



2013年6月10日

超低電力デバイス技術研究組合

Low-power Electronics Association & Project (LEAP)

データセンター向け SSD への適用を目指した

相変化デバイスの低消費電力動作に成功

GeTe/Sb₂Te₃超格子膜の電荷注入機構を発見、低消費電力動作を実証

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（理事長 古川 一夫/以下、NEDOと略記）と超低電力デバイス技術研究組合（理事長：豊木則行/以下、LEAP と略記）^{注1}は国立大学法人筑波大学との共同研究により、データセンター向け固体ストレージ SSD (Solid State Drive)への適用を目指した、低消費電力で動作する相変化デバイスの動作実証に成功しました。

SSD の不揮発メモリには、現在、フラッシュメモリが用いられています。フラッシュメモリは多値記憶（2ビット記憶）^{注2}により大容量化を達成していますが、高い内部電圧が必要なことと低いデータ転送速度を補うために消費電力が増大する等の課題があります。今後、データセンターに用いられる SSD にはこれまでにない高速処理能力が求められます。特に、アクセスが集中するストレージ階層に相変化デバイスを使用し、これまでにない高速、低電力、高信頼などの特性を新たに SSD に付加することが重要です。

今回、抵抗変化でデータを保持する相変化デバイスにおいて、GeTe/Sb₂Te₃超格子膜の電荷注入による動作の機構を見出しました。さらに、ばらつきの少ない GeTe/Sb₂Te₃超格子結晶膜を得ることで、従来の相変化デバイスと比較して1/2以下の電圧と1/3以下の電流での動作が可能となりました。開発した相変化デバイスを適用することで、これまでにない高速、低電力、高信頼などの特性を SSD に付加できます。さらに高性能化に伴ってチップ点数の削減による低コスト化などのシステムメリットをもたらすと同時に、データセンターの低電力化に貢献することが期待されます。今後、実用化を目指した集積化実証の研究開発を進めていきます。

本研究は、平成22年度経済産業省産業技術研究開発委託費「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」に関する委託研究で、平成23年度からは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」に係る委託業務として実施しています。デバイス試作に関しては、独立行政法人産業技術総合研究所スーパークリーンルーム（SCR）を使用し、SCR 運営室にご協力頂きました。

なお、今回の技術の詳細は、京都で6月11日から開催される半導体デバイス、プロセス関係の国際会議「2013 VLSI Technology」にて発表します。本内容は、LEAP 相変化グループと筑波大学計算科学研究センターの洗平昌晃研究員、白石賢二教授らの研究グループの共同研究によるものです。LEAP は SCR を利用してデバイス試作し、その物性評価や電気測定により、低消費電力で動作する相変化デバイスを実証しました。筑波大学は、最先端の計算科学手法「第一原理計算」を用いて、GeTe/Sb₂Te₃超格子膜の電荷注入機構を明らかにしました。

【背景】

最近、インターネットの普及とIT技術の進化によって生まれた、大容量かつ多様なビッグデータ^{注3)}が注目を集めています。ビッグデータを効率良く記憶して利用するニーズに応えるために、国内ディスクストレージ容量は、2020年には2011年の45倍に増大すると予想され、これと同時にデータの低電力・高速処理能力が求められています(図1左)。現在のディスクストレージの主流はハードディスクですが、それを置き換えて、より高性能なSSDを適用する動きが進んでいます。SSDに用いられているフラッシュメモリは多値記憶(2ビット記憶)^{注2)}により大容量化を達成していますが、高い内部電圧が必要で消費電力が依然として大きいため、従来のSSDでは単位電力当たりのデータ転送速度の要求が2015年以降に満たせなくなります(図1右)。今後、特にアクセスが集中する最上位のストレージ階層において、これまでにない高速、低電力、高信頼などの特性を新たにSSDに付加することが課題となります。



図1 国内データセンターの消費電力と容量、及び外部記憶のデータ転送速度のトレンド

(出展：株式会社ミック経済研究所 データセンター市場と消費電力・省エネ対策の実態調査を基に作成)

【相変化デバイスと動作原理】

相変化デバイスは、原子状態の違いを利用する不揮発メモリです。図2に示す通り、結晶と非晶質で抵抗が変化することを利用してデータを保持するメモリであり、電荷量でデータ保持するフラッシュメモリよりも取扱いが簡単です。結晶と非晶質間の相変化はジュール発熱^{注4)}によって行うため、電流が一方方向だけで動作が可能です。そのため、選択スイッチとしてトランジスタよりも面積の小さいダイオードを用いることができ、1つのチップにより多くの記憶ビットを搭載できるようになるため、ストレージデバイスに求められる高集積化を実現できます。

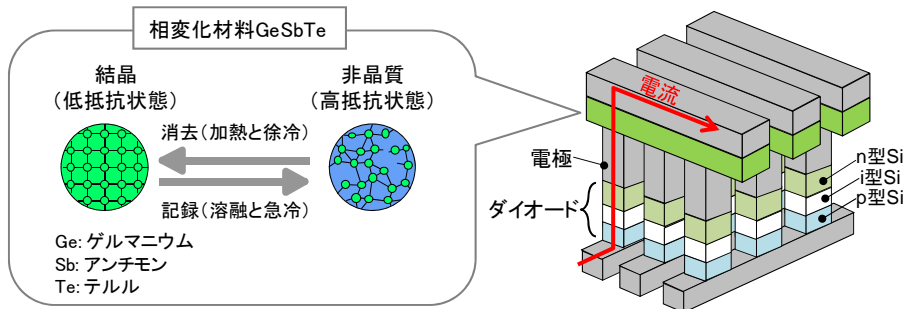


図2 相変化デバイスの動作原理とメモリセル

【開発技術の概要】

LEAP では、データセンター向け SSD の不揮発メモリとして相変化デバイスを研究開発しており、特に低消費電力で動作が可能なメモリセル材料として、産業技術総合研究所の富永淳二首席研究員が提唱する超格子膜の研究開発を進めてきました。超格子膜技術とは、GeTe 薄膜と Sb₂Te₃ 薄膜を積層し、抵抗変化現象に必要な Ge 原子の移動を短範囲 (short-range) に抑える技術であり、書き込み動作に要する電圧や電流 (メモリセルの抵抗状態を変化させるために要する電圧や電流) を大幅に低減させる効果が期待できます (図 3)。

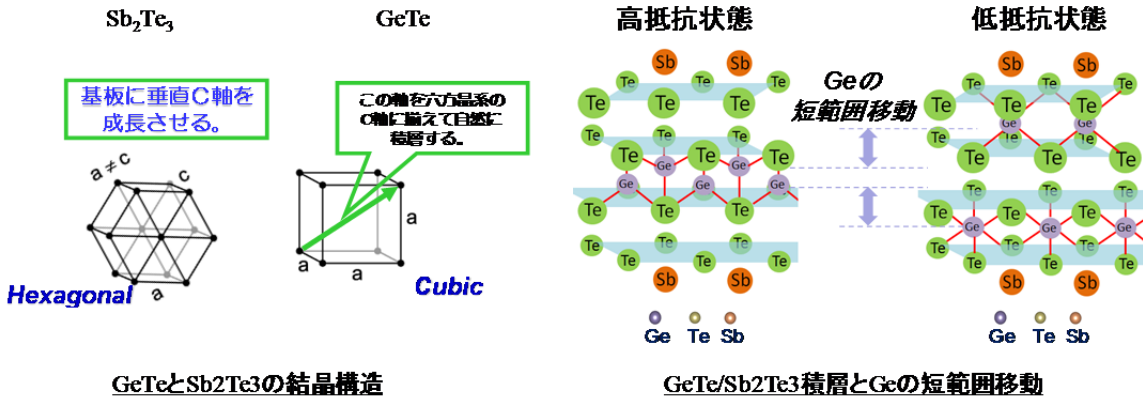


図 3 GeTe/Sb₂Te₃ 超格子とは

今回、Ge 原子の短範囲移動の電荷注入による促進効果を世界で初めて見出し、ばらつきの小さな GeTe/Sb₂Te₃ 超格子膜において、メモリセルの低電圧・低電流動作を確認しました。

開発した技術は以下の通りです。

- (1) 量子力学に基づく第一原理計算シミュレーションを利用して Ge 原子の移動が電荷注入により促進される効果を発見

相変化メモリの原子構造とエネルギーの関係を第一原理計算しました。電子の注入によって高抵抗状態 (図 4 の青破線) のエネルギーが高抵抗状態 (赤線) よりも低くなるため、Ge 原子の移動が促進され、高抵抗状態に構造転移することを世界で初めて発見しました。

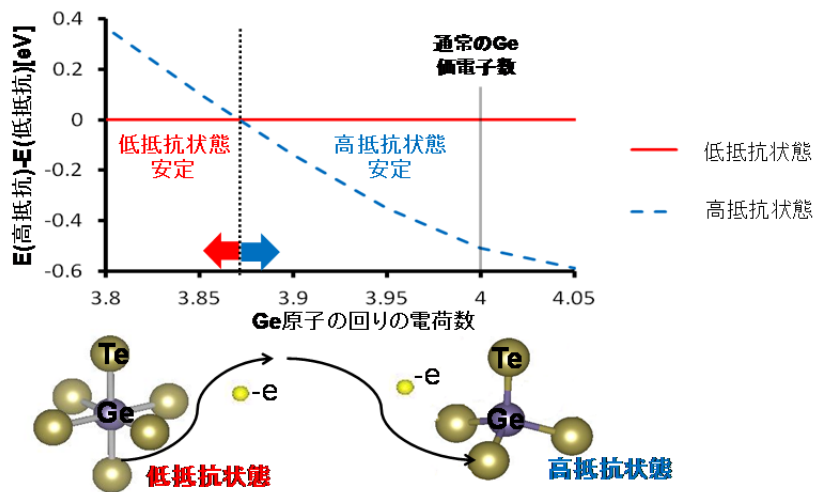
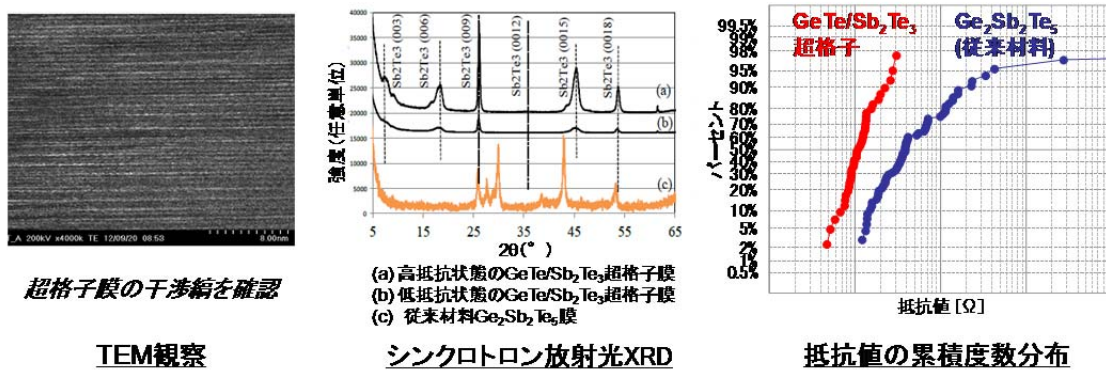


図 4 超格子相変化デバイスにおける電荷注入による Ge 原子周辺の構造変化

(2) 開発した超格子膜の良好な結晶性を確認し、ばらつきの小さい素子を実現

GeTe/Sb₂Te₃積層は物理的蒸着法（Physical Vapor Deposition：PVD）により行い、その結晶性が良好であることを透過型電子顕微鏡（Transmission Electron Microscopy：TEM）とシンクロトン放射光を用いたX線回折（X-Ray Diffraction：XRD）で確認。さらに抵抗値のばらつきを従来材料のGe₂Sb₂Te₅より小さくすることに成功しました（図5）。



TEM観察

シンクロトン放射光XRD

抵抗値の累積度数分布

図5 GeTe/Sb₂Te₃超格子膜のTEM観察、XRD実験、及び抵抗値の累積度数分布

(3) 相変化デバイスの書き込み電圧を従来比1/2以下、電流密度を従来比1/3以下に低減
GeTe/Sb₂Te₃超格子膜を搭載した相変化デバイスの抵抗素子を試作評価し、高抵抗化に要する書き込み電圧（0.46V、従来比1/2以下）と電流密度^{注5}（3.3MA/cm²、従来比1/3以下）の低減を実現しました（図6）。

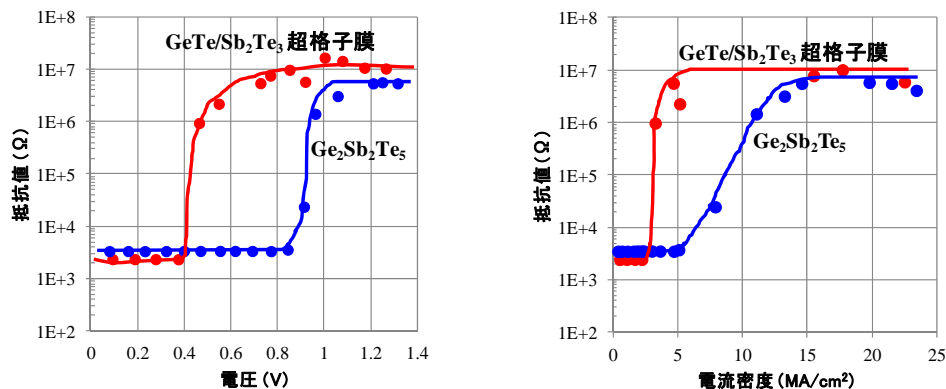


図6 開発した超格子抵抗相変化デバイスの書き込み電圧(左)と書き込み電流密度(右)

【効果】

以上の開発技術により、相変化デバイスの書き込み動作電圧が従来比1/2、書き込み動作電流密度が従来比1/3以下に低減できることを確認し、ストレージデバイス向けに相変化デバイスが適用できることを実証しました。この結果、ハードディスクやフラッシュメモリより10倍以上高速・低電力な次世代SSDが実現し、ビッグデータ時代におけるデータセンターの超高速・低消費電力化が実現可能となります。

【今後】

LEAP では、相変化デバイスをデータセンター向け外部記憶の高速化と低消費電力化に有望な不揮発メモリとして研究開発を進めてきました。また、筑波大学計算科学研究センターでは計算科学的手法を駆使してメモリ機能発現機構の原子レベルの機構解明を行うと同時に、実用化に耐えうる高機能な相変化メモリの設計指針の確立を目指して研究を行ってきました。今回開発した技術により、従来の外部記憶を凌駕する超高速・低消費電力のストレージ階層最上位のデバイスの実現に向けて大きく前進しました。今後も実用化を目指した集積化実証の研究開発を進めていきます。

【用語の説明】

(注1) 超低電圧デバイス技術研究組合 ; Low-Power Electronics Association & Project (LEAP)。平成 22 年 5 月 21 日設立。現在の組合員企業は、(株)荏原製作所、東京エレクトロン(株)、(株)東芝、日本電気(株)、(株)日立国際電気、(株)日立製作所、富士通(株)、富士通セミコンダクター(株)、三菱電機(株)、ルネサス エレクトロニクス(株)。理事長は 富士通(株)豊木 則行。

(注2) 多値記憶(2ビット記憶); 多くの値をメモリに記憶させる技術。基本の1ビット記憶(Single-Level-Cell, SLC)に対して、フラッシュメモリでは2ビット記憶(Multi-Level-Cell, MLC)が主流となっている。多値記憶ではメモリセルのしきい電圧を多値にするため、より高電圧で長時間の動作が必要である。

(注3) ビッグデータ; インターネットの普及とIT技術の進化によって生まれた、これまで企業が扱ってきた以上に、より大容量かつ多様なデータを扱う新たな仕組みを表すもの。その特性は量、頻度(更新速度)、多様性(データの種類)によって表される。(出展: 日立製作所ホームページ <http://www.hitachi.co.jp/products/it/bigdata/column/column01.html>)

(注4) ジュール発熱; 物質を電流が流れるときに熱が発生すること。

(注5) 電流密度; 単位面積当たりの電流。本研究ではメモリセル素子の電極の単位面積当たりの電流とした。

【技術に関するお問い合わせ先】

超低電圧デバイス技術研究組合

担当: 相変化デバイスグループ 高浦 則克

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1 西7A SCR棟

電話 029-879-8260 (代表)

takaura@leap.or.jp