

第三十回 プラズマプロセスにおける欠陥形成（プラズマ誘起ダメージ）： その本質と最適化に向けて

江利口 浩二 京都大学

2024年3月9日（土）9：00～

モデレータ 堀 勝

概要

プラズマプロセス中に生じるプラズマ誘起ダメージ (PID: Plasma-Induced Damage) は半導体デバイスとは異なりスケールリングできず、決してゼロにすることはできない。1990年代頃まで PID はプロセスエンジニアが解決すべき課題としてよく扱われていたが、半導体製造工程の複雑性や PID の本質から、プロセスエンジニアだけでなくデバイスやインテグレーション、回路設計の全てのエンジニアが協力し、デバイス性能や歩留まりなどへの PID の影響を最小限に抑えるよう取り組むべき大きなテーマとなっている。本講演では、研究の歴史と最近の事例を交えながらプラズマ誘起ダメージ対策の指針を講演いただいた。

プラズマ誘起ダメージは、潜在的な局所構造（欠陥）形成による電子デバイス性能劣化をもたらす現象である。プラズマエッチングプロセスではシースといったプラズマと表面との間にある特異的な境界領域を積極的に活用することで、原子スケールに近い加工形状を実現している。ただし、このシース領域をエネルギー的に活性な電子やイオンといった荷電粒子やフォトンが表面へ輸送されることで PID が生じる。つまり、PID の起源はプラズマと表面との 3 つの相互作用に分けることができる。i. 電氣的相互作用 (PCD : Plasma-induced Charging Damage) ii. 物理的相互作用 (PPD : Plasma-induced Physical Damage) iii. 光学的相互作用 (PRD : Plasma-induced Radiation Damage)。これら PID の観察には、TEM のような構造解析手法からは特定することは難しく、エリプソメトリ分光や反射率分光などによる光学物性解析と I-V, C-V 測定といった電気特性解析が有効な手段となる。特に電気特性解析は、現在の半導体デバイスで生じるような低い欠陥密度を定量化するために有効な解析手法である。

PCD の 1 つにアンテナ効果がある。プラズマからの荷電粒子がトンジスタに接続されている金属配線を介して流入することで性能の劣化・破壊を発生させる。このアンテナ効果の定量化には電気特性解析を用いることができる。金属配線の長さを変えたものを用意し信頼性寿命を観察することで、イオンフラックスを導出することができる。(Eriguchi, et al., JJAP 1994) これにより、デバイス配線構造のデザインルールの指針の 1 つがつくられる。また、PPD にはイオン衝撃により形成される表面や界面層や基板内部で発生する欠陥である。つまり、PPD はイオンエネルギーやガス種に強く依存する。電氣的解析に分子動力学解析を補助的に活用することで理解を助けてくれる。最近の研究では、PPD がイオン照射下ではない側壁方向でも発生することが予測されている。これは、Fin FET だけでなく GAA FET においても無視できない現象であり、重要な知見である。

最後に、PID を抑制するにはプラズマ密度とイオンエネルギーを最小化することであるが、これはプラズマプロセス特性への要求と矛盾することになる。PID を診る（定量化）、知る（モデル化）により本質をとらえ、制御（モデリング・設計）することが超微細デバイス製造の糸口になるとご助言いただき、本講座は終了した。(記：堤 隆嘉)