

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4460669号  
(P4460669)

(45) 発行日 平成22年5月12日(2010.5.12)

(24) 登録日 平成22年2月19日(2010.2.19)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 21/768 (2006.01)

H01L 21/90

K

H01L 23/522 (2006.01)

H01L 21/316

M

H01L 21/316 (2006.01)

請求項の数 21 (全 29 頁)

(21) 出願番号

特願平11-75097

(22) 出願日

平成11年3月19日(1999.3.19)

(65) 公開番号

特開2000-269337(P2000-269337A)

(43) 公開日

平成12年9月29日(2000.9.29)

審査請求日

平成18年3月14日(2006.3.14)

(73) 特許権者 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦

(74) 代理人 100084618

弁理士 村松 貞男

(74) 代理人 100092196

弁理士 橋本 良郎

(74) 代理人 100091351

弁理士 河野 哲

(74) 代理人 100088683

弁理士 中村 誠

(74) 代理人 100070437

弁理士 河井 将次

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】

配線と、この配線の少なくとも一面に接して形成された第1の層間絶縁膜である第1の絶縁膜と、この第1の絶縁膜上に接して形成され、前記第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の層間絶縁膜である第2の絶縁膜とを具備してなる半導体装置であって、

前記配線、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜のそれぞれの線膨張係数を $\alpha_M$ ,  $\alpha_s$ ,  $\alpha_h$ とし、それぞれのヤング率を $E_M$ ,  $E_s$ ,  $E_h$ とし、それぞれの膜厚を $d_M$ ,  $d_s$ ,  $d_h$ とし、前記配線を構成する材料により定まる係数を $k_1$ ,  $k_2$ とし、 $d_1 = d_s + d_h$ ,  $E_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1$ ,  $\alpha_1 = (d_s \alpha_s + d_h \alpha_h) / d_1$ と定義し、前記配線に働く応力の温度勾配を $s$ とすると、前記配線、前記第1の絶縁膜、前記第2の絶縁膜は、

【数1】

$$s = k_1 \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - k_2 \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) < 5 \times 10^{-4}$$

の条件を満たすことを特徴とする半導体装置。

## 【請求項2】

Cu配線からなる配線と、この配線の少なくとも一面に接して形成された第1の絶縁膜と、この第1の絶縁膜上に接して形成され、前記第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の絶縁膜とを具備してなる半導体装置であって、

10

20

前記配線、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜のそれぞれの線膨張係数を $\alpha_M$ ,  $\alpha_s$ ,  $\alpha_h$ とし、それぞれのヤング率を $E_M$ ,  $E_s$ ,  $E_h$ とし、それぞれの膜厚を $d_M$ ,  $d_s$ ,  $d_h$ とし、 $d_1 = d_s + d_h$ ,  $E_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1$ ,  $\gamma_1 = (d_s \alpha_s + d_h \alpha_h) / d_1$ と定義し、前記配線に働く応力の温度勾配を $s$ とすると、前記配線、前記第1の絶縁膜、前記第2の絶縁膜は、

【数2】

$$s = 1.2 \times \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - 1.0 \times 10^{-3} \times \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) < 5 \times 10^{-4}$$

10

の条件を満たすことを特徴とする半導体装置。

【請求項3】

配線と、この配線の底面に接して形成された第1の絶縁膜と、この第1の絶縁膜上に接して形成され、前記第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の絶縁膜とを具備してなる半導体装置であって、

前記配線、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜のそれぞれの線膨張係数を $\alpha_M$ ,  $\alpha_s$ ,  $\alpha_h$ とし、それぞれのヤング率を $E_M$ ,  $E_s$ ,  $E_h$ とし、それぞれの膜厚を $d_M$ ,  $d_s$ ,  $d_h$ とし、前記配線を構成する材料により定まる係数を $k_1$ ,  $k_2$ とし、 $d_1 = d_s + d_h$ ,  $E_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1$ ,  $\gamma_1 = (d_s \alpha_s + d_h \alpha_h) / d_1$ と定義し、前記配線に働く応力の温度勾配を $s$ とすると、前記配線、前記第1の絶縁膜、前記第2の絶縁膜は、

【数3】

$$s = k_1 \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - k_2 \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) < 5 \times 10^{-4}$$

20

の条件を満たすことを特徴とする半導体装置。

【請求項4】

配線材料で形成された主構成部と、この主構成部の上面及び下面の少なくとも一方に接して形成された少なくとも一つの導電層とを含む配線と、

この配線の少なくとも一面に接して形成された第1の層間絶縁膜である第1の絶縁膜と、

30

この第1の絶縁膜上に接して形成され、前記第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の層間絶縁膜である第2の絶縁膜とを具備してなる半導体装置であって、

前記配線の主構成部、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜のそれぞれの線膨張係数を $\alpha_M$ ,  $\alpha_s$ ,  $\alpha_h$ とし、それぞれのヤング率を $E_M$ ,  $E_s$ ,  $E_h$ とし、前記配線、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜の膜厚を $d_M$ ,  $d_s$ ,  $d_h$ とし、前記配線材料により定まる係数を $k_1$ ,  $k_2$ とし、 $d_1 = d_s + d_h$ ,  $E_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1$ ,  $\gamma_1 = (d_s \alpha_s + d_h \alpha_h) / d_1$ と定義し、前記配線に働く応力の温度勾配を $s$ とすると、前記配線、前記第1の絶縁膜、前記第2の絶縁膜は、

【数4】

40

$$s = k_1 \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - k_2 \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) < 5 \times 10^{-4}$$

の条件を満たすことを特徴とする半導体装置。

【請求項5】

Cuからなる主構成部と、この主構成部の上面及び下面の少なくとも一方に接して形成された少なくとも一つの導電層とを含む配線と、

この配線の少なくとも一面に接して形成された第1の絶縁膜と、

この第1の絶縁膜上に接して形成され、前記第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の

50

絶縁膜とを具備してなる半導体装置であって、

前記配線の主構成部、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜のそれぞれの線膨張係数を $E_M, E_s, E_h$ とし、それぞれのヤング率を $E_M, E_s, E_h$ とし、前記配線、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜の膜厚を $d_M, d_s, d_h$ とし、 $d_1 = d_s + d_h, E_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1, s_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1$ と定義し、前記配線に働く応力の温度勾配を $s$ とすると、前記配線、前記第1の絶縁膜、前記第2の絶縁膜は、

**【数5】**

$$s = 1.2 \times \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - 1.0 \times 10^{-3} \times \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) < 5 \times 10^{-4}$$

10

の条件を満たすことを特徴とする半導体装置。

**【請求項6】**

配線材料で形成された主構成部と、この主構成部の上面及び下面の少なくとも一方に接して形成された少なくとも一つの導電層とを含む配線と、

この配線の下面に接して形成された第1の絶縁膜と、

この第1の絶縁膜上に接して形成され、前記第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の絶縁膜とを具備してなる半導体装置であって、

前記配線の主構成部、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜のそれぞれの線膨張係数を $E_M, E_s, E_h$ とし、それぞれのヤング率を $E_M, E_s, E_h$ とし、前記配線、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜の膜厚を $d_M, d_s, d_h$ とし、前記配線材料により定まる係数を $k_1, k_2$ とし、 $d_1 = d_s + d_h, E_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1, s_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1$ と定義し、前記配線に働く応力の温度勾配を $s$ とすると、前記配線、前記第1の絶縁膜、前記第2の絶縁膜は、

**【数6】**

$$s = k_1 \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - k_2 \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) < 5 \times 10^{-4}$$

20

の条件を満たすことを特徴とする半導体装置。

30

**【請求項7】**

前記第1の絶縁膜はヤング率が15GPa以下の材料により形成され、前記第2の絶縁膜はヤング率が15GPaより大の材料により形成されてなることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体装置。

**【請求項8】**

前記第1の絶縁膜は、異なる材料からなる積層膜であり、前記配線側から数えて*i*番目の絶縁膜の膜厚を $d_{si}$ 、ヤング率を $E_{si}$ 、線膨張係数を $\alpha_{si}$ とすると、

**【数7】**

$$d_s = \sum_i d_{si}$$

$$E_s = \left( \sum_i d_{si} E_{si} \right) / d_s$$

$$\alpha_s = \left( \sum_i d_{si} \alpha_{si} \right) / d_s$$

40

で表されることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体装置。

**【請求項9】**

50

前記第1の絶縁膜は、有機材料を含む酸化シリコンを主成分とする膜を少なくとも1層有することを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体装置。

【請求項10】

前記有機材料は、メチル基を主成分とすることを特徴とする請求項9に記載の半導体装置。

【請求項11】

前記半導体装置はさらに基板を有し、

この基板の主面上に少なくとも絶縁層を介して前記配線が形成され、

前記第1の絶縁膜は、前記配線の上面又は下面に接して形成されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体装置。 10

【請求項12】

前記半導体装置はさらに基板を有し、

この基板の主面上に少なくとも絶縁層を介して前記配線が形成され、

前記第1の絶縁膜は、前記配線の上面又は下面及び側面に接して形成されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の半導体装置。 10

【請求項13】

前記半導体装置はさらに基板を有し、

この基板の主面上に少なくとも絶縁層を介して前記配線が形成され、

前記配線は前記基板の主面上であって互いに異なる層に形成された第1の配線及び第2の配線からなり、 20

前記第1の絶縁膜は前記第1の配線の側面に形成され、

前記第2の絶縁膜は前記第1の配線と前記第2の配線との間に形成され、

前記第1の配線の線膨張係数は $\alpha_M$ 、ヤング率は $E_M$ 、膜厚は $d_M$ であり、前記第1の配線を構成する材料により係数 $k_1$ 及び $k_2$ が定まることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。 20

【請求項14】

前記半導体装置はさらに基板を有し、

この基板の主面上に少なくとも絶縁層を介して前記配線が形成され、

前記配線は前記基板の主面上であって互いに異なる層に形成された第1の配線及び第2の配線からなり、 30

前記第1の絶縁膜は前記第1の配線の側面に形成され、

前記第2の絶縁膜は前記第1の配線と前記第2の配線との間に形成され、

前記第1の配線の主構成部の線膨張係数は $\alpha_M$ 、ヤング率は $E_M$ 、前記第1の配線の膜厚は $d_M$ であり、前記第1の配線の主構成部を形成する配線材料により係数 $k_1$ 及び $k_2$ が定まることを特徴とする請求項4に記載の半導体装置。 30

【請求項15】

前記半導体装置はさらに基板を有し、

この基板の主面上に少なくとも絶縁層を介して前記配線が形成され、

前記配線は前記基板の主面上であって互いに異なる層に形成された第1の配線及び第2の配線からなり、 40

前記第1の絶縁膜は前記第1の配線の側面に形成され、

前記第2の絶縁膜は前記第1の配線と前記第2の配線との間に形成され、

前記第1の配線の線膨張係数は $\alpha_M$ 、ヤング率は $E_M$ 、膜厚は $d_M$ であり、前記第1の配線を構成する材料により係数 $k_1$ 及び $k_2$ が定まり、

前記第1の絶縁膜はヤング率が15GPa以下の材料により形成され、前記第2の絶縁膜はヤング率が15GPaより大の材料により形成されてなることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。 40

【請求項16】

前記半導体装置はさらに基板を有し、

この基板の主面上に少なくとも絶縁層を介して前記配線が形成され、 50

前記配線は前記基板の主面上であって互いに異なる層に形成された第1の配線及び第2の配線からなり、

前記第1の絶縁膜は前記第1の配線の側面に形成され、

前記第2の絶縁膜は前記第1の配線と前記第2の配線との間に形成され、

前記第1の配線の主構成部の線膨張係数は $\alpha_M$ 、ヤング率は $E_M$ 、前記第1の配線の膜厚は $d_M$ であり、前記第1の配線の主構成部を形成する配線材料により係数 $k_1$ 及び $k_2$ が定まり、

前記第1の絶縁膜はヤング率が15 GPa以下の材料により形成され、前記第2の絶縁膜はヤング率が15 GPaより大の材料により形成されてなることを特徴とする請求項4に記載の半導体装置。

10

**【請求項17】**

前記配線はA1からなり、前記係数 $k_1$ は1、前記係数 $k_2$ は $1 \times 10^{-3}$ であることを特徴とする請求項1又は3に記載の半導体装置。

**【請求項18】**

前記配線材料はA1からなり、前記係数 $k_1$ は1、前記係数 $k_2$ は $1 \times 10^{-3}$ であることを特徴とする請求項4又は6に記載の半導体装置。

**【請求項19】**

前記配線はCuからなり、前記係数 $k_1$ は1.2、前記係数 $k_2$ は $1 \times 10^{-3}$ であることを特徴とする請求項1又は3に記載の半導体装置。

20

**【請求項20】**

前記配線材料はCuからなり、前記係数 $k_1$ は1.2、前記係数 $k_2$ は $1 \times 10^{-3}$ であることを特徴とする請求項4又は6に記載の半導体装置。

**【請求項21】**

前記第1の絶縁膜は、前記配線の下面に接して形成されていることを特徴とする請求項2又は5に記載の半導体装置。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、LSIの多層構造を有する半導体装置に関し、特に配線の高信頼化のための多層構造を有する半導体装置に関するものである。

30

**【0002】**

**【従来の技術】**

LSI配線の最も大きな問題があるエレクトロマイグレーション（以下、EMと称する）不良は、次のような機構で発生する。配線を形成する金属原子が、カソード（-）からアノード（+）側へ移動していき、そのとき配線のカソード側では金属原子の密度の減少とともに引張り応力が蓄積している。この引張り応力が臨界応力を超えるとボイドが発生して断線に至る。

**【0003】**

配線を囲んで存在する絶縁膜が、配線からの応力を受けて変形することができれば、配線の応力は緩和され、EM不良は起こりにくくなる。しかしながら、従来の半導体装置において、層間絶縁膜として使われてきたプラズマSiO<sub>2</sub>膜やプラズマSiN膜のヤング率は、いずれも50 GPa以上と比較的大きい。これらの膜は、応力を受けてもほとんど変形することがない。従って、従来の半導体装置においてはEM耐性は低かった。

40

**【0004】**

また、従来の半導体装置の中には、配線に接してヤング率の低い絶縁膜が形成される場合もあったが、この場合、クラック耐性、吸水性、透水性等の問題が生じる。

**【0005】**

**【発明が解決しようとする課題】**

以上説明したように従来の半導体装置では、配線に接して形成される絶縁膜のヤング率が高かったため、応力を受けた場合に絶縁膜がほとんど変形しないため、EM耐性が低かつ

50

た。また、配線に接してヤング率の低い絶縁膜が形成された構造によりEM耐性が高い半導体装置も考えられるが、クラック耐性、吸水性、透水性の問題が生じる。

【0006】

本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、クラック耐性を保持しつつEM耐性を向上させる半導体装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項1に係る発明は、配線と、この配線の少なくとも一面に接して形成された第1の絶縁膜と、この第1の絶縁膜上に接して形成され、前記第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の絶縁膜とを具備してなる半導体装置であって、前記配線、前記第1の絶縁膜及び前記第2の絶縁膜のそれぞれの線膨張係数を $\alpha_M$ 、 $\alpha_s$ 、 $\alpha_h$ とし、それぞれのヤング率を $E_M$ 、 $E_s$ 、 $E_h$ とし、それぞれの膜厚を $d_M$ 、 $d_s$ 、 $d_h$ とし、前記配線を構成する材料により定まる係数を $k_1$ 、 $k_2$ とし、 $d_1 = d_s + d_h$ 、 $E_1 = (d_s E_s + d_h E_h) / d_1$ 、 $s_1 = (d_s \alpha_s + d_h \alpha_h) / d_1$ と定義し、前記配線に働く応力の温度勾配を $s$ とすると、前記配線、前記第1の絶縁膜、前記第2の絶縁膜は、

【0008】

【数8】

$$s = k_1 \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - k_2 \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) < 5 \times 10^{-4}$$

10

20

【0009】

の条件を満たすことを特徴とする。

【0010】

本発明の望ましい形態を以下に示す。

【0011】

(1) 第1の絶縁膜はヤング率が15GPa以下の材料により形成され、第2の絶縁膜はヤング率が15GPa以上の材料により形成されてなる。

【0012】

(2) 第1の絶縁膜は、異なる材料からなる積層膜であり、配線側から数えて*i*番目の絶縁膜の膜厚を $d_{s_i}$ 、ヤング率を $E_{s_i}$ 、線膨張係数を $\alpha_{s_i}$ とすると、

30

【0013】

【数9】

$$\begin{aligned} d_s &= \sum_i d_{s_i} \\ E_s &= \left( \sum_i d_{s_i} E_{s_i} \right) / d_s \\ \alpha_s &= \left( \sum_i d_{s_i} \alpha_{s_i} \right) / d_s \end{aligned}$$

40

【0014】

で表される。

【0015】

(3) 第1の膜は、有機材料を含む酸化シリコンを主成分とする膜を少なくとも1層有する。

【0016】

(4) 有機材料は、メチル基を主成分とする。

50

## 【0017】

(5) 配線の材料が、A1又はその合金である場合、係数  $k_1$  の値が1であり、係数  $k_2$  の値が  $10^{-3}$  である。

## 【0018】

(6) 配線の材料が、Cu又はその合金である場合、係数  $k_1$  の値が1.2であり、係数  $k_2$  の値が  $10^{-3}$  である。

## 【0019】

(7) 第1及び第2の絶縁膜は、配線を囲むように形成される。

## 【0020】

(作用)

10

エレクトロマイグレーション(以下、EMと称する)信頼性のパラメータの一つとして知られている電流密度係数nは、MTF(Means Time to Failure)や活性化工エネルギーと同様に、EMの信頼性を表す指標であり、n値が大きいほど、EMの信頼性は高くなる。従来の半導体装置であって、配線に接して形成された絶縁膜が一層のみの場合で、配線から受ける応力によって絶縁膜が変形しないと考えられる場合には、EMにより抵抗上昇が起こりはじめるまでの時間(インキュベーションタイム)から求めたn値は理想的には2に定まり、2よりも大きい値を取ることはない。

## 【0021】

一方、配線に働く応力の温度勾配sは、その値が小さいほど絶縁膜の変形による応力緩和の効果は大きいと推測され、この応力緩和効果は熱応力のみでなく、EMにより配線中に生じる応力に対しても同様の効果を示す。

20

## 【0022】

配線が絶縁膜で囲まれている場合、配線に働く応力の温度勾配は通常以下の式で示される。

## 【0023】

$$s = d_M / dT = E_M \cdot (E_I - E_M)$$

ただし、この式は配線から受ける応力によって絶縁膜が変形しない場合の式である。層間絶縁膜として用いられているTEOS-SiO<sub>2</sub>膜やSiN膜などは、ヤング率が50GPa以上と大きく、かつ線膨張係数もA1の1/10以下であるため、配線から受ける応力で絶縁膜が変形する量は無視できるほど小さい。

30

## 【0024】

しかし、ヤング率が15GPa以下と小さい絶縁膜を配線の周りに用いた場合には、配線から受ける応力によって絶縁膜が変形し、この変形によって配線の応力が緩和されると仮定し、絶縁膜が変形するという条件の下で、配線の応力の温度勾配を導出すると、次の式(1)になる。

## 【0025】

## 【数10】

$$s = \frac{d\sigma}{dT} = k_1 \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - k_2 \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right)$$

40

## 【0026】

なお、 $E_I$ は層間絶縁膜を構成する材料のヤング率、 $d_M$ は配線の膜厚、 $d_I$ は層間絶縁膜の膜厚、 $k_1$ 、 $k_2$ は配線材料により決まる係数を表す。

## 【0027】

式(1)で表される配線応力勾配をsとすると、このs値が小さいほど、絶縁膜の変形による応力緩和の効果は大きいと推測される。この応力緩和効果は熱応力のみでなく、EMにより配線中に生じる応力に対しても同様の効果を示す。

## 【0028】

さらに、絶縁膜が積層構造になっている場合には、複合則により、絶縁膜の有効ヤング率

50

および有効線膨張係数を以下の3つの式で表すことができる。

**【0029】**

$$d_i = d_s + d_h$$

$$E_i = (d_s E_s + d_h E_h) / d_i$$

$$\gamma_i = (d_s \gamma_s + d_h \gamma_h) / d_i$$

絶縁膜が積層構造になっている場合の  $s$  の値については、以上の3つの式を式(1)に導入することで導出できる。

**【0030】**

ここで、前述したEMの信頼性向上の条件である電流密度係数  $n$  が2である場合、種々の実験等による経験則から、 $s < 5 \times 10^{-4}$ となる。従って、EMの信頼性向上のためには、上記式(1)において示される  $s$  値が  $5 \times 10^{-4}$ 以下であることが必要となる。10

**【0031】**

ここで、配線に接して形成された絶縁膜が一層のみの場合で、配線から受ける応力によって絶縁膜が変形することを考慮する場合であっても、 $n$  値は2よりも大きい値を取る。しかしながら、この場合にはクラックが発生するという問題が生じる。

**【0032】**

従って  $s < 5 \times 10^{-4}$ という条件を満たす材料、膜厚を選択することに加えて、クラック耐性、吸水性、透水性の問題を解決する構造であるためには、ヤング率の低い材料からなる絶縁膜を配線上に接するように形成するのみならず、さらにこのヤング率の低い絶縁膜に接して、ヤング率の高い材料からなる絶縁膜を形成することが必要となる。20

**【0033】**

以上より、充分なEM信頼性とクラック耐性、吸水性、透水性の問題を解決する半導体装置は、配線と、ヤング率の異なる第1及び第2の絶縁膜の積層構造を有し、これら各層が  $s < 5 \times 10^{-4}$ の条件を満たす材料、膜厚を有するものである。

**【0034】**

従って、本発明のように配線の少なくとも一面に第1の絶縁膜が形成され、さらにこの第1の絶縁膜上に接して、第1の絶縁膜よりもヤング率の高い第2の絶縁膜が形成され、これら各層が  $s < 5 \times 10^{-4}$ の条件を満たす材料、膜厚に設定することにより、クラック耐性、吸水性及び透水性等の問題を解決しつつ、従来の半導体装置に比較してEM信頼性が向上する。30

**【0035】**

**【発明の実施の形態】**

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

**【0036】**

(第1実施形態)

図1は本発明の第1実施形態に係る半導体装置の断面図である。本実施形態では、配線の上面にヤング率が15GPa以下の絶縁膜が接して形成される場合について説明する。

**【0037】**

図1に示すように、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1には、深さ400nmの溝が形成されている。この溝内には、ライナー材2を介して配線3が形成されている。この配線3及びTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1上には第1の絶縁膜4が形成され、さらにこの第1の絶縁膜4上には第2の絶縁膜5が積層して形成されている。第1の絶縁膜4はヤング率が15GPa以下の材料からなり、第2の絶縁膜5はヤング率が15GPa以上の材料からなる。40

**【0038】**

また、本実施形態では、第1の絶縁膜4は有機を含む酸化シリコン膜、第2の絶縁膜5はF添加SiO<sub>2</sub>膜、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜又はプラズマSiN膜、ライナー材2はNb、配線3はAlである。

**【0039】**

配線3、第1の絶縁膜4及び第2の絶縁膜5それぞれの膜厚を  $d_M$ ,  $d_s$ ,  $d_h$ 、ヤング率を  $E_M$ ,  $E_s$ ,  $E_h$ 、線膨張係数を  $\gamma_M$ ,  $\gamma_s$ ,  $\gamma_h$  と定義すると、これらのパラメータは以下50

に示す式(2)の条件を満たすように形成される。なお、 $s$ は配線3に働く応力の温度勾配である。

## 【0040】

## 【数11】

$$s = k_1 \frac{E_M E_I}{E_M + E_I} \cdot \left( \alpha_M - k_2 \alpha_I \frac{d_I}{d_M} \right) \quad \dots (2)$$

## 【0041】

上記式(2)において、 $d_I = d_s + d_h$ 、 $E_I = (d_s E_s + d_h E_h) / d_I$ 、 $\alpha_I = (d_s \alpha_s + d_h \alpha_h) / d_I$ と定義し、 $k_1$ 及び $k_2$ は配線材料により決まる係数である。この $k_1$ 及び $k_2$ は、異なる配線材料を用いた場合にも上記式(2)で一義的に条件を定めるために導入された係数であって、配線材料毎に実験を行うことにより導出できる。10

## 【0042】

この半導体装置の製造方法を以下説明する。

## 【0043】

まず、層間絶縁膜として、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1を成膜し、このTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1に深さ400nmの溝を加工する。次いで、この溝表面を覆うようにライナー材2を成膜し、続いてリフロースパッタリングによって配線材料を成膜する。その後CMPによって溝以外に形成された配線材料を平坦化除去して配線3を形成する。そして、この配線3及びTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1表面に、ヤング率が15GPa以下の第1の絶縁膜4を400nm成膜する。この第1の絶縁膜4である有機を含む酸化シリコン膜は、スピンドルコートによって形成されたSOG膜(Spin on Glass)である。このSOG膜に含有される有機成分はメチル基の形で存在する。望ましくは、メチル基の含有率は20wt%以下である。メチル基は分子構造が小さいため、他の有機成分に比較して低温で重合を行うことができる。次いで、この第1の絶縁膜4上に、ヤング率が15GPa以上の第2の絶縁膜5を形成する。20

## 【0044】

この半導体装置に用いられる材料のヤング率は、有機を含む酸化シリコン膜は6GPa、F添加SiO<sub>2</sub>膜は36GPa、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜は57GPa、プラズマSiN膜は98GPaを示す。なお、これらヤング率は押し込み硬度計を用いて測定した値である。30

## 【0045】

第2の絶縁膜5の膜厚は、F添加SiO<sub>2</sub>膜の場合は1000nm以下、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜の場合は300nm以下、プラズマSiN膜の場合は100nm以下となるように形成する。

## 【0046】

このように配線3、第1の絶縁膜4及び第2の絶縁膜5の積層構造とし、第2の絶縁膜5の膜厚を限定する理由を以下説明する。

## 【0047】

エレクトロマイグレーション(以下、EMと称する)信頼性のパラメータの一つとして知られている電流密度係数nは、MTF(Means Time to Failure)や活性化エネルギーと同様に、EMの信頼性を表す指標であり、n値が大きいほど、EMの信頼性は高くなる。従来の半導体装置であって、配線に接して形成された絶縁膜が一層のみの場合で、配線から受ける応力によって絶縁膜が変形しないと考えられる場合には、EMにより抵抗上昇が起こりはじめるまでの時間(インキュベーションタイム)から求めたn値は理想的には2に定まり、2よりも大きい値と取ることはない。従って、n値が2以上の値を取ることにより、絶縁膜が一層でかつ応力により変形しない場合よりも、EMの信頼性は向上する。40

## 【0048】

一方、配線に働く応力の温度勾配sは、その値が小さいほど絶縁膜の変形による応力緩和の効果は大きいと推測され、この応力緩和効果は熱応力のみでなく、EMにより配線中に50

生じる応力に対しても同様の効果を示す。ここで、上記したEMの信頼性向上の条件である $n = 2$ を満たす場合、種々の実験等による経験則から、 $s < 5 \times 10^{-4}$ となる。従って、EMの信頼性向上のためには、上記式(2)において示されるs値が $5 \times 10^{-4}$ 以下であることが必要となる。

#### 【0049】

ここで、配線に接して形成された絶縁膜が一層のみの場合で、配線から受ける応力によって絶縁膜が変形することを考慮する場合であっても、n値は2よりも大きい値を取る。しかしながら、この場合にはクラックが発生するという問題が生じる。

#### 【0050】

従って $s < 5 \times 10^{-4}$ という条件を満たす材料、膜厚を選択することに加えて、クラック耐性、吸水性、透水性が発生しない構造とするために、ヤング率の低い材料からなる絶縁膜を配線に接するように形成するのみならず、さらにこのヤング率の低い絶縁膜上に接して、ヤング率の高い材料からなる絶縁膜を形成することが必要となる。10

#### 【0051】

以上より、充分なEM信頼性を有し、クラック耐性、吸水性、透水性の問題を解決する半導体装置は、配線と、ヤング率の異なる第1及び第2の絶縁膜の積層構造を有し、これら各層が $s < 5 \times 10^{-4}$ の条件を満たす材料、膜厚を有するものである。

#### 【0052】

本実施形態の場合、配線3、第1の絶縁膜4の材料及び膜厚を上記式(2)に代入し、第2の絶縁膜5の材料を種々変更した場合、第2の絶縁膜5の膜厚は、F添加SiO<sub>2</sub>膜の場合は1000nm以下、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜の場合は300nm以下、プラズマSiN膜の場合は100nm以下と定まる。20

#### 【0053】

次に、第2の絶縁膜5の膜厚及び材料を種々変更して実験を行った場合の絶縁膜4及び5の膜厚、s値、MTF、電流密度係数n及びクラック耐性を以下の表1に示す。

#### 【0054】

#### 【表1】

表 1

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	ds (nm)	dh (nm)	s	M T F	n	クラック耐性
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	0	$1.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	10	$1.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	100	$2.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	200	$3.2 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	300	$3.7 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	400	$4.0 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	1000	$4.9 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	1300	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	TEOS	400	10	$1.6 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
	TEOS	400	100	$3.2 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
	TEOS	400	200	$4.3 \times 10^{-4}$	○	>2	○
	TEOS	400	300	$4.9 \times 10^{-4}$	○	>2	○
	TEOS	400	400	$5.4 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	SiN	400	10	$1.8 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
	SiN	400	50	$3.2 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
	SiN	400	100	$4.5 \times 10^{-4}$	○	>2	○
	SiN	400	200	$6.0 \times 10^{-4}$	△	2	○
	SiN	400	400	$7.6 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS	SiN	600	600	$9.6 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

(EM信頼性: ◎従来品より著しく向上、○従来品より向上、△従来品と同程度)

## 【0055】

表1では、本発明との比較のため、第1の絶縁膜及び第2の絶縁膜とともに配線から受ける応力により変形しない膜を用いた場合の従来の構造の例として、本発明の第1及び第2の絶縁膜4及び5に置換して600 nmのTEOS-SiO<sub>2</sub>膜と600 nmのプラズマSiN膜の積層膜が形成された場合を示す。

## 【0056】

配線材料はA1であり、E<sub>M</sub>=80 GPa、d<sub>M</sub>=400 nm、 $\nu_M = 2.4 \times 10^{-5}$ を用いた。測定結果から、配線がA1の場合、k<sub>1</sub>=1, k<sub>2</sub>=10×10<sup>-3</sup>であった。各絶縁膜の線膨張係数は、ウエハーの反り測定装置を用いて、反りの温度変化を測定することにより求めた。有機を含む酸化シリコン膜の線膨張係数(<sub>s</sub>)は10<sup>-5</sup>、F添加SiO<sub>2</sub>膜、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜又はプラズマSiN膜の線膨張係数(<sub>h</sub>)はいずれも7×10<sup>-6</sup>とした。また、配線3の膜厚d<sub>M</sub>は、正確にはライナー材2とA1配線3の膜厚の合計で400 nmとした。

## 【0057】

10

20

30

40

50

また、比較例として示した従来の構造の加速条件下でのEM平均寿命(MTF)は75時間であり、このMTFとの比較した欄を表1に設け、本発明と同様の加速条件の下で、MTFが90時間未満のものには従来品と同程度、90時間以上120時間未満のものには従来品より向上、120時間以上のものには従来品より著しく向上として示した。

#### 【0058】

また、電流密度係数nは従来のヤング率が大きい絶縁膜においては、EM中に配線に接する絶縁膜の変形は起こらず、このような条件の下ではn=2であり、2より大きくなることはなかった。一方、本実施形態の配線構造のように、配線から受ける応力で絶縁膜が変形する条件の下では、nは2より大きな値をとる。配線上に第1の絶縁膜4のみを成膜した場合には、表1に示したように、MTFは従来品よりも著しく向上し、n値も2より大きくなつたが、クラックが発生した。第1の絶縁膜4の上に第2の絶縁膜5を10nm成膜することによって、クラックの発生は防止できた。第2の絶縁膜5の膜厚を変化させていくと、s値が $5 \times 10^{-4}$ より大きい構造では、クラックの発生は起こらなかつたが、MTF及びn値ともに従来品と同程度であった。s値が $5 \times 10^{-4}$ 以下の配線構造においては、MTFが従来品よりも20%以上向上し、かつnが2より大きな値となつた。さらにs値が $3.2 \times 10^{-4}$ 以下の場合には、nは同様に2より大きな値をとり、かつMTFが従来品よりも60%以上向上した。10

#### 【0059】

このように、第2の絶縁膜5の膜厚は、F添加SiO<sub>2</sub>膜の場合は1300nm以下、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜の場合は300nm以下、プラズマSiN膜の場合は200nm以下の場合にクラック耐性、吸水性、透水性の問題を解決しつつ、MTFが向上する。20

#### 【0060】

次に、第1の絶縁膜4が15GPa以下、第2の絶縁膜5が15GPa以上とした理由を説明する。

#### 【0061】

図1に示した構造と同様の構造において、第1の絶縁膜4のヤング率を種々変化させて実験を行つた場合のs値、MTF、電流密度係数n及びクラック耐性を表2に示す。

#### 【0062】

#### 【表2】

表 2

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	ds (nm)	dh (nm)	s	M T F	n	クラック耐性
有機SOG(5Gpa)	SiN	400	0	$9.8 \times 10^{-5}$	◎	>2	×
有機SOG(5Gpa)	SiN	400	10	$1.4 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG(5Gpa)	SiN	400	50	$2.8 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG(8Gpa)	SiN	400	0	$1.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG(8Gpa)	SiN	400	10	$1.9 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG(8Gpa)	SiN	400	50	$3.2 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG(10Gpa)	SiN	400	0	$1.9 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG(10Gpa)	SiN	400	10	$2.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG(10Gpa)	SiN	400	50	$3.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
F添加SiO <sub>2</sub> (15Gpa)	SiN	400	0	$2.7 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
F添加SiO <sub>2</sub> (15Gpa)	SiN	400	10	$3.1 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
F添加SiO <sub>2</sub> (15Gpa)	SiN	400	100	$4.1 \times 10^{-4}$	○	>2	○
F添加SiO <sub>2</sub> (28Gpa)	SiN	400	0	$4.7 \times 10^{-4}$	○	>2	×
F添加SiO <sub>2</sub> (28Gpa)	SiN	400	10	$5.0 \times 10^{-4}$	△	2	○
F添加SiO <sub>2</sub> (28Gpa)	SiN	400	50	$5.7 \times 10^{-4}$	△	2	○
F添加SiO <sub>2</sub> (28Gpa)	SiN	400	0	$5.7 \times 10^{-4}$	△	2	○
F添加SiO <sub>2</sub> (28Gpa)	SiN	400	10	$5.9 \times 10^{-4}$	△	2	○
F添加SiO <sub>2</sub> (28Gpa)	SiN	400	50	$6.5 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS(57Gpa)	SiN	400	0	$8.0 \times 10^{-4}$	従来品	2	○
TEOS(57Gpa)	SiN	400	10	$8.1 \times 10^{-4}$	従来品	2	○
TEOS(57Gpa)	SiN	400	50	$8.4 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

(EM信頼性: ◎従来品より著しく向上、○従来品より向上、△従来品と同程度)

### 【 0 0 6 3 】

表2に示した実験では、A1配線3を形成した後、その上面に形成する第1の絶縁膜4を、有機SOG膜、F添加SiO<sub>2</sub>膜、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜等を用いて種々変更して形成した。また、有機SOG膜においては、成膜後の熱処理時間を450で30分、45分、60分と変化させて形成した。また、F添加SiO<sub>2</sub>膜を形成する場合においては、添加されるF濃度を4RI%，6RI%，8RI%と変化させ、ヤング率を変化させた。各絶縁膜のヤング率は、F添加SiO<sub>2</sub>はF濃度の少ない順に36GPa，28GPa，15GPaであった。有機を含む酸化シリコン膜のヤング率は、熱処理時間の長い順に10GPa，8GPa，5GPaであった。以上により、5GPa～57GPaまでのヤング率を持つ第1の絶縁膜4を実現した。

### 【 0 0 6 4 】

また、この第1の絶縁膜4上には、それぞれ第2の絶縁膜5としてプラズマSiN膜を10nm又は50nm成膜した。なお、本発明との比較のため、配線3にA1を用い、第1の絶縁膜4に代えてTEOS-SiO<sub>2</sub>膜を、第2の絶縁膜5に代えて10nm又は50

10

20

30

40

50

n m のプラズマ Si N 膜を用いた場合を示す。

**【 0 0 6 5 】**

配線上部に成膜した第 1 の絶縁膜 4 のヤング率が 3 6 G P a 以上の場合には、単層、すなわち第 2 の絶縁膜 5 が形成されない場合でもクラックが発生することは無かったが、E M 耐性は従来品と比較して向上は見られなかった。ヤング率が 2 8 G P a の場合には、単層では E M 耐性の向上が見られたが、単層ではクラックが発生した。1 5 G P a 以下の場合には、単層ではクラックが発生したが、いずれの膜でもプラズマ Si N 膜を 1 0 n m 積層することで、クラックの発生は防止できた。また、ヤング率が 1 5 G P a 以下の絶縁膜においては、プラズマ Si N 膜の膜厚が 1 0 n m , 5 0 n m いずれの場合にも従来品よりも高い E M 耐性を示した。

10

**【 0 0 6 6 】**

以上より、第 1 の絶縁膜 4 はヤング率が 1 5 G P a 以下であることが必要であることが分かる。またクラック耐性、吸水性、透水性を考慮すると、第 1 の絶縁膜 4 よりもヤング率の高い第 2 の絶縁膜 5 が必要となるので、第 2 の絶縁膜 5 はヤング率が 1 5 G P a 以上であることが必要である。

**【 0 0 6 7 】**

なお、1 5 G P a 以下のヤング率をもつ第 1 の絶縁膜 4 としては、上記の膜以外の有機を含む酸化シリコン膜を主成分とする膜、ポリイミドなどで代表される有機膜、無機の添加物を含む酸化シリコン膜を用いても同様の効果が得られた。

20

**【 0 0 6 8 】**

( 第 2 実施形態 )

図 2 は本発明の第 2 実施形態に係る半導体装置の断面図である。本実施形態では、配線の上面及び側面にヤング率が 1 5 G P a 以下の絶縁膜が接して形成される場合について説明する。以下の実施形態において、共通する構成には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

**【 0 0 6 9 】**

図 2 に示すように、TEOS - Si O<sub>2</sub> 膜 1 上に配線 3 が形成されている。この配線 3 の上面及び側面に接するように第 1 の絶縁膜 4 が TEOS - Si O<sub>2</sub> 膜 1 全面に形成される。この第 1 の絶縁膜 4 上には第 2 の絶縁膜 5 が形成される。なお、配線 3 と TEOS - Si O<sub>2</sub> 膜 1 間にはライナー材 2 が形成されており、また、配線 3 と第 1 の絶縁膜 4 の間には反射防止膜 2 1 が形成されている。第 1 の絶縁膜 4 はヤング率が 1 5 G P a 以下の材料からなり、第 2 の絶縁膜 5 はヤング率が 1 5 G P a 以上の材料からなる。以下の実施形態においても同様である。

30

**【 0 0 7 0 】**

本実施形態では、第 1 の絶縁膜 4 は有機を含む酸化シリコン膜、第 2 の絶縁膜 5 は F 添加 Si O<sub>2</sub> 膜、TEOS - Si O<sub>2</sub> 膜又はプラズマ Si N 膜であり、ライナー材 2 は Ti / Ti N、配線 3 は Al である。

**【 0 0 7 1 】**

また、配線 3 、第 1 の絶縁膜 4 及び第 2 の絶縁膜 5 の各パラメータが第 1 実施形態に示した式(2)を満たすように形成される。ここで、第 1 の絶縁膜 4 の膜厚 d<sub>s</sub> は、TEOS - Si O<sub>2</sub> 膜 1 との界面から第 2 の絶縁膜 5 との界面までの厚さとする。

40

**【 0 0 7 2 】**

この半導体装置の製造方法を以下説明する。

**【 0 0 7 3 】**

TEOS - Si O<sub>2</sub> 膜 1 上に 2 0 n m の Ti 層及び 1 0 n m の Ti N 層の積層構造からなるライナー材 2 a を成膜する。続いて配線材料を 4 0 0 n m 、5 n m の Ti 層及び 6 0 n m の Ti N 層の積層構造からなる反射防止膜 2 1 を成膜する。その後 R I E によってパターニングを行い配線 3 を形成した。

**【 0 0 7 4 】**

次いで、第 1 の絶縁膜 4 をパッシベーション膜として成膜する。このとき第 1 の絶縁膜 4

50

の膜厚（図2における $d_s$ ）は600nmとする。第1の絶縁膜4の上に、第2の絶縁膜5を形成する。

【0075】

第2の絶縁膜5の膜厚は、F添加SiO<sub>2</sub>膜の場合は1500nm以下、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜の場合は400nm以下、プラズマSiN膜の場合は100nm以下となるよう 形成する。

【0076】

なお、以下の実施形態において、配線3、第1及び第2の絶縁膜4、5の積層構造とする理由及び第1の絶縁膜4が15GPa以下で第2の絶縁膜5が15GPa以上とする理由について、第1実施形態と同様であるので省略する。

10

【0077】

以上のようにして製造される半導体装置について、第2実施形態と同様の条件の下で第2の絶縁膜5の膜厚及び材料を種々変更して実験を行った場合の絶縁膜4及び5の膜厚、 $s$  値、MTF、電流密度係数n及びクラック耐性を以下の表3に示す。なお、本発明との比較のため、A1配線上部にTEOS-SiO<sub>2</sub>(600nm)およびプラズマSiN(600nm)を積層した従来の構造についても、同様に実験を行った。

【0078】

【表3】

表 3

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	ds (nm)	dh (nm)	s	M T F	n	クラック耐性
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	0	$1.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	10	$1.4 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	100	$2.2 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	400	$3.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	500	$3.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	1000	$4.5 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	1500	$4.9 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	600	2000	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	TEOS	600	10	$1.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	600	100	$2.7 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	600	200	$3.6 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	600	400	$4.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	600	500	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	SiN	600	10	$1.6 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	600	50	$2.7 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	600	100	$3.7 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	SiN	600	200	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	SiN	600	400	$6.7 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS	SiN	600	600	$9.6 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

(EM信頼性: ◎従来品より著しく向上、○従来品より向上、△従来品と同程度)

## 【0079】

配線の膜厚  $d_M$  は、ライナー材 2 と配線 3 と反射防止膜 21 の膜厚の合計で、495 nm とした。M T F については、TEOS - SiO<sub>2</sub> / SiN 積層構造を第1及び第2の絶縁膜 4, 5 に代えて形成した従来の構造を基準に第1実施形態と同様に判断した。

## 【0080】

表3に示すように、配線 3 上に第1の絶縁膜 4 のみを成膜し、第2の絶縁膜 5 を形成しない場合には、M T F は従来品よりも著しく向上し、n 値も 2 より大きくなつたが、クラックが発生した。第1の絶縁膜 4 の上に第2の絶縁膜 5 を 10 nm 成膜することによって、クラックの発生は防止できた。

## 【0081】

第2の絶縁膜 5 の膜厚を変化させていくと、s 値が  $5 \times 10^{-4}$  より大きい構造では、クラックの発生は起こらなかつたが、M T F, n 値ともに従来品と同程度であった。s 値が  $5 \times 10^{-4}$  以下の配線構造においては、M T F が従来品よりも 20 % 以上向上し、かつ n が 2 より大きな値となつた。さらに s 値が  $3.2 \times 10^{-4}$  以下の場合には、n は同様に 2 よ

10

20

30

40

50

り大きな値をとり、かつMTFが従来品よりも60%以上向上した。

#### 【0082】

このように、本実施形態によれば、配線の上面及び側面にヤング率が15GPa以下の絶縁膜が接して形成されている構造においても、第1実施形態と同様にクラック耐性、吸水性、透水性の問題を解決しつつ、EM信頼性を向上させることができる。また、第1の絶縁膜4が配線3の側面まで形成されることにより、第1実施形態よりEM信頼性が向上する。

#### 【0083】

##### (第3実施形態)

図3(a)は本発明の第3実施形態に係る半導体装置の断面図である。本実施形態では、配線の全面がヤング率15GPa以下の絶縁膜で囲まれている場合について説明する。

10

#### 【0084】

図3(a)に示すように、熱酸化SiO<sub>2</sub>膜31上には第1の絶縁膜4が形成されている。この第1の絶縁膜4は層間絶縁膜4a及び4bの積層構造であり、層間絶縁膜4aには溝が形成されており、この溝の底面及び側面を覆うようにライナー材2が形成されている。さらに、このライナー材2を介して溝内に配線3が埋め込み形成されている。また、第1の絶縁膜4上には第2の絶縁膜5が形成されている。さらにこの第2の絶縁膜5上にプラズマSiN膜32が形成されている。第1の絶縁膜4はヤング率が15GPa以下の材料からなり、第2の絶縁膜5はヤング率が15GPa以上の材料からなる。

#### 【0085】

20

本実施形態では、第1の絶縁膜4は有機を含む酸化シリコン膜、第2の絶縁膜5はF添加SiO<sub>2</sub>膜又はTEOS-SiO<sub>2</sub>膜であり、ライナー材2はNb、配線3はAlである。

#### 【0086】

また、配線3、第1の絶縁膜4及び第2の絶縁膜5の各パラメータが第1実施形態に示した式(2)を満たすように形成される。ここで、第1の絶縁膜4の膜厚d<sub>s</sub>は、熱酸化SiO<sub>2</sub>膜31との界面から第2の絶縁膜5との界面までの厚さである。

#### 【0087】

この半導体装置の製造方法を以下説明する。

#### 【0088】

30

まず、図示しない基板上に熱酸化SiO<sub>2</sub>膜31を作成し、層間絶縁膜4aを800nm成膜し、配線となる溝の加工を行う。溝深さは400nmとする。Nbからなるライナー材2を15nm成膜し、続いてリフロースパッタリングによって配線材料を溝内に成膜する。その後CMPによって溝以外に形成された配線材料を平坦化除去して配線3を形成し、その上面に層間絶縁膜4bを400nm成膜する。層間絶縁膜4a及び4bからなる第1の絶縁膜4の上に第2の絶縁膜5を成膜し、さらにその上面にプラズマSiN膜32を600nm形成する。

#### 【0089】

第2の絶縁膜5の膜厚は、F添加SiO<sub>2</sub>膜の場合は3000nm以下、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜の場合は800nm以下となるように形成する。

#### 【0090】

40

以上のようにして製造される半導体装置について、第2実施形態と同様の条件の下で第2の絶縁膜5の膜厚及び材料を種々変更して実験を行った場合の絶縁膜4及び5の膜厚，s値，MTF，電流密度係数n及びクラック耐性を以下の表4に示す。

#### 【0091】

##### 【表4】

表 4

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	$d_s$ (nm)	$d_h$ (nm)	s	M T F	n	クラック耐性
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	0	$1.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	10	$1.4 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	400	$2.8 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	800	$3.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	1000	$3.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	2000	$4.5 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	3000	$4.9 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	1200	4000	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	TEOS	1200	10	$1.4 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	1200	100	$2.1 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	1200	300	$3.2 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	1200	400	$3.6 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	1200	800	$4.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	1200	1000	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS	SiN	1600	600	$8.8 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

(EM信頼性: ◎従来品より著しく向上、○従来品より向上、△従来品と同程度)

## 【0092】

なお、本発明との比較のため、TEOS-SiO<sub>2</sub>/SiN積層膜を層間絶縁膜として用いたA1配線を有する従来の構造についても、同様にEM試験を行った。この比較例の断面図を図3(b)に示す。図3(b)に示すように、本実施形態と異なるのは、第1の絶縁膜4及び第2の絶縁膜5に代えてTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1により層間膜が形成されていることのみである。TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1の膜厚は1600nmである。

## 【0093】

本実施形態において、第1の絶縁膜4の膜厚d<sub>s</sub>は、配線3の下部に形成された熱酸化SiO<sub>2</sub>膜31との界面から、配線3上部の第2の絶縁膜5との界面までの膜厚の合計で、1200nmである。第2の絶縁膜5としては、第1の絶縁膜4の上面に接しているF添加SiO<sub>2</sub>膜あるいはTEOS-SiO<sub>2</sub>膜のみであり、最上層のプラズマSiN膜32は、第1の絶縁膜4に直接接しておらず、及ぼす影響が小さいため、第2の絶縁膜5には含まれない。

## 【0094】

M T Fについては、図3(b)に示すようなTEOS-SiO<sub>2</sub>/SiN積層膜を層間絶縁膜として用いた配線を基準として上記実施形態と同様に判断した。配線3上に第1の絶縁膜4のみを成膜した場合には、表4に示したように、M T Fは従来品よりも著しく向上し、n値も2より大きくなつたが、クラックが発生した。第1の絶縁膜4の上に第2の絶縁膜5を10nm成膜することによって、クラックの発生は防止できた。

## 【0095】

10

20

30

40

50

第2の絶縁膜5の膜厚を変化させていくと、 $s$ 値が $5 \times 10^{-4}$ より大きい構造では、クラックの発生は起こらなかったが、MTF, n値ともに従来品と同程度であった。 $s$ 値が $5 \times 10^{-4}$ 以下の配線構造においては、MTFが従来品よりも20%以上向上し、かつnが2より大きな値となった。さらにs値が $3.2 \times 10^{-4}$ 以下の場合には、nは同様に2より大きな値をとり、かつMTFが従来品よりも60%以上向上した。

#### 【0096】

このように、本実施形態によれば、配線の全面にヤング率が15GPa以下の絶縁膜が囲むように形成されている場合も、第1, 2実施形態と同様にクラック耐性、吸水性、透水性の問題を解決しつつ、EM信頼性を向上させることができる。また、第1の絶縁膜4が配線3の側面からさらには下面にまで形成されることにより、第1, 2実施形態よりさらにEM信頼性が向上する。

10

#### 【0097】

##### (第4実施形態)

図4(a)は本発明の第4実施形態に係る半導体装置の断面図である。本実施形態では、多層配線において配線間には15GPa以下のヤング率をもつ絶縁膜を用い、層間には15GPaより大きいヤング率をもつ絶縁膜を用いる場合について説明する。

#### 【0098】

図4(a)に示すように、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1上に第1の絶縁膜4が形成されている。第1の絶縁膜4内には、ライナー材2を介して第1の配線41が埋め込み形成されている。この第1の配線41及び第1の絶縁膜4上には第2の絶縁膜5が形成されている。この第2の絶縁膜5上には層間絶縁膜42が形成されており、この層間絶縁膜42には溝が形成されている。さらにこの溝の一部には第2の絶縁膜5を介して第1の配線41に貫通してピアホールが形成されている。このピアホール及び溝には第2の配線43が埋め込み形成されている。この第2の配線43は、上面を除いてライナー材2が形成されており、第2の配線43及び第2の絶縁膜5上にはTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1が形成されている。さらにこのTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1上にはプラズマSiN膜32が形成されている。

20

#### 【0099】

また、配線41、第1の絶縁膜4及び第2の絶縁膜5の各パラメータが第1実施形態に示した式(2)を満たすように形成される。

#### 【0100】

30

この半導体装置の製造方法を以下説明する。

#### 【0101】

まず、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1上に形成された第1の絶縁膜4に溝を形成し、この溝にライナー材2を介して第1の配線41をダマシンプロセスにより埋め込み形成する。次いで、この第1の配線41及び第1の絶縁膜4上に第2の絶縁膜5及び層間絶縁膜42を積層して形成する。そして、RIE等により層間絶縁膜42及び第2の絶縁膜5を選択的に除去して第1の配線41まで貫通するピアホールを設けた後、このピアホールの設けられた領域を含めて層間絶縁膜42を選択的に除去して溝を形成する。次いで、ピアホールを含めて溝表面を覆うようにライナー材2を形成し、さらにこの溝内にデュアルダマシンプロセスにより第2の配線43を埋め込み形成する。

40

#### 【0102】

本実施形態では、第1及び第2の配線41, 43とともにA1により形成され、第1の絶縁膜4には有機を含む酸化シリコン膜(300nm)を、第2の絶縁膜5にはF添加SiO<sub>2</sub>膜、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜又はプラズマSiN膜のいずれかが用いられる。また、第2の配線43上部にパッシベーション膜として形成されるTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1及びプラズマSiN膜32はそれぞれ600nmの膜厚である。第2の絶縁膜5の膜厚は、F添加SiO<sub>2</sub>膜の場合は800nm以下、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜の場合は200nm以下、プラズマSiN膜の場合は50nm以下となるように形成する。

#### 【0103】

以上のようにして製造される半導体装置について、第2の絶縁膜5の膜厚及び材料を種々

50

変更して実験を行った場合の絶縁膜4及び5の膜厚，s値，MTF，電流密度係数n及びクラック耐性を以下の表5に示す。

【0104】

【表5】

表 5

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	ds (nm)	dh (nm)	s	MTF	n	クラック耐性
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	0	$1.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	10	$1.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	100	$2.8 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	200	$3.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	300	$4.0 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	400	$4.3 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	800	$5.0 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	300	1300	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	TEOS	300	10	$1.7 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	300	50	$2.7 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	300	100	$3.6 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	300	200	$4.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	300	300	$5.4 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	SiN	300	10	$1.9 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	300	30	$2.9 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	300	50	$3.7 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	SiN	300	100	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	SiN	300	200	$6.7 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS	SiN	1600	600	$8.8 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

(EM信頼性:◎従来品より著しく向上、○従来品より向上、△従来品と同程度)

【0105】

なお、本発明との比較のため、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1を全ての層間絶縁膜として用いたA1配線を有する従来の構造についても、同様にEM試験を行った。この比較例の断面図を図4(b)に示す。図4(b)に示すように、本実施形態と異なるのは、第1の絶縁膜4，第2の絶縁膜5，層間絶縁膜42からなる膜に代えてTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1により層間膜が形成されていることのみである。

【0106】

配線膜厚d<sub>M</sub>には第1の配線41の膜厚(300nm)を、15GPa以下のヤング率をもつ第1の絶縁膜4の膜厚d<sub>s</sub>は、第1の配線41の配線間の有機を含む酸化シリコン膜の膜厚(300nm)とする。第2の絶縁膜5の膜厚d<sub>h</sub>としては、第1及び第2の配線

10

20

30

40

50

41, 43の層間のF添加SiO<sub>2</sub>膜, TEOS-SiO<sub>2</sub>膜又はプラズマSiN膜のいずれかの膜厚とする。

#### 【0107】

MTFについては、図4(b)に示すようなTEOS-SiO<sub>2</sub>/SiN積層膜を層間絶縁膜として用いた場合を基準として判断した。

#### 【0108】

配線41上に有機を含む酸化シリコン膜のみを成膜した場合には、表5に示したように、MTFは従来品よりも著しく向上し、n値も2より大きくなつたが、クラックが発生した。第1の絶縁膜4上に第2の絶縁膜5を10nm成膜することによって、クラックの発生は防止できた。第2の絶縁膜5の膜厚を変化させていくと、s値が $5 \times 10^{-4}$ より大きい構造では、クラックの発生は起らなかつたが、MTF, n値ともに従来品と同程度であった。s値が $5 \times 10^{-4}$ 以下の配線構造においては、MTFが従来品よりも20%以上向上し、かつnが2より大きな値となつた。さらにs値が $3.2 \times 10^{-4}$ 以下の場合には、nは同様に2より大きな値をとり、かつMTFが従来品よりも60%以上向上した。  
10

#### 【0109】

##### (第5実施形態)

図5(a)は本発明の第5実施形態に係る半導体装置の断面図である。本実施形態では、多層配線において配線間、層間ともに同一の15GPa以下のヤング率を持つ絶縁膜を用いる場合について説明する。

#### 【0110】

図5(a)に示すように、熱酸化SiO<sub>2</sub>膜31上に層間絶縁膜4aが形成され、この層間絶縁膜4a内に所定の深さの溝が形成されている。この溝内にはライナー材2を介して第1の配線41が埋め込み形成されている。この第1の配線41及び層間絶縁膜4a上には層間絶縁膜4bが形成され、この層間絶縁膜4bに所定の深さの溝と、第1の配線41に貫通するピアホールが形成されている。この溝及びピアホールには、ライナー材2を介して第2の配線43が埋め込み形成されている。  
20

#### 【0111】

第2の配線43及び層間絶縁膜4b上には層間絶縁膜4cが形成されており、この層間絶縁膜4cに所定の深さの溝と、第2の配線43に貫通するピアホールが形成されている。この溝及びピアホールには、第3の配線51が形成されている。さらにこの第3の配線41及び層間絶縁膜4cの上には、層間絶縁膜4dを介してパッシベーション膜として第2の絶縁膜5が形成されている。なお、層間絶縁膜4a~4dまでを含めて第1の絶縁膜4とする。第1~第3の配線41, 43及び44の膜厚は全て400nmである。  
30

#### 【0112】

また、配線3、第1の絶縁膜4及び第2の絶縁膜5の各パラメータが第1実施形態に示した式(2)を満たすように形成される。

#### 【0113】

この半導体装置の製造方法を以下説明する。なお、第4実施形態と共通する部分についての詳細な説明は省略する。本実施形態では、第1の配線41にはA1ダマシン配線が用られ、ピアおよび第2、第3の配線43, 51は、デュアルダマシンプロセスで作成する。  
40

#### 【0114】

層間絶縁膜4a~4dにより構成される第1の絶縁膜4は、すべて第1実施形態記載の有機を含む酸化シリコン膜が用いられる。第1の絶縁膜4の合計の膜厚は2800nmである。第2の絶縁膜5にはプラズマSiN膜であり、その膜厚は800nm以下となるよう形成する。

#### 【0115】

以上のようにして製造される半導体装置について、上記実施形態と同様の条件の下で第2の絶縁膜5の膜厚を種々変更して実験を行つた場合の絶縁膜4及び5の膜厚, s値, MTF, 電流密度係数n及びクラック耐性を以下の表6に示す。

#### 【0116】

10

20

30

40

50

【表6】

表 6

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	ds (nm)	dh (nm)	s	M T F	n	クラック耐性
有機SOG	SiN	2800	0	$1.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG	SiN	2800	10	$1.4 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	2800	200	$2.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	2800	400	$3.4 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	2800	500	$3.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	SiN	2800	800	$4.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	SiN	2800	1000	$5.2 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS	SiN	2800	600	$8.5 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

## 【0117】

本実施形態の半導体装置のうち、第1～第3の配線41, 43及び51の各配線を試験配線としてEM試験を行った。

## 【0118】

なお、本発明との比較のため、TEOS-SiO<sub>2</sub>を全ての層間絶縁膜として用いたA1配線を有する従来の構造についても、同様にEM試験を行った。この比較例の断面図を図5(b)に示す。図5(b)に示すように、本実施形態と異なるのは、第1の絶縁膜4に代えてTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1により層間膜が形成されていることのみである。TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1の膜厚は2800nmである。

## 【0119】

配線膜厚d<sub>M</sub>には第1～第3の配線41, 43及び51の合計膜厚(1200nm)を、15GPa以下のヤング率をもつ第1の絶縁膜4の膜厚d<sub>s</sub>は、層間絶縁膜4a～4dの合計膜厚(2800nm)とする。第2の絶縁膜5の膜厚d<sub>h</sub>は、プラズマSiN膜の膜厚とする。MTFについては、図5(b)に示すようなTEOS-SiO<sub>2</sub>/SiN積層膜を層間絶縁膜として用いた半導体装置を基準として判断した。

## 【0120】

第1の絶縁膜4のみを成膜した場合には、表5に示すように、MTFは従来品よりも著しく向上し、n値も2より大きくなつたが、クラックが発生した。第2の絶縁膜5を第1の絶縁膜4の上に10nm成膜することによって、クラックの発生は防止できた。第2の絶縁膜5の膜厚を変化させていくと、s値が $5 \times 10^{-4}$ より大きい構造では、クラックの発生は起らなかつたが、MTF, n値ともに従来品と同程度であった。s値が $5 \times 10^{-4}$ 以下の配線構造においては、MTFが従来品よりも20%以上向上し、かつnが2より大きな値となつた。さらにs値が $3.2 \times 10^{-4}$ 以下の場合には、nは同様に2より大きな値をとり、かつMTFが従来品よりも60%以上向上した。

## 【0121】

第2層配線、第3層配線を試験配線として実験した場合にも同様の結果が得られた。

## 【0122】

## (第6実施形態)

図6(a)は本発明の第6実施形態に係る半導体装置の断面図である。本実施形態では、多層配線において配線間と層間に用いられる絶縁膜は異なる材料であるが、ともに15GPa以下のヤング率をもつ場合について説明する。

10

20

30

40

50

## 【0123】

図6(a)に示すように、熱酸化SiO<sub>2</sub>膜31上に層間絶縁膜61及び62が積層して形成されている。層間絶縁膜62には溝が形成されており、この溝には第1の配線41が埋め込み形成されている。第1の配線41及び層間絶縁膜62上には層間絶縁膜63及び64が積層して形成されている。層間絶縁膜63及び64を貫通して第1の配線41に達するビアホールが形成されており、さらに層間絶縁膜64にはこのビアホールを含む領域に溝が形成されている。このビアホールを含めて溝内には第2の配線43が埋め込み形成されている。第2の配線43及び層間絶縁膜64の上には層間絶縁膜65及びパッシベーション膜として第2の絶縁膜5が積層して形成されている。なお、第1及び第2の配線の底面及び側面には、ライナー材2が形成されている。また、本実施形態では層間絶縁膜61～65を第1の絶縁膜4とする。

## 【0124】

第1及び第2の配線41, 42ともに膜厚は300nmである。配線41, 42の側部に設けられた層間絶縁膜62, 64にはそれぞれ300nmの膜厚の有機を含む酸化シリコン膜を、層間絶縁膜61, 63及び65には、それぞれ400nmの膜厚のポリイミド膜が用いられる。また、第2の絶縁膜5にはプラズマSiN膜が用いられる。

## 【0125】

また、配線41、第1の絶縁膜4及び第2の絶縁膜5の各パラメータが第1実施形態に示した式(2)を満たすように形成される。

## 【0126】

なお、この半導体装置は、第1の配線41はA1ダマシン配線を用い、ビアおよび第2の配線43は、デュアルダマシンプロセスで作成する。第2の絶縁膜5の膜厚は500nm以下となるように形成する。他の製造方法は上記実施形態と共通するので説明は省略する。

## 【0127】

以上のようにして製造される半導体装置について、上記実施形態と同様の条件の下で第2の絶縁膜5の膜厚を種々変更して実験を行った場合の絶縁膜4及び5の膜厚，s値，MTF，電流密度係数n及びクラック耐性を以下の表7に示す。

## 【0128】

## 【表7】

表 7

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	ds (nm)	dh (nm)	s	MTF	n	クラック耐性
有機SOG&ポリイミド	SiN	1800	0	$1.2 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG&ポリイミド	SiN	1800	10	$1.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG&ポリイミド	SiN	1800	200	$3.0 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG&ポリイミド	SiN	1800	300	$3.6 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG&ポリイミド	SiN	1800	500	$4.7 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG&ポリイミド	SiN	1800	600	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG&ポリイミド	SiN	1800	800	$5.7 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS	SiN	1800	600	$8.8 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

(EM信頼性:◎従来品より著しく向上、○従来品より向上、△従来品と同程度)

## 【0129】

10

20

30

40

50

本実施形態の半導体装置のうち、第1及び第2の配線41及び43の各配線を試験配線としてEM試験を行った。

#### 【0130】

なお、本発明との比較のため、TEOS-SiO<sub>2</sub>を全ての層間絶縁膜として用いたA1配線を有する従来の構造についても、同様にEM試験を行った。この比較例の断面図を図6(b)に示す。図6(b)に示すように、本実施形態と異なるのは、第1の絶縁膜4に代えてTEOS-SiO<sub>2</sub>膜1により層間膜が形成されていることのみである。TEOS-SiO<sub>2</sub>膜1の膜厚は1800nmである。

#### 【0131】

配線膜厚d<sub>M</sub>には第1及び第2の配線41, 43の合計膜厚(600nm)を用いる。10  
5GPa以下のヤング率をもつ第1の絶縁膜4の合計膜厚d<sub>s</sub>、複合されたヤング率E<sub>s</sub>及び線膨張係数<sub>s</sub>は、次式で定義される。

#### 【0132】

$$d_s = d_{s1} + d_{s2} + d_{s3} + d_{s4} + d_{s5}$$

$$E_s = (d_{s1}E_{s1} + d_{s2}E_{s2} + d_{s3}E_{s3} + d_{s4}E_{s4} + d_{s5}E_{s5}) / d_s$$

$$s_1 = (d_{s1}s_1 + d_{s2}s_2 + d_{s3}s_3 + d_{s4}s_4 + d_{s5}s_5) / d_s$$

なお、d<sub>s1</sub>～d<sub>s5</sub>は、E<sub>s1</sub>～E<sub>s5</sub>及びs<sub>1</sub>～s<sub>5</sub>はそれぞれ順に層間絶縁膜61～65の膜厚、ヤング率及び線膨張係数を示す。本実施形態で用いるポリイミド膜のヤング率は5.2GPa、線膨張係数は10<sup>-5</sup>である。

#### 【0133】

上式から、d<sub>s</sub>=1800nm, E<sub>s</sub>=5.5GPa, s=10<sup>-5</sup>である。第2絶縁膜の膜厚d<sub>h</sub>は、プラズマSiN膜の膜厚とした。MTFについては、図6(b)に示すようなTEOS-SiO<sub>2</sub>/SiN積層膜を層間絶縁膜として用いた配線を基準として判断した。

#### 【0134】

配線上に第1の絶縁膜4のみを成膜した場合には、表7に示したように、MTFは従来品よりも著しく向上し、n値も2より大きくなつたが、クラックが発生した。第1の絶縁膜4上に第2の絶縁膜5を10nm成膜することによって、クラックの発生は防止できた。第2の絶縁膜5の膜厚を変化させていくと、s値が5×10<sup>-4</sup>より大きい構造では、クラックの発生は起らなかつたが、MTF, n値ともに従来品と同程度であった。s値が5×10<sup>-4</sup>以下の配線構造においては、MTFが従来品よりも20%以上向上し、かつnが2より大きな値となつた。さらにs値が3.2×10<sup>-4</sup>以下の場合には、nは同様に2より大きな値をとり、かつMTFが従来品よりも60%以上向上した。

#### 【0135】

第2の配線43を試験配線とした場合にも同様の結果が得られた。

#### 【0136】

##### (第7実施形態)

第7の実施形態として、配線材料がCu又はCu合金である場合について説明する。

#### 【0137】

表8に第1実施形態記載の構造におけるA1配線をCu配線に置換した半導体装置について実験を行つた場合の絶縁膜4及び5の膜厚、s値、MTF、電流密度係数n及びクラック耐性を以下の表8に示す。

#### 【0138】

##### 【表8】

10

20

30

40

表 8

第1の絶縁膜	第2の絶縁膜	ds (nm)	dh (nm)	s	M T F	n	クラック耐性
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	0	$1.3 \times 10^{-4}$	◎	>2	×
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	10	$1.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	100	$2.8 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	200	$3.5 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	300	$4.0 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	400	$4.3 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	800	$5.0 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	F添加SiO <sub>2</sub>	400	1300	$5.1 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	TEOS	400	10	$1.7 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	400	50	$2.7 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	TEOS	400	100	$3.6 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	400	200	$4.8 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	TEOS	400	300	$5.4 \times 10^{-4}$	△	2	○
有機SOG	SiN	400	10	$1.6 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	400	50	$2.9 \times 10^{-4}$	◎	>2	○
有機SOG	SiN	400	100	$4.2 \times 10^{-4}$	○	>2	○
有機SOG	SiN	400	200	$5.8 \times 10^{-4}$	△	2	○
TEOS	SiN	600	600	$9.9 \times 10^{-4}$	従来品	2	○

(EM信頼性: ◎従来品より著しく向上、○従来品より向上、△従来品と同程度)

## 【 0 1 3 9 】

測定結果から Cu 配線の場合は、 $k_1 = 1.2$ ,  $k_2 = 1.0^{-3}$  であった。ライナー材および配線上部のバリアメタルとしては、TiN 又 TaN を用いた。配線の膜厚  $d_M$  は、ライナー材と配線上面のバリア層および Cu の膜厚の合計で、400 nm である。配線材料のヤング率 ( $E_M$ ) および線膨張係数 ( $\alpha_M$ ) は、Cu の物性値 ( $E_M = 126 \text{ GPa}$ ,  $\alpha_M = 1.7 \times 10^{-5}$ ) を用いた。M T F については、TEOS-SiO<sub>2</sub>/SiN 積層膜を層間絶縁膜として用いた配線を基準として判断した。

## 【 0 1 4 0 】

表 8 に示すように、第 1 の絶縁膜 4 のみを成膜した場合には、M T F は従来品よりも著しく向上し、n 値も 2 より大きくなつたが、クラックが発生した。第 1 の絶縁膜 4 上に第 2 の絶縁膜 5 を 10 nm 成膜することによって、クラックの発生は防止できた。第 2 の絶縁膜 5 の膜厚を変化させていくと、s 値が  $5 \times 10^{-4}$  より大きい構造では、クラックの発生は起らなかつたが、M T F, n 値ともに従来品と同程度であった。s 値が  $5 \times 10^{-4}$  以下の配線構造においては、M T F が従来品よりも 20 % 以上向上し、かつ n が 2 より大きな値となつた。さらに s 値が  $3.2 \times 10^{-4}$  以下の場合には、n は同様に 2 より大きな値

10

20

30

40

50

をとり、かつMTFが従来品よりも60%以上向上した。

**【0141】**

以上より、第2の絶縁膜5の膜厚は、F添加SiO<sub>2</sub>膜の場合は1500nm以下、TEOS-SiO<sub>2</sub>膜の場合は300nm以下、プラズマSiN膜の場合は100nm以下に定まる。

**【0142】**

また、第2～第6実施形態全ての構造において、配線材料がCu又はCu合金の場合でもA1配線の場合と同様の効果が得られた。Cu配線の場合には、配線とそれに接する絶縁膜との間にバリア層が存在するが、s値を計算する際にこのバリア層の膜厚は、バリア層が導電膜の場合には配線膜厚に、バリア層が絶縁物の場合には絶縁膜の膜厚に加えた。

10

**【0143】**

本発明は上記実施形態に限定されるものではない。

**【0144】**

また、膜の形成方法としては、スピンドルコート以外にCVD法、蒸着重合、スパッタリング法などを用いて作製した有機を含む酸化シリコン膜についても同様の効果が得られる。また有機を含む酸化シリコン膜は、添加物としてTi、ジルコニア又はA1の金属酸化物を含んでいても構わない。

**【0145】**

ライナー材については、Nb以外にTi, TiN, Ta又はTaAlなどを用いた場合にも同様の効果が得られた。

20

**【0146】**

**【発明の効果】**

以上詳述したように本発明によれば、配線に接するように第1の絶縁膜が形成され、さらにこの第1の絶縁膜上に接して該第1の絶縁膜よりもヤング率の低い第2の絶縁膜が形成された構造とし、配線に働く応力の温度勾配  $s < 5 \times 10^{-4}$  となるように各パラメータを適切に定めることにより、配線のクラック耐性を保持しつつEM信頼性が著しく向上する。

**【図面の簡単な説明】**

**【図1】**本発明の第1実施形態に係る半導体装置の断面図。

30

**【図2】**本発明の第2実施形態に係る半導体装置の断面図。

**【図3】**本発明の第3実施形態に係る半導体装置の断面図。

**【図4】**本発明の第4実施形態に係る半導体装置の断面図。

**【図5】**本発明の第5実施形態に係る半導体装置の断面図。

**【図6】**本発明の第6実施形態に係る半導体装置の断面図。

**【符号の説明】**

1 ... TEOS-SiO<sub>2</sub>膜

2 ... ライナー材

3 ... 配線

4 ... 第1の絶縁膜

4a～4d, 42, 61～65 ... 層間絶縁膜

40

5 ... 第2の絶縁膜

21 ... 反射防止膜

31 ... 熱酸化SiO<sub>2</sub>膜

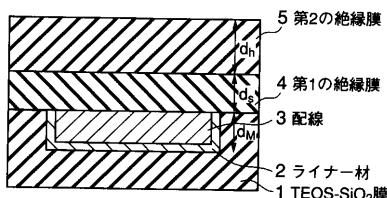
32 ... プラズマSiN膜

41 ... 第1の配線

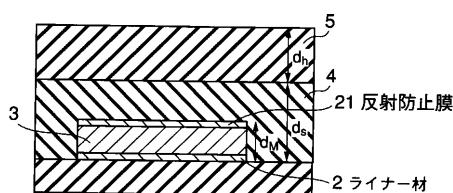
43 ... 第2の配線

51 ... 第3の配線

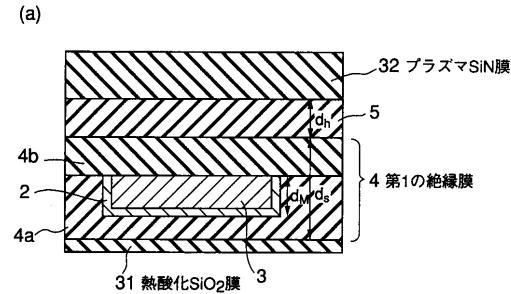
【 図 1 】



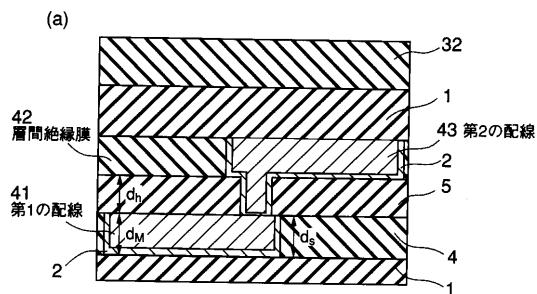
【図2】



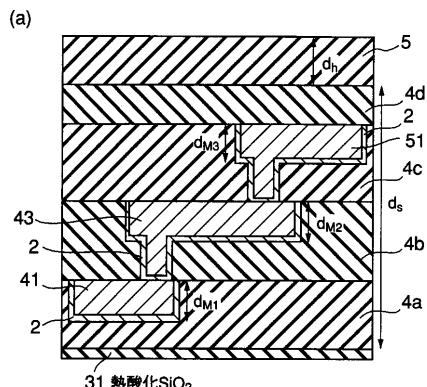
【 図 3 】



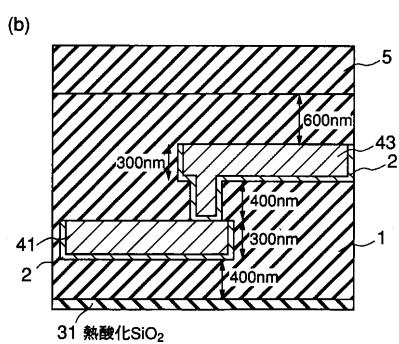
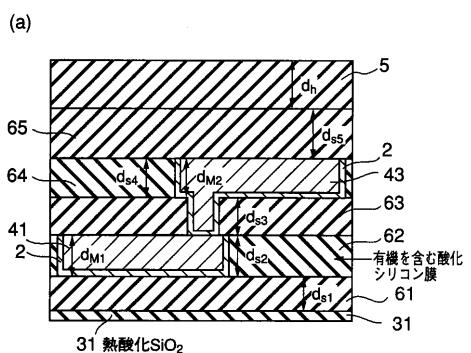
【 図 4 】



【 四 5 】



【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 祥代

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 蓬沼 正彦

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

審査官 後谷 陽一

(56)参考文献 特開平 8 - 158036 (JP, A)

特開平 11 - 54621 (JP, A)

特開平 05 - 275551 (JP, A)

特開平 08 - 051154 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/768

H01L 21/316