

審査の結果の要旨

氏名 田中丸 周平

本論文は、「Design of Highly Reliable Solid-State Storage System」(和訳: 高信頼ソリッド・ステート・ストレージシステムに関する研究)と題し、携帯端末、パーソナルコンピュータから産業用のサーバーに用いられているソリッド・ステート・ストレージシステムの信頼性問題を解決する手法を提案している。ソリッド・ステート・ストレージとは NAND 型フラッシュメモリ等の固体メモリで構成されたストレージである。本論文は特に、NAND 型フラッシュメモリと抵抗変化型メモリ(Resistive Random Access Memory: ReRAM)の高信頼化技術及び、ソリッド・ステート・ストレージの性能における信頼性の影響に関する知見を提示するもので、全 8 章で構成される。

第 1 章は「Introduction」(序論)であり、NAND 型フラッシュメモリや ReRAM を含むストレージ・クラス・メモリの位置づけを述べるとともに、本研究の背景を述べ、目的を明確化する。

第 2 章は「Reliability Issues」(信頼性問題)と題し、NAND 型フラッシュメモリやストレージ・クラス・メモリの概要・動作原理などを述べ、解決すべき信頼性問題を明らかにする。また、信頼性を向上させる代表的手法である誤り訂正符号やレイドについて説明する。

第 3 章は「Chip-level Reliability Enhancement in NAND Flash Memories (1)」(NAND 型フラッシュメモリのチップレベルの信頼性向上(1))と題し、NAND 型フラッシュメモリからの読み出し回数を増やさずに、各メモリセルのビットエラー率を予測し、短い読み出し時間で低密度パリティ検査誤り訂正符号を用いることでデータ保持時間が 11 倍向上する技術を提案する。さらに、ビットエラー率の予測に用いる隣接メモリセル干渉の微細化傾向を解析し、10~20nm 世代の NAND 型フラッシュメモリに関しても上記手法が有効であることを示す。

第 4 章は「Chip-level Reliability Enhancement in NAND Flash Memories (2)」(NAND 型フラッシュメモリのチップレベルの信頼性向上(2))と題し、チップ内でレイドを用いる技術、データ保持中に発生したビットエラーを記録し、次の読み出しで過去のビットエラーを相殺する技術及び、1つのメモリセルに蓄えることが出来るビット数を 3、2、1 と段階的に減らし信頼性を向上させる技術を提案し、それぞれ許容できるビットエラー率が 1.45 倍、3 倍、また、書き換え回数が 22 倍以上に向上することを示す。

第 5 章は「System-level Reliability Enhancement in NAND Flash Memories」(NAND 型フラッシュメモリのシステムレベルの信頼性向上)と題し、データを重複化して信頼性を向上させるストレージシステムのデータの配置方法を最適化する技術及び、重複化されたデータを読み出す際にエラーを削減する技術を提案し、ビットエラー率がそれぞれ 69%、92%削減されることを示す。さらに、ストレージの冗長が重複化に比べて小さいレイド 5 及び 6 システムにおけるデータ配置の最適化手法を提案し、不良率が 98%削減されることを示す。

第 6 章は「Chip-level Reliability Enhancement in ReRAM」(ReRAM のチップレベルの信頼性向上)と題し、読み出し抵抗値や書き込みデータの“1”と“0”の割合を書き換え回数に応じて動的に変化させる技術を提案し、ビットエラー率が 78%向上することを示す。また、書き換え回数に応じて動的に許容ビットエラー数を変更し、書き込み時間を最小化しながら誤り訂正符号の計算オーバーヘッドを削減する技術を提案し、97%書き込み時間が短縮されることを示す。

第 7 章は「System Performance Evaluation」(システム性能の検証)と題し、測定した NAND 型フラッシュメモリの性能パラメーターを用いて、ソリッド・ステート・ストレージの性能の書き換え回数依存性を示す。さらに、NAND 型フラッシュメモリとストレージ・クラス・メモリとのハイブリッド構成における性能の評価も行い、誤り訂正符号の計算遅延が性能に影響することを示す。また、性能の評価からストレージ・クラス・メモリに要求される信頼性を示す。

第 8 章は「Discussion and Conclusion」(議論と結論)であり、提案技術の利害得失を議論し結論を述べるとともに、今後のソリッド・ステート・ストレージの展望についても触れている。

以上のように本論文は、携帯端末、パーソナルコンピュータやサーバーのストレージデバイスとして使われているソリッド・ステート・ストレージの信頼性を向上させる手法を提案し、理論計算・シミュレーション・測定を通じてその有効性を実証しており、電子工学上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。