

SPMによる半導体表面分析の最近の展開

藤 田 大 介

Daisuke Fujita

物質・材料研究機構ナノ計測センター

キーワード：半導体，デバイス，表面分析，走査型プローブ顕微鏡，電気特性

シリコンなどの半導体は電子デバイスの基盤材料である。集積化デバイスは薄膜の積層構造であり、表面表層に敏感な分析手法により探索可能な対象である。そのため、原子構造や機能物性を表面分析的に解析することは基礎研究分野でありながら、産業技術への大きな波及効果が期待される。これまで大規模集積回路（LSI）では、ムーアの法則に従って微細化が進行し、トランジスタの動作速度向上と消費電力低減も実現されてきた。現在では、テクニカルノード 65 nm による量産化が進んでおり、2010年には45 nm 世代に移行する。ナノエレクトロニクスの進展を予測する国際半導体技術ロードマップ（ITRS2007）によれば¹⁾、2015年にはトランジスタの物理的ゲート長は10 nm に到達するとされる。このような寸法スケールはナノサイエンスの研究対象であり、様々な量子力学的な効果が起こりえる。また、一辺10 nm の立方体に存在するドーパントの個数は～1個のレベルに到達することから、表層におけるドーパントの存在位置、近傍に及ぼす電子状態変化を分析可能な計測技術が必要とされる。また、デバイス中の不良箇所を検出する検査技術にもナノ分解能が要求される。一方、CD（Critical Dimension）計測においてもメトロロジーにおける更なるナノスケール化が必要とされる。評価技術へのニーズが高度化するにつれ、形状や機能の計測をナノスケールで行うことができる走査型プローブ顕微鏡（SPM）への期待が高まっている。

本特集では半導体表面の電氣的・光学的特性を解析するSPMベース分析法の最近の展開について第一線研究者の方々に執筆していただいた。まず、デバイスの微細化や複雑化に対応して開発された、走査電子顕微鏡（SEM）と組み合わせたナノプロービングシステムならびに45 nm ノードSRAM デバイスなどへの応用や故障解析事例について三井氏に最新の動向を紹介していただいた。実LSIの故障解析、プロセス評価の実用的な手法としてデバイス微細化とともに発展が期待される。

一方、デバイス断面のドーパント（不純物）プロファイルをナノスケールで精密計測可能な表面プローブ法の高度化が必要とされている。ITRSによれば45 nm 世代ではドーパント

プロファイル解析において2 nm の空間分解能が求められている。半導体デバイス中のキャリア濃度の二次元計測における主要な方法として、走査型広がり抵抗顕微鏡（SSRM）、走査型容量顕微鏡（SCM）、走査型ケルビンフォース顕微鏡（KFM）などがあげられる。SSRMは接触モードにて局所的抵抗分布を計測する導電性原子間力顕微鏡（C-AFM）法の一つである。SSRMにおける空間分解能の向上を目指した様々な技術開発と45 nm 世代の実デバイスへの応用解析例について、張氏に最新の成果を紹介していただいた。次に、ダイナミックモードAFMによる静電気力検出に基づくドーパント分布評価法として開発された走査型容量原子間力顕微鏡（SCFM）の原理と応用例を小林氏に紹介していただいた。ドーパント濃度に依存した微分容量分布を試料と非接触で観察できることから非破壊かつ高精度の手法として進展が期待される。

フラッシュメモリのような半導体デバイスでは、蓄積された電荷の位置を直接観察できる手法が必要とされている。このような蓄積電荷分布を二次元的に可視化できる非線形誘電率顕微鏡（SNDM）のメモリデバイスへの応用ならびに高分解能技術の進展について本田氏に紹介していただいた。

電気特性のみならず、半導体の重要な機能としてルミネッセンス機能がある。表層ナノ領域でのルミネッセンス特性を評価できる顕微鏡として開発されたトンネル電子・近接場光励起一体型プローブ顕微鏡について尾身氏に紹介していただいた。同一ナノ領域からのトンネル電子励起と近接場光励起による発光特性を近接場検出できる新しいSPMとして光機能デバイス材料開発への応用が期待される。

ナノスケールへ微細化の進む半導体デバイスの二次元/三次元ナノ計測評価に対するSPMベース技術へのニーズは大きい。本特集により、次世代半導体デバイス開発を担うキーテクノロジーとしてSPMベース分析法の更なる発展に寄与することを期待したい。

文 献

- 1) International Technology Roadmap for Semiconductors 2007 Edition (2007)