

クラスター気相合成法で形成した WSi_n ($n=12$) 挿入膜の Cu 拡散防止特性

Cu diffusion barrier properties of Cluster-preforming-deposited WSi_n ($n = 12$) insertion film

産総研 ○岡田 直也、内田 紀行、小川 真一、金山 敏彦

AIST, °N. Okada, N. Uchida, S. Ogawa, T. Kanayama

E-mail: okada-naoya@aist.go.jp

【背景】 Si-CMOS の微細化に伴い、ソース／ドレイン (S/D) 抵抗が性能の決定要因となってきた。S/D 抵抗の構成要素の一つは金属電極の寄生抵抗であり、現行の W から Co や Cu などの低抵抗金属へ置換することで低減が可能である。特に低抵抗な Cu が有効であるが、 Cu^+ イオンの拡散による CMOS の信頼性劣化が懸念されるため、S/D との界面には拡散防止膜が必須となる。我々は、金属電極と Si や Ge の接触界面に挿入することで低抵抗化が可能な接合材料として、W 原子を内包する Si クラスタ (WSi_n) を凝集させたアモルファス半導体薄膜 (WSi_n 膜) に着目している。これまでに、 WF_6 と SiH_4 を原料ガスとして、気相中で WSi_n クラスタを合成し基板上に堆積できることを示した¹⁾。特に WSi_n ($n = 12$) 膜が Si に対するショットキー障壁高さを低減でき接合材料として有望である。本研究では、 WSi_{12} 膜の Cu 拡散防止膜としての特性を評価した。

【実験】 ホットウォール型反応炉内 (外壁温度: 440°C) に SiH_4 を導入し、圧力を ~ 2000 Pa に保持した。そこに WF_6 を導入し、気相中で SiH_4 と WF_6 を反応させて水素化 WSi_n クラスタを合成し、下流側にある SiO_2/Si 基板上 (n 型 Si: $\sim 2 \Omega\text{cm}$, SiO_2 膜厚: 20 nm, 基板温度: $\sim 400^\circ\text{C}$) に堆積し、基板上で含有する水素を熱脱離させクラスタ同士を凝集させて WSi_{12} 膜 (膜厚: 5 nm) を形成した。その上に Cu 電極をスパッタし、MOS キャパシタ (図 1) を作製した後に、加速条件下で経時絶縁破壊試験 (TDDB: 測定温度=200, 225, 250°C、電界強度=5 MV/cm) を行い、拡散防止特性を評価した。



図 1. Cu/ WSi_n / SiO_2/Si の MOS キャパシタの断面模式図

【結果】 通常の Cu 電極 MOS キャパシタ (Cu/ SiO_2/Si) に加速条件下で TDDB 試験 (200°C, 5 MV/cm) を行うと、試験開始直後の数十秒後に Cu の拡散による SiO_2 の絶縁破壊が起こった。一方、Cu/ SiO_2 の界面に WSi_{12} 膜 (膜厚=5 nm)

を挿入する (Cu/ $WSi_{12}/SiO_2/Si$) と絶縁破壊が数時間後まで起きなくなった (図 2)。試験温度を変えて WSi_{12} 膜中の Cu 拡散の活性化エネルギーを見積もると、1.33 eV を示した (図 3)。この値は、Si 結晶中の 0.18 eV は元より、既存の拡散防止膜の TaN 膜の 1.25 eV よりも高い値であり、 WSi_{12} 膜の優れた拡散防止特性を示している。また、この結果は、100°C で 10 年間以上の実用的な信頼性寿命に相当する。

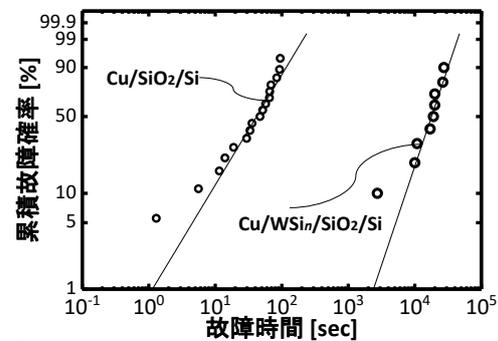


図 2. Cu/ SiO_2/Si および Cu/ $WSi_n/SiO_2/Si$ の MOS キャパシタの経時絶縁破壊 (TDDB) 試験 (200°C, 5 MV/cm) による累積故障確率と故障時間の関係

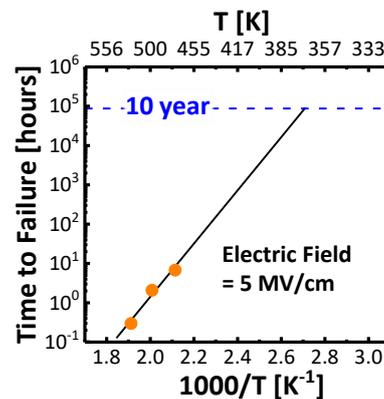


図 3. TDDB 試験 (5 MV/cm, 200, 225, 250°C) による Cu/ $WSi_n/SiO_2/Si$ の故障時間のアレニウスプロット

【まとめ】 WSi_{12} 膜は Cu に対する優れた拡散防止機能を有しており、100°C で 10 年間以上の信頼性寿命と 1.33 eV の高い活性化エネルギーを持つ。

(参考文献)

[1] N. Okada, et. al., JCP. 144, 084703 (2016).