

ナノスケール機能性酸化物の多様性と次世代デバイスへの期待

Multi functionality of oxide thin film and its application to future electron devices物材研¹、[○]知京豊裕¹、長田貴弘¹、生田目俊英¹、山下良之¹、関口隆史¹、Chen Jun¹、Yongxun Liu²、昌原明植²NIMS.¹, AIST.², [○]Toyohiro Chikyow¹, Takahiro Nagata¹, Toshihide Nabatame¹,Yoshiyuki Yamashita¹, Takashi Sekiguchi¹, Chen Jun¹, Yongxun Liu², Meishoku Masahara².E-mail: CHIKYO.toyohiro@nims.go.jp

1・緒言

持続可能な社会を実現するためには、効率的なエネルギー利用が不可欠であり、これらを制御するエレクトロニクスにおいても、低消費電力で駆動できるナノデバイスの開発とその実現が期待されている。ナノデバイスの中で酸化物はナノスケールで組成、構造制御されることで多様な機能を実現している。具体的にテクノロジーを利用して機能発現をしている微細 MOSFET では、高誘電体ゲート絶縁膜、high-k 材料が実用化されているが、より微細化に対応するために high-k 材料を Si に直接、接合する技術開発が求められている。また、DRAM においては、これまでの SiO₂, Si₃N₄ 系材料とトレンチ構造を使ったメモリから、比誘電率 200 を超える材料が求められ、不揮発性メモリでは高信頼性を確保する材料や ReRAM, 原子スイッチに代表される不揮発性メモリでも機能性酸化物が求められている。

こうしたナノスケールの機能性酸化物を開発するには、計算科学や材料データベースによる材料の選択、コンビナトリアル手法などのハイスループット材料合成と評価、デバイス化、が必要である。

1) 計算科学と材料データベースによる材料選択

機能性酸化物は酸素を含む複数の元素で構成されるためにその組成や構造を制御し目的とする材料を探索する必要がある。また、多様な側面を持っているために、1つの特性だけで議論できない点もある。そのために、計算科学を使った材料の特性の予測が重要である。特に酸化物には避けられない酸素空孔などの欠陥準位の予測や構造変化に伴うバンド構造の変化なども計算科学で予測しておくことは重要である。また、機能性酸化物は複数の特徴をもっており、こうした目的以外の特性を事前を知っておくことも大切になる。最近、整備されつつある材料データベースは機能性酸化物の特性を多角的に指摘することに役だっている。

2) ハイスループット材料合成と評価

機能性酸化物の組成と構造制御するための作製温度などの決定にはコンビナトリアル材料合成などのハイスループット材料合成法が有効である。また、機能性酸化物との界面もナノスケールになるために、原子レベルでの評価が必要になる。また、これまでのような静的な計測だけでなく、バイアスを印加した状態での電子状態の計測も必になる。

3) プロセス開発とデバイス化スクリーニングされた材料はデバイス化するためのプロセスの開発が必要であるが、ここでも系統的にプロセスパラメータを決定することができるハイスループット手法が有効である。このような工程を経て、機能性材料はデバイス化することができる。

2・材料開発からデバイス化までの事例

ここでは、機能性酸化物の開発とそのデバイス化の事例を、①high-k 材料とメタルゲートの開発、②キャパシタ用 higher-k 材料の開発、③フラッシュメモリの信頼性を向上させる界面層の開発、④原子スイッチを使った不揮発性メモリの開発の事例として紹介し、関連する評価手法としての X 線反射法、バイアス印加光電子分光法、電子線誘起電流法など埋もれた界面の評価法などを紹介する。これらの事例を通じて次世代電子デバイスの将来を展望する。