する。要求される総線量に応じて、DUV レーザ処理のための総照射時間は、数秒から数時間に及ぶ。パルス毎 3 mJ/cm^2 のフルエンス・レベルで動作する 200 Hz レーザを用いて、典型的な 500 J/cm^2 の線量が、15 分以内に達成される。10

【0053】

上述の処理ステップは随意的なものであり、良好な電子特性及び機械的特性を有する SiCOH 誘電体膜を達成するために実行する必要はない。しかしながら、上記の処理は、誘電体膜の電気的特性及び機械的特性に著しい影響を与えることなく、本発明の SiCOH 誘電体膜と共に用いることができる。20

【0054】

上記の処理は、約 2830 cm^{-1} から約 3050 cm^{-1} までの $\text{CH}_3 + \text{CH}_2$ 伸縮についてのピーク面積、約 2170 cm^{-1} から約 2240 cm^{-1} までの SiH 伸縮についてのピーク面積、約 1250 cm^{-1} から約 1290 cm^{-1} まで及び約 750 cm^{-1} から約 860 cm^{-1} までの SiCH_3 結合についてのピーク面積、及び約 960 cm^{-1} から約 1220 cm^{-1} までの Si-O-Si 結合についてのピーク面積を有する FTIR スペクトルを有するものとして特徴付けられる SiCOH 誘電体を提供する。さらに、本発明の処理後の SiCOH 誘電体は、約 1.06 の $\text{CH}_3 + \text{CH}_2$ 伸縮についてのピーク面積、約 0 の SiH 伸縮についてのピーク面積、約 2.23 の SiCH_3 結合についてのピーク面積、及び約 66.3 の Si-O-Si 結合についてのピーク面積を有する FTIR スペクトルを有する。本発明の処理後の SiCOH 膜は、典型的には、約 9 GPa から約 11 GPa までのモジュラスを有する。30

【0055】

本発明の SiCOH 誘電体を含むことができる電子デバイスが、図 2 ~ 図 5 に示されている。図 2 ~ 図 5 に示されるデバイスは、本発明の例にすぎず、本発明によって無数の他のデバイスも形成できることに留意すべきである。

【0056】

図 2 においては、シリコン基板 32 上に構築された電子デバイス 30 が示されている。シリコン基板 32 の上には、最初に絶縁材料層 34 が形成されており、その中には第 1 の金属領域 36 が埋め込まれている。第 1 の金属領域 36 に CMP プロセスを実施した後、第 1 の絶縁材料層 34 及び第 1 の金属領域 36 の上に、本発明の SiCOH 誘電体膜 38 が堆積される。第 1 の絶縁材料層 34 は、酸化シリコン、窒化シリコン、これらの材料のドープされたもの、又はいずれかの他の適切な絶縁材料から適切に形成することができる。次に、SiCOH 誘電体膜 38 をフォトリソグラフィ・プロセスでパターン形成し、続いてこれをエッチングし、その上に導体層 40 を堆積させる。第 1 の導体層 40 に CMP プロセスを実施した後、第 1 の SiCOH 誘電体膜 38 及び第 1 の導体層 40 の上に、プラズマ強化化学気相堆積プロセスによって、第 2 の本発明の SiCOH 膜層 44 が堆積される。導体層 40 は、金属材料又は非金属の導電性材料の堆積物とすることができます。例えば、アルミニウム又は銅の金属材料、或いは窒化物又はポリシリコンの非金属材料を堆4050

積させることができる。第1の導体40は、第1の金属領域36と電気的に連絡している。

【0057】

次に、本発明のSiCOH誘電体膜44にフォトリソグラフィ・プロセスを実施した後に、この膜をエッティングし、次いで第2の導体性材料の堆積プロセスを実施することによって、第2の導体領域50が形成される。第2の導体領域50はまた、第1の導体層40の堆積に使用されるものと同様の金属材料又は非金属材料の堆積物とすることができる。第2の導体領域50は、第1の導体領域40と電気的に連絡しており、第2の本発明のSiCOH誘電体膜層44に埋め込まれている。第2の本発明のSiCOH誘電体膜層は、本発明の第1のSiCOH誘電体材料層38と緊密に接触している。この例においては、第1の本発明のSiCOH誘電体膜層38は層内誘電体材料であり、第2の本発明のSiCOH誘電体膜層44は、層内及び層間誘電体の両方である。

【0058】

図3は、本発明の電子デバイス60を示し、このデバイスは、図2に示される電子デバイス30のものと類似しているが、第1の絶縁材料層38と第2の絶縁材料層44との間に付加的な誘電体キャップ層62が堆積されている。誘電体キャップ層62は、酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、高融点金属窒化シリコン（高融点金属は、Ta、Zr、Hf、又はWである）、炭化シリコン、炭窒化シリコン（SiCN）、酸化炭化シリコン（SiCO）及びこれらの水素化化合物などの材料から適切に形成することができる。付加的な誘電体キャップ層62は、第2の絶縁材料層44又はその下位層、特に層34及び32に第1の導体層40が拡散することを防ぐための拡散障壁層の働きをする。

【0059】

本発明の電子デバイス70の別の代替的な実施形態が、図4に示される。電子デバイス70においては、RIEマスク及びCMP（化学機械研磨）研磨停止層の働きをする2つの付加的な誘電体キャップ層72及び74が用いられる。第1の誘電体キャップ層72は、第1の超低k絶縁材料層38の上に堆積されており、RIEマスク及びCMP停止として使用されるので、CMP後の第1の導体層40と層72は、ほぼ同一平面上にある。第2の誘電体層74の機能は、層72と類似しているが、層74は、第2の導体層50の平坦化に用いられる。研磨停止層74は、酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、高融点金属窒化シリコン（高融点金属は、Ta、Zr、Hf、又はWである）、炭化シリコン、酸化炭化シリコン（SiCO）及びこれらの水素化化合物などの適切な誘電体材料の堆積物とすることができます。層72又は74についての研磨停止層の好ましい組成は、SiCH又はSiCOHである。第2の誘電体層74は、第2のSiCOH誘電体膜44の上に同じ目的のために追加することができる。

【0060】

本発明の電子デバイス80のさらに別の代替的な実施形態が、図5に示される。この代替的な実施形態においては、付加的な誘電体材料層82が堆積されており、そのため、第2の絶縁材料層44が別個の2つの層84と86に分割されている。したがって、本発明の低k材料から形成された層内及び層間誘電体層44は、ビア92と相互接続部94との間の境界で、層間誘電体層84と層内誘電体層86に分割されている。上部誘電体層74の上に、さらに付加的な拡散障壁層96が堆積されている。この代替的な実施形態の電子構造体80によって与えられる付加的な利点は、誘電体層82がRIEエッティング停止として働き、優れた相互接続部の深さ制御が得られることである。したがって、層82の組成は、層86が選択的にエッティングされるように選択される。

【0061】

さらに別の代替的な実施形態は、前処理された半導体基板を含む、配線構造体内の層内又は層間誘電体として絶縁材料層を有する電子構造体であって、第1の絶縁材料層に埋め込まれた第1の金属領域と、第2の絶縁材料層に埋め込まれた第1の導体領域であって、第2の絶縁材料層が第1の絶縁材料層と緊密に接触し、第1の導体領域が第1の金属領域と電気的に連絡する第1の導体領域と、第1の導体領域と電気的に連絡し、第3の絶縁材

10

20

30

40

50

料層に埋め込まれた第2の導体領域であって、第3の絶縁材料層が第2の絶縁材料層と緊密に接触する第2の導体領域と、第2の絶縁材料層と第3の絶縁材料層との間にある第1の誘電体キャップ層と、第3の絶縁材料層の上の第2の誘電体キャップ層とを有し、第1及び第2の誘電体キャップ層が、Si、C、O及びHの原子を含む材料、又は好ましくは本発明のSiCOH誘電体膜から形成された、電子構造体を含むことができる。

【0062】

本発明のさらに別の代替的実施形態は、前処理された半導体基板を含む、配線構造体内の層内又は層間誘電体としての絶縁材料層を有する電子構造体であって、第1の絶縁材料層に埋め込まれた第1の金属領域と、第1の絶縁材料層と緊密に接触する第2の絶縁材料層に埋め込まれた第1の導体領域であって、第1の導体領域が第1の金属領域と電気的に連絡する第1の導体領域と、第1の導体領域と電気的に連絡し、第3の絶縁材料に埋め込まれた第2の導体領域であって、第3の絶縁材料層が第2の絶縁材料層と密接に接触する第2の導体領域と、第2の絶縁材料層と第3の絶縁材料層のうちの少なくとも一方の上に堆積された本発明の低k膜から形成された拡散障壁層とを含む、電子構造体を含む。

10

【0063】

さらに別の代替的実施形態は、前処理された半導体基板を含む、配線構造体内の層内又は層間誘電体として絶縁材料層を有する電子構造体であって、第1の絶縁材料層に埋め込まれた第1の金属領域と、第1の絶縁材料層と緊密に接触する第2の絶縁材料層に埋め込まれた第1の導体領域であって、第1の導体領域は第1の金属領域と電気的に連絡する第1の導体領域と、第1の導体領域と電気的に連絡し、第3の絶縁材料層に埋め込まれた第2の導体領域であって、第3の絶縁材料層は第2の絶縁材料層と緊密に接触する第2の導体領域と、第2の絶縁材料層の上の反応性イオン・エッチング(RIE)ハード・マスク/研磨停止層と、RIEハード・マスク/研磨停止層の上の拡散障壁層とを有し、RIEハード・マスク/研磨停止層及び拡散障壁層は、本発明のSiCOH誘電体膜から形成される、電子構造体を含む。

20

【0064】

さらに別の代替的実施形態は、前処理された半導体基板を含む、配線構造体内の層内又は層間誘電体として絶縁材料層を有する電子構造体であって、第1の絶縁材料層に埋め込まれた第1の金属領域と、第1の絶縁材料層と緊密に接触する第2の絶縁材料層に埋め込まれた第1の導体領域であって、第1の導体領域は第1の金属領域と電気的に連絡する第1の導体領域と、第1の導体領域と電気的に連絡し、第3の絶縁材料層に埋め込まれた第2の導体領域であって、第3の絶縁材料層は第2の絶縁材料層と緊密に接触する第2の導体領域と、第2の絶縁材料層の上の第1のRIEハード・マスク/研磨停止層と、第1のRIEハード・マスク/研磨停止層の上の第1の拡散障壁層と、第3の絶縁材料層の上の第2のRIEハード・マスク/研磨停止層と、第2のRIEハード・マスク/研磨停止層の上の第2の拡散障壁層とを有し、RIEハード・マスク/研磨停止層及び拡散障壁層が本発明のSiCOH誘電体膜から形成される、電子構造体を含む。

30

【0065】

本発明のさらに別の代替的実施形態は、配線構造体内の層内又は層間誘電体として絶縁材料層を有する、上述したものと同様の電子構造体であって、本発明のSiCOH誘電体材料から形成された、層間誘電体層と層内誘電体層との間に位置する誘電体キャップ層をさらに含む、電子構造体を含む。

40

【0066】

以下の実施例は、本発明のSiCOH誘電体材料を示し、従来技術のSiCOH誘電体とこれとの違いを示すために与えられる。

【実施例】

【0067】

この例においては、本発明のSiCOH誘電体材料が準備され、従来技術のSiCOH誘電体と比較された。上述の方法を用いて、本発明のSiCOH誘電体、すなわちサンプルAが準備された。第1の前駆体はOMCTSであり、酸化剤はO₂であった。堆積条件

50

は、2800 mgmのOMCTS流量、220 sccmのO₂流量、1000 sccmのHeキャリア流量、350 の基板堆積温度、5 Torrの圧力、450 milの間隔、400WのHF電力、及び60WのLF電力を含むものであった。

【0068】

堆積後にUV処理が施されたことを除いて、上記の手順を用いて、別のサンプル、すなわちサンプルBが作製された。

【0069】

前駆体としてOMCTSを用いる従来技術のSiCOH誘電体、すなわちサンプルCが準備され、次の条件、すなわち2500 mgmのOMCTS流量、160 sccmのO₂流量、1000 sccmのHeキャリア流量、350 の基板堆積温度、5 Torrの圧力、450 milの間隔、500WのHF電力、及び150WのLF電力が用いられた。
10

【0070】

従来技術のSiCOH誘電体であるサンプルDが、次のように、すなわち2500 mgmのOMCTS流量、160 sccmのO₂流量、1000 sccmのHeキャリア流量、350 の基板堆積温度、5 Torrの圧力、450 milの間隔、500WのHF電力、及び140WのLF電力のように準備された。

【0071】

サンプルA-DについてのFTIRスペクトルが、それぞれ、図6及び図7に示される。FTIRの結果は、OMCTSのサンプルA及びBが、Si-CH₃結合（およそ1270 cm⁻¹及びおよそ800 cm⁻¹）及びSi-O-Siネットワーク結合（およそ1030 cm⁻¹）において、より鋭いピーク半値幅で示される度合いの大きい短距離の結合相互作用を有することを示した。より鋭い結合ピークは、Si-CH₃及びSi-O-Siネットワークにおいてより短距離の結合規則性が高いことを示した。
20

【0072】

FTIRデータに加えて、ポジトロニウム消滅寿命分光法(positroniumannihilation lifetime spectroscopy、PALS)を用いて、サンプルA及び従来技術のサンプルCの多孔度が測定された。多孔度の測定結果が、図8に示される。具体的には、図8は、本発明のSiCOH誘電体材料が、従来技術のSiCOH誘電体（約10%～12%の多孔度）と比べてより高い多孔度（22%から25%までの間）を有していたことを示す。

【0073】

電気測定は、100 nm～500 nmの厚さの本発明の膜が、8.5 MV/cmより大きい優れた破壊電圧と、2 MV/cmの印加電界における5×10⁻⁸ Amp/cm²未満の低い漏れを有していたことを示した。
30

【0074】

本発明を例示的に説明してきたが、使用した用語は、説明のためのものであり、限定を意図したものではないことを理解すべきである。さらに、本発明は、好ましい実施形態及び幾つかの代替的な実施形態について説明されたが、当業者であれば、これらの教示を本発明の他の可能な変形形態に容易に適用できることを認識すべきである。

【産業上の利用可能性】

【0075】

本発明は、集積回路の製造に有用であり、特に、低誘電率の膜を有する超大規模集積回路及び関連する電子構造体、並びに、それらの製造に有用である。
40

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】基板上での本発明のSiCOH誘電体材料の形成を示す（断面図による）図形的表示である。

【図2】層内誘電体層と層間誘電体層の両方として本発明のSiCOH誘電体膜を含む本発明の電子デバイスの拡大断面図である。

【図3】本発明のSiCOH誘電体膜の上に堆積された付加的な拡散障壁誘電体キャップ層を有する、図2の電子構造体の拡大断面図である。
50

【図4】付加的なRIEハード・マスク／研磨停止誘電体キャップ層と、研磨停止層の上に堆積された誘電体キャップ拡散障壁層とを有する、図3の電子構造体の拡大断面図である。

【図5】本発明のSiCOH誘電体膜の上に堆積された付加的なRIEハード・マスク／研磨停止誘電体層を有する、図4の電子構造体の拡大断面図である。

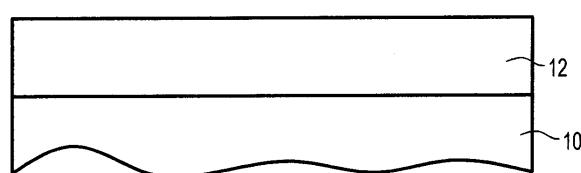
【図6】本発明の堆積されたままのSiCOH誘電体A、本発明のUV処理されたSiCOH誘電体B、従来技術のSiCOH誘電体C、及び従来技術のSiCOH誘電体Dを含む、異なるSiCOH誘電体のFTIRスペクトルである。

【図7】 1300 cm^{-1} から 700 cm^{-1} までの間の波長範域が強調されている、図6に示されるFTIRスペクトルである。

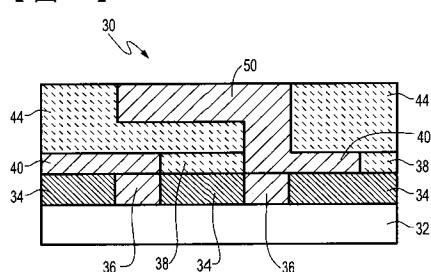
【図8】従来技術のSiCOH誘電体Cと比較した、本発明のSiCOH誘電体Aの多孔度を示すグラフである。

10

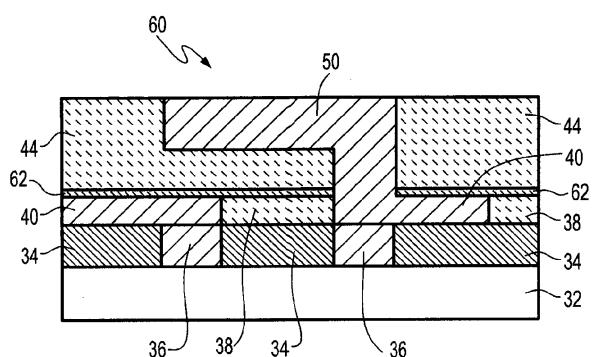
【図1】



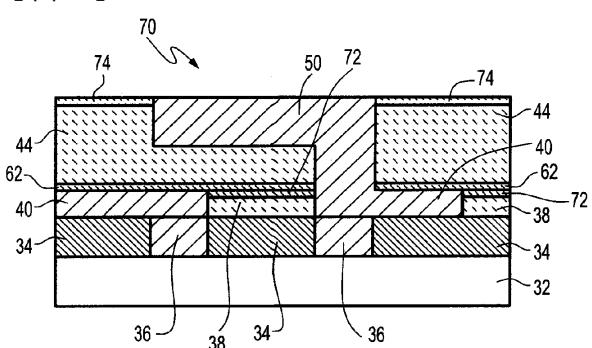
【図2】



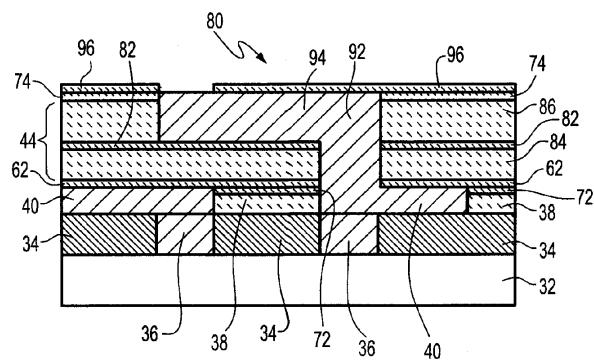
【図3】



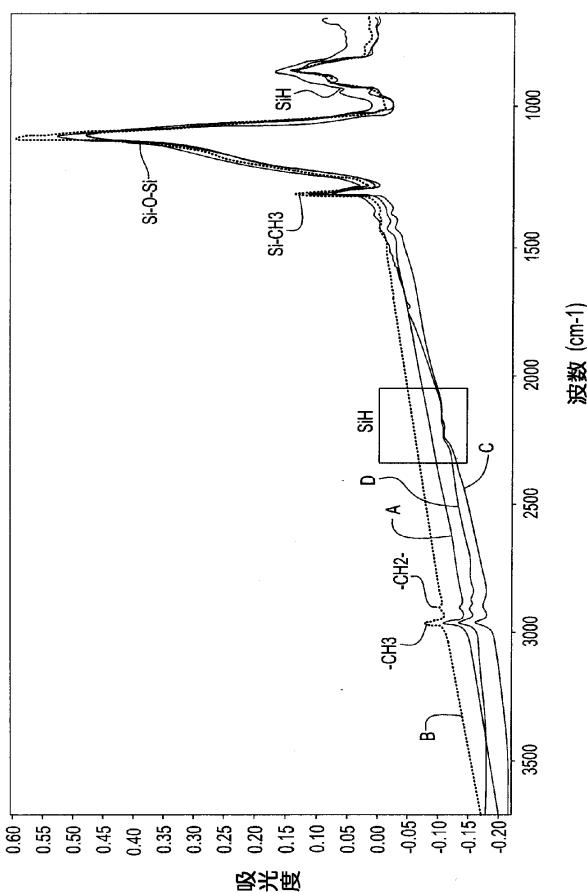
【図4】



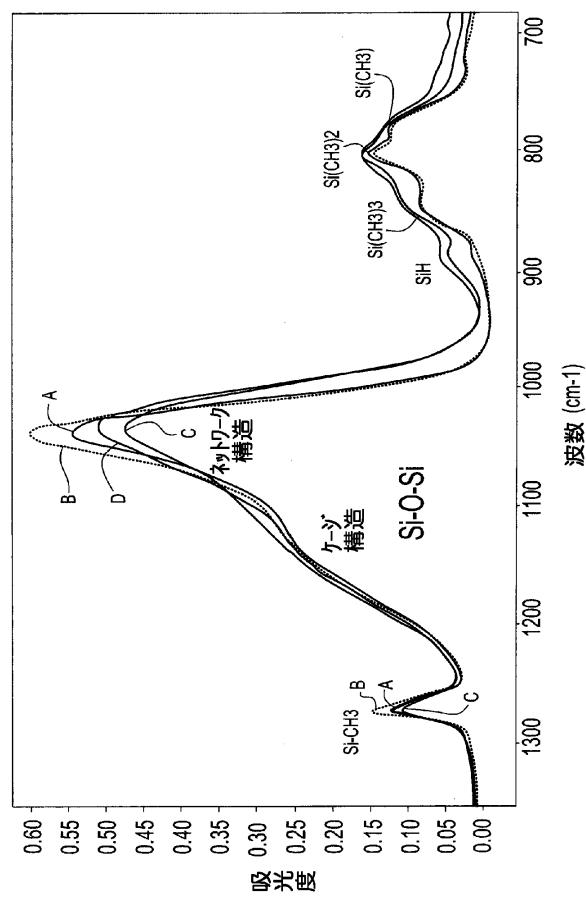
【図5】



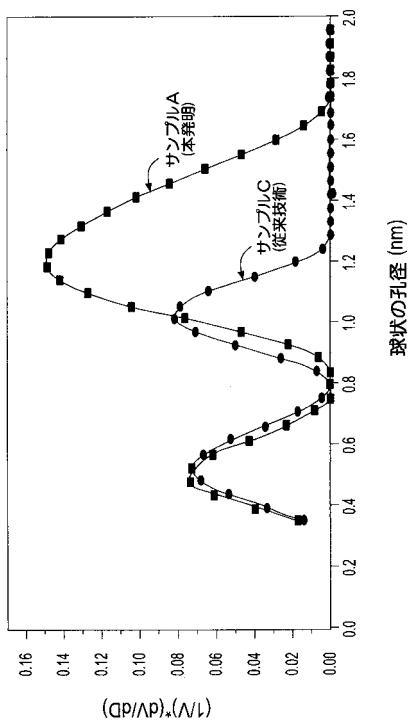
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(74)代理人 100112690
弁理士 太佐 種一

(74)代理人 100091568
弁理士 市位 嘉宏

(74)代理人 100086243
弁理士 坂口 博

(72)発明者 グエン、ソン、ヴィ
アメリカ合衆国 10598 ニューヨーク州 ヨークタウン・ハイツ パークウェイ・ドライブ
16

(72)発明者 レーン、サラ、エル
アメリカ合衆国 12590 ニューヨーク州 ワピンジャーズ・フォールズ タウン・ビュー・
ドライブ 313

(72)発明者 リー、チャ
アメリカ合衆国 94538 カリフォルニア州 フレモント レスリー・ストリート 3963
9 アパートメント ナンバー244-07

(72)発明者 イダ、ケンサク
アメリカ合衆国 12590 ニューヨーク州 ワピンジャーズ・フォールズ タウン・ビュー・
ドライブ 267

(72)発明者 レスタイル、ダリル、ディー
アメリカ合衆国 12548 ニューヨーク州 モデナ スージー・オーバル 14

(72)発明者 ノガミ、タケシ
アメリカ合衆国 10530 ニューヨーク州 ハーツデール ハーツデール・アベニュー イー
スト 50 アパートメント 5ティー

審査官 田代 吉成

(56)参考文献 特開2004-134738 (JP, A)
国際公開第03/095702 (WO, A1)
特開2004-190033 (JP, A)
国際公開第2004/001815 (WO, A1)
特表2004-515057 (JP, A)
特開2001-203200 (JP, A)
特開平09-260369 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/205
H01L 21/31
H01L 21/312-21/3213
H01L 21/768
H01L 23/522
H01L 23/532
C23C 1/00-56/00