

メモリに記憶されるデータの特徴を判別して TLC フラッシュメモリの読み出し方法を最適化～読み出し可能回数が 6.7 倍に増加～ クラウドデータセンタ記憶媒体への展開に期待

学校法人 中央大学

概 要

中央大学 理工学部 教授 竹内 健のグループは、大容量で低コストな TLC (Triple Level Cell) フラッシュメモリ^{注1)}の読み出しに伴うエラーを 85%削減し、読み出し可能な回数を 6.7 倍に増加させることに成功しました。本研究は、データの特徴(アクセス頻度等)をメモリが自動的に判別し、データを特徴別に異なるメモリ領域に格納し、最適な読み出し電圧を印加することで読み出しに伴うエラーの削減と読み出し可能回数の増加を可能にしたものです。

現在、TLC フラッシュメモリは主にスマートフォンやタブレットなどに使われていますが、本技術を発展させることで安定した読み出しが可能となり、メモリのさらなる高信頼化・高速化が図られ、フラッシュメモリの次の主力市場として期待されるクラウドデータセンタ^{注2)}の記憶媒体としての使用が期待できます。

本研究は、JST の委託事業である戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CREST) の研究領域「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」の研究題目「デジタルデータの長期保管を実現する高信頼メモリシステム」において実施されたものです。

本研究成果は、2016年6月13日から16日にホノルルで開催される「IEEE Symposium on VLSI Technology」で発表されました。

【研究者】

竹内 健 中央大学理工学部 教授(電気電子情報通信工学科)

【発表(雑誌・学会)】

本研究成果は、2016 年6月13日から16日にホノルルで開催された「IEEE Symposium on VLSI Circuits」で発表されました。

論文名:Versatile TLC NAND Flash Memory Control to Reduce Read Disturb Errors by 85% and Extend Read Cycles by 6.7-times of Read-Hot and Cold Data for Cloud Data Centers

【研究内容】

1. 背景

1つのメモリセルに3ビットを記憶する TLC (Triple Level Cell) フラッシュメモリは、2ビット記憶の MLC (Multi Level Cell) フラッシュメモリに比べて大容量・低コストという利点がある反面、メモリセルに蓄えた電子がリークすることでエラーが発生しやすいという問題がありました。そのため、TLC フラッシュメモリはスマートフォンやタブレットには多く使われていますが、高い信頼性が求められるクラウドデータセンタや企業向けストレージにおいては限定的な利用に留まっていました。

2. 研究内容と成果

クラウドデータセンタにはアクセス(読み出し)が頻繁に行われるデータ(ホットデータ)から、ほとんど読み出しが行われないデータ(コールドデータ)まで、様々なデータが格納されています(図1)。TLC フラッシュメモリはメモリセルのフローティングゲートに蓄えられる電子の数(2 の3乗)により、8個の異なる状態(図2, 3の“Erase”、“A”、“B”・・・“G”)で、3ビット分のデータを保持することができます。それぞれの状態の違いは、しきい値電圧^{注3)}という、トランジスタ電流のオン/オフが切り替わる時の電圧の値で表されます。そして、メモリセルを読み出す際には、それぞれの状態のしきい値状態の中間の電圧値を印加し、電流が流れるか否か(0か1か)で記憶されているデータを判別します。

本研究ではまず始めに、ホットデータとコールドデータではしきい値電圧の変化の状態が異なることを明らかにしました。ほとんど読み出しが行われないコールドデータを保存した TLC フラッシュメモリ(図2)では、時間が経過するにつれて、メモリセルのフローティングゲートから電子がリークし、しきい値電圧が低下してエラーに至ります。一方、ホットデータを保存した TLC フラッシュメモリ(図3)では、リードを頻繁に行うにつれて、しきい値が複雑に増減することを明らかにしました。具体的には、“A”～“E”状態のメモリセルでは読み出しのストレスによってフローティングゲートに電子が注入されるため、しきい値電圧が上昇してエラーに至ります。また、“F”、“G”状態のメモリセルではフローティングゲートの上部の絶縁体(IPD)に捕獲された電子が抜けるため、逆にしきい値電圧が下落しエラーに至ります。

従来のメモリやメモリを搭載した SSD^{注4)}では、データの種類にかかわらず読み出し中にメモリ全体に同じ電圧を印加していたため、上記のようなエラーを抑制することができませんでした。その結果、読み出しを頻繁に行くとメモリにストレスが印加されやがて不良になるため、読み出し回数に制限が生じてしまうという問題がありました。

本研究ではこの信頼性の問題を解決するため、データの特徴(ホットかコールドか)をメモリが自動的に判別し、異なるメモリ領域にデータを格納する SSD を開発しました(図4)。そして、ホットデータ、コールドデータそれぞれに対して最適な読み出し電圧を印加する(図5)ことで、読み出しに伴うエラーを 85%削減することに成功しました。

具体的には、コールドデータでは時間がたつにつれてしきい値電圧が低下するため(図2)、読み出し電圧を徐々に下げます(図5の左図)。複雑なしきい値電圧の変動を示すホットデータ(図3)

に対しては、読み出しが行われた回数に応じて、それぞれのしきい値状態(“Erase”、“A”・・・“G”)に最適な読み出しを印加します(図5の右図)。

以上のように、ホットデータ・コールドデータの両方に対して、データ保持時間やリード回数に応じて生じるしきい値電圧の上昇・下降を補正する読み出しを行うことで、エラーを 85%低減し、読み出し可能な回数を 6.7 倍増加させることに成功しました。

3. 今後の展開

大容量で低コストな TLC フラッシュメモリがクラウドデータセンタや企業向けストレージの記憶媒体として全面的に採用されるためには、高信頼化のみならず、更なる性能の向上も求められています。本技術の特徴は性能の向上をはかりつつ信頼性を向上させる点にあります。本技術をより一層発展させることで、TLC フラッシュメモリがクラウドデータセンタの記憶媒体として使用され、フラッシュメモリの市場がより一層拡大することが期待されます。

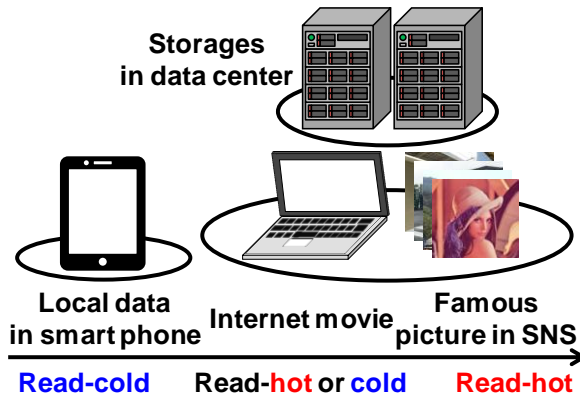


図1. データセンタに記憶されるデータの特徴: 頻繁に読み出される**ホットデータ**とほとんど読み出されない**コールドデータ**が混在する。

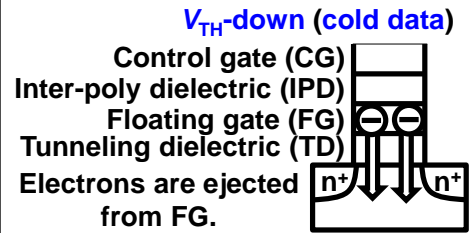
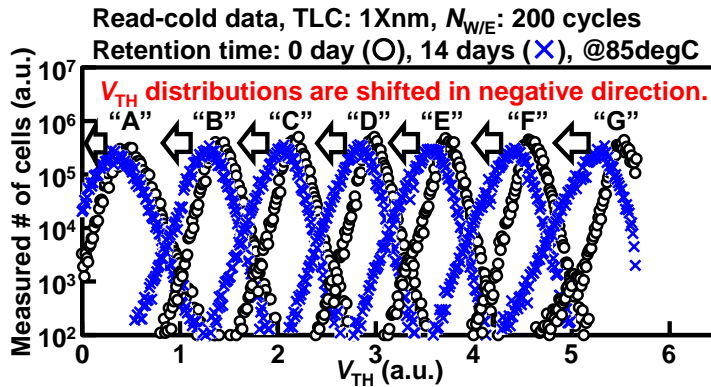


図2. **コールドデータ**を保存した TLC フラッシュメモリのしきい値電圧。フラッシュメモリはフローティングゲートに電子を蓄えることでしきい値電圧が変化しデータを記憶する。データを保持する時間が経過するにつれ、メモリのフローティングゲートから電子がリークしてしきい値電圧が低下しエラーに至る。

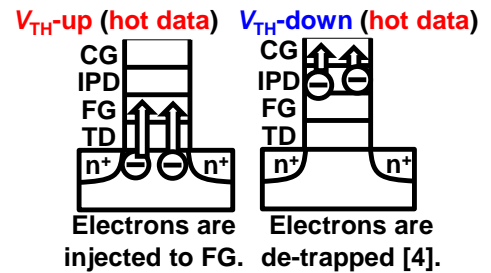
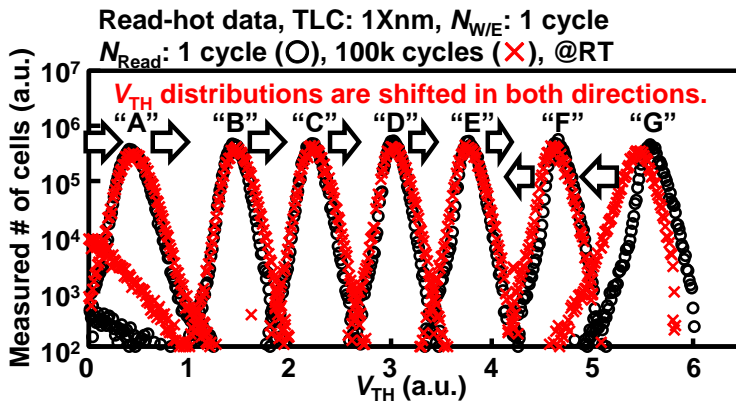


図3. **ホットデータ**を保存した TLC フラッシュメモリのしきい値電圧。リードを頻繁に行うにつれ、“A”～“E”状態のメモリセルはフローティングゲートに電子が注入されるために値電圧が上昇しエラーに至る。一方、“F”、“G”状態のメモリセルはフローティングゲートの上部の絶縁体(IPD)に捕獲された電子が抜けるため、しきい値電圧が下落しエラーに至る。

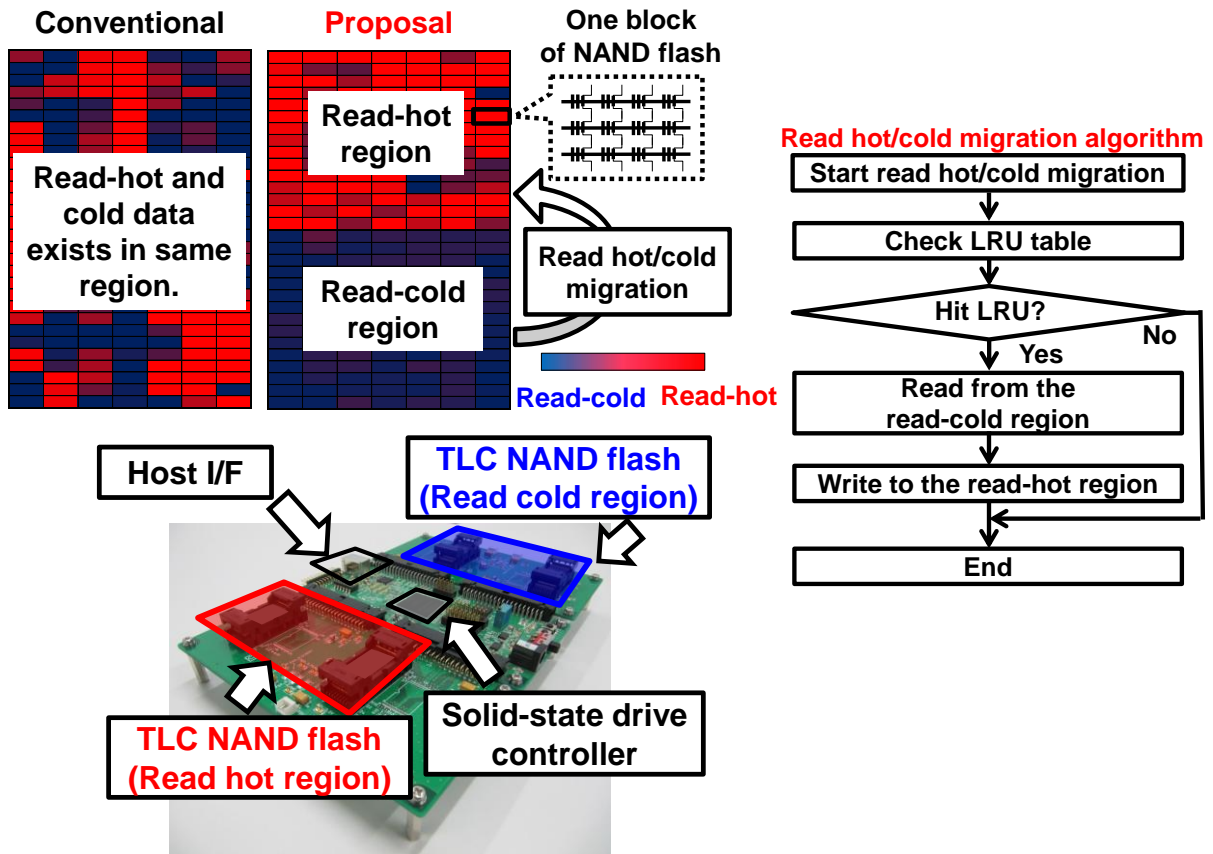


図4. 提案する TLC フラッシュメモリを使った SSD: データの特徴 (読み出す頻度等) をモニタすることで、**ホットデータ**と**コールドデータ**を判別し、それぞれ異なるメモリ領域 (ホット領域とコールド領域) に記憶する

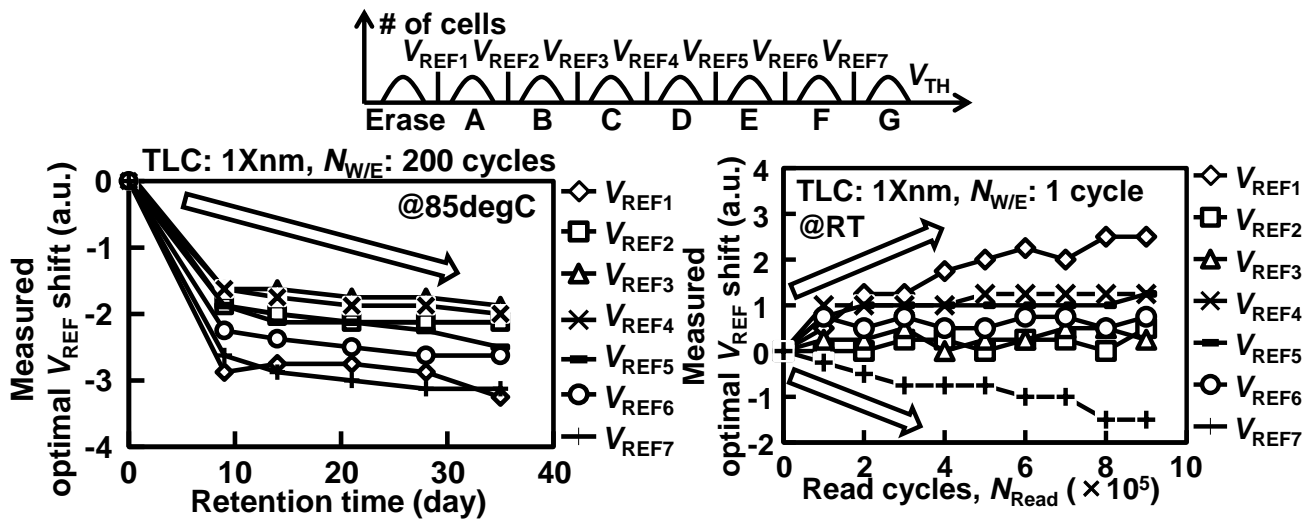


図5. 提案する TLC フラッシュメモリの読み出し電圧: **コールドデータ** (左図) では時間がたつにつれて読み出し電圧を下げ、**ホットデータ** (右図) では読み出しが行われた回数に応じて、それぞれのしきい値状態 (“Erase”、“A”・・・“G”) に最適な読み出しを印加することで、エラーを 85% 低減し、読み出し可能な回数を 6.7 倍増加させることに成功した。

【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

竹内 健 (タケウチ ケン)

中央大学理工学部 教授 (電気電子情報通信工学科)

TEL : 03-3817-7374

E-mail: takeuchi@takeuchi-lab.org

<広報に関すること>

加藤 裕幹 (カトウ ユウキ)

中央大学 研究支援室

TEL 03-3817-1603, FAX 03-3817-1677

E-mail: k-shien@tamajs.chuo-u.ac.jp

【用語解説】

注1)フラッシュメモリ

データの一括消去を特徴とする半導体記憶装置。電氣的にデータの読み書きが可能で、電源を切ってもデータが消えない。

注2)クラウドデータセンタ

SNS やインターネットを使ったサービスを行うためにサーバーやストレージ、ネットワーク機器などの IT 機器を設置・運用する施設。

注3)しきい値電圧

フラッシュメモリのセルはコントロールゲートとフローティングゲートをもつ MOS トランジスタになっており、コントロールゲートに電圧が加わるとドレイン-ソース間に電流が流れる。この電流が流れ始める時のゲート電圧をしきい値電圧という。フローティングゲート中に電子が蓄えられている状態ではドレイン-ソース中に電流が流れないため読み出したデータは0となる。フローティングゲート中に電子が無い状態ではドレイン-ソース中に電流が流れるため、読み出したデータは1となる。

注4)ソリッド・ステート・ドライブ (SSD)

記憶媒体としてフラッシュメモリを用いるドライブ装置で、ハードディスクの代替としてスマートフォン、パソコンやデータセンタのストレージなどとして広く利用されている。機械的に駆動する部品がないため、高速の読み書きが可能で、消費電力も少なく衝撃にも強い。このため、頻繁にアクセスされるプログラムやデータを保存する用途で、現在幅広く使われている。