

新型相変化デバイスの TRAM の熱安定化指針を世界ではじめて確立 —データセンター省電力化・低炭素化に期待—

名古屋大学（総長：濱口道成）工学研究科 計算理工学専攻 白石賢二教授と同研究科量子工学専攻 洗平昌晃助教を中心とする研究グループは、超低電力デバイス技術研究組合（理事長：河部本章/以下、LEAP と略記）との「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」における共同研究において、最先端の計算科学手法「第一原理計算」を用いて日本発の新型メモリである Topological Switching RAM (TRAM) の基本構造である $\text{GeTe}/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 超格子構造の熱安定性の機構を明らかにし TRAM の高信頼化への指針を世界ではじめて確立しました。

TRAM は $\text{GeTe}/\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 超格子材料を用いた新メモリです。従来の相変化デバイスとは異なり、溶融をとまわず、Ge 原子の短範囲移動で、抵抗変化が低電力で発現する将来有望なメモリデバイスです。本設計指針を適用することで、これまでになく高速、低消費電力、高信頼性などの特性を将来のデータセンター用メモリに無理なく付加することができ、データセンターの省電力化に貢献し、低炭素社会の実現に資することが期待されます。

「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」は、平成 22 年度経済産業省 産業技術研究開発業務委託、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（NEDO）業務委託として LEAP が実施しています。本研究は、同業務委託において、名古屋大学と LEAP の共同実施で行われたものです。

なお、今回の技術の詳細は、米国ハワイで 6 月 9 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「2014 Symposia on VLSI Technology and Circuits」で発表しました。

新型相変化デバイスの TRAM の熱安定化指針を確立

ーデータセンターの省電力化・低炭素化に期待ー

【概要】

名古屋大学大学院工学研究科 計算理工学専攻白石 賢二教授と同研究科量子工学専攻洗平 昌晃助教を中心とする研究グループは、超低電力デバイス技術研究組合（理事長：河部本 章/以下、LEAP と略記）の「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト^{註1}」における名古屋大学と LEAP との共同研究において、最先端の計算科学手法「第一原理計算」を用いて日本発の新型メモリである Topological Switching RAM (TRAM) の基本構造である GeTe/Sb₂Te₃ 超格子構造の熱安定性の機構を明らかにし TRAM の高信頼化への指針を世界ではじめて確立しました。

本研究によりデータ爆発が予想されるデータセンターの将来のスペックを満たすと同時に、データセンターの省電力化にも寄与し、低酸素社会に資することが期待されます。

註1)「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」は、平成 22 年度経済産業省 産業技術研究開発業務委託、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 (NEDO) 業務委託として LEAP が実施しています。

【ポイント】

TRAM の抵抗が高抵抗から低抵抗に移り変わる際に何が起きているのかはこれまで全くわかっていませんでした。今回、名古屋大学のグループが第一原理量子論による解析を行うことによってはじめて高抵抗から低抵抗に遷移する際にエネルギーの高い中間の遷移状態を経ることを世界で初めて解明しました。これにより、TRAM は高抵抗状態も低抵抗状態も熱的に極めて安定に動作することが期待されます。

【背景】

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が注目を集めています。特にビッグデータを効率良く記憶して利用しなくてはならないのはデータセンターです。データセンターを中心とする国内ディスクストレージ容量は、2020 年には現在の 10 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。そのためには、今後、データセンターにおいて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、これまででない高速、低電力、高信頼などの特性を従来のデータセンター用メモリに付加することが課題となっていました。

【研究の内容】

抵抗変化型不揮発メモリの熱安定性は、加熱による不可逆的な抵抗変化の起こり難さで評価されます。本開発では、抵抗素子を用い評価において、高品質な GeTe/Sb₂Te₃ 超格子を用いた TRAM が 200 °C まで加熱しても抵抗値変化が起こり難いことを確認しました (図 1 左)。これに対して、従来の GeSbTe 合金を用いた従来の相変化メモリは 150°C 付近で、急激に抵抗変化 (高抵抗状態が不可逆的に低抵抗状態に変化) します。電荷注入機構で抵抗変化が促進される TRAM では、加熱で抵抗変化が促進される従来の相変化メモリよりも優れた熱特性を有することが判りました。

名古屋大学のグループは TRAM の抵抗変化が起こる過程を第一原理量子論を用いて原子レベルで解析しました。その結果、図 2 に示すように高抵抗状態から中間の遷移状態を経て低抵抗状態に遷移するのに、2.52eV の活性化エネルギーが存在することを世界で初めて明らかにしました。この活性化エネルギーの値は TRAM が十分な熱安定性を有していることを示すもので、非常に重要な研究成果です。さらに、本計算結果は LEAP の実験結果ともよく一致しています。

【成果の意義】

TRAM が十分な熱安定性を有することはデータセンターにおいて特にアクセスが集中する最上位のストレージ階層に TRAM が使用可能であることを示しています。これは、データセンターの省電力化が TRAM の適用によって実現されることを意味しています。

【用語説明】

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) 河部本 章。

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>)

データセンター：

グーグル等の企業等が極めて大きなデータを貯めておく施設。そこには、たとえば検索エンジン等によってアクセスが集中するため、エネルギー消費量がそのデータ量の増加に伴って爆発することが憂慮されている。

相変化メモリ：

構造相転移による抵抗変化を利用するメモリ。これまでは結晶—アモルファス相転移を利用したメモリが主流であった。

TRAM：

構造相転移ではなく、Ge 原子の短範囲の移動で高抵抗上と低抵抗状態を実現できる日本が初めて開発したメモリ。Ge 原子の短範囲移動を Topological-switching と考え、Topological-switching Random Access Memory (TRAM) と命名された。

【論文名】

1T- 1R Pillar-Type Topological-switching Random Access Memory (TRAM) and Data Retention of GeTe/Sb₂Te₃ Super-Lattice Films, 「2014 Symposia on VLSI Technology and Circuits」 2014 年 6 月 9 日～13 日、米国ホノルル

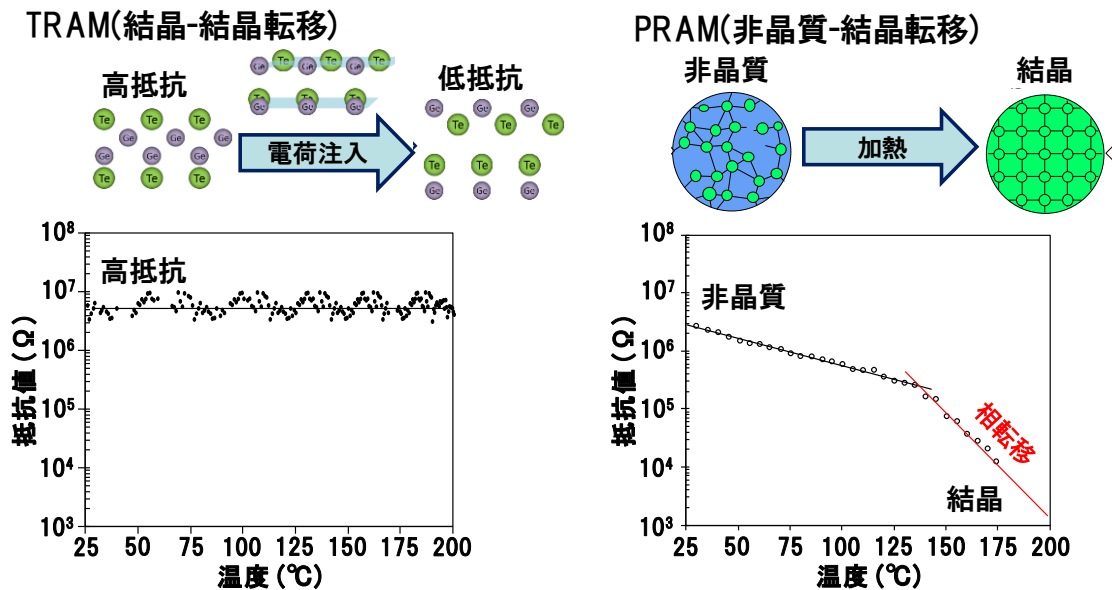


図1 抵抗変化メカニズムとデータ保持の温度依存性。TRAM（左）とPRAM（右）の比較

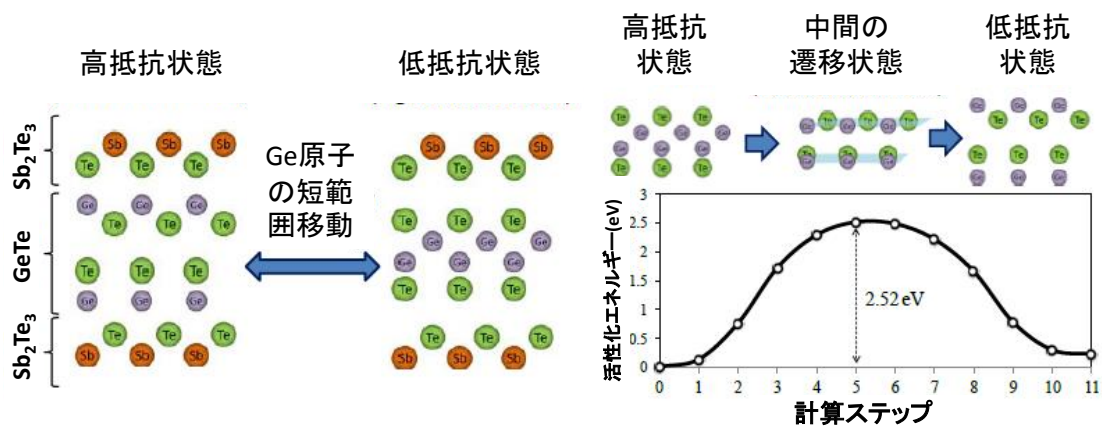


図2 : TRAM における原子レベルの構造変化とそれに伴う活性化エネルギー