

電子相転移を用いた新原理トランジスタ

電圧により強相関電子材料を絶縁体から金属へと変化させる



澤 彰仁

さわ あきひと (右)
a.sawa@aist.go.jp

電子光技術研究部門
強相関エレクトロニクスグループ
研究グループ長
(つくばセンター)

抵抗変化メモリー、モットトランジスタなど、機能性酸化物を用いた新原理デバイスの研究開発に取り組んでいます。

井上 公

いのうえ いさお (左)
i.inoue@aist.go.jp

電子光技術研究部門
強相関エレクトロニクスグループ
主任研究員
(つくばセンター)

専門は強相関電子系の物理。半導体の機能を強相関電子系で置き換えることに取り組んでいます。最終的には強相関電子系でのみ実現できる新概念素子の開発を目指しています。

浅沼 周太郎

あさぬま しゅうたろう (中央)
shutaro-asanuma@aist.go.jp

ナノデバイスセンター
事業推進室
主査
(つくばセンター)

専門は機能性酸化物薄膜に関する研究。さまざまな特性をもつ機能性酸化物を、社会の役に立つデバイスに加工して世に送り出すことを目指しています。

関連情報：

- 参考文献

P.-H. Xiang *et al.*: *Adv. Mater.* 23, 5822-5827 (2011).

- 共同研究者

Ping-Hua Xiang (前産総研特別研究員)、岩佐 義宏、川崎 雅司 (東京大学)、山田 浩之、佐藤 弘、赤穂 博司 (産総研)

- 主な研究成果

2012年1月31日「電子相転移を用いた新原理トランジスタ開発へ前進」

●この研究開発は、独立行政法人科学技術振興機構の支援を受けて行っています。

モットトランジスタへの期待

情報化社会の発展により、コンピューターや携帯機器などの情報機器内で情報を処理する半導体素子の高速化、高集積化が求められています。

電界効果トランジスタの一種であるモットトランジスタは、その動作原理が電子相の電界制御に基づくので、素子をナノメートルスケールに微細化しても、これまでのシリコン素子で生じる諸問題が顕在化しないと考えられており、電子素子のさらなる高性能化をもたらす、低消費電力化にも貢献すると期待されています。

電圧により絶縁体を金属に

モットトランジスタは、ゲートに電圧をかけて、強相関電子材料のチャンネルに電子またはホールの電荷を蓄積し、強相関電子材料中の電荷密度を変化させて金属-絶縁体転移を誘起することで、スイッチ機能を実現します。

私たちは今回、CaMnO₃のカルシウム (Ca) を一部セリウム (Ce) で化学置換することにより、電子ドーピングを行ったCa_{1-x}Ce_xMnO₃薄膜を作製し、その際に使用する基板の種類を変えることで、薄膜に圧縮歪や引っ張り歪を与えました。その結果、圧縮歪を受けたCaMnO₃薄膜をモットトランジスタのチャンネルに用いることにより、絶縁相から金属相に変化するのに必要な電子の蓄積量を大幅に低減できることがわか

りました。

図1に今回開発した圧縮歪を受けたCaMnO₃薄膜を用いたモットトランジスタの模式図を示します。ゲート電圧をかけて効率的にチャンネルに電荷を蓄積するために、ゲート絶縁層にイオン液体を用いた電気二重層トランジスタ構造を採用しました。

図2に室温で測定したドレイン電流のゲート電圧に対する変化を示します。この結果から、ゲート電圧がゼロの場合のドレイン電流の値が、ゲートにかけた電圧の向きや大きさなどの履歴によって変化し、チャンネルの電気抵抗の変化がそのまま保持されること(不揮発性)がわかります。

今回開発したモットトランジスタは、2 V程度の小さなゲート電圧によって、強相関電子材料のマンガン酸化物を絶縁体から金属へと変化させることができ、さらに室温において素子の電気抵抗を不揮発にスイッチさせることも可能であり、電子素子の高性能化・低消費電力化に貢献できると期待されます。

今後の予定

今後は、より低濃度の電荷蓄積により金属-絶縁体転移を示す強相関電子材料の開発、ゲート絶縁層の固体化、微細加工技術の開発など、実用化に向けた研究開発を展開する予定です。

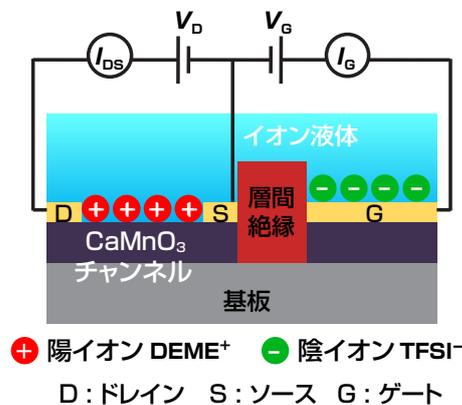


図1 圧縮歪を受けたCaMnO₃薄膜を用いた電界効果トランジスタ(モットトランジスタ)の模式図

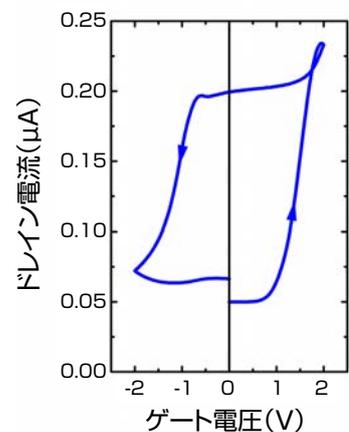


図2 室温で測定したドレイン電流のゲート電圧に対する変化