

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-130991
(P2008-130991A)

(43) 公開日 平成20年6月5日(2008.6.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/768 (2006.01)	HO 1 L 21/90 K	5 F 0 3 3
HO 1 L 23/522 (2006.01)	HO 1 L 21/312 Z	5 F 0 5 8
HO 1 L 21/312 (2006.01)	HO 1 L 21/316 P	
HO 1 L 21/316 (2006.01)	HO 1 L 21/316 G	
	HO 1 L 21/316 X	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2006-317446 (P2006-317446)
(22) 出願日 平成18年11月24日 (2006.11.24)

(71) 出願人 000005223
富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(74) 代理人 100108187
弁理士 横山 淳一
(72) 発明者 須田 章一
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 徳世 志野
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 中田 義弘
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

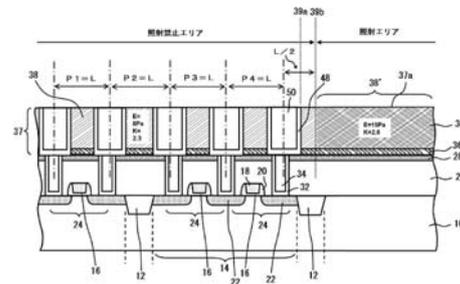
(54) 【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 1の層間絶縁膜について、配線の配置密度が異なる場所に同じ絶縁材料を使用し、且つ、配線の配置密度に対応した寄生容量を有する半導体装置或いは半導体装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 配線の配置密度が異なる第1のエリア及び第2のエリアを有する半導体装置の製造方法であって、前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜を形成する工程と、前記絶縁膜の表出する面のうち、前記第1のエリアよりも前記配置密度が小さい前記第2のエリアにエネルギー線を照射し、前記絶縁膜のヤング率が前記第1のエリアに比べて大きな値になるように、前記絶縁膜の構造を変える工程とを有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

配線の配置密度が異なる第 1 のエリア及び第 2 のエリアを有する半導体装置の製造方法であって、

前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜を形成する工程と、

前記絶縁膜の表出する面のうち、前記第 1 のエリアよりも前記配置密度が小さい前記第 2 のエリアにエネルギー線を照射し、前記絶縁膜のヤング率が前記第 1 のエリアに比べて大きな値になるように、前記絶縁膜の構造を変える工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 2】

前記配線は金属より成り、前記絶縁膜はシリコン酸化膜より成ることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 3】

前記配線と前記絶縁膜とを有する配線層が複数積層され、

前記第 1 のエリアは、

1 の前記配線層における前記配線のうち、最小の配線間ピッチで配置されている部分と、前記部分における配線間のエリアとを併せた最小ピッチ配線エリアを含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 4】

前記第 1 のエリアは、

前記最小ピッチ配線エリアの周囲を、予め定められた距離だけ広げたエリアであることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 5】

前記配線と前記絶縁膜とを有する配線層が複数積層され、

前記第 1 のエリアは、

1 の前記配線層における全配線について、前記配線の中心から前記配線の幅方向に、予め定められた距離だけ広げたエリアである。

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 6】

前記エネルギー線を照射しながら、熱処理を行う

ことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 7】

前記絶縁膜を形成する工程は、

スピンコート法より、熱分解性化合物を含む絶縁膜材料を塗布する工程と、

熱処理を行うことにより、前記熱分解性化合物を分解し、前記絶縁膜材料中に空孔を形成することにより、前記絶縁膜を形成する工程と

を有することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 8】

配線の配置密度が異なる第 1 のエリア及び第 2 のエリアを有する半導体装置であって、

前記配線と前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜とを有する絶縁層を有し、

前記絶縁層のうち、前記第 1 のエリアよりも前記配置密度が低い前記第 2 のエリアの前記絶縁膜が、前記第 1 のエリアの前記絶縁膜のヤング率よりも大きなヤング率になるように、改質されている

ことを特徴とする半導体装置。

【請求項 9】

前記配線は金属より成り、前記絶縁膜はシリコン酸化膜より成る

ことを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置。

【請求項 10】

配線の配置密度が異なる複数のエリアを有する半導体装置であって、

前記配線と前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜とを有する配線層を有し、

10

20

30

40

50

前記配線層内で、前記配置密度に応じて異なるヤング率になるように、前記エリア毎に前記絶縁膜が改質されてい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、半導体装置及びその製造方法に係り、特に、絶縁膜として低い比誘電率の材料を使用しながら、高い機械的強度を有する半導体装置及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近時では、半導体装置の高集積化に伴って、配線幅や配線間隔が非常に狭く設定されるようになってきている。配線間の寄生容量は、隣接する配線との距離（配線間隔）に反比例することから、配線間隔を狭めることによって配線間の寄生容量が増大する。そして、配線間の寄生容量の増大は、当該配線における信号の伝搬速度の遅延を招き、半導体装置の動作速度を向上させる際の阻害要因となる。

【0003】

このような「配線間の寄生容量の増大」を解消する方法としては、層間絶縁膜の比誘電率を下げるのが有効である。すなわち、層間絶縁膜に使用する材料として、従来使用されている材料よりも低い比誘電率を有する材料を用いることにより、配線間の寄生容量を減少させるのである。

【0004】

比誘電率が極めて低い絶縁膜として、多孔質の絶縁膜が注目されている。多孔質の絶縁膜とは、絶縁膜中に多数の小さな空孔が形成されている膜のことである。層間絶縁膜の材料に「多孔質の絶縁材料」を用いれば、配線間の寄生容量を低減させることが可能となる。このように、多孔質の絶縁材料を層間絶縁膜として用いることによって、配線間の寄生容量を低減することは可能であるが、膜中に存在する多数の空孔の影響で、膜の機械的強度が低下してしまう。その結果、装置に必要な機械的強度に対して十分な機械的強度を備えることが困難になるという問題が発生している。

【0005】

このような状況から、層間絶縁膜に対して、選択的に多孔質の絶縁膜を使用することが考えられている。すなわち、1つの層間絶縁膜のうち、強度を必要としない箇所のみを、多孔質の絶縁膜に置き換えるのである（特許文献1、2参照）。特許文献1には、ボンディングの際に絶縁膜が破壊されてしまうことのないように、ボンディングパッドの形成領域下に非多孔質の絶縁膜を設け、それ以外の領域に多孔質の絶縁膜を設けることが開示されている。特許文献2には、配線間隔の狭い領域のみに、多孔質材料からなる低誘電率の層間絶縁膜を設け、それ以外の領域に、酸化シリコン（ SiO_2 ）からなる通常の層間絶縁膜を設けた例が開示されている。

【特許文献1】特開2003-100757号公報

【特許文献2】特開2004-179386号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1及び特許文献2に開示されている技術では、いずれも、1つの層間絶縁膜を形成する際に、2種類の絶縁材料（多孔質の絶縁材料及び非多孔質の絶縁材料）をそれぞれ個別に形成する工程が必要になる。そのため、層間絶縁膜を形成する工程数が大幅に増加してしまうという問題がある。

【0007】

本発明は、上記のような問題点に鑑みてなされたものであり、1の層間絶縁膜について、配線の配置密度が異なる場所に同じ絶縁材料を使用し、且つ、配線の配置密度に対応し

10

20

30

40

50

た寄生容量を有する半導体装置或いは半導体装置の製造方法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】

上記の課題は、層間絶縁膜として、多孔質の絶縁材料からなる膜を形成した後、その一部分について、当該膜の構造を変えることにより解決可能である。

【0009】

すなわち、本発明の一観点によれば、本発明の半導体装置の製造方法は、配線の配置密度が異なる第1のエリア及び第2のエリアを有する半導体装置の製造方法であって、前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜を形成する工程と、前記絶縁膜の表出する面のうち、前記第1のエリアよりも前記配置密度が小さい前記第2のエリアにエネルギー線を照射し、前記絶縁膜のヤング率が前記第1のエリアに比べて大きな値になるように、前記絶縁膜の構造を変える工程とを有することを特徴とする。

10

【0010】

また、本発明の他の観点によれば、本発明の半導体装置は、配線の配置密度が異なる第1のエリア及び第2のエリアを有する半導体装置であって、前記配線と前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜とを有する配線層を有し、前記配線層のうち、前記第1のエリアよりも前記配置密度が低い前記第2のエリアの前記絶縁膜が、前記第1のエリアの前記絶縁膜のヤング率よりも大きなヤング率になるように、改質されていることを特徴とする。

【0011】

また、本発明の他の観点によれば、本発明の半導体装置は、配線の配置密度が異なる複数のエリアを有する半導体装置であって、前記配線と前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜とを有する配線層を有し、前記配線層内で、前記配置密度に応じて異なるヤング率なるように、前記エリア毎に前記絶縁膜が改質されていることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0012】

このような構成にすることにより、本発明では、1つの層間絶縁膜を形成する際に、複数の種類の絶縁膜を形成することが不要になり、層間絶縁膜の形成工程が簡略化される。また、当該層間絶縁膜内に存在する配線の配置密度に合わせて配線間の寄生容量を変えることができる。更には、配線間の寄生容量が小さい箇所について、当該配線間の寄生容量を大きくなる方向にシフトさせ、配線間の寄生容量を全体的に均一化することもできる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下に、本発明の実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

【実施例1】

【0014】

図1は、本発明の実施例1による半導体装置の断面図である。図1に示されるように、半導体装置は、半導体基板10上には、層間絶縁膜26、ストッパ膜28、絶縁膜36、層間絶縁膜38が順次形成されている。半導体基板10には素子分離膜12が形成され、この素子分離膜12によって画定された素子領域14に、トランジスタ24が形成されている。

40

【0015】

また、層間絶縁膜26及びストッパ膜28内には、密着層32及び導体プラグ34が形成されている。絶縁膜36及び層間絶縁膜38内には、バリア膜及びシード膜から成る積層膜48と、配線50とが形成されている。配線50の材料は、例えば銅(Cu)である。このように、層間絶縁膜38内には配線50が形成され、層間絶縁膜38及び配線50により1つの層(第1の配線層)が形成される。

【0016】

トランジスタ24は、図1に示すように、ゲート絶縁膜16及びサイドウォール絶縁膜20に囲まれるゲート電極18と、半導体基板10内(ゲート電極18両側の半導体基板

50

10内)に形成されるソース/ドレイン拡散層22等によって構成される。

【0017】

層間絶縁膜38(第1の絶縁膜)は、例えば、多孔質の酸化シリコンより成る膜である。層間絶縁膜38には、例えば、電子線や紫外線エネルギー線のエネルギー線の照射によって、その多孔質性が改質された改質部38'が存在する。多孔質の層間絶縁膜38は、例えば、そのヤング率 $E = 8 \text{ GPa}$ 、比誘電率 $K = 2.3$ であるが、改質部38'は、そのヤング率 $E = 15 \text{ GPa}$ 、比誘電率 $K = 2.6$ になる。すなわち、エネルギー線の照射によって、機械的強度がアップするとともに、比誘電率もアップする。ここで、「改質」とは、膜の構造を変えることを言う。

【0018】

図1において、ライン39bを境にして、一方の側(配線50が形成されている側)は、エネルギー線の照射を行わない「照射禁止エリア」であり、ライン39bを境にして他方の側が、エネルギー線の照射を行なう「照射エリア」である。具体的には、ライン39bは、配線層37における配線50のうち、配線間隔 P が最小の配線間ピッチ($P = L$)である部分と、その部分における配線間のエリアを含んだ「最小ピッチ配線エリア」を画成するラインである。このように、配線層37において、配線50の配置密度が大きいエリア(第1のエリア)にはエネルギー線の照射は行わず、配線50の配置密度が小さいエリア(第2のエリア)にはエネルギー線の照射を行う。このとき、ライン39bは、第1のエリアと第2のエリアとの境界線になる。

【0019】

なお、配線の配置密度とは、配線層の断面において、配線部分が占有する面積の割合である。具体的には、例えば、配線層37における断面37aにおいて、配線部分(図1における配線50及び配線積層膜48)が占有する面積の割合である。ここで、断面37aは、図1に示すように、層間絶縁層38を形成する際に表出する面と平行な面(すなわち、半導体基板10の主面と平行な面)である。従って、例えば、設計段階において、配線層37における1の断面について等面積の複数のエリアに分割し、当該エリアごとに配線の配置密度を求めることにより、「照射禁止エリア」を決定することができる。この場合には、配線の配置密度は、1つのエリアの面積(全体面積)に対して、配線部分が露出している面積(配線面積)が占める割合である。

【0020】

図1に示すように、照射禁止エリアは、例えば、「最小ピッチ配線エリア」の周囲を、最小の配線間ピッチの2分の1($L/2$)の距離だけ広げたエリアである。なお、照射禁止エリアを、「最小ピッチ配線エリア」と同じエリアとしても良い。また、第1の配線層における全配線50(或いは、第1の配線層における「最小ピッチ配線エリア」内の配線)について、配線50の中心から配線50の幅方向に、「予め定められた距離」だけ広げたエリアを、照射禁止エリアとしても良い。ここで、「予め定められた距離」を、例えば、最小の配線間ピッチの2分の1($L/2$)の距離としても良い。このように、1つの層における全配線について「照射禁止エリア」を設定した場合には、配線の一部の箇所を特定する処理が不要になり、照射禁止エリアの設定が容易に行えるというメリットがある。

【0021】

図2は、図1における第1の配線層を上面から見た図である。なお、図1は、図2中の線 $X-X'$ に沿って切断した場合の断面図である。図2中の線39bの内側のエリアが「照射禁止エリア」である。ここで、線39aの内側を「照射禁止エリア」としても良い。このように、配線50の配置密度が大きいエリア(即ち、配線が密のエリア)を除いて、配線50の配置密度が小さいエリア(即ち、配線が疎のエリア)のみにエネルギー線を照射する。

【0022】

次に、本発明の実施例1による半導体装置の製造方法を、図3~図16を用いて詳細に説明する。図3~図16は、実施例1による半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

- 工程 1 -

図 3 (a) に示すように、半導体基板 1 0 に素子分離膜 1 2 及びトランジスタ 2 4 を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【 0 0 2 4 】

1) 最初に、半導体基板 1 0 に、例えば L O C O S (L O C a l O x i d a t i o n o f S i l i c o n) 法により素子分離膜 1 2 を形成する (工程 1 - 1) 。この素子分離膜 1 2 により、素子領域 1 4 が画定される。半導体基板 1 0 としては、例えばシリコン基板を用いる。

【 0 0 2 5 】

2) 次に、素子領域 1 4 にトランジスタ 2 4 を形成する (工程 1 - 2) 。具体的には、
10
先ず、素子領域 1 4 上に、ゲート絶縁膜 1 6 を介してゲート電極 1 8 を形成する。次に、ゲート電極 1 8 の側面にサイドウォール絶縁膜 2 0 を形成する。次に、サイドウォール絶縁膜 2 0 及びゲート電極 1 8 をマスクとして、半導体基板 1 0 内にドーパント不純物を導入することにより、半導体基板 1 0 内 (ゲート電極 1 8 の両側の半導体基板 1 0 内) にソース/ドレイン拡散層 2 2 を形成する。このような工程により、ゲート電極 1 8 とソース/ドレイン拡散層 2 2 とを有するトランジスタ 2 4 が形成される。

【 0 0 2 6 】

- 工程 2 -

図 3 (b) に示すように、層間絶縁膜 2 6 、ストッパ膜 2 8 及びコンタクトホール 3 0
20
を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【 0 0 2 7 】

1) 最初に、例えば C V D 法により、基板全面に、シリコン酸化膜より成る層間絶縁膜 2 6 を形成する (工程 2 - 1) 。ここで、「基板全面」とは、素子分離膜 1 2 及びトランジスタ 2 4 を形成された半導体基板 1 0 について、素子分離膜 1 2 及びトランジスタ 2 4 が形成された面の全面を意味する。このように、本実施例においては、半導体基板 1 0 上に絶縁膜等が形成された状態のものを、便宜上「基板」と表現し、当該基板における一方の面の表面を「基板表面」と、当該基板における一方の面の全面を「基板全面」と表現する。

【 0 0 2 8 】

2) 次に、層間絶縁膜 2 6 上に、例えば膜厚 5 0 n m のストッパ膜 2 8 を形成する (工
30
程 2 - 2) 。ストッパ膜 2 8 の材料としては、例えばプラズマ C V D 法により形成された S i N 膜、水素化 S i C 膜 (S i C : H 膜) 、水素化酸化 S i C 膜 (S i C : O : H 膜) 、窒化 S i C 膜 (S i C : N 膜) 等を用いることができる。なお、水素化 S i C 膜とは、S i C 膜中に水素原子 (H) が存在する膜のことである。水素化酸化 S i C 膜とは、S i C 膜中に酸素原子 (O) と水素原子 (H) とが存在する膜のことである。窒化 S i C 膜とは、S i C 膜中に窒素原子 (N) が存在する膜のことである。ストッパ膜 2 8 は、後述する工程において、層間絶縁膜 2 6 内に形成されるコンタクトホール 3 0 を埋める膜 (タングステン膜) を研磨する際に、ストッパとして機能する。また、ストッパ膜 2 8 は、後述する工程において、層間絶縁膜 3 8 等に溝 4 6 を形成する際に、エッチングストッパとしても機能する。
40

【 0 0 2 9 】

3) 次に、フォトリソグラフィ技術を用い、ソース/ドレイン拡散層 2 2 に達するコンタクトホール 3 0 を形成する (工程 2 - 3) 。

【 0 0 3 0 】

- 工程 3 -

図 4 (a) に示すように、密着層 3 2 及び導体プラグ 3 4 を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【 0 0 3 1 】

1) 最初に、例えばスパッタ法により、基板全面に、密着層 3 2 を形成するための膜 (図示せず) を形成する (工程 3 - 1) 。なお、当該膜は、T i N 膜より成る膜厚 5 0 n m
50

の膜であり、後述する導体プラグ34と、その下地（コンタクトホール30の表面）との密着性を確保するためのものである。

【0032】

2)次に、例えばCVD法により、基板全面に、例えば膜厚1 μ mのタングステン膜34（図示せず）を形成する（工程3-2）。

【0033】

3)次に、例えばCMP法により、ストッパ膜28の表面が露出するまで、密着層32を形成するための膜及びタングステン膜34を研磨する（工程3-3）。このような工程により、コンタクトホール内に密着層32が形成され、更に、コンタクトホール内にタングステンより成る導体プラグ34が埋め込まれる。

10

【0034】

- 工程4 -

図4(b)に示すように、水素化酸化SiC膜（SiC:O:H膜）より成る絶縁膜36を形成する。SiC膜は半導体であるが、内部に酸素原子(O)と水素原子(H)を含んだ水素化酸化SiC膜は絶縁体である。このように、水素化酸化SiC膜からなる絶縁膜36は、緻密性が高い絶縁膜である。絶縁膜36の密度は、後述する多孔質の絶縁膜38の密度より高い。絶縁膜36は、水分等の拡散を防止するバリア膜としても機能する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【0035】

1)最初に、プラズマCVD装置（図示せず）のチャンバ内に、工程3で形成された基板を導入する（工程4-1）。プラズマCVD装置としては、例えば平行平板型のプラズマCVD装置を用いる。

20

【0036】

2)次に、基板の温度を300~400 に加熱する（工程4-2）。

【0037】

3)次に、反応性ガスをチャンバ内に導入する（工程4-3）。具体的には、先ず、アルキル基を有するシロキサンモノマを気化装置（図示せず）により気化し、反応性ガスを生成する。次に、不活性ガスをキャリアとして、反応性ガスをチャンバ（図示せず）内に導入する。ここで、平板電極（図示せず）間に高周波電力を印加すると、反応性ガスのプラズマが発生し、水素化酸化SiC膜より成る絶縁膜36が形成される。なお、反応性ガスの供給量は、例えば1mg/minとする。このような工程により、水素化酸化SiC膜より成る絶縁膜36が形成される。

30

【0038】

- 工程5 -

図5に示すように、多孔質の層間絶縁膜（第1の絶縁膜）38を形成する。多孔質の層間絶縁膜38を構成する材料としては、例えば

- ・多孔質のシリコン酸化膜 (A)
- ・カーボンを含む多孔質のシリコン酸化膜 (B)
- ・有機化合物 (C)
- ・クラスタ状の珪素を含む絶縁材料 (D)

40

等が挙げられる。以下、これらの形成方法について順に説明する。

【0039】

(A)多孔質のシリコン酸化膜より成る層間絶縁膜（Porous SiO₂膜）

多孔質の層間絶縁膜38の膜厚は、例えば膜厚160nmとする。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【0040】

1)最初に、多孔質の層間絶縁膜38を形成するための絶縁膜材料を用意する（工程5A-1）。具体的には、例えば、テトラアルコキシシラン、トリアルコキシシラン、メチルトリアルコキシシラン、エチルトリアルコキシシラン、プロピルトリアルコキシシラン、フェニルトリアルコキシシラン、ビニルトリアルコキシシラン、アリルトリアルコキ

50

シシラン、グリシジルトリアルコキシシラン、ジアルコキキシシラン、ジメチルジアルコキシシラン、ジエチルジアルコキシシラン、ジプロピルジアルコキシシラン、ジフェニルジアルコキシシラン、ジビニルジアルコキシシラン、ジアリルジアルコキシシラン、ジグリシジルジアルコキシシラン、フェニルメチルジアルコキシシラン、フェニルエチルジアルコキシシラン、フェニルプロピルトリアルコキシシラン、フェニルビニルジアルコキシシラン、フェニルアリルジアルコキシシラン、フェニルグリシジルジアルコキシシラン、メチルビニルジアルコキシシラン、エチルビニルジアルコキシシラン、プロピルビニルジアルコキシシラン等を原料として用いる。そして、当該原料に加水分解反応や縮重合反応を起こさせることによって生成されるポリマに、熱分解性化合物を添加し、液状の絶縁膜材料を得る。熱分解性化合物としては、例えばアクリル樹脂等を用いる。

10

【0041】

2) 次に、例えばスピンコート法によって、基板全面に、工程5-1で得た絶縁膜材料を塗布する(工程5-2)。塗布条件は、例えば3000回転/分、30秒とする。

【0042】

3) 次に、熱処理(ソフトベーク)を行う(工程5-3)。熱処理を行う際には、例えばホットプレート(図示せず)を用いる。本処理により、熱分解性化合物が熱分解され、層間絶縁膜38中に空孔(細孔)が形成される。空孔の直径は、例えば10~20nm程度となる。熱処理温度は、200~350に設定する。熱処理温度を200~350に設定するのは、以下のような理由によるものである。

20

【0043】

熱処理温度を200より低く設定した場合には、熱分解性化合物が十分に熱分解されず、空孔が十分に形成されないこととなる。また、熱処理温度を200より低く設定した場合には、熱分解性化合物が熱分解される速度が極めて遅く、空孔を形成するのに長時間を要してしまうこととなる。一方、熱処理温度を350より高く設定した場合には、絶縁膜材料の硬化が急速に進行してしまい、空孔の形成が阻害されてしまうこととなる。このような理由により、熱処理温度は、200~350に設定することが好ましい。ここでは、熱処理温度を例えば200とする。このような工程により、基板全面に、多孔質のシリコン酸化膜より成る層間絶縁膜38が形成される。

【0044】

(B) カーボンを含む多孔質のシリコン酸化膜より成る層間絶縁膜(Porous Carbon Deposited SiO₂膜)

30

具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【0045】

1) 最初に、プラズマCVD装置(図示せず)のチャンバ内に、半導体基板10を導入する(工程5B-1)。プラズマCVD装置としては、例えば平行平板型のプラズマCVD装置を用いる。

【0046】

2) 次に、基板の温度を例えば300~400に設定する(工程5B-2)。

【0047】

3) 次に、反応性ガスをチャンバ内に導入する(工程5B-3)。まず、アルキル基を有するシロキサンモノマを気化装置(図示せず)により気化し、反応性ガスを生成する。次に、キャリアガスを用いて、反応性ガスをチャンバ内に導入する。この際、平板電極(図示せず)間に高周波電力を印加すると、反応性ガスのプラズマが発生する。この際、堆積レートを比較的速く設定すれば、多孔質の層間絶縁膜38を形成することができる。

40

【0048】

例えば、以下のように成膜条件を設定すれば、多孔質の層間絶縁膜38を形成することが可能である。反応性ガスとしては、例えば、ヘキサメチルジシロキサンを用いる。反応性ガスの供給量は、例えば3mg/minとする。キャリアガスとしては、CO₂を用いる。キャリアガスの流量は、例えば6000sccmとする。平板電極間に印加する高周波電力は、例えば、13.56MHz(500W)及び100kHz(500W)とする

50

。このような工程により、カーボンを含む多孔質のシリコン酸化膜より成る層間絶縁膜 38 が形成される。

【0049】

また、カーボンを含む多孔質シリコン酸化膜より成る層間絶縁膜 38 を、例えば、以下に示すように、熱分解性の原子団（熱分解性化合物）又は酸化分解性の原子団（酸化分解性化合物）を含む原料を用いて、形成するようにしてもよい。なお、この形成方法では、熱分解性又は酸化分解性の原子団を、プラズマにより分解させながら形成する。

【0050】

1) 最初に、プラズマ CVD 装置（図示せず）のチャンバ内に半導体基板 10 を導入する（工程 5B' - 1）。プラズマ CVD 装置としては、例えば平行平板型のプラズマ CVD 装置を用いる。

10

【0051】

2) 次に、基板温度を例えば 250 ~ 350 に設定する（工程 5B' - 2）。

【0052】

3) 次に、反応性ガスをチャンバ内に導入する（工程 5B' - 3）。まず、アルキル基を有するシロキサンモノマを気化装置により気化し、第 1 の反応性ガスを生成する。また、フェニル基を有するシラン化合物を気化装置により気化し、第 2 の反応性ガスを生成する。なお、フェニル基は、加熱した状態で酸化反応を起こさせると分解する原子団（熱分解性及び酸化分解性原子団）である。次に、CO₂ ガスをキャリアガスとして用いて、これらの反応性ガスをチャンバ内に導入する。この際、平板電極（図示せず）間に高周波電力を印加すると、CO₂ ガスがプラズマ（酸素プラズマ）となり、フェニル基が分解される。フェニル基を分解しながら、層間絶縁膜 38 を堆積するため、多孔質の層間絶縁膜 38 が形成されることとなる。

20

【0053】

成膜条件は、例えば以下のように設定する。第 1 の反応性ガスとしては、より具体的には、例えばヘキサメチルジシロキサンを用いる。第 1 の反応性ガスの供給量は、例えば 1 mg/min とする。第 2 の反応性ガスとしては、より具体的には、例えばジフェニルメチルシランを用いる。第 2 の反応性ガスの供給量は、例えば 1 mg/min とする。キャリアガスの流量は、例えば 3000 sccm とする。平板電極間に印加する高周波電力は、例えば、13.56 MHz (300W) 及び 100 kHz (300W) とする。このよ

30

【0054】

なお、ここでは、熱を加えながら酸化を行うことにより分解する材料（熱分解性及び酸化分解性の原子団を含む材料）を用いる場合を例に説明したが、酸化を行なわなくても熱分解され得る熱分解性の原子団を含む原料、又は、熱を加えなくても酸化分解され得る酸化分解性の原子団を含む原料を用いて、気相成長法により多孔質の層間絶縁膜 38 を形成してもよい。

【0055】

(C) 有機化合物より成る多孔質の層間絶縁膜（有機多孔質膜）

40

具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【0056】

1) 最初に、熱分解性有機化合物を含むポリアリーールエーテルポリマを溶媒により希釈することにより、絶縁膜材料を形成する（工程 5C - 1）。熱分解性有機化合物としては、例えば 200 ~ 300 で熱分解する有機化合物を用いる。このような有機化合物としては、例えばアクリル樹脂、ポリエチレン樹脂、ポリプロピレン樹脂、アクリルオリゴマ、エチレンオリゴマ、プロピレンオリゴマ等を用いることができる。溶媒としては、例えばシクロヘキサノンを用いる。

【0057】

2) 次に、スピンコート法により、基板全面に、工程 5C - 1 により得た絶縁膜材料を

50

塗布する（工程 5 C - 2）。

【 0 0 5 8 】

3) 次に、ホットプレート（図示せず）を用いて熱処理を行う（工程 5 C - 3）。熱処理温度は、例えば 100 ~ 400 とする。これにより、層間絶縁膜 38 中の溶媒が蒸発し、乾燥した層間絶縁膜 38 が形成される。

【 0 0 5 9 】

4) 次に、キュア装置（図示せず）内に、工程 5 C - 3 で得た基板を導入し、熱処理を行う（工程 5 C - 4）。熱処理温度は、例えば 300 ~ 400 とする。このような工程により、熱分解性の有機化合物が熱分解し、層間絶縁膜 38 中に空孔が形成される。

【 0 0 6 0 】

(D) クラスタ状の珪素を含む絶縁材料を用いた多孔質の層間絶縁膜
具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【 0 0 6 1 】

1) 最初に、クラスタ状のシリカを含む絶縁膜材料（シリカクラスタ前駆体）を用意する（工程 5 D - 1）。このような絶縁膜材料としては、例えば、触媒化成工業株式会社製のナノクラスタリングシリカ（NCS）（型番：セラメートNCS）を用いることができる。

【 0 0 6 2 】

2) 次に、例えばスピンコート法により、基板全面に、絶縁膜材料を塗布する（工程 5 D - 2）。塗布条件は、例えば、3000回転/分、30秒とする。

【 0 0 6 3 】

3) 次に、熱処理（ソフトベーク）を行う（工程 5 D - 3）。熱処理を行う際には、例えばホットプレート（図示せず）を用いる。熱処理温度は、例えば 200 とする。熱処理時間は、例えば 150 秒とする。これにより、絶縁膜材料中の溶媒が蒸発し、多孔質の層間絶縁膜 38 が形成される。クラスタ状のシリカを含む絶縁膜材料を用いて層間絶縁膜 38 を形成するため、空孔が非常に小さい多孔質の層間絶縁膜 38 が形成される。具体的には、空孔の直径は、例えば 2 nm 以下となる。また、クラスタ状のシリカを含む絶縁膜材料を用いて層間絶縁膜 38 を形成するため、空孔の分布が非常に均一となる。クラスタ状のシリカを含む絶縁膜材料を用いて層間絶縁膜 38 を形成すれば、極めて良質な多孔質の層間絶縁膜 38 を形成することが可能となる。このような工程により、クラスタ状の珪素を含む絶縁材料を用いた多孔質の層間絶縁膜 38 を形成することができる。

【 0 0 6 4 】

なお、ここでは、クラスタ状の化合物として珪素化合物を含む絶縁膜材料を塗布する場合を例に説明したが、クラスタ状の化合物は珪素化合物に限定されるものではない。

【 0 0 6 5 】

- 工程 6 -

図 6 に示すように、多孔質の絶縁膜 38 に、エネルギー線を選択的に照射する。エネルギー線としては、例えば、電子線或いは紫外線等が使用可能である。電子線の照射（A）及び紫外線の照射（B）は、それぞれ以下のように行う。

【 0 0 6 6 】

(A) 電子線の照射

1) 最初に、電子線照射装置のチャンバ（図示せず）内に、工程 5 で形成された半導体装置 10 を載置する（工程 6 A - 1）。

【 0 0 6 7 】

2) 次に、チャンバ内の気体を排気し、チャンバ内を真空状態にする（工程 6 A - 2）。この際、チャンバ内の圧力を調整するため、又は、絶縁膜 40 等の改質のために、チャンバ内にガスを導入してもよい。チャンバ内に導入するガスとしては、例えば、窒素ガス、アルゴンガス、ヘリウムガス、メタンガス、又はエタンガス等を用いることができる。

【 0 0 6 8 】

3) 次に、多孔質の絶縁膜 38 に、電子線 100 を選択的に照射する（工程 6 A - 3）

10

20

30

40

50

。例えば、図6に示すように、高電圧発生回路150、レンズ励磁回路160、電子線走査回路170等によって、電子線100を走査し、多孔質の絶縁膜38に対して電子線100を選択的に照射する。

【0069】

3) 多孔質の層間絶縁膜38に電子線100が照射されると、多孔質の層間絶縁膜38は、電子線100が照射された部分が硬化(キュア)され、その多孔質性が失われる。具体的には、多孔質の層間絶縁膜38に存在する空孔が消滅し、この空孔の消滅によって機械的な強度がアップする。この空孔が消滅するという現象は、一方で、層間絶縁膜38の比誘電率の上昇を招くことに繋がる。そのため、本実施例では、層間絶縁膜38のうち、機械的強度をアップさせることが不要な部分(配線密度が密の部分)を除いた“配線密度が疎の部分”のみに選択的に電子線100を照射する。

10

【0070】

具体的には、配線のうち、配線と配線との間隔が、装置(或いは、これらの配線が存在する配線層)内の最小値になっている箇所を特定し、当該特定された配線の周囲を「照射禁止エリア」と指定する。そして、この「照射禁止エリア」以外のエリアについてのみ、電子線100の照射を行う。

【0071】

なお、「照射禁止エリア」は、図1における説明と同様に規定する。即ち、層間絶縁膜38における配線50のうち、配線間隔Pが最小の配線間ピッチ($P=L$)である部分を特定する。そして、この特定された配線部分と、当該特定された配線部分における配線間のエリアとを併せて「最小ピッチ配線エリア」と規定する。このとき、照射禁止エリアは、例えば、「最小ピッチ配線エリア」の周囲を、所定の距離だけ広げたエリアである。この“所定の距離”は予め定められた値であり、例えば、配線間ピッチの2分の1($L/2$)の値に設定することができる。

20

【0072】

また、図1及び図6に示すように、照射禁止エリアを設定しても良い。すなわち、「最小ピッチ配線エリア」を、その最外周の配線の中心から $L/2$ の距離だけ外側に広げる。そして、この広げたエリアを照射禁止エリアに設定する。なお、照射禁止エリアを、「最小ピッチ配線エリア」と同じエリアとしても良い。

【0073】

また、照射禁止エリアを設定する際に、照射禁止エリアを、第1の配線層における全ての配線50とその周辺のエリアとしても良い。具体的には、第1の配線層における全ての配線50について、配線50の中心から配線50の幅方向に、“予め定められた距離”だけ広げたエリアを、照射禁止エリアとする。(以下、この“予め定められた距離”のことを、説明の便宜上、「照射禁止幅」という。)ここで、「照射禁止幅」は、例えば、最小の配線間ピッチの2分の1($L/2$)に設定することができる。このように、1つの層における全配線について「照射禁止エリア」を設定することにより、配線の一部の箇所を特定する処理が不要になり、「照射禁止エリア」の設定が容易に行えるというメリットがある。

30

【0074】

更には、上述の「特定された配線部分」について、配線50の中心から配線50の幅方向に、照射禁止幅だけ広げたエリアを、「照射禁止エリア」としても良い。なお、この場合でも、照射禁止幅を、例えば、 $L/2$ の値とすることができる。このように、照射禁止エリアを細かく分断させないようにするという観点から、照射禁止幅を $L/2$ 以上の値とすることが望ましい。

40

【0075】

このように、多孔質の層間絶縁膜38のうち、誘電率を低く抑える必要がある部分(配線密度が密の部分)については、電子線100の照射を行わないため、多孔質の状態が改質されずに、その低い誘電率が維持される。

【0076】

50

なお、電子線100を照射する際には、熱処理を行いながら、電子線100を照射することが好ましい。熱処理温度は、例えば200～450とする。熱処理を行いながら電子線100を照射すると、多孔質の層間絶縁膜38の硬化(キュア)が促進され、多孔質の層間絶縁膜38の機械的強度を向上させることができるためである。

【0077】

電子線100を照射する際の加速電圧は、例えば10keV～20keVとする。加速電圧を10keVより小さくした場合には、多孔質の層間絶縁膜38を硬化(キュア)するために長時間を要してしまうことになる。一方、加速電圧を20keVより大きく設定した場合には、多孔質の層間絶縁膜38に大きなダメージが加わる。そうすると、多孔質の層間絶縁膜38の吸湿性が増大し、また、多孔質の層間絶縁膜38が収縮し、これらにより不要に比誘電率が増大し平坦性が悪化する可能性がある。従って、電子線100を照射する際における加速電圧は、10keV～20keV程度とすることが好ましい。

10

【0078】

なお、電子線100を照射する際における加速電圧は、10keV～20keVに限定されるものではない。多孔質の層間絶縁膜38を硬化する際にある程度の時間を要してもよい場合には、加速電圧を10keVより小さく設定してもよい。また、加速電圧を20keVより大きく設定した場合であっても、電子線100の照射時間を短めに設定すれば、多孔質の層間絶縁膜38に過剰なダメージが加わるのを防止することが可能である。従って、加速電圧を20keVより大きく設定した場合であっても、電子線100の照射時間を短めに設定すれば、多孔質の層間絶縁膜38の吸湿性の増大を防止し、また、多孔質の層間絶縁膜38の収縮を防止することが可能である。

20

【0079】

(B) 紫外線の照射

1) 最初に、紫外線ランプが設けられたチャンバ内(図示せず)に、半導体基板10を載置する(工程6B-1)。紫外線ランプとしては、例えば高圧水銀ランプを用いる。

【0080】

2) 次に、チャンバ内の気体を排気し、チャンバ内を真空状態にする(6B-2)。この際、チャンバ内の圧力を調整するため、又は、絶縁膜40等の改質のために、チャンバ内にガスを導入してもよい。チャンバ内に導入するガスとしては、例えば、窒素ガスや不活性ガス等を用いる。不活性ガスとしては、例えばアルゴンガスを用いる。

30

【0081】

次に、多孔質の絶縁膜38に、紫外線101を選択的に照射する(工程6B-3)。紫外線101の照射は、例えば、図6に示したようなフォトマスク110を使用する。なお、フォトマスク110は、例えば、ガラス112の一部分をクロムパターン112で覆った構造を有する。このように、フォトマスク110を介して、紫外線101を、多孔質の絶縁膜38の表出面に選択的に照射する。多孔質の層間絶縁膜38に紫外線101が照射されると、多孔質の層間絶縁膜38は、紫外線101が照射された部分が硬化(キュア)され、その多孔質性が失われる。

【0082】

具体的には、多孔質の層間絶縁膜38に存在する空孔が消滅し、この空孔の消滅によって機械的な強度がアップする。この空孔が消滅するという現象は、一方で、層間絶縁膜38の比誘電率の上昇を招くことに繋がる。そのため、本実施例では、層間絶縁膜38のうち、機械的強度をアップさせることが不要な部分(配線密度が密の部分)を除いた“配線密度が疎の部分”のみに選択的に紫外線101を照射する。

40

【0083】

なお、紫外線101を照射するエリアについては、上述した工程6A-3と同様に設定する。

【0084】

多孔質の層間絶縁膜38に紫外線101を照射する際には、熱処理を行いながら、紫外線101を照射することが好ましい。熱処理温度は、例えば200～450とする。熱

50

処理を行いながら紫外線 101 を照射すると、多孔質の層間絶縁膜 38 の硬化（キュア）が促進され、層間絶縁膜 38 の機械的強度を向上させることができるためである。

【0085】

なお、ここでは、真空状態で紫外線 101 を照射する場合を例に説明したが、紫外線 101 を照射する際における圧力は真空に限定されるものではない。例えば、常圧で紫外線 101 を照射するようにしてもよい。

【0086】

このように、層間絶縁膜 38 に、エネルギー線を選択的に照射することによって、配線を内包する層間絶縁膜 38 について、機械的強度が均一化され、同時に、配線容量も均一化される。

10

【0087】

なお、図 6 には、図示の便宜上、電子線 100 を照射する手段と紫外線 101 を照射する手段とを、1 つの図に記載しているが、実際にエネルギー線照射する場合には、これらの手段のうち、いずれか 1 つの手段を使用する。また、図 6 以降の図面には、図示の便宜上、電子線 100 を照射する手段を省略し、紫外線 101 を照射する手段のみを記載している。

【0088】

- 工程 7 -

図 7 に示すように、多孔質の層間絶縁膜 38 が形成された半導体基板 10 上の全面に、緻密性の高い絶縁膜（第 2 の絶縁膜）40 を形成する。絶縁膜 40 を形成する方法としては、例えば

20

- ・プラズマ CVD により形成する方法 (A)
- ・気相成長法により形成する方法 (B)
- ・スピンコート法により形成する方法 (C)

等が挙げられる。以下、これらの形成方法について順に説明する。

【0089】

(A) プラズマ CVD により形成する方法

以下に、プラズマ CVD により、シリコン酸化膜によって形成される絶縁膜 40 を形成する方法を説明する。

【0090】

1) 最初に、プラズマ CVD 装置（図示せず）のチャンバ内に半導体基板 10 を載置する（工程 7A - 1）。プラズマ CVD 装置としては、例えば平行平板型のプラズマ CVD 装置を用いる。

30

【0091】

2) 次に、基板の温度を、例えば 400 に設定する（工程 7A - 2）。

【0092】

3) 次に、反応性ガスをチャンバ内に導入する（工程 7A - 3）。具体的には、先ず、トリメチルシランを気化装置（図示せず）により気化し、反応性ガスを生成する。次に、不活性ガスをキャリアとして、反応性ガスをチャンバ内に導入する。この際、平板電極（図示せず）間に高周波電力を印加すると、反応性ガスのプラズマが発生する。

40

【0093】

この際、堆積レートを比較的遅く設定すれば、緻密性の高い絶縁膜 40 を形成することが可能となる。具体的には、例えば、以下のように成膜条件を設定すれば、緻密性の高い絶縁膜 40 を形成することが可能である。反応性ガスの供給量は、例えば 1 mg/min とする。キャリア用の不活性ガスとしては、例えば CO₂ を用いる。不活性ガスの流量は、例えば 100 sccm とする。平板電極間に印加する高周波電力は、例えば、13.5 MHz (200 W) 及び 100 kHz (200 W) とする。平板電極間に高周波電力を印加してプラズマを発生させる時間は、例えば 5 秒間とする。

【0094】

このような条件でシリコン酸化膜より成る絶縁膜 40 を形成すると、絶縁膜 40 の密度

50

は例えば $2 \text{ g} / \text{cm}^3$ 程度となる。なお、ここでは、絶縁膜 40 の膜厚を例えば 30 nm とする。このような工程により、シリコン酸化膜からなる絶縁膜 40 が形成される。

【0095】

また、上記の他に、絶縁膜 40 として、カーボンがドーブされたシリコン酸化膜を形成しても良い。カーボンがドーブされたシリコン酸化膜 (Carbon Doped SiO_2 膜) からなる絶縁膜 40 を形成するためには、上記の工程 7A - 3 において、反応性ガスを生成する原料として、ヘキサメチルジシロキサン ($[(\text{CH}_3)_3\text{Si}]_2\text{O}$) を使用する。すなわち、ヘキサメチルジシロキサンを使用気化装置 (図示せず) により気化し、反応性ガスを生成する。なお、反応性ガスを生成する原料としてヘキサメチルジシロキサンを使用する他は、工程 7A - 1 ~ 7A - 3 と同じであるため、その説明を省略する。

10

【0096】

(B) 気相成長法により形成する方法

以下に、気相成長法により、水素化 SiC 膜 (SiC : H 膜) からなる絶縁膜 40 を形成する方法を説明する。

【0097】

1) 最初に、プラズマ CVD 装置 (図示せず) のチャンバ内に半導体基板 10 を載置する。プラズマ CVD 装置としては、例えば平行平板型のプラズマ CVD 装置を用いる (工程 7B - 1)。

【0098】

2) 次に、基板の温度を例えば 400 に設定する (工程 7B - 2)。

20

【0099】

3) 次に、反応性ガスをチャンバ内に導入する (工程 7B - 3)。具体的には、まず、トリメチルシランを気化装置 (図示せず) により気化し、反応性ガスを生成する。次に、キャリアガスを用いて、反応性ガスをチャンバ内に導入する。この際、平板電極 (図示せず) 間に高周波電力を印加すると、反応性ガスのプラズマが発生する。

【0100】

この際、堆積レートを比較的遅く設定すれば、緻密性の高い絶縁膜 40 を形成することができる。具体的には、例えば、以下のように成膜条件を設定すれば、緻密性の高い絶縁膜 40 を形成することが可能である。反応性ガスの供給量は、例えば $1 \text{ mg} / \text{min}$ とする。キャリア用の不活性ガスとしては、例えば窒素 (N_2) を用いる。不活性ガスの流量は、例えば 1000 sccm とする。平板電極間に印加する高周波電力は、例えば、 13.56 MHz (200 W) 及び 100 kHz (200 W) とする。平板電極間に高周波電力を印加してプラズマを発生させる時間は、例えば 5 秒間とする。

30

【0101】

また、上記の他に、絶縁膜 40 として、窒化 SiC 膜を形成しても良い。窒化 SiC 膜を形成するためには、上記の工程 7B - 3 において、不活性ガスとしてアンモニア (NH_3) を使用する。なお、不活性ガスとしてアンモニアを使用する他は、工程 7B - 1 ~ 7B - 3 と同じであるため、その説明を省略する。

【0102】

更には、上記の他に、絶縁膜 40 として、水素化酸化 SiC 膜 (SiC : O : H 膜) を形成しても良い。水素化酸化 SiC 膜とは、SiC 中に酸素 (尾 O) と水素 (H) が存在する膜である。水素化酸化 SiC 膜を形成するためには、上記の工程 7B - 3 において、不活性ガスとして二酸化炭素 (CO_2) を使用する。なお、不活性ガスとしてアンモニアを使用する他は、工程 7B - 1 ~ 7B - 3 と同じであるので、その説明を省略する。

40

【0103】

(C) スピンコート法により形成する方法

以下に、スピンコート法により、有機 SOG 膜からなる絶縁膜 40 を形成する方法を説明する。

【0104】

1) 最初に、有機 SOG 膜を形成するための絶縁膜材料を用意する (工程 7C - 1)。

50

このような絶縁膜材料を得るために、例えば、テトラエトキシシランとメチルトリエトキシシランとを原料として用いる。そして、当該原料に加水分解反応及び縮合反応を起こさせることによってポリマを生成する。このようにして生成されたポリマを、絶縁膜材料として使用する。

【0105】

2) 次に、スピンコート法により、基板全面に、工程7-1により得た絶縁膜材料を塗布する(工程7C-2)。塗布条件は、例えば3000回転/分、30秒とする。

【0106】

3) 次に、熱処理(ソフトベーク)を行う(工程7C-3)。熱処理を行う際には、例えばホットプレート(図示せず)を用いる。熱処理温度は、例えば200とする。熱処理時間は、例えば150秒とする。このような工程により、有機SOG膜から成る絶縁膜40が形成される。

【0107】

また、上記の他に、絶縁膜40として、無機SOG膜を使用しても良い。無機SOG膜を形成するためには、上記の工程7C-1において、絶縁膜材料の原料として、テトラエトキシシランを使用する。なお、絶縁膜材料の原料として、テトラエトキシシランを使用する他は、工程7C-1~7C-3と同じであるため、その説明を省略する。

【0108】

- 工程8 -

図8に示すように、フォトリソグラフィ技術を用い、絶縁膜40、層間絶縁膜38及び絶縁膜36に、配線を埋め込むための溝(トレンチ)46を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【0109】

1) 最初に、例えばスピンコート法により、基板全面に、フォトレジスト膜42を形成する(工程8-1)。

【0110】

2) 次に、フォトリソグラフィ技術を用い、フォトレジスト膜42に開口部44を形成する(工程8-2)。開口部44は、第1層目の配線(第1金属配線)50を形成するためのものである。例えば、配線幅が100nm、配線間隔が100nmとなるように、開口部44をフォトレジスト膜42に形成する。

【0111】

3) 次に、フォトレジスト膜42をマスクとして、絶縁膜40、層間絶縁膜38及び絶縁膜36をエッチングする(工程8-3)。エッチングを行う際には、 CF_4 ガス及び CHF_3 ガスを原料としたフッ素プラズマを用いてエッチングを行う。この際、ストップ膜40が、エッチングストップとして機能する。このような工程により、絶縁膜40、層間絶縁膜38及び絶縁膜36に、配線を埋め込むための溝(トレンチ)46が形成される。なお、導体プラグ34の上面は、溝内46に露出した状態となる。この後、フォトレジスト膜42を剥離する。

【0112】

- 工程9 -

図9に示すように、溝46内に配線50を形成した後、バリア膜としての絶縁膜52を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【0113】

1) 最初に、バリア膜とシード膜とから成る積層膜48を形成する(工程9-1)。具体的には、まず、例えばスパッタ法により、基板全面に、膜厚10nmのTa₂Nより成るバリア膜(図示せず)を形成する。バリア膜は、後述する配線中のCuが絶縁膜中に拡散するのを防止するためのものである。次に、基板全面に、例えばスパッタ法により、膜厚10nmのCuより成るシード膜(図示せず)を形成する。シード膜は、電気めっき法によりCuより成る配線を形成する際に、電極として機能するものである。こうして、バリア膜とシード膜とから成る積層膜48が形成される。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 4 】

2) 次に、例えば電気めっき法により、膜厚 6 0 0 n m の C u 膜を形成する (工程 9 - 2)。

【 0 1 1 5 】

3) 次に、例えば C M P 法により、絶縁膜の表面が露出するまで、C u 膜 5 0 及び積層膜 4 8 を研磨する (工程 9 - 3)。このようにして、溝内に C u より成る配線 5 0 が埋め込まれる。このような配線 5 0 の製造プロセスは、シングルダマシン法と称される。

【 0 1 1 6 】

4) 次に、例えばプラズマ C V D 法により、基板全面に、膜厚 3 0 n m の水素化酸化 S i C 膜より成る絶縁膜 5 2 を形成する (工程 9 - 4)。絶縁膜 5 2 は、水分の拡散を防止するバリア膜として機能するものである。絶縁膜 5 2 により、多孔質の層間絶縁膜 3 8 に水分が達するのが防止される。

10

【 0 1 1 7 】

水素化酸化 S i C 膜の形成は、例えば、以下のような工程で行なわれる。まず、プラズマ C V D 装置 (図示せず) のチャンバ内に半導体基板 1 0 を導入する (工程 9 - 4 - 1)。プラズマ C V D 装置としては、例えば平行平板型のプラズマ C V D 装置を用いる。次に、基板温度を例えば 4 0 0 に設定する (工程 9 - 4 - 2)。次に、トリメチルシランを気化装置により気化し、反応性ガスを生成する (工程 9 - 4 - 3)。そして、キャリアガスを用いて、反応性ガスをチャンバ内に導入する (工程 9 - 4 - 4)。この際、平板電極 (図示せず) 間に高周波電力を印加すると、反応性ガスのプラズマが発生する。

20

【 0 1 1 8 】

この際、堆積レートを比較的遅く設定すれば、緻密性の高い絶縁膜 5 2 を形成することができる。具体的には、例えば、以下のように成膜条件を設定すれば、緻密性の高い絶縁膜 5 2 を形成することが可能である。反応性ガスの供給量は、例えば 1 m g / m i n とする。キャリアガスとしては、例えば C O ₂ を用いる。キャリアガスの流量は、例えば 1 0 0 s c c m とする。平板電極間に印加する高周波電力は、例えば、1 3 . 5 6 M H z (2 0 0 W) 及び 1 0 0 k H z (2 0 0 W) とする。平板電極間に高周波電力を印加してプラズマを発生させる時間は、例えば 5 秒間とする。このような工程により、バリア膜として機能する絶縁膜 5 2 が形成される。

【 0 1 1 9 】

- 工程 1 0 -

図 1 0 に示すように、多孔質の層間絶縁膜 5 4 を形成した後、層間絶縁膜 5 4 に、エネルギー線を選択的に照射する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

30

【 0 1 2 0 】

1) 最初に、層間絶縁膜 5 4 を形成する。層間絶縁膜 5 4 の形成は、例えば、上述した層間絶縁膜 3 8 の形成方法と同様に行う (工程 1 0 - 1)。層間絶縁膜 5 4 の膜厚は、例えば 1 4 0 n m とする。

【 0 1 2 1 】

2) 次に、例えば、図 6 に示したような装置で電子線 1 0 0 を走査し、層間絶縁膜 5 4 に、“電子線 1 0 0”を選択的に照射する (工程 1 0 - 2)。電子線 1 0 0 を照射する際の条件は、例えば、層間絶縁膜 3 8 に電子線 1 0 0 を照射する際の条件 (工程 6 A - 3) と同様とする。

40

【 0 1 2 2 】

なお、上記のように“電子線 1 0 0”を照射する代わりに、図 1 0 に示したようなフォトマスク 1 2 0 を使用して“紫外線 1 0 1”を照射してもよい。すなわち、多孔質の層間絶縁膜 5 4 における配線密度が疎の部分に“紫外線 1 0 1”を選択的に照射する。なお、紫外線 1 0 1 を照射する際の条件は、例えば、層間絶縁膜 3 8 に紫外線 1 0 1 を照射する際の条件 (工程 6 B - 3) と同様とする。

【 0 1 2 3 】

このように、層間絶縁膜 5 4 に、エネルギー線を選択的に照射することによって、配線

50

を内包する層間絶縁膜 5 4 について、機械的強度が均一化され、同時に、配線容量も均一化される。

【 0 1 2 4 】

- 工程 1 1 -

図 1 1 に示すように、層間絶縁膜 5 4 上に絶縁膜 5 6 及びストッパ膜 5 7 を形成する。最初に、絶縁膜 5 6 を形成する（工程 1 1 - 1）。

【 0 1 2 5 】

絶縁膜 5 6 は緻密性の高い膜であり、具体的には、当該絶縁膜 5 6 を多孔質の層間絶縁膜 5 4 上の全面に形成する。絶縁膜 5 6 の形成方法は、例えば上述した絶縁膜 4 0 の形成方法と同様とする。なお、絶縁膜 5 6 の材料としては、例えば水素化酸化 Si C 膜を用いる。絶縁膜 5 6 の膜厚は、例えば 3 0 n m とする。

10

【 0 1 2 6 】

次に、フォトリソグラフィ技術を用い、例えばシリコン窒化膜 (Si N _x) から成るストッパ膜 5 7 を形成する（工程 1 1 - 2）。このストッパ膜 5 7 は、後述する工程において、層間絶縁膜 5 8 等にコンタクトホール 6 6 を形成する際に、エッチングストッパとして機能する。なお、ストッパ膜 5 7 としては、後述する層間絶縁膜 5 8 とエッチング特性が異なるシリコン熱酸化膜 (Si O ₂) 等も使用可能である。

【 0 1 2 7 】

- 工程 1 2 -

図 1 2 に示すように、多孔質の層間絶縁膜 5 8 を形成した後、層間絶縁膜 8 4 に、エネルギー線を選択的に照射する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

20

【 0 1 2 8 】

1) 最初に、層間絶縁膜 5 8 を形成する。層間絶縁膜 5 8 の形成は、例えば、上述した層間絶縁膜 3 8 の形成方法と同様に行う（工程 1 2 - 1）。層間絶縁膜 5 8 の膜厚は、例えば 1 4 0 n m とする。

【 0 1 2 9 】

2) 次に、図 1 2 に示したような装置で電子線 1 0 0 を走査し、層間絶縁膜 5 8 に、“電子線 1 0 0” を選択的に照射する（工程 1 2 - 2）。電子線 1 0 0 を照射する際の条件は、例えば、層間絶縁膜 3 8 に電子線 1 0 0 を照射する際の条件（工程 6 A - 3）と同様とする。ここで、配線 5 8 への電子線 1 0 0 の照射は、後述する配線 7 6 a の配置に基づき、例えば、図 1 2 に示すようなエリアとする。

30

【 0 1 3 0 】

なお、上記のように“電子線 1 0 0” を照射する代わりに、図 1 2 に示したようなフォトマスク 1 2 0 を使用して“紫外線 1 0 1” を照射してもよい。すなわち、多孔質の層間絶縁膜 5 8 における配線密度が疎の部分に“紫外線 1 0 1” を照射する。なお、紫外線 1 0 1 を照射する際の条件は、例えば、層間絶縁膜 3 8 に紫外線 1 0 1 を照射する際の条件（工程 6 B - 3）と同様とする。配線 5 8 への紫外線 1 0 1 の照射は、後述する配線 7 6 a の配置に基づき、例えば、図 1 2 に示すようなエリアとなる。

【 0 1 3 1 】

このように、層間絶縁膜 5 8 に、エネルギー線を選択的に照射することによって、配線を内包する層間絶縁膜 5 8 について、機械的強度が均一化され、同時に、配線容量も均一化される。

40

【 0 1 3 2 】

- 工程 1 3 -

図 1 3 に示すように、層間絶縁膜 5 8 上に絶縁膜 6 0 を形成する。絶縁膜 6 0 は、緻密性の高い膜である。当該絶縁膜 6 0 を層間絶縁膜 5 8 上の全面に形成する。絶縁膜 6 0 の形成方法は、例えば上述した絶縁膜 4 0 の形成方法と同様とする。なお、絶縁膜 6 0 の材料としては、例えば水素化酸化 Si C 膜を用いる。絶縁膜 6 0 の膜厚は、例えば 3 0 n m とする。

【 0 1 3 3 】

50

- 工程 14 -

図 14 に示すように、フォトリソグラフィ技術を用い、絶縁膜 52、56、60 及び層間絶縁膜 52、58 に、配線を埋め込むための溝 (トレンチ) 64 を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【 0134 】

1) 最初に、例えばスピンコート法により、基板全面に、フォトレジスト膜 62 を形成する (工程 14 - 1)。

【 0135 】

2) 次に、フォトリソグラフィ技術を用い、フォトレジスト膜 62 に開口部 64 を形成する (工程 14 - 2)。開口部 64 は、配線 50 に達するコンタクトホール 64 を形成するためのものである。

10

【 0136 】

3) 次に、フォトレジスト膜 62 をマスクとして、絶縁膜 60、層間絶縁膜 58、絶縁膜 56、層間絶縁膜 54 及び絶縁膜 52 をエッチングする (工程 14 - 3)。エッチングを行う際には、 CF_4 ガス及び CHF_3 ガスを原料としたフッ素プラズマを用いてエッチングを行う。エッチングガスの組成比やエッチングの際の圧力等を適宜変化させることにより、絶縁膜 60、層間絶縁膜 58、絶縁膜 56、層間絶縁膜 54 及び絶縁膜 52 をエッチングすることが可能である。このような工程により、配線 50 に達するコンタクトホール 66 が形成される。なお、コンタクトホール 66 を形成した後で、フォトレジスト膜 62 を剥離する。

20

【 0137 】

- 工程 15 -

図 15 に示すように、フォトリソグラフィ技術を用い、絶縁膜 60、層間絶縁膜 58 及び絶縁膜 56 に、配線を埋め込むための溝 (トレンチ) 72 を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【 0138 】

1) 最初に、フォトレジスト膜 68 に開口部 70 を形成する (工程 15 - 1)。この開口部 70 は、後述する第 2 層目の配線 (第 2 金属配線) 76a を形成するためのものである。

【 0139 】

2) 次に、フォトレジスト膜 68 をマスクとして、絶縁膜 60、層間絶縁膜 58 及び絶縁膜 56 をエッチングする (工程 15 - 2)。エッチングを行う際には、 CF_4 ガス及び CHF_3 ガスを原料としたフッ素プラズマを用いてエッチングを行う。このような工程により、絶縁膜 60、層間絶縁膜 58 及び絶縁膜 56 に、配線 76a を埋め込むための溝 72 が形成される。溝 72 は、コンタクトホール 66 に繋がった状態となる。

30

【 0140 】

なお、工程 14 ~ 工程 15 では、コンタクトホール 66 を形成した後に溝 72 を形成した例を示したが、最初に溝 72 を形成し、その後でコンタクトホール 66 を形成しても良い。この場合には、先ず、フォトリソグラフィ技術を用いて、絶縁膜 60、層間絶縁膜 58 及び絶縁膜 56 の部分に、溝 72 を形成する。次に、溝 72 を形成された基板に対して、溝 72 を埋めた状態になるようにフォトレジスト膜 (図示せず) を形成する。そして、フォトリソグラフィ技術を用いて、層間絶縁膜 54 及び絶縁膜 52 の部分に、配線 50 に達するコンタクトホールを形成する。なお、このような工程でコンタクトホール 66 及び溝 72 を形成する場合には、ストッパ 57 は不要となる。

40

【 0141 】

- 工程 16 -

図 16 に示すように、溝 72 内に配線 76a 及び導体プラグ 76b を形成した後、バリア膜として機能する絶縁膜 78 を形成する。具体的には、例えば以下のような方法で形成を行う。

【 0142 】

50

1) 最初に、バリア膜とシード膜とから成る積層膜74を形成する(工程16-1)。具体的には、先ず、例えばスパッタ法により、基板全面に、膜厚10nmのTa₂Nより成るバリア膜(図示せず)を形成する。バリア膜は、後述する配線76a及び導体プラグ76b中のCuが絶縁膜中に拡散するのを防止するためのものである。次に、基板全面に、例えばスパッタ法により、膜厚10nmのCuより成るシード膜(図示せず)を形成する。シード膜は、電気めっき法によりCuより成る配線76a及び導体プラグ76bを形成する際に、電極として機能するものである。このような工程により、バリア膜とシード膜とから成る積層膜74が形成される。

【0143】

2) 次に、例えば電気めっき法により、膜厚1400nmのCu膜76を形成する(工程16-2)。

【0144】

3) 次に、CMP法により、絶縁膜60の表面が露出するまで、Cu膜76及び積層膜74を研磨する(工程16-3)。このような工程により、コンタクトホール66内にCuより成る導体プラグ76bが埋め込まれるとともに、溝72内にCuより成る配線76aが埋め込まれる。導体プラグ76bと配線76aとは一体に形成される。このように導体プラグ76bと配線76aとを一括して形成する製造プロセスは、デュアルダマシン法と称される。

【0145】

4) 次に、例えばプラズマCVD法により、基板全面に、膜厚30nmの水素化酸化SiC膜より成る絶縁膜78を形成する(工程16-4)。絶縁膜78の形成方法は、例えば、上述した絶縁膜36の形成方法(工程4-1~工程4-3)と同様とする。絶縁膜78は、水分の拡散を防止するバリア膜として機能するものである。この後、上記と同様の工程を適宜繰り返すことにより、図示しない第3層目の配線(第3金属配線層)が形成される。以上のような工程により、本実施例による半導体装置が製造される。

【0146】

このように、本実施例では、多孔質の層間絶縁膜38、54、58を形成した後、当該層間絶縁膜38、54、58の配線密度が疎の部分にエネルギー線を照射し、多孔質の層間絶縁膜38、54、58の一部のエリア(配線密度が疎の部分)を、選択的に硬化(キュア)させる。そして、一方で、層間絶縁膜38、54、58における配線密度が密の部分には、電子線100又は紫外線101の照射を行わず、その多孔質性をそのまま保持する。

【0147】

その結果、本実施例によれば、配線密度が疎の部分(機械的強度が低く、且つ、配線容量が低い部分)についてのみ、層間絶縁膜38、54、58の機械的な強度がアップし、膜全体として機械的強度の均一化が図れる。また、それと同時に、配線密度が疎の部分についてのみ、層間絶縁膜38、54、58の配線容量がアップし、配線容量についても膜全体として均一化が実現される。

【0148】

換言すれば、ボンディング等、外部から機械的な応力が加わった場合に、層間絶縁膜38、54、58にクラックが生じてしまうこと等を回避して、装置の信頼性を高めることができるとともに、全体として配線容量を低く抑え、信号の伝達速度を高速化し、装置の高機能化を実現できる。

【0149】

更には、本実施例によれば、1つの層間絶縁膜につき、複数の種類の絶縁膜を形成する必要がなくなるため、半導体装置の形成工程を簡略化できる。

【実施例2】

【0150】

以下に、多孔質の絶縁膜にエネルギー線を照射させた場合における(多孔質の絶縁膜の)機械的強度及び比誘電率の変化について、検証した結果を示す。

10

20

30

40

50

【0151】

< 検証例 1 ~ 3 / 電子線を照射した場合 >

最初に、以下のようにして、絶縁膜材料を作製した(工程 V 1)。具体的には、先ず、テトラエトキシシラン 20.8 g (0.1 mol)、メチルトリエトキシシラン 17.8 g (0.1 mol)、グリシドキシプロピルトリメトキシシラン 23.6 g (0.1 mol)、及び、メチルイソブチルケトン 39.6 g を、200 ml の反応容器(図示せず)内に入れ、1%のテトラブチルアンモニウムハイドロキサイド水溶液 16.2 g を 10 分間で滴下した(工程 V 1 - 1)。滴下終了後、熟成反応を 2 時間行った(工程 V 1 - 2)。次に、硫酸マグネシウム 5 g を添加し、過剰の水分を除去した(工程 V 1 - 3)。次に、ロータリーエバポレータを用い、熟成反応の際に生成されたエタノールを、反応溶液が 50 ml になるまで除去した(工程 V 1 - 4)。こうして得られた反応溶液に、メチルイソブチルケトンを 20 ml 添加し、絶縁膜材料(多孔質シリカ前駆体)を作製した(工程 V 1 - 5)。

10

【0152】

次に、スピンコート法により、シリコンウェハ(半導体基板)上に、工程 V 1 で形成された絶縁材料を塗布した(工程 V 2)。塗布条件は、回転速度 = 3000 回転/分、回転時間 = 30 秒間とした。

【0153】

次に、ホットプレートを用い、200 の熱処理(ソフトベーク)を行うことにより、多孔質の層間絶縁膜を形成した(工程 V 3)。多孔質の層間絶縁膜の膜厚は、図 17 の表 1 に示すような膜厚とした。なお、この段階における多孔質の層間絶縁膜の屈折率は、表 1 に示すような値であった。

20

【0154】

次に、多孔質の層間絶縁膜に電子線を照射した(工程 V 4)。本工程における基板温度、加速電圧、電子線の照射時間、及び、チャンバ内の雰囲気は、表 1 に示すように設定した。

【0155】

このようにして電子線照射キュアを行った後に、多孔質の層間絶縁膜に対して硬度や比誘電率等の測定を行ったところ、表 1 に示すような結果が得られた。

【0156】

< 比較例 >

検証例 1 ~ 3 と略同様の工程で、多孔質の層間絶縁膜を形成した。なお、比較例では、表 1 に示すように、検証例 1 ~ 3 で行った工程のうち、工程 V 4 (電子線キュア工程)を行わない。工程 V 4 以外は、全て、検証例 1 ~ 3 と同じ工程で、多孔質の層間絶縁膜の形成を行った。

30

【0157】

このようにして形成した多孔質の層間絶縁膜に対して測定を行ったところ、表 1 のような結果が得られた。表 1 から分かるように、検証例 1 ~ 3 では、比較例と比べて、膜厚が薄くなり、層間絶縁膜の弾性率及び硬度が大幅にアップしている。このことから、電子線の照射により、層間絶縁膜の密度が大きくなり、それに伴い、層間絶縁膜の弾性率及び硬度が大幅にアップしたものと推測できる。更には、電子線の照射により、層間絶縁膜の比誘電率も上昇することが確認できた。

40

【0158】

< 検証例 4 ~ 6 / 紫外線を照射させた場合 >

検証例 4 ~ 6 では、実施例 1 ~ 3 における電子線キュア工程に変えて、紫外線キュア工程を行った。それ(紫外線キュア工程)以外は、全て、検証例 1 ~ 3 と同じ工程で、多孔質の層間絶縁膜の形成を行った。

【0159】

このようにして形成した多孔質の層間絶縁膜に対して測定を行ったところ、表 2 のような結果が得られた。このように、紫外線を照射させた場合でも、電子線を照射させた結果

50

と略同様の結果が得られた。すなわち、紫外線の照射により、層間絶縁膜の弾性率及び硬度が大幅にアップするとともに、層間絶縁膜の比誘電率も上昇している。

【0160】

以上のように、層間絶縁膜にエネルギー線を照射することにより、機械的強度が高くなるとともに、比誘電率も大きくなることが確認できた。

【実施例3】

【0161】

次に、実際の半導体装置の構造をモデル化し、当該モデルにおける機械的強度と比誘電率をシミュレーションにより求めた結果を示す。

【0162】

図19が半導体装置の構造モデル（導体プラグ及び改質対象でない絶縁膜は図示せず）であり、図20がシミュレーションを行う際の各条件を断面構造とともに示した図である。また、図21は、図20に示した条件に基づいてシミュレーションを行った結果である。なお、図19、図20に示されているように、半導体基板80の主な構成要素として、シリコン基板90、配線92a, 92b, 92c, 92d（第1金属配線層）、配線94a, 94b, 94c, 94d（第2金属配線層）、配線96a, 96b, 96c, 96d（第3金属配線層）、層間絶縁膜82, 83, 84, 85, 86を設定する。

【0163】

図20に示すように、層間絶縁膜82, 83, 84, 85, 86のヤング率について、改質していない状態のヤング率を8Gpaとし、改質させた状態のヤング率を15Gpaとしている。また、基板に対して、上側から、1.6Gpaの重さを加えている。なお、図20では、配線の配置が分かるように、第2金属配線層を、実際の配置に対して90回転させた形で表示している。

【0164】

図20の条件に基づいてシミュレーションを行った結果、図21の表3のような結果を得た。シミュレーション(1)は、図20に示す絶縁膜84の中央に、配線94bと同じ形状の配線(1本)を追加した場合についてシミュレーションを行った結果である。すなわち、シミュレーション(1)では、最小の配線ピッチで、配線の密度が最も高くなるように配置したケースを想定した。なお、シミュレーション(2)~(4)については、図20の構造に対してシミュレーションを行った。

【0165】

このようなシミュレーションを行った結果、図20の表3から、層間絶縁膜82~86の全てについて改質させた場合でも、配線容量は、シミュレーション(1)の場合よりも低い値を示している。このような結果から、層間絶縁膜の改質を行った場合でも、実際に使用する際に支障がないことが確認できた。なお、表3の最大応力は、配線94b底面と導電ポストとの界面に発生している。シミュレーション(3)(4)のように、層間絶縁膜を改質することによって、最大応力が小さくなっている。このことから、層間絶縁膜の改質によって、応力の集中を緩和することができるということ分かる。

【0166】

以上、本発明の特徴を詳述した。本発明の好ましい諸形態を付記すると、以下の通りである。

(付記1)

配線の配置密度が異なる第1のエリア及び第2のエリアを有する半導体装置の製造方法であって、

前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜を形成する工程と、

前記絶縁膜の表出する面のうち、前記第1のエリアよりも前記配置密度が小さい前記第2のエリアにエネルギー線を照射し、前記絶縁膜のヤング率が前記第1のエリアに比べて大きな値になるように、前記絶縁膜の構造を変える工程とを有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

(付記2)

10

20

30

40

50

前記配線は金属より成り、前記絶縁膜はシリコン酸化膜より成ることを特徴とする付記 1 に記載の半導体装置の製造方法。

(付記 3)

前記絶縁膜は、Si, O 及び H を含む原料から生成されることを特徴とする付記 1 または 2 に記載の半導体装置の製造方法。

(付記 4)

前記配線と前記絶縁膜とを有する配線層が複数積層され、

前記第 1 のエリアは、

1 の前記配線層における前記配線のうち、最小の配線間ピッチで配置されている部分と、前記部分における配線間のエリアとを併せた最小ピッチ配線エリアを含むことを特徴とする付記 1 ~ 3 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

10

(付記 5)

前記第 1 のエリアは、

前記最小ピッチ配線エリアの周囲を、予め定められた距離だけ広げた範囲であることを特徴とする付記 4 に記載の半導体装置の製造方法。

(付記 6)

前記配線と前記絶縁膜とを有する配線層が複数積層され、

前記第 1 のエリアは、

1 の前記配線層における全配線について、前記配線の中心から前記配線の幅方向に、予め定められた距離だけ広げた範囲であることを特徴とする付記 1 ~ 3 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

20

(付記 7)

前記予め定められた距離は、

前記最小の配線間ピッチの 2 分の 1 の距離である。

ことを特徴とする付記 5 または 6 に記載の半導体装置の製造方法。

(付記 8)

前記エネルギー線は電子線である

ことを特徴とする付記 1 ~ 7 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

(付記 9)

前記エネルギー線は紫外線である

ことを特徴とする付記 1 ~ 7 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

30

(付記 10)

前記エネルギー線を照射しながら、熱処理を行う

ことを特徴とする付記 1 ~ 9 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

(付記 11)

前記絶縁膜を形成する工程は、

スピンコート法より、熱分解性化合物を含む絶縁膜材料を塗布する工程と、

熱処理を行うことにより、前記熱分解性化合物を分解し、前記絶縁膜材料中に空孔を形成することにより、前記絶縁膜を形成する工程と

を有することを特徴とする付記 1 ~ 10 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

40

(付記 12)

前記絶縁膜を形成する工程は、

クラスタ状の化合物を含む絶縁材料を塗布する工程と、

熱処理を行い、前記絶縁膜中の溶媒を蒸発させることにより、前記絶縁膜を形成する工程と

を有することを特徴とする付記 1 ~ 10 のいずれかに記載の半導体装置の製造方法。

(付記 13)

配線の配置密度が異なる第 1 のエリア及び第 2 のエリアを有する半導体装置であって、

前記配線と前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜とを有する配線層を有し、

前記配線層のうち、前記第 1 のエリアよりも前記配置密度が低い前記第 2 のエリアの前

50

記絶縁膜が、前記第 1 のエリアの前記絶縁膜のヤング率よりも大きなヤング率になるように、改質されていることを特徴とする半導体装置。

(付記 1 4)

前記配線は金属より成り、前記絶縁膜はシリコン酸化膜より成ることを特徴とする付記 1 3 に記載の半導体装置。

(付記 1 5)

前記第 1 のエリアは、

1 の層における前記配線のうち、最小の配線間ピッチで配置されている部分と、前記部分における配線間のエリアとを併せた最小ピッチ配線エリアを含むことを特徴とする付記 1 3 または 1 4 に記載の半導体装置。

10

(付記 1 6)

配線の配置密度が異なる複数のエリアを有する半導体装置であって、前記配線と前記配線間を絶縁する多孔質の絶縁膜とを有する配線層を有し、前記配線層内で、前記配置密度に応じて異なるヤング率なるように、前記エリア毎に前記絶縁膜が改質されていることを特徴とする半導体装置。

【図面の簡単な説明】

【0167】

【図 1】図 1 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の断面図である。

20

【図 2】図 2 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の第 1 の配線層を上面から見た図である。

【図 3】図 3 (a) 及び図 3 (b) は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 1) である。

【図 4】図 4 (a) 及び図 4 (b) は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 2) である。

【図 5】図 5 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 3) である。

【図 6】図 6 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 4) である。

30

【図 7】図 7 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 5) である。

【図 8】図 8 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 6) である。

【図 9】図 9 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 7) である。

【図 1 0】図 1 0 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 8) である。

【図 1 1】図 1 1 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 9) である。

40

【図 1 2】図 1 2 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 1 0) である。

【図 1 3】図 1 3 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 1 1) である。

【図 1 4】図 1 4 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 1 2) である。

【図 1 5】図 1 5 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 1 3) である。

【図 1 6】図 1 6 は、本発明の実施例 1 による半導体装置の製造方法を示す工程断面図 (その 1 4) である。

50

【図 17】図 17 は、多孔質の絶縁膜に電子線を照射させた場合における（多孔質の絶縁膜の）改質について検証した結果である。

【図 18】図 18 は、多孔質の絶縁膜に紫外線を照射させた場合における（多孔質の絶縁膜の）改質について検証した結果である。

【図 19】図 19 は、半導体装置の構造をモデル化した図である。

【図 20】図 20 は、ミュレーションを行う際の各条件を断面構造とともに示した図である。

【図 21】図 21 は、図 20 に示した条件に基づいてシミュレーションを行った結果である。

【符号の説明】

10

【0168】

10 ... 半導体基板

12 ... 素子分離膜

14 ... 素子領域

16 ... ゲート絶縁膜

18 ... ゲート電極

20 ... サイドウォール絶縁膜

22 ... ソース/ドレイン拡散層

24 ... トランジスタ

26 ... 層間絶縁膜

20

28、57 ... ストップ膜

30、66 ... コンタクトホール

32 ... 密着層

34 ... タングステン膜

36、40、52、56、60、78 ... 絶縁膜

37 ... 配線層

37 a ... 断面

38、54、58 ... 層間絶縁膜（多孔質の絶縁膜）

38' ... 改質部

39 a ... 最小ピッチエリア

30

39 b ... 照射禁止エリア

44、70 ... 開口部

46、72 ... 溝

48、74 ... 積層膜

50、76 a ... 配線

76 b ... 導体プラグ

76 ... Cu 膜

80 ... 半導体基板

82、83、84、85、86 ... 層間絶縁膜

90 ... シリコン基板

40

92 a、92 b、92 c、92 d ... 配線（第 1 金属配線層）

94 a、94 b、94 c、94 d ... 配線（第 2 金属配線層）

96 a、96 b、96 c、96 d ... 配線（第 3 金属配線層）

100 ... エネルギー線

110、120、130 ... フォトマスク

112、122、132 ... ガラス

114、124、134 ... クロムパターン

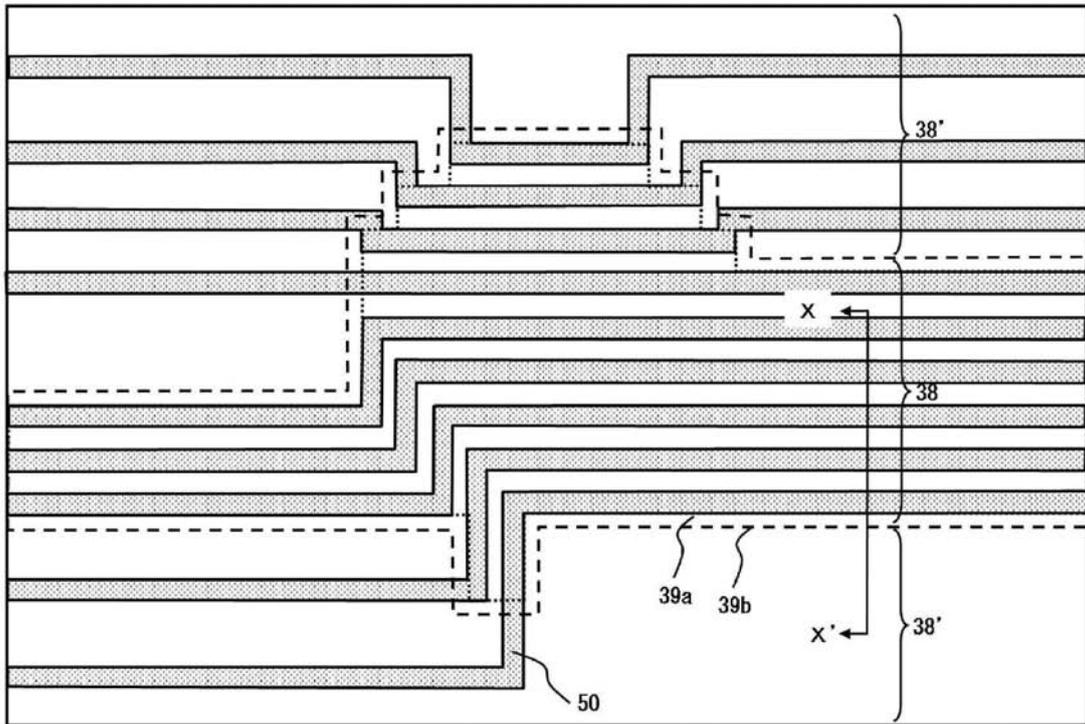
150 ... 高電圧発生回路

160 ... レンズ励磁回路

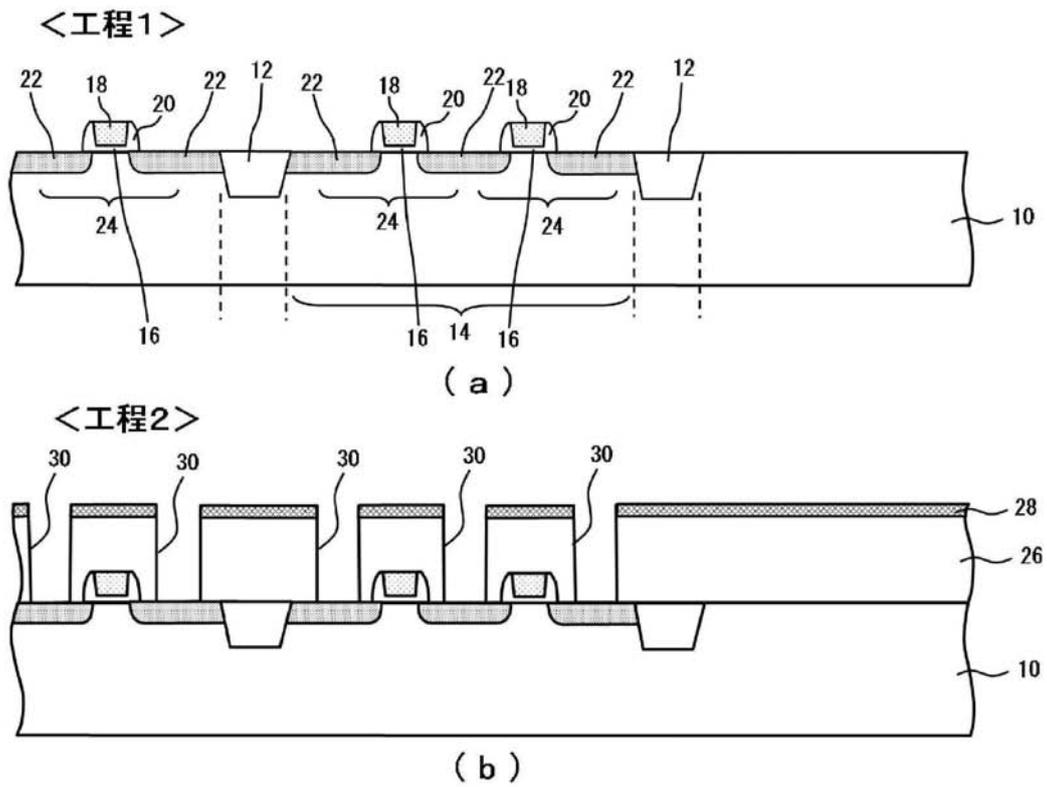
170 ... 電子線走査回路

50

【 図 2 】

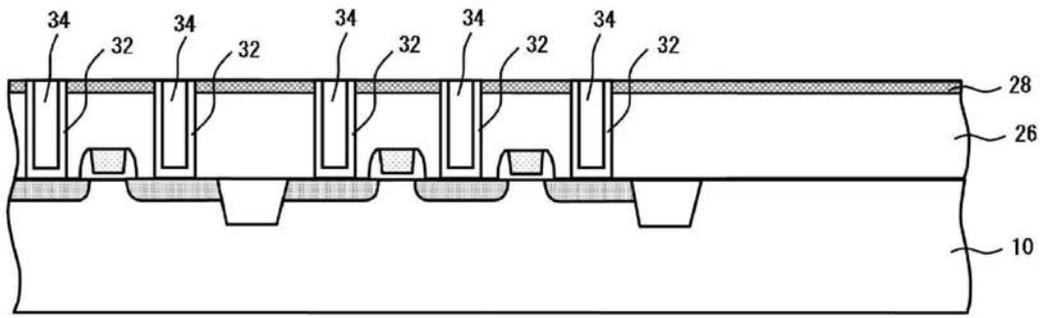


【 図 3 】



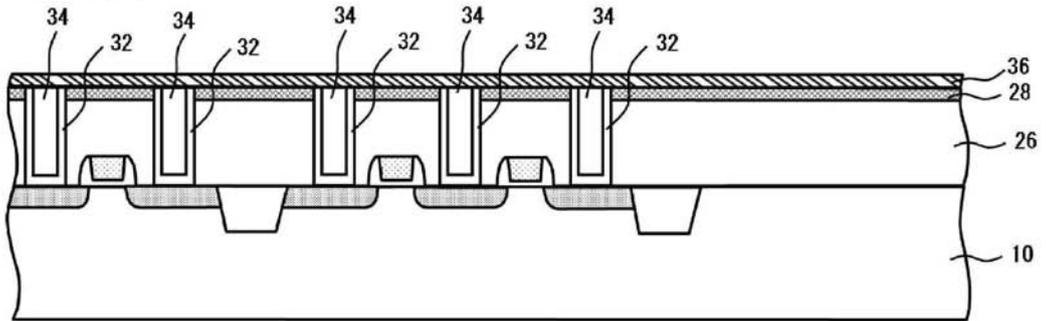
【 図 4 】

<工程3>



(a)

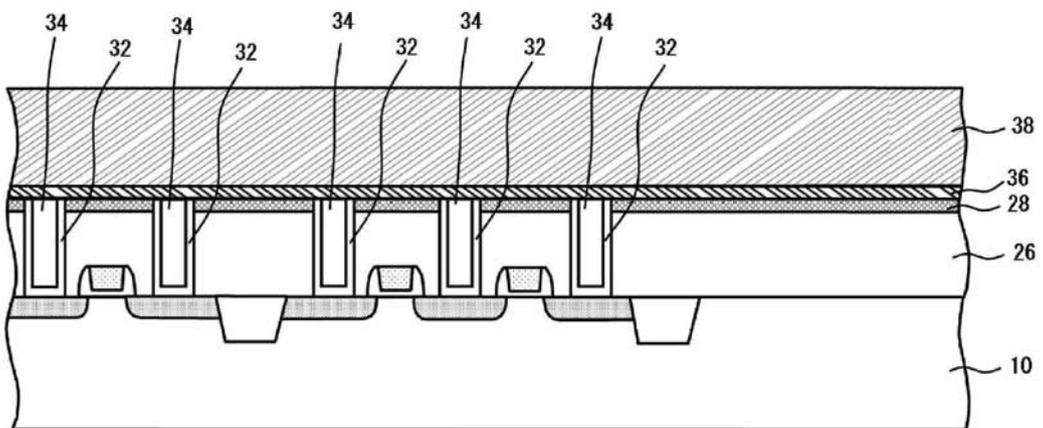
<工程4>



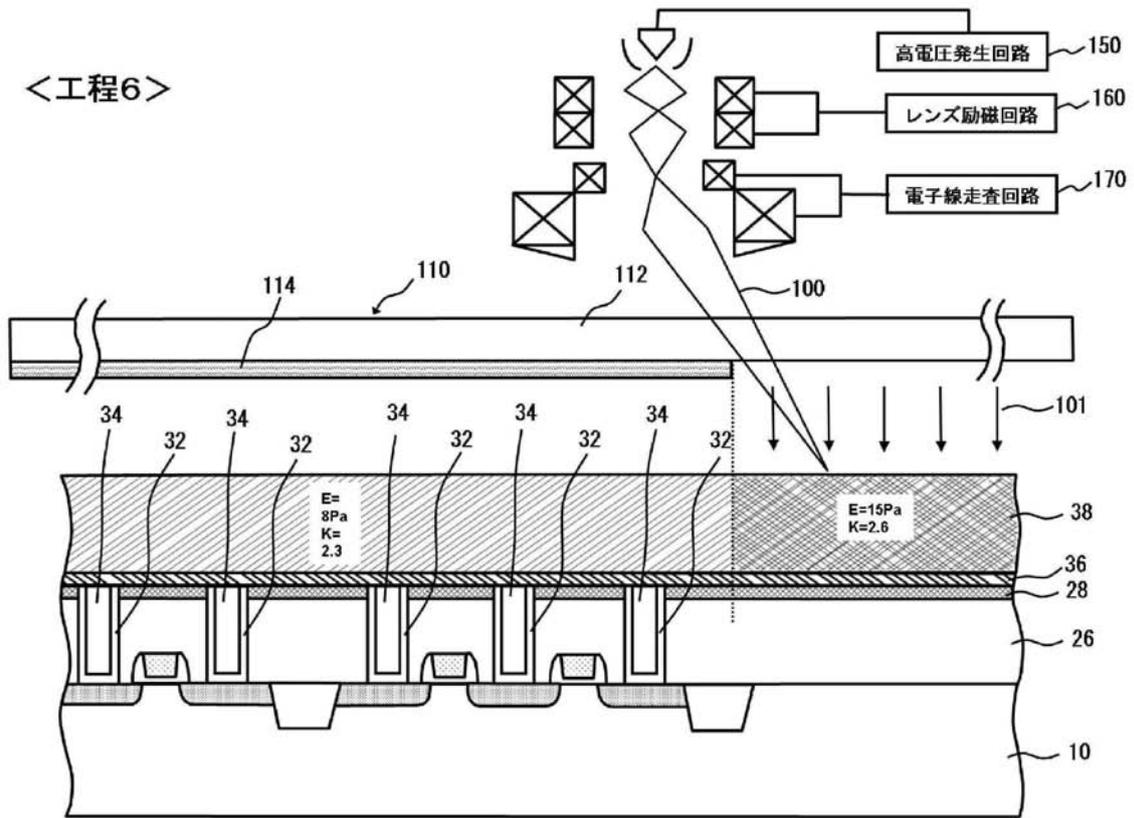
(b)

【 図 5 】

<工程5>

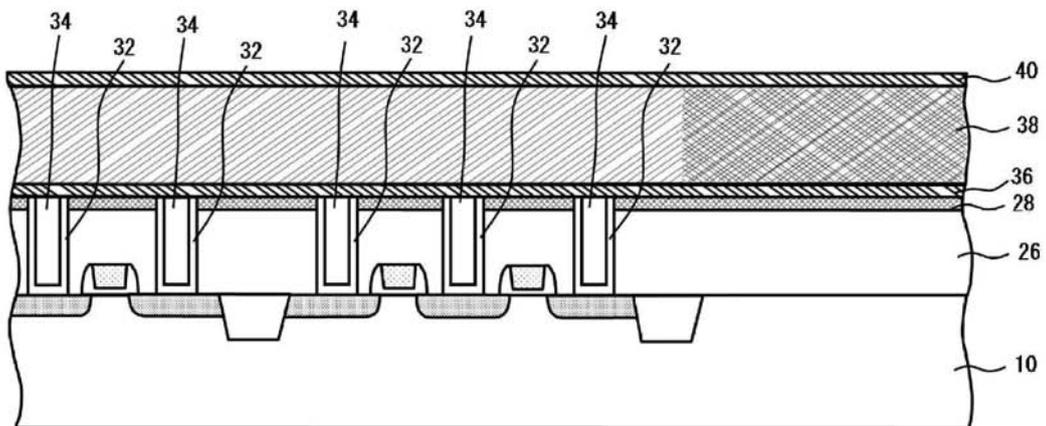


【 図 6 】



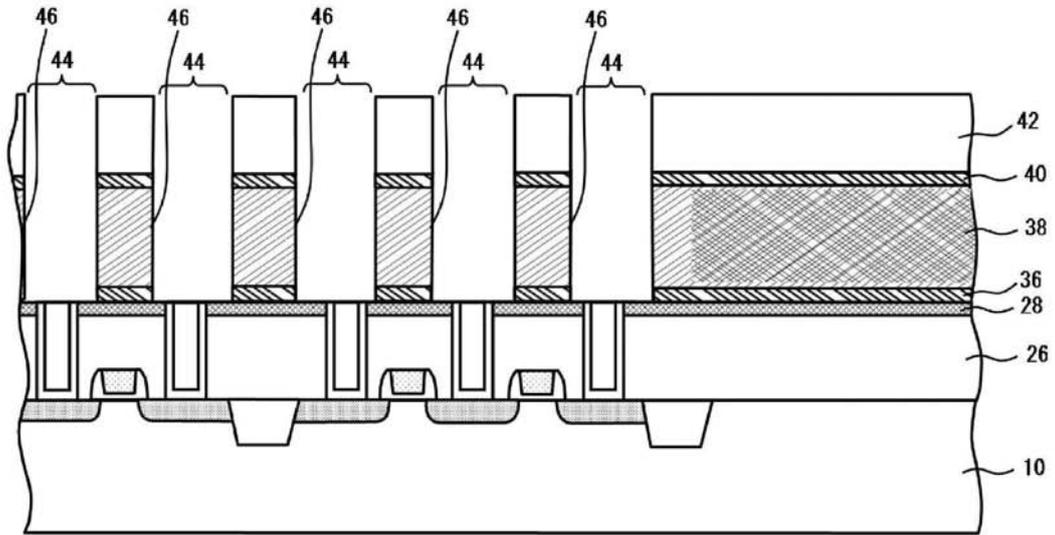
【 図 7 】

<工程7>



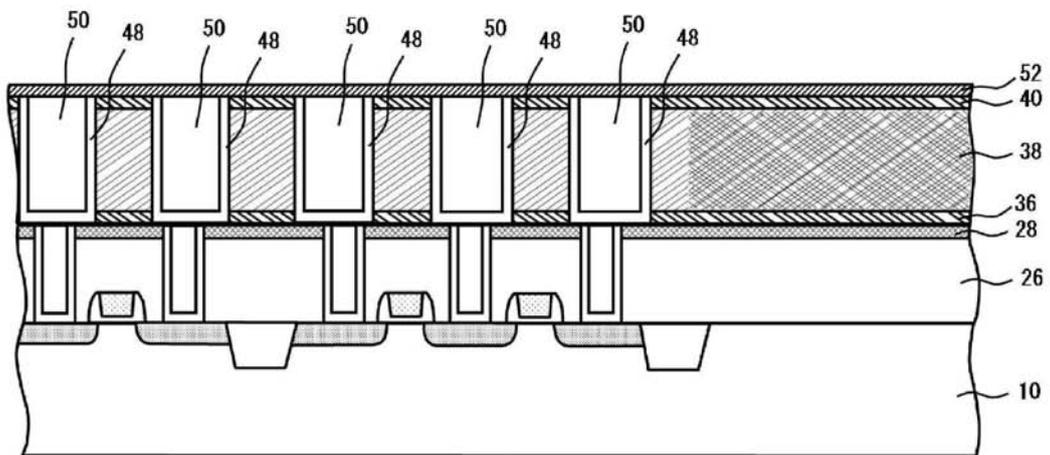
【 図 8 】

< 工程 8 >

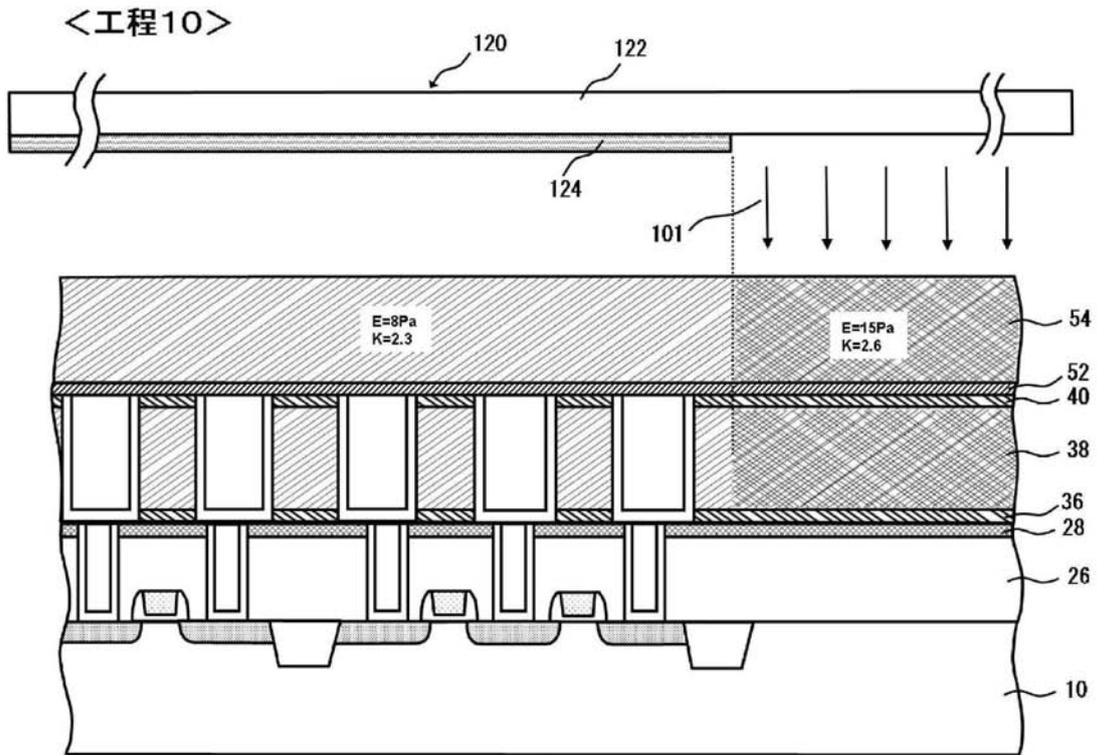


【 図 9 】

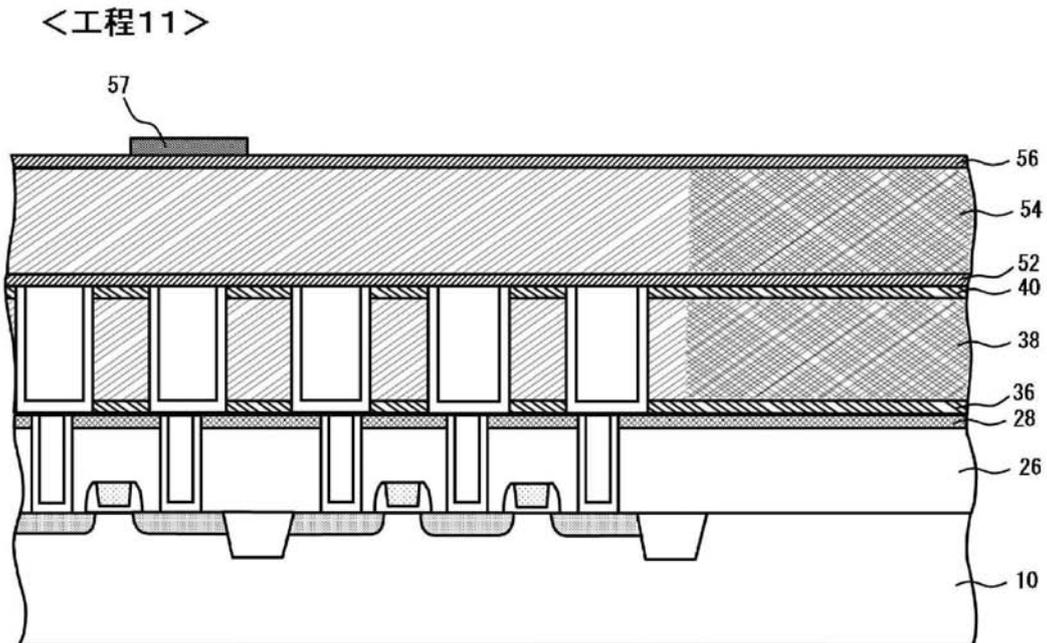
< 工程 9 >



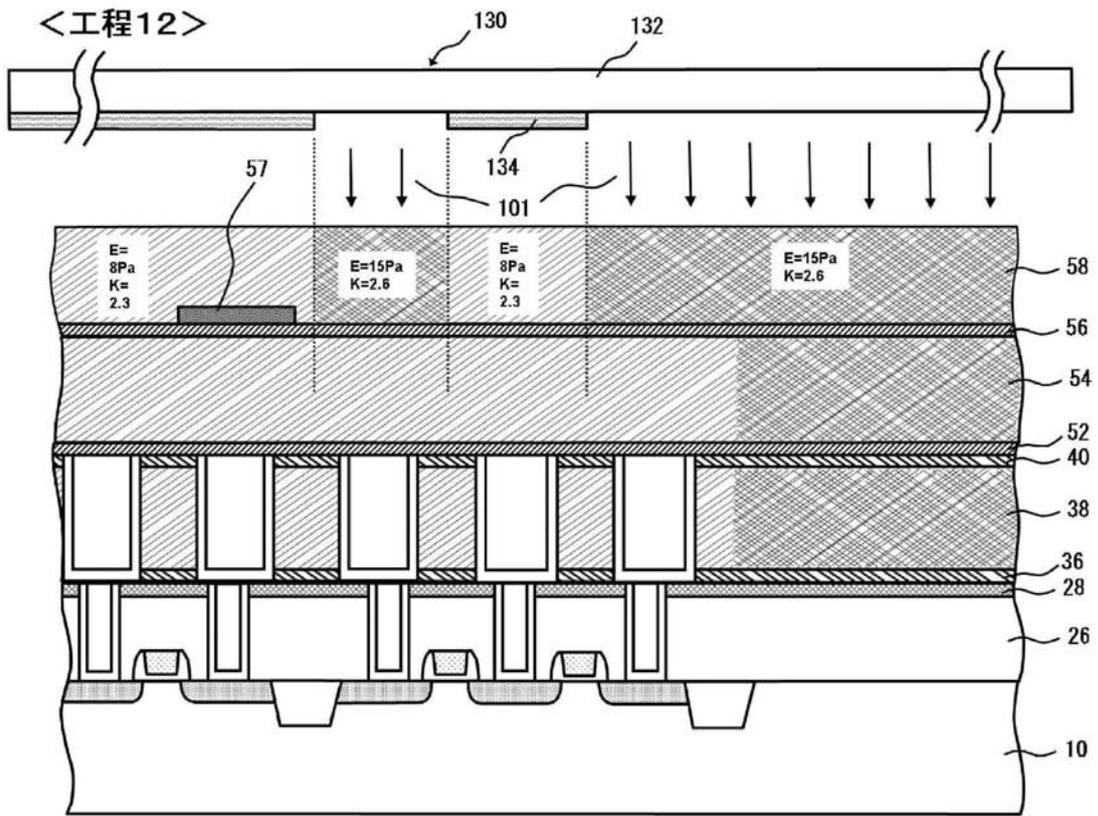
【図10】



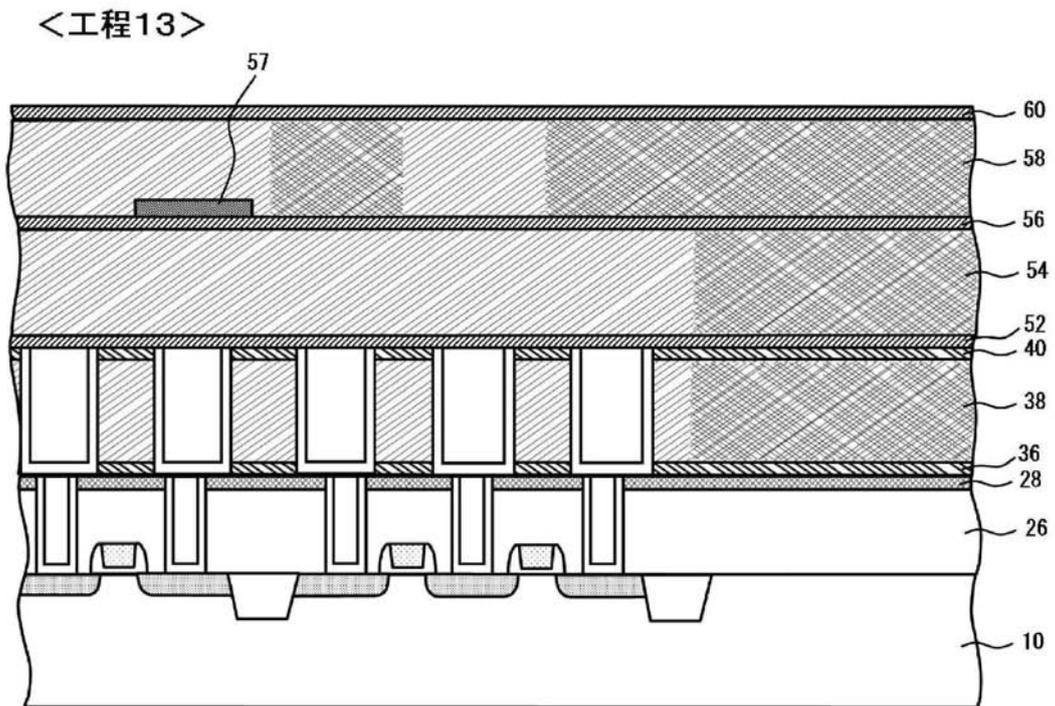
【図11】



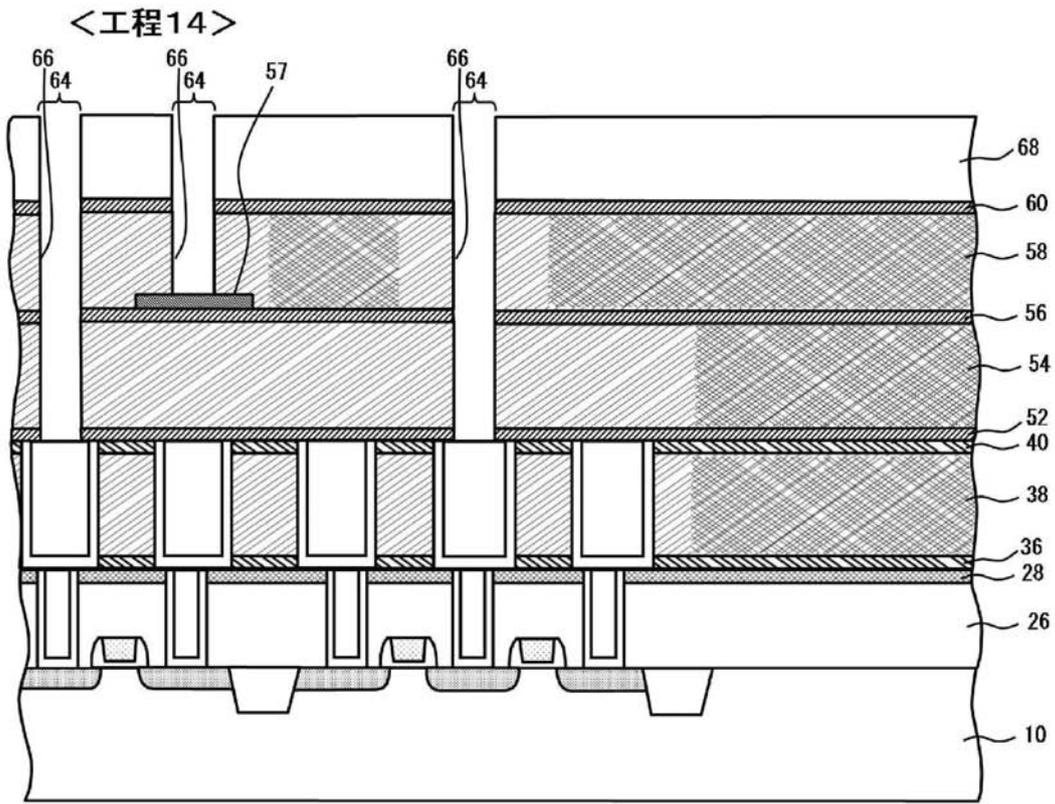
【 図 1 2 】



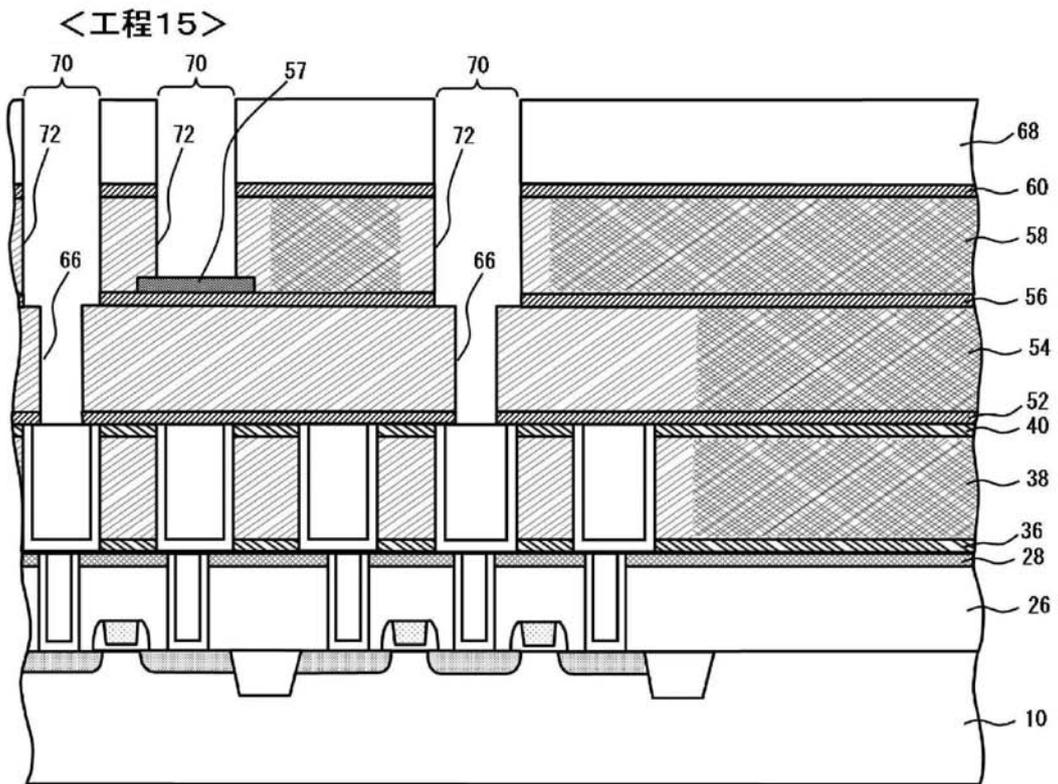
【 図 1 3 】



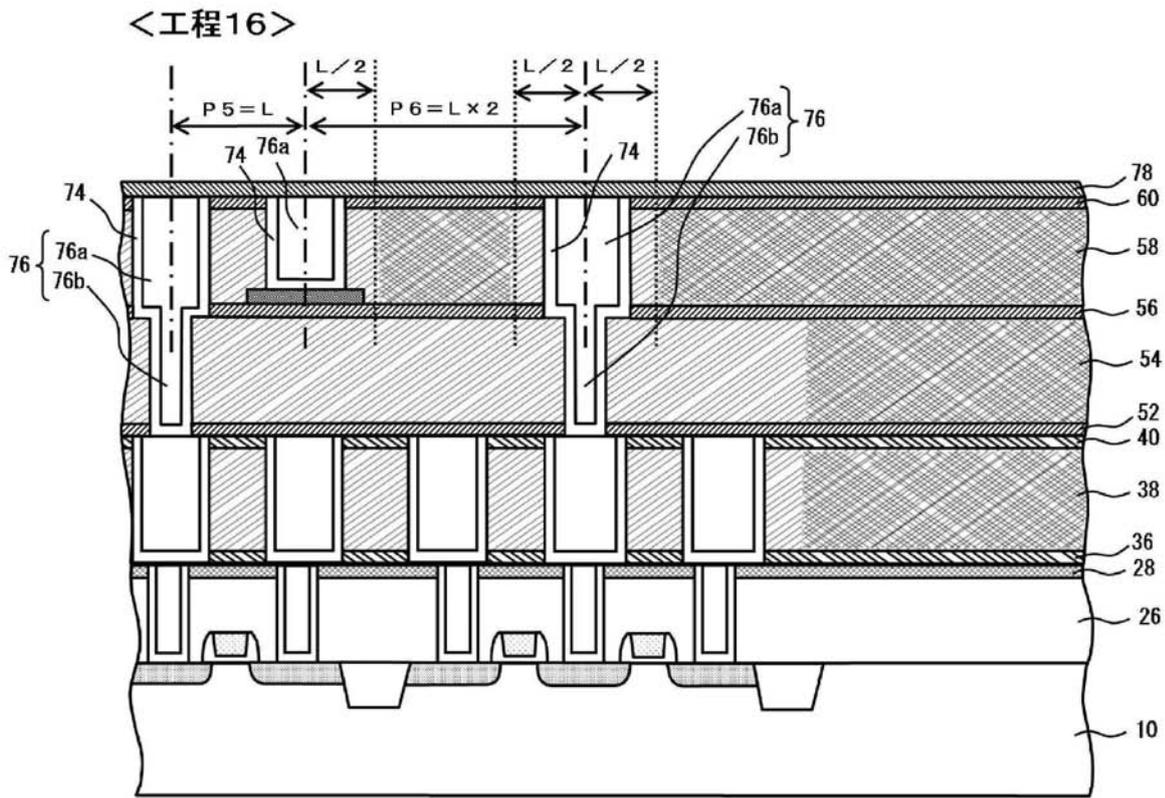
【図14】



【図15】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

表1

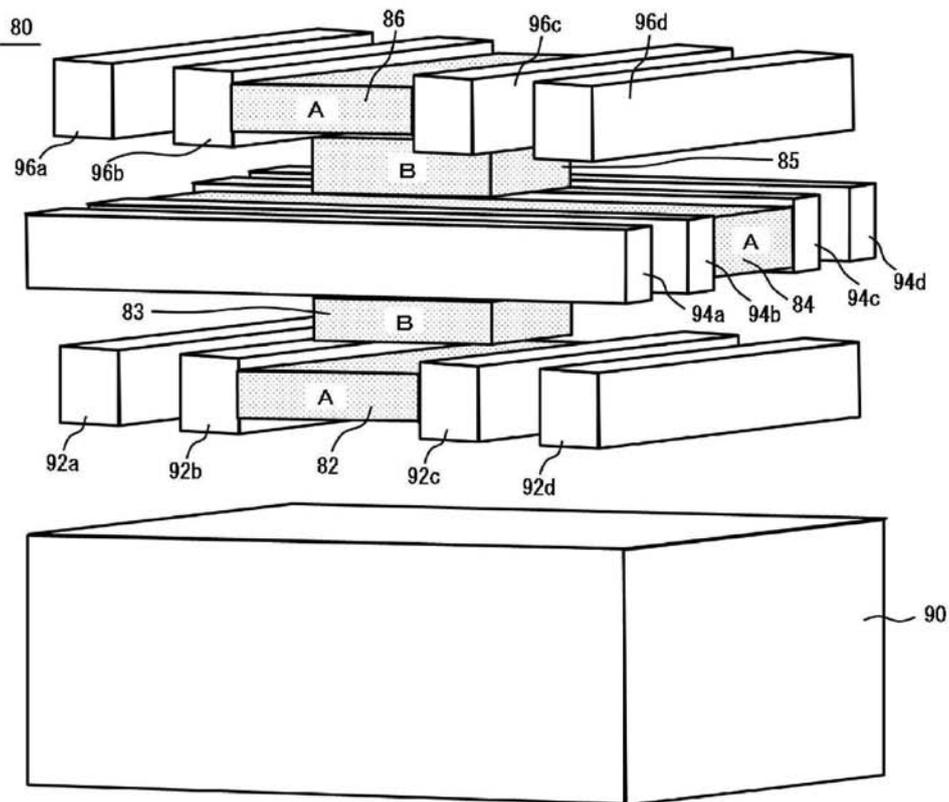
		実施例 1	実施例 2	実施例 3	比較例
電子線キュア前の 層間絶縁膜	膜厚	210nm	210nm	210nm	210nm
	屈折率	1.28	1.28	1.28	1.28
電子線キュアの条件	基板温度	200℃	300℃	400℃	—
	加速電圧	15keV	15keV	15keV	—
	時間	300秒	300秒	300秒	—
	雰囲気	アルゴン	アルゴン	アルゴン	—
電子線キュア後の 層間絶縁膜	膜厚	194nm	182nm	181nm	210nm
	屈折率	1.321	1.343	1.367	1.28
	弾性率 (ヤング率)	13GPa	14GPa	16GPa	8GPa
	比誘電率	2.6	3.3	3.5	2.3

【 図 1 8 】

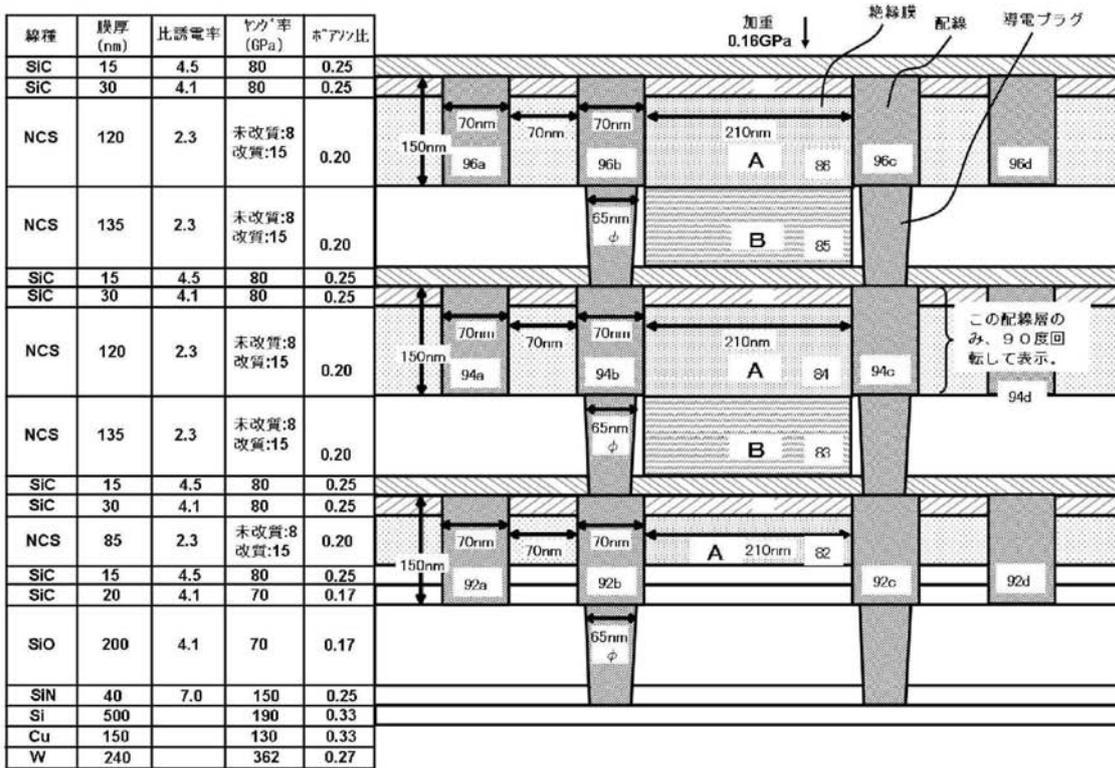
表2

		実施例 4	実施例 5	実施例 6	比較例
紫外線キュア前の 層間絶縁膜	膜厚	210nm	210nm	210nm	210nm
	屈折率	1.28	1.28	1.28	1.28
紫外線キュアの条件	基板温度	200℃	300℃	400℃	—
	時間	600秒	600秒	600秒	—
紫外線キュア後の 層間絶縁膜	膜厚	200nm	198nm	199nm	210nm
	屈折率	1.305	1.299	1.312	1.28
	弾性率 (ヤング率)	13GPa	14GPa	15GPa	8GPa
	比誘電率	2.4	2.6	2.5	2.3

【 図 1 9 】



【図 2 0】



【図 2 1】

表3 配線の配置密度が最大の状態

	シミュレーション (1)	シミュレーション (2)	シミュレーション (3)	シミュレーション (4)
	A部の中央に、更に配線を1本追加	A部配線無し (図20の状態のまま)	A部配線無し (図20の状態のまま)	A部配線無し (図20の状態のまま)
	A部改質無し B部改質無し	A部改質無し B部改質無し	A部改質有り B部改質無し	A部改質有り B部改質有り
最大応力 (GPa)	0.60	0.82	0.80	0.78
配線94b, 94cの配線容量 (fF/mm)	172	136	139	140

フロントページの続き

(72)発明者 松浦 東

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 HH32 JJ01 JJ11 JJ19 JJ32 JJ33 KK01 KK11 KK32
MM01 MM02 MM12 MM13 NN06 NN07 PP15 PP27 QQ09 QQ12
QQ25 QQ37 QQ48 QQ49 QQ54 QQ74 RR01 RR04 RR06 RR12
RR21 RR29 SS01 SS11 SS15 SS22 XX17 XX24
5F058 AA10 AF04 AG01 AG09 AG10 AH02 BA20 BF46 BH01 BH17
BH20 BJ02