プラズマ誘起欠陥分布を考慮したパーコレーション理論に基づくシリコン酸化膜の長期信頼性予測手法の提案

Prediction Scheme for Long-Term Electrical Reliability of Plasma-Damaged SiO_2 Films Based on the Percolation Theory

京大院工 ○濱野 誉, 占部 継一郎, 江利口 浩二
Kyoto Univ., ○Takashi Hamano, Keiichiro Urabe, and Koji Eriguchi
E-mail: hamano.takashi.35c@st.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

プラズマプロセス時に固体材料中に形成される欠陥（プラズマ誘起欠陥）が，半導体デバイスの特性，信頼性に大きな影響を与えている．特に絶縁膜の長期信頼性保証は重要な課題である．これまで実験により，例えば電気的ダメージにおいては，Si 系絶縁膜においてプラズマ誘起欠陥起因のリーク電流増加ならびに信頼性寿命劣化が報告されている[1]．またイオン衝撃によるダメージの計算科学を用いた予測では，欠陥の空間密度分布，電子状態（Fig. 1(a)）がプロセス条件に大きく依存し様々な形態をとりうると推定されている[1,2]．欠陥形成を考慮に入れたプロセス最適化において精緻なダメージモデリングは最重要であり，詳細な欠陥準位分布を起点とした特性，信頼性の予測モデルが求められる．本講演では電気伝導モデルとパーコレーション理論[3]に基づき，プラズマ誘起欠陥を含むシリコン酸化膜の信頼性寿命を予測するスキームを提案する．

2. パーコレーション理論による予測手法

Fig. 1(b)に本予測手法の枠組みを示す．はじめにプロセス条件に応じた欠陥前駆体の空間分布を仮定し配置する．初期欠陥量に応じてバリア障壁 ϕ_B 減少と電荷捕獲による Fowler–Nordheim 伝導機構を仮定した電流密度 J が算出される[4]．J に依存した前駆体にキャリアがトラップされる**過程 I** および新たな前駆体が形成される**過程 II** が，時間 Δt 毎に確率的に蓄積される．トラップサイトが電極間パスを形成したとき絶縁破壊したとみなし，その時刻 t_{BD} を寿命と定義する．ここでは欠陥分布の特性深さに着目した予測結果を紹介する．初期欠陥量の増加とともに t_{BD} が劣化し，ばらつきに対応する信頼性寿命推定に重要なパラメータ：ワイブル係数 β の減少が予測される．

3. 実験結果との比較

n 型 Si 基板上の SiO_2 膜（膜厚 22 nm）を誘導結合型プラズマ源（Ar プラズマ，2.7 Pa）に曝露した．基板バイアス周波数（A: 400 kHz，B: 13.56 MHz）により，欠陥の深さ方向分布を制御した（$|V_{dc}|$ = 70 V）．なお低$|V_{dc}|$領域においては曝露直後の表面欠陥層膜厚の差はほとんどない[6]．その後定電圧印加試験により t_{BD} 分布を測定した．Fig. 1(c)に t_{BD} のワイブルプロットを示す．欠陥が幅広く分布するプロット(A)のほうが平均寿命は短い．一方ワイブル係数 β は分布(B)の場合に小さい．これは欠陥が最表面に偏在することにより，実効的な膜厚が減少することに起因する[3]．

4. おわりに

最先端のプラズマプロセスでは，欠陥形成ならびに信頼性をも最適化したプロセス設計が必要とされ，ダメージモデリングの重要性が増している．本研究から欠陥の空間密度分布の違いにより電気的信頼性が大きく影響されることがわかった．詳細な欠陥分布を起点として長期信頼性を予測する本手法は，今後の絶縁膜プラズマダメージ設計に有用である．

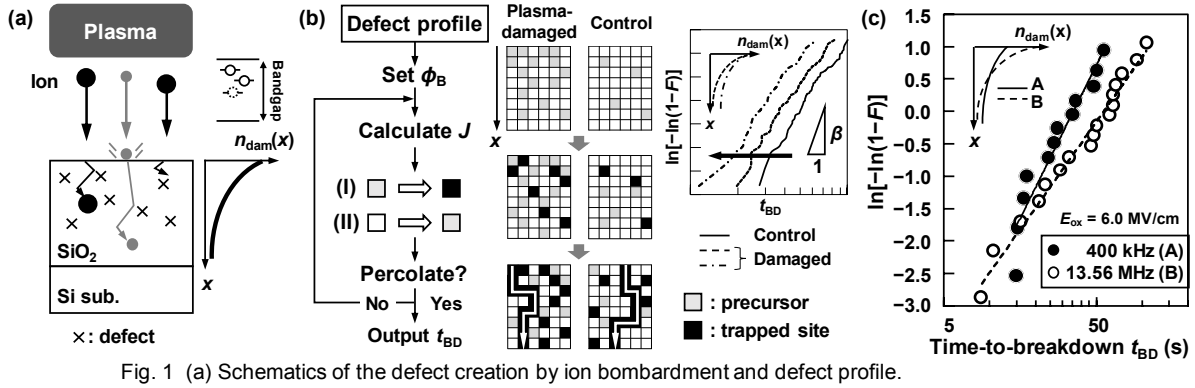

Fig. 1 (a) Schematics of the defect creation by ion bombardment and defect profile.
(b) Framework of the proposed prediction scheme and example of predicted results.
(c) Experimental Weibull plots of t_{BD} of plasma-damaged SiO_2 films with different defect profiles [5].

謝辞　本研究は，名古屋大学低温プラズマ科学研究センターにおける共同利用・共同研究として実施された．

参考文献

[1] K. Eriguchi, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 06HA01 (2017).
[2] Y. Yoshikawa *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 06JD03 (2018).
[3] R. Degraeve *et al.*, IEDM Tech. Dig., 863 (1995).
[4] K. Shinohara *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 06HD03 (2017).
[5] T. Hamano *et al.*, Proc. Symp. Dry Process, 2019, p. 29.
[6] K. Eriguchi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **49**, 056203 (2010).

© 2020年 応用物理学会