大陽日酸技報 No. 27 (2008)

技術報告

DVScP を用いた次世代多層配線向け新規 Cu バリア SiC 成膜プロセス技術

A Novel Cu Diffusion Barrier-SiC Film Deposited with DVScP for Cu Multilevel Interconnects of 45-nm node and beyond

中 平 順 也*	稲 石 美 明**	中尾 慎一*	神 力 学**
NAKAHIRA Junya	INAISHI Yoshiaki	NAKAO Shinichi	SHINRIKI Manabu
曽 田 栄 一*	冨 岡 和 弘*	隣 真 一*	小 田 典 明*
SODA Eiichi	TOMIOKA Kazuhiro	CHIKAKI Shinichi	ODA Noriaki
羽 坂 智**	近 藤 誠 一*		
HASAKA Satoshi	KONDO Seiichi		

hp 45nm 以降のデバイスの Cu バリア絶縁膜として DVScP (1-1, divinyl -silacyclopentane) を用いた SiC プロセスを開発している。低誘電率のバリア膜として一般的な SiCO と比較して Cu との密着性および Cu バリア性を同等に保ちながら，エッチング選択比は 40％の増加を達成した。また，200 nm ピッチの Cu 単層配線を作成し，配線容量の低減に効果的であることを実証した。

A novel Cu diffusion barrier-SiC film deposited with DVScP has been studied for Cu multilevel Interconnects of 45-nm node and beyond. The etching selectivity of the novel barrier-SiC film against low-k film was larger by 40% than that of the conventional SiCO film, while adhesion strength on Cu films and Cu drift rate were kept equal to them. Cu interconnects of 200 nm pitch were fabricated and RC reduction with the SiC film was confirmed.

1. はじめに

近年のシリコンデバイスの多層配線においては，配線間隔の縮小にともなう RC 遅延増加を防ぐため，層間絶縁膜にポーラス SiOC による Low-k 膜が導入されてきた[1, 2]。多層配線工程におけるデュアルダマシン法において，SiCO あるいは SiCN は Low-k 膜のエッチングストップ層として用いられており，同時に，Cu が熱拡散しやすい Low-k 膜に Cu が拡散することを防ぐ Cu バリアの役割も担ってきた[3]。一方，Cu バリア絶縁膜にはポーラス SiOC 膜をエッチングするときのストッパー層および Cu 防止膜としての役割が求められており，SiCO あるいは SiCN が用いられてきた。最近，誘電率の低い SiCO が検討されているが，組成がポーラス SiOC に近づくために Low-k 膜に対する Cu バリア膜のエッチング選択比が小さくなり，エッチングストッパーとして不適当となってきている。デバイスの高集積度化に伴ってバリア Cu の薄膜化が求められており，エッチング選択比の問題はさらに顕在化する。

我々は，SiC 原料ガスとして DVScP (1-1, divinyl -silacyclopentane) を用いて，酸素を膜中に含まない SiC (OL-SiC：Oxygen-less SiC) 成膜プロセスを開発した。酸素を含まないガスのみを用いた CVD プロセスであるため，Low-k 膜とのエッチング選択比が大きい Cu バリア膜が実現できる。

2. 実験方法

今回，用いた原料の構造を **Fig. 1** に示す。DVScP は常温，常圧で液体であり，蒸気圧は 65～69℃で

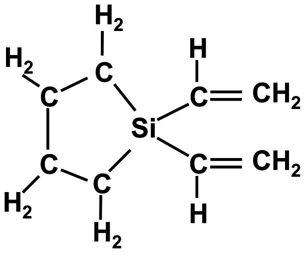

Fig. 1 Structure of DVScP.

* 株式会社半導体先端テクノロジーズ
**電子機材事業本部事業戦略推進部先端技術開発部

4.4 kPa である。

Fig. 2 に DVScP と TEOS（Tetraethoxysilane, Si$(OC_2H_5)_4$）の蒸気圧線図（Clausius-Clapeyron プロット）を示す。SiO_2原料等でよく使われる TEOS よりも蒸気圧が高く，CVD としては使いやすい原料である。

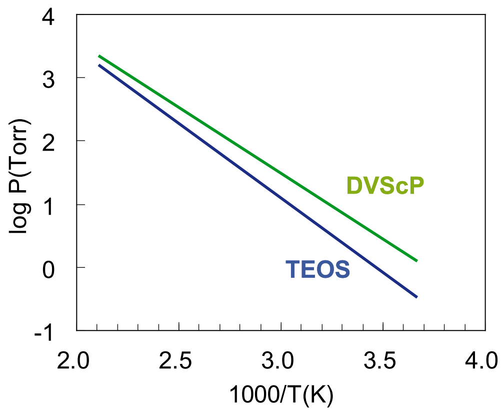

Fig. 2 Vapor pressure of DVScP and TEOS.

Fig. 3 に，今回の成膜で用いた CVD 装置を示す。一般的な平行平板型の枚葉式装置に気化器を搭載して気化させた DVScP を 10 sccm 流し酸化ガスは使っていない。350℃に加熱されたウェハを搭載した下部電極に対して 13.56 MHz の RF バイアスを印加して OL-SiC を成膜した。

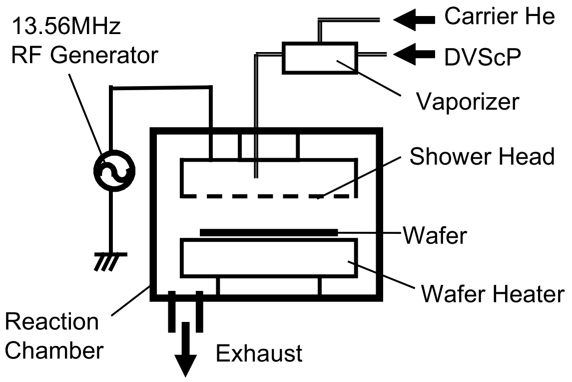

Fig. 3 Schematic of OL-SiC PECVD system.

まず，OL-SiC の基本特性を明らかにするために，Si 上に成膜したブランケット膜について，FT-IR スペクトルを評価し，ナノインデンターにより弾性率を，Hg プローブにより誘電率を測定した。

SiC の Cu バリア膜としての特性として，Cu との密着性と膜中への Cu の拡散特性を評価した。密着性の評価は，OL-SiC 下に密着層として極薄の SiCN（膜厚 5 nm，比誘電率 5.5）を敷いてスタッドプル試験を実施した。スタッドピンの接着層の界面においてはがれた場合を積層構造の密着性が優れている良品と判断し，歩留まりを評価した。

Fig. 4 に Cu バリア性の評価サンプル構造を示す。界面の影響をなくすために Cu バリア膜をプラズマ酸化膜ではさんだ構造になっている。各種バリア膜について Al と Cu の二種類の上部電極を形成した MOS 構造を作成し，両者の I-V 特性を比較した[4]。200℃での 2 MV/cm の電界において，リーク電流の差を Cu の SiC 中への移動速度とみなして評価した。

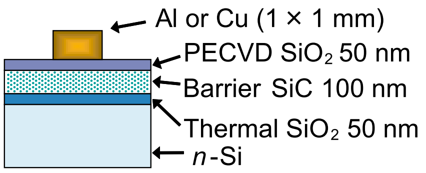

Fig. 4 Sample structure for Cu drift-rate evaluation.

エッチング選択比は，ブランケット膜を各種用意し，エッチングレートの測定から求めた。また，Low-k / Cu バリア膜構造におけるビアのエッチング後の断面を TEM（透過型電子顕微鏡）により観察し，SiCO と OL-SiC のエッチング量を比較した。

最後に，**Fig. 5** に示すように 200 nm ピッチの Cu 単層配線を作成し，Cu バリア膜として OL-SiC を導入した場合の配線間容量の低減について評価した。このとき，各種 Cu バリア膜の最大のパフォーマンスを比較するため，A-SiCO あるいは OL-SiC には密着層を使わず Cu 上に直接成膜した。

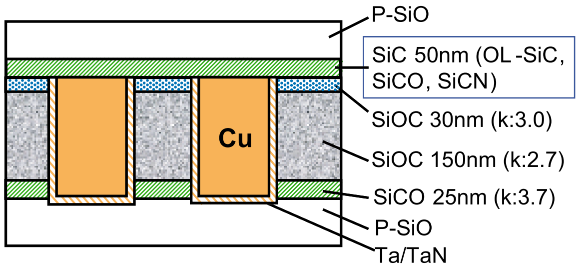

Fig. 5 Cu interconnect structure for evaluating RC-products.

3. 結果および考察

Fig. 6 に SiCO と OL-SiC の FT-IR スペクトルを示す。

SiCO では Si-O-Si 結合の大きなピークが見られるが，OL-SiC には見られない。一方，OL-SiC では C-H，C=C あるいは Si-$(CH_2)_2$-Si といった炭素に係わる結合のピークが見られる。つまり，OL-SiC は SiCO にみられる Si-O-Si のネットワークは存在せず，Si-$(CH_2)_2$-Si あるいは Si-(CH_2)-Si のネットワークにより形成されている。また，OL-SiC は SiCO に比べて酸素が非常に少なく炭素を非常に多く含んでいるの

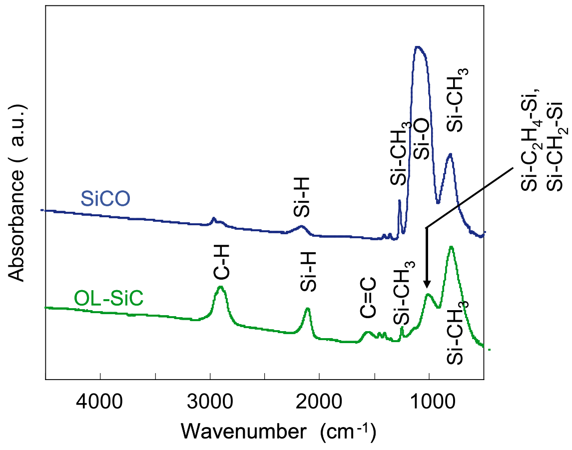

Fig. 6 FT-IR Spectra of OL-SiC and SiCO.

で，両者の組成の違いによりエッチングレートの選択比の改善が期待できる。

Fig. 7に誘電率と弾性率の関係を示す。一般に，誘電率と弾性率には正の相関関係があるが，成膜条件の適正化により，同じ弾性率を維持したまま低い誘電率を得られた。以前，SiOC 中に Si-$(CH_2)_2$-Si のネットワークをもたせることにより弾性率が向上することが報告されていたが，今回の OL-SiC でも同様の効果があると推察される[5]。

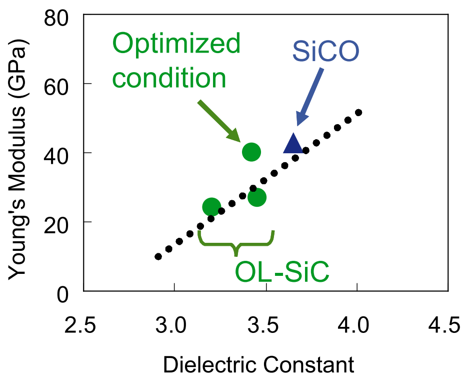

Fig. 7 Relationship between Young' s modulus and dielectric constant.

Fig. 8に弾性率とスタッドプル試験結果の関係を示す。

図中の斜線は目標値としての密着層のみの結果である。Cu バリア層が密着層をもった構造であるため，試験結果は Cu バリア層の弾性率に依存する。OL-SiC の弾性率を上げることによりスタッドプル特性が向上し，従来技術の SiCO と同等な性能にできる。密着層の SiCN の膜厚は十分に小さいので，配線間容量への影響は無視できるほどに小さい。

Fig. 9に Cu の移動度を評価したときの構造と，代表例として SiCO の200℃での I-V 測定と計算を示し，**Fig. 10**にその計算結果をまとめる。リーク電流

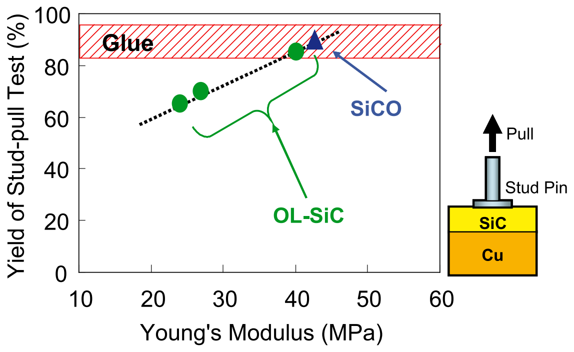

Fig. 8 Yield of stud-pull testing as a function of Young' s modulus.

の差は Cu のイオン電流によるものと仮定している。SiCO，OL-SiC ともに熱酸化 SiO_2に比べてはるかに小さい値であり問題ないレベルであるが，OL-SiC は SiCO の 1/3 とさらに小さい値であり，今後の Cu バリア層の薄膜化には OL-SiC が有利となる。

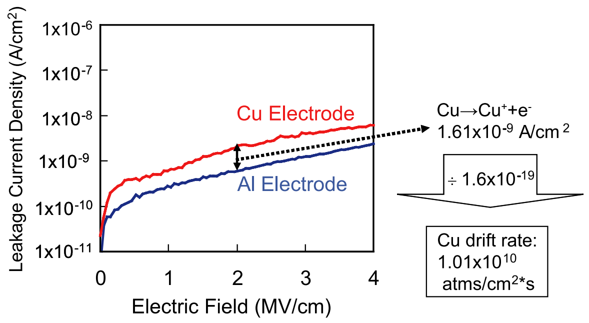

Fig. 9 Evaluation method of Cu drift rate by I-V measurement at 200℃ .

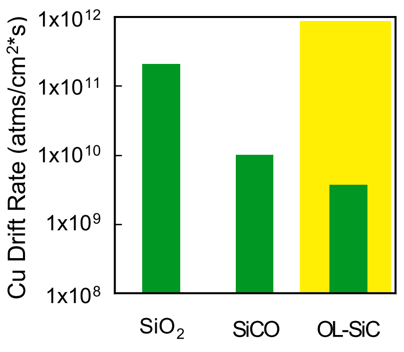

Fig. 10 Cu drift rates in various dielectric films.

Fig. 11および **Fig. 12**に，それぞれ，ブランケット膜でのエッチング選択比評価結果および90 nm φビアのエッチング後の断面 TEM 写真を示す。OL-SiC は SiCO に比べて Low-k 膜との選択比が 1.4 倍であり，Low-k 膜のエッチングストッパーとしての性能が大きく向上している。

Fig. 13，**Fig. 14**にそれぞれ，OL-SiC を使った 200 nm ピッチの Cu 単層配線の断面 TEM 写真および各 Cu バリア膜を使ったときの RC 積の比較を示す。

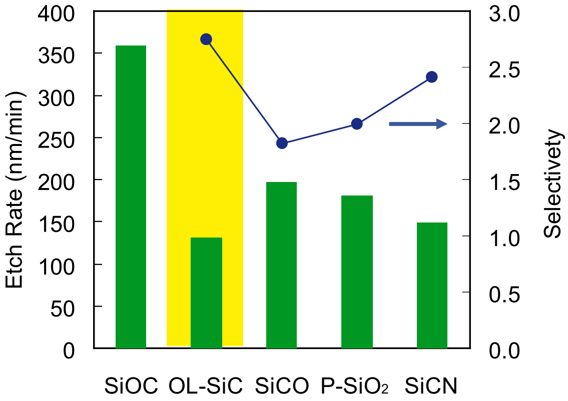

Fig. 11 Comparison of Dry-etching Rate.

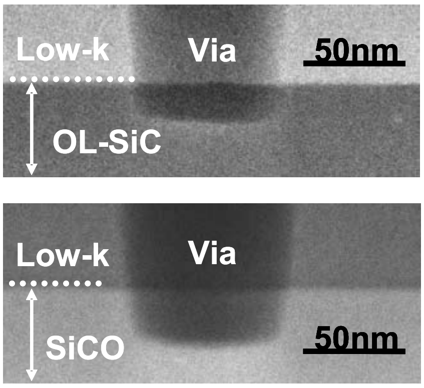

Fig. 12 Comparison of Via-etching Rate.

OL-SiC に OL-SiC を導入することにより配線間容量の低減が実現できることが実証された。図中の数値はメジアン値での SiCN に対する RC 積の低減率である。

4. 結 論

DVScP を使った酸素を全く含まないガス系によって，ポーラス SiOC による Low-k 膜に対して高いエッチング選択比を持つバリア SiC を実現した。Cu との密着性は OL-SiC の弾性率を大きくすることにより解決する。本技術は hp 45nm 世代以降のデバイスを形成するうえで非常に有効な技術である。

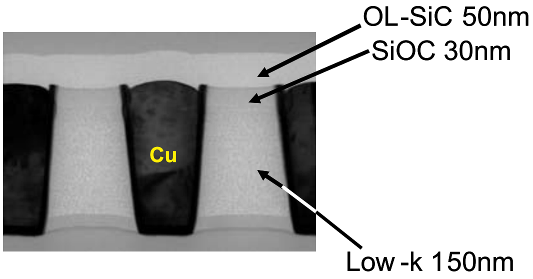

Fig. 13 Cross sectional TEM image of Cu interconnects with OL-SiC Cu barrier.

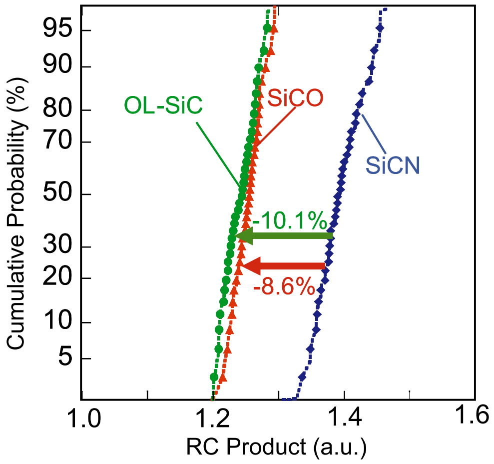

Fig. 14 Comparison of RC-product between OL-SiC and other barrier materials.

参考文献

1) Bohr, M. T. *Tech. Dig. Int. Electron Devices Meet.* 241-244 (1995).

2) Ueki, M.; Yamamoto, H.; Ito, F.; Kawahara, J.; Tada, M.; Takeuchi, T.; Saito, S.; Furutake, N.; Onodera, T.; Hayashi, Y. *Tech. Dig. Int. Electron Devices Meet.* 973-976 (2007).

3) Yoneda, K.; Kato, M.; Kondo, S.; Kobayashi, N.; Ohara, N.; Fukazawa, A.; Matsuki, N.; Matsushita, K.; Kimura, T. *Proc. IEEE 2005 Int. Interconnect Technol. Conf.* 220-222 (2005).

4) Loke, A. L. S.; Ryu, C.; Wong, S. S.; Wetzel, J. T.; Townsend, P. H.; Tanabe, T.; Vrtis, R. N.; Zussman, M. P.; Kumar, D. *IEEE Trans. Electron Devices.* 46 (11), 2178-2187 (1999).

5) Tajima, N.; Ohno, T.; Hamada, T.; Yoneda, K.; Kondo, S.; Kobayashi, N.; Shinriki, M.; Inaishi, Y.; Miyazawa, K.; Sakota, K.; Hasaka, S.; Inoue, M. *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1.* 46 (9A), 5970-5974 (2007).