

## SiO<sub>2</sub>/Si 構造におけるプラズマ誘起ダメージによる電流電圧特性変化の統計的解析 Statistical Analysis of *I-V* Characteristic Changes by Plasma-Induced Damage in SiO<sub>2</sub>/Si Structures

京大院工, °黒沼 舜也, 郷矢 崇浩, 占部 継一郎, 江利口 浩二

Kyoto Univ., °Shunya Kuronuma, Takahiro Goya, Keiichiro Urabe, Koji Eriguchi

E-mail: kuronuma.shunya.78c@st.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】 プラズマによる超微細加工は、半導体デバイス加工の中核をなすプロセスである。しかし、加工中にプラズマ誘起ダメージ (PID) によって被加工材料表面で欠陥が形成されることが問題となっている。PID の評価として、デバイスの電気特性測定が行われてきた[1]。例えば、金属-絶縁膜-半導体 (MOS) 構造における金属電極に水銀を利用する解析手法がある[2]。しかし、その電極面積は欠陥形成領域のスケールに比べて大きく、PID パラメータ測定値が平均化されることが懸念される[3]。本研究ではこの平均化の影響に着目した。SiO<sub>2</sub>膜におけるPIDを例に、水銀プローバならびにより面積の小さいMOS構造を用いた電気特性変動の統計的解析を行った。

【実験】 p型Si基板上に原子層堆積法 (ALD) でSiO<sub>2</sub>膜を約10 nm形成させたサンプルに対して、誘導結合型プラズマ (Arガス, 2.7 Pa, |V<sub>Dc</sub>|=200 V) を用いてプラズマ曝露を行った。プラズマ曝露前 (Ref) および曝露後 (Dam) のサンプルに対し、水銀プローバでHg/SiO<sub>2</sub>/Si構造のリーク電流-電圧 (*I-V*) 特性を約180点ずつ測定した (Fig. 1(a))。印加電圧は0 Vから-10 V (Ref) または-30 V (Dam) まで連続的に掃引した。また、RefおよびDamに対してAl電極をパターニングすることで、MOS (Al/SiO<sub>2</sub>/Si) 構造を作製し、セミオートプローバで*I-V*特性を1000点ずつ測定した (Fig. 1(b))。ここでの印加電圧領域は、ともに0 Vから-30 Vとした。

【結果及び考察】 水銀プローバによる*I-V*特性測定結果をFig. 1(c)に示す。リーク電流値の急激な増大は、SiO<sub>2</sub>膜が絶縁破壊したことを表す。図から、中電圧領域 (4~8 V) においてDamのリーク電流値が減少していることがわかる。これはPIDによりSiO<sub>2</sub>膜中に電子捕獲準位が形成されたためである。次に、電荷注入による欠陥蓄積が絶縁破壊を決定する機構[4]に着目し、絶縁破壊に至るまでの総電荷注入量 ( $Q_{\text{Ramp}}$ ) による解析を行った。結果をFig. 2に示す。ワイブル分布での真性破壊領域でPIDによる $Q_{\text{Ramp}}$ 値の減少が確認できる。(なお、従来の絶縁破壊電圧 ( $V_{\text{BD}}$ ) 分布解析では、Refに比べDamの $V_{\text{BD}}$ が大きくなる現象が観測されている。) 一方、PIDを受けたDamの $Q_{\text{Ramp}}$ 値がRefよりも大きくなっている領域がある。これは|V<sub>Bias</sub>|=6 V付近でDamに見られるリーク電流値増大 (Fig. 1(c)の長鎖線"Local Leak") によるものである。そこで、より面積の小さいMOS構造 (Al電極) を用いた統計的解析を行った。その結果をFig. 3に示す。Fig. 3の縦軸はリーク電流密度 (真性モードのみ抽出) である。MOS構造ではPIDによる電子捕獲準位形成によるリーク電流値減少ならびに|V<sub>Bias</sub>|>6 Vでの"Local Leak" (準位形成によるホッピング伝導) に対応する電流値増大が確認できる。このことから、Fig. 1(c)で見られた"Local Leak"は、局所的なホッピング伝導が統計的に加算され、平均化された結果と考えられる。

【おわりに】 *I-V*特性測定を用いたSiO<sub>2</sub>/Si構造におけるPID解析に対し、 $Q_{\text{Ramp}}$ 値による絶縁破壊評価手法を提案した。一方、面積の異なるMOS構造の統計的解析により、観測される*I-V*特性変動の本質的機構を議論した。PIDは原子スケールでの欠陥形成であり、その局所的な機構を正確に理解するためには、本研究で示したような統計的解析が有効である。

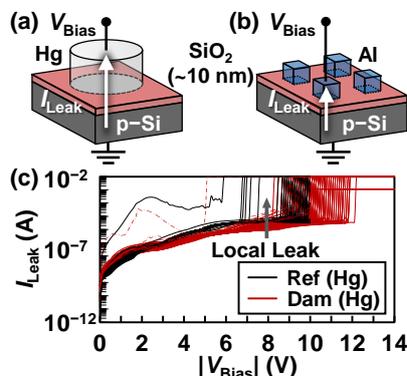


Fig. 1 *I-V* measurement of (a) Hg/SiO<sub>2</sub>/Si and (b) Al/SiO<sub>2</sub>/Si structures. (c) *I-V* characteristics for Ref (Hg) and Dam (Hg).

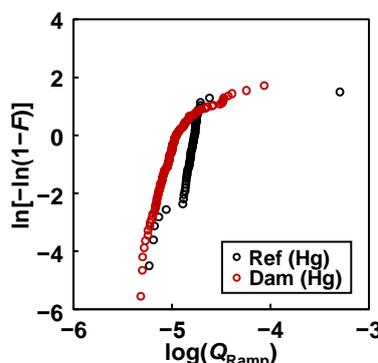


Fig. 2 Weibull plots of  $Q_{\text{Ramp}}$  for Ref (Hg) and Dam (Hg).

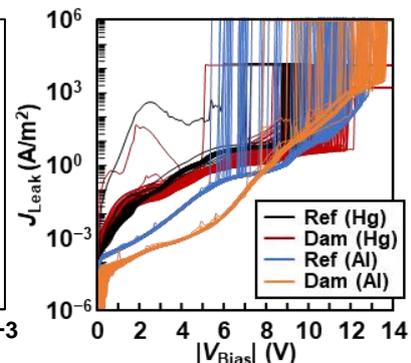


Fig. 3 Leakage current density as a function of bias voltage ( $J_{\text{Leak}} - V_{\text{Bias}}$ ) for Ref and Dam devices.

[1] K. Eriguchi, Jpn. J. Appl. Phys. **60**, 040101 (2021). [2] T. Kuyama et al., Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 06JD03 (2018). [3] K. Eriguchi and K. Urabe, Proc. DPS, p. 17 (Nagoya, 2023). [4] I. C. Chen et al., IEEE Trans. Electron Devices **32**, 413 (1985).