

○実施課題番号:2006A0143

○実施課題名:先端 LSI デバイス Cu/Low-k 配線の力学状態の解析

○実験責任者所属機関及び氏名:株式会社 富士通研究所 鈴木貴志

○使用ビームライン:BL46XU

○実験結果

・利用目的

Si LSI の集積度は年々上がり、LSI の内部の配線は微細化・複雑化が進んでいる。最先端の 65nm 世代の最小配線幅は 100nm であり、配線層数は 10 層以上にもなる。配線の微細化に伴う抵抗・容量増加で配線信号が遅延するのを低減するために、低抵抗かつ小容量な Cu/Low-k 配線が開発されている。しかし、このような微細で複雑な配線構造では、エレクトロマイグレーションやストレスマイグレーションといった劣化現象に対する信頼性の確保が急務となってきている。これら Cu 配線の信頼性試験後に Cu 配線の劣化箇所を調べると、Cu 多結晶の粒界に沿ってボイドが拡がることが知られていて、グレインの配向やひずみ状態が影響を及ぼしていると考えられる。一方、Cu 金属は弾性係数に著しい異方性があり、Cu 配線中の多結晶の力学状態によって劣化現象の解釈や対策指針が大きく変わる可能性がある。しかし、これまでミクロン領域に埋め込まれた金属多結晶体の力学状態を解明した例は皆無である。そこで本課題では SPring-8 の強力な X 線源を用いてサブミクロンレベルの Cu 配線に歪み状態を詳細に調べ、Cu 配線の力学モデルを解明することを目的とした。

・利用方法および利用の結果得られた主なデータ

測定試料はダマシン法を用いて作製された多数の Cu 配線を、平行に並べた X 線測定用専用パターンを用いた。図1に配線長手方向と垂直な断面図を示す。Si 基板上に積層された絶縁膜中 (SiO<sub>2</sub> or Low-k) に Cu 配線金属が埋め込まれ、さらに配線上部が別の絶縁膜によって覆われたものである。配線の長さは約 2mm で、配線幅は 0.27  $\mu$ m から 8  $\mu$ m までのパターンを用いた。

測定はビームライン BL46XU に設置された多軸回折計を用いて行った。Si(111)二結晶モノクロメータにより、エネルギー約 22keV に単色化した光を入射光として用いた。入射ビームサイズは、四象限自動スリットを用いた入射側スリットにより幅 1mm、高さ 0.2mm に整形した。そしてチップパターンの中央に X 線が照射されるよう、試料とビームをゴニオメータの中心にセットした。また受光側スリットはダブルスリット系を用い、2つの四象限スリットはどちらも幅 2mm、高さ 1mm に設定した。ソーラーズスリットは用いていない。検出器にはシンチレーションカウンターを用い、また測定はいずれも室温で行った。

実験は Cu 配線中に含まれる(111)グレイン、およびそれ以外の高指数面で微小なグレインに着目し、おのおののグレインの歪み状態を精密に計測した。そして、得られた測定結果を元に弾性異方性を考慮した材料力学計算により各グレインの応力を算出した。図2は 0.65  $\mu$ m 幅の Cu 配線を用いた場合で、 $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 、 $\sigma_z$  はそれぞれ配線の長手方向、幅方向、垂直方向の応力成分である。測定値には誤差が含まれているものの、およそどのグレインでもほぼ同じような応力値となっていることがわかる。Cu の弾性定数は面方位によって約 3 倍異なることを考慮すると、Cu 配線中の力学状態は比較的応力一定モデル(ロイスモデル)に近いということが明らかになった。これまで Cu 配線の応力計算等で用いられてきた

のはひずみ一定モデル(フォークトモデル)を前提としてきたものが一般的であったので、本結果は従来モデルとは異なる解釈をもたらす可能性を示している。一方、測定結果は配線幅によって多少違いがあり、今後はその詳細なモデルを検討すると共に、さまざまな信頼性特性との相関を調べる。

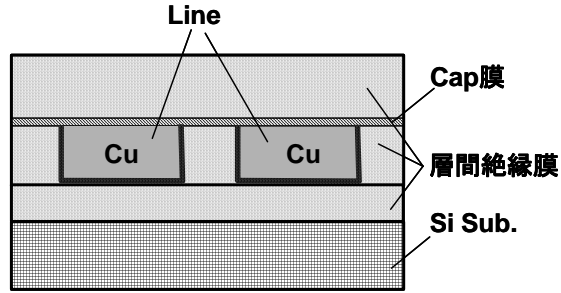


図1. Cu配線試料の断面模式図

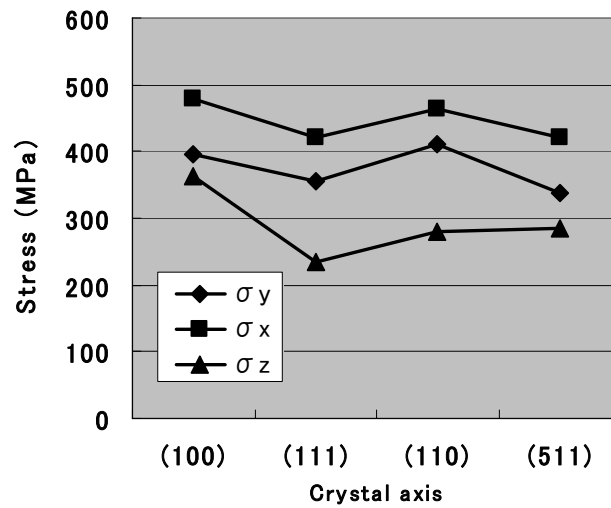


図 2. 面方位と応力測定値