電子デバイスの透過電子顕微鏡オペランド解析と応用
—電子顕微鏡によるその場観察—

高橋　庸夫
北海道大学　情報科学研究科
〒060-0814　札幌市北区北 14 条西 9 丁目

概要

透過型電子顕微鏡（TEM）は、原子オーダの観察も可能な高倍率を有し、且つ物質の中が透視できると同時に、その組成の分析も可能であるなどの利点を有し、ナノ構造半導体集積回路の故障原因解析には欠かせない分析手法である。しかし、この TEM 観察は故障が起こった部位の破壊解析であるため、故障前後の双方の様子を観察することはできないので、故障に至った詳細な原因については藪の中ということになる。TEM の中で電気的な特性を観察しながら評価できるようになれば、因果関係を捉えることが可能となる。例えば、故意に欠陥や不純物を導入し、それが故障に至る経過を観察できれば、対策を考えることが可能となる。

最近新たなメモリデバイスとして、構造変化を伴う、相転移メモリ（PCM）や抵抗変化メモリ（ReRAM）が注目されているが、実用的なデバイスサイズは数十ナノメートルと小さく、具体的に何が起きているのかの把握が難しくなっている。特に、動作の物理的なメカニズムが確定しなければ、信頼性の解析が難しくなる。特に ReRAM では、提案されている動作モデルは、金属性のフィラメントの形成と消滅により低抵抗と高抵抗の間でスイッチするといわれている。フィラメントの形成の確認は、破壊検査でもフィラメントを見つければよいので確認できるかもしれないが、消滅の確認はあったものがなくなったことを証明する必要がりあり、無くなったことを確認するのは難しい。TEM その場観察技術は、これを可能にする技術といえる。ここでは、TEM その場観察が、構造変化を起こすデバイスである ReRAM の特性評価を例にとって、どこまで使えるかを検討した。

ReRAM として、動作メカニズムがフィラメント機構であることが確実視されている固体電解質を用いた CBRAM（Conductive Bridge RAM）を用いて、フィラメント形成と消滅の様子を TEM 中で確認した結果を示す。加えて、普通にプローバーで測定しているように、TEM 観察中に繰返しのヒステリシス特性が得られること、パルス駆動で 10 万回のスイッチ特性が得られることや、数か月の保持特性を得ることができたことを示す。また、過剰に電流での書込みの繰返しで、オン・オフの抵抗変化の劣化現象を捉え、その際の TEM 像の変化からその原因を特定することに成功した。TEM 中での信頼性評価の例示をした結果である。