

新しい材料と計測制御技術

宮野 健次郎 (みやの けんじろう)

東京大学先端科学技術研究センター所長 Ph. D.



温度や圧力、イオン濃度や組成は製造工程における基本的なパラメータなので、常に計測され厳格に制御されている。たとえば、鋼材の強度は内部の組織によって変化するが、組織は材料の組成の他に冷却速度に依存することが知られている。そこで圧延によって鋼板を作るとき、厚さに応じて冷却法を工夫し内部の組織を所望のものにすることが行われる。このとき、シミュレーションによって探索すべきパラメータ空間を制限し、その中で実際にパラメータ値をふって試料を作製し、これを電子顕微鏡で観察するというサイクルによって最適値を見つける。このような探索法の裏には、結果はパラメータ値の連続関数であり、十分に多数のパラメータ点をとればその傾向から最適解が見つけられるという、アナログ的な暗黙の前提がある。

ところで最近、デジタル的な問題が我々を悩ますようになってきた。端的な例は、単一点欠陥が引き起こす DRAM の Variable Retention Time (VRT) と呼ばれる現象である。これはゲート絶縁膜中の一個の点欠陥に電荷がトラップされるか否かという2つの状態に応じてトンネルバリアが変化し、リーク電流が不規則に増減するためにデータの保持時間が何桁も変動するものである。この問題の本質的な困難は、明瞭に2値に分かれたデータ保持時間が発生するというスイッチング現象自体は容易に測定できるのに、その現象が起きるか起きないかという点については何も予見できないことである。

もちろん、多数のセルについて VRT の有無を測定した平均値の大小はプロセスのパラメータと対応しているはずであり、何をすれば発生数を減らせるかという議論をすることは原理的には可能である。しかし、そのためにはまず単一点欠陥がどのような過程を経て生成するのか、知っている必要があるように思われる。しかるに、“起きるか” “起きないか” といった中間的な結果を許さない現象に対して、実用的で有効な解決策を探索する手法は容易には見つけられそうにない。

同様の現象が、大学の実験室でもしばしば問題になるようになってきた。自分の経験に引き寄せて考えてみよう。私は遷移金属酸化物を研究対象にしている。遷移金属酸化物は多くが絶縁体であるが、酸化の程度によって絶縁体から金属に変化したり、微妙な構造変化によって何桁も抵抗が変化する場合がある。このとき、物質内の酸素の移動や構造変化が準安定的な2つの状態間で起こると、見かけ上 VRT に類似したスイッチング現象となって現れる。この現象は永続的であり、しかも多くの物理パラメータに対して履歴を示すので、不揮発性メモリーという応用が直ぐ思い浮かぶ。特に電流や電圧について履歴を示す場合には、二端子だけで情報の読み・書きができる理想的なメモリーになるので、近年盛んに研究されている。

遷移金属酸化物自体は長い研究歴があり、その奇妙な振舞いも大まかには良く知られた現象であるにもかかわらず、最近特にこのようなスイッチング現象が盛んに研究されるようになってきた背景には、目覚ましい計測器の進歩がある。サブ pA、サブ nV といった極限的な計測が可能になると、試料中のスイッチングを起こしている一点の特異的な振舞いが、バルク測定で再現性よく明瞭に誰にでも見えるようになったのである。

しかし今のところその一点を特定する方法も、またそれを設計して作ることもできない。膨大なバルク試料の中の(恐らくは原子レベルの)一点で起きているオン・オフ現象を明確にかつ容易に検出できる測定技術の強力さと、それがどこで何が起きているのかを特定する方法が無い無力さの対比は際立っている。

均一な材料を計測し制御する技術は非常に進歩した。しかし、本質的に不均一でかつ不均一であることによって興味ある性質を示す材料を、どのように測りどのように操作すべきなのか、計測に対する発想の転換が必要な時期なのかも知れない。