

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 13 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500059

研究課題名(和文)半導体ディスク装置の高信頼化および長寿命化の研究

研究課題名(英文)Reserch on dependable and long-life solid disc system using flash memories

研究代表者

北神 正人 (Kitakami, Masato)

千葉大学・融合科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20282832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではフラッシュメモリを用いたディスク装置の高信頼化と長寿命化手法を提案した。高信頼化手法として隣接誤り訂正符号を提案し、長寿命化手法としてガーベジコレクションを用いたデータ移動法を提案した。

隣接誤り訂正手法では多レベルメモリセルに記憶された値が隣接値に誤る確率が高いこと考慮して、訂正する誤りを隣接値に限定することにより効率の良い符号を提案している。

ガーベジコレクションでは書き換え頻度の高いデータと頻度の低いデータを分別し、頻度の高いデータを定期的に移動することにより書き換えが特定のセルに集中することを防止して寿命を延長している。

研究成果の概要(英文)：This research proposes dependable and long lifetime disk systems based on flash memories. This proposes neighboring error correcting code for dependability, and garbage correction for long lifetime.

Neighboring error correcting code corrects errors to neighboring values. This code requires small check symbols by restricting error patterns.

Garbage correction discriminates between frequently updated data and non-frequently updated data. By changing the position for the former data sometimes in flash memory chips, the number of erasure in the specified cells is restricted. From this, life time of flash memories is extended.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：誤り訂正符号 フラッシュメモリ 単方向誤り 多レベルフラッシュメモリ

### 1. 研究開始当初の背景

近年のフラッシュメモリの高集積化により、フラッシュメモリを用いた固体ディスク装置(SSD)が磁気ディスク装置(HDD)に代わって利用されてきている。SSDは磁気ディスク装置に比べて低消費電力であり、耐衝撃性にすぐれ、読み込み速度も高速である。そのため、モバイル機器での利用に適しており、データセンタのような高集積代用両量記憶システムにも適しているといわれている。

フラッシュメモリは従来1セルで1ビット記憶するシングルレベルセル(SLC)フラッシュメモリが利用されていたが、1セルで複数ビットを記憶可能なマルチレベルセル(MLC)フラッシュメモリが実用化されます。MLCでは蓄積する電荷量を制御してトランジスタの閾値電圧を段階的に変化させることにより1セルで多値の情報を記憶している。

フラッシュメモリの高集積化に伴いセルの誤り率が無視できなくなっている。また、フラッシュメモリのセルは一定回数以上消去と書き込みを繰り返すと故障してしまい記憶ができなくなる。特に、高集積のためのMLCフラッシュメモリでは書き込み回数の限界が小さくなっていて寿命が短くなっている。したがって、高集積SSDでは高信頼化と長寿命化が必要である。

また、MLCフラッシュメモリに生じる誤りは電荷の変動で閾値が変化することによって生じる。そのため、誤りは隣接した値への誤りがより生じやすい。

### 2. 研究の目的

本研究ではSSDの高信頼化手法と長寿命化手法を開発することを目的とする。高信頼化手法としては、フラッシュメモリの誤りの傾向を考慮して新しい機能の誤り訂正符号を開発する。長寿命化手法としては、更新の頻繁に行われるデータを更新頻度の低いデータを区別し、後者は固定した位置に記憶し、前者は定期的に記憶する位置を変更することにより特定のセルに書き込みが集中するのを防ぐ方法を開発する。

### 3. 研究の方法

本研究ではフラッシュメモリを用いたSSDの高信頼化手法と長寿命化手法を開発する。この手法はそれぞれ独立して開発する。

まず、高信頼化手法としてMLCフラッシュメモリに適した誤り訂正符号を開発する。具体的にはMLCフラッシュメモリの記憶値は隣接した値に誤る確率が高い。そこで、隣接する値に誤りを限定した符号を開発する。誤りを限定することにより検査シンボル(冗長)を削減した効率の良い符号の構成が期待される。

次に、長寿命化手法を開発する。ファイルシステムには更新が頻繁に行われるファイ

ルと、読み込みのみで更新がほとんど行われないファイルがある。前者のファイルが記憶される領域は消去と書き込みが頻発するのでセルが早く寿命に到達し故障してしまう。そこでファイルの更新頻度から上記の2種類に分別し、後者のファイルの保存位置は固定し、後者のファイルは定期的に保存位置を変更する手法を開発する。

### 4. 研究成果

#### (1) 誤り訂正手法

隣接値に誤り誤りを訂正する符号を単一( $\pm 1$ )誤り訂正符号など表す。この符号は( $\pm 1$ )の範囲の隣接地に誤り誤りが1個生じたときに訂正できる機能を有する符号を表す。表1に開発した符号の検査長と情報長の関係を示す。ここで各手法は以下の通りである。

- ・従来 1 グレイ符号用いた単一( $\pm 1$ )誤り訂正符号[1]
- ・従来 2 整数剰余環を用いた単一( $\pm 1$ )誤り訂正符号[2]
- ・従来 3 バイト誤り訂正符号[3]
- ・提案 1 単一( $\pm 1$ )誤り訂正( $\pm 2$ )誤り検出符号
- ・提案 2 単一( $\pm 2$ )誤り訂正符号
- ・提案 3 単一( $\pm 2$ )誤り訂正( $\pm 3$ )誤り検出符号

表1: 8レベル(3ビット/バイト)フラッシュメモリにおける単一( $\pm 1$ )誤り訂正符号の情報長

検査長	2	3	4	5
従来 1	26	247	2036	16369
従来 2	28	249	2036	16363
従来 3	7	70	581	4676
提案 1	22	221	1916	15867
提案 2	7	64	473	3350
提案 3	6	49	316	1931

基本的には既存の( $\pm 1$ )誤りを対象にした手法と、バイト誤り訂正の中間程度の符号効率が得られる。ただし、提案手法はパラメータ選択に素数が関係することから、場合によっては優れた情報長が得られないこともある。これは検出機能の付加についても同様であり、上手くパラメータが選べる場合には、わずかな冗長の追加で機能の付加が可能である。

#### (2) 長寿命化手法

フラッシュメモリでは、消去回数が増えるにしたがって次第に誤り率が上昇する。図1に今回仮定した消去回数と誤り率の関係を示す。図2に提案手法における消去回数と誤

り率の関係を示す。比較のため、2段階誤り訂正符号を適用した場合の誤り率を示す[4]。上記の結果から提案手法のBERは、2段階符号を適用した場合と、しない場合の間に位置することが分かる。

#### 参考文献

- [1] 佐藤和也, 北神正人, “多レベルセルフラッシュメモリのための1レベル誤り訂正符号,” 電子情報通信学会信学技報, DC, no.53, pp.9 - 14, Dec. 2010.
- [2] Hristo Kostadinov, Hiroyoshi Morita, Nikolai Manev. “On ( $\pm$ ) Error Correctable Integer Codes,” IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E93-A, no.12, Dec. 2010.
- [3] S.J.Hong, A.M.Patel, “A General Class of Maximal Codes for Computer Applications,” IEEE Transactions on Computers, Vol.C-21, December, 1972, pp.1322-1331.
- [4] 金子晴彦, 松坂拓哉, 藤原英二, “フラッシュメモリを用いた大容量SSDのための2段階誤り制御符号,” FIT2008, Sep. 2008.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計4件)

- Shohei Kotaki and Masato Kitakami, "Neighborhood Level Error Control Codes for Multi-Level Cell Flash Memories," IEICE Trans. Inf. Syst., vol.E96-D, No.9, pp.1926-1932, September 2013. (査読有)
- Abu ElEnin Sherihan and Masato Kitakami, "Proposal of Grid Monitoring System with Fault Tolerance," Journal of Information Processing., vol. 20, no.2, pp.366-377, April, 2012. (査読有)
- Abu ElEnin Sherihan and Masato Kitakami, "Performance Analysis of Static Load Balancing in Grid," International Journal of Electrical Computer Sciences., vol.11, No.3, pp.57-63, June 2011. (査読有)
- Abu ElEnin Sherihan and Masato Kitakami, "Trust Management of Grid System Embedded With Resource Management System," IEICE Trans. Inf. Syst., vol.E94-D, No.1, pp.42-50, January 2011. (査読有)

##### [学会発表](計7件)

- Shohei Kotaki and Masato Kitakami, "A Class of q-Ary Unidirectional Error Correcting Codes for MLC Flash

Memories," Proc. 2013 Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, pp. 132-133, December 2-4, 2013, Vancouver, British Columbia, Canada. Kouta Maebashi, Kazuteru Namba and Masato Kitakami, "Testing of switch blocks in TSV-reduced three-dimensional FPGA," Proc. 2013 IEEE Int. Symp. Defect and Fault Tolerance VLSI and Nanotechnol. Syst., pp.302-307, October 2-4, 2013, New York City, NY, U.S.A.

Masato Kitakami and Daiki Mamada, "Data Movement Algorithm for Flash SSD with Long Lifetime," Local Proc. 2012 Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, November 18-19, 2012, Niigata, Japan.

Shohei Kotaki and Masato Kitakami, "Neighborhood Level Error Control Codes for Multilevel Systems," Local Proc. 2012 Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing, November 18-19, 2012, Niigata, Japan.

Takieddine Sbiai, Wenpo Zhang, Kazuteru Namba and Masato Kitakami, "Testing and detecting of faulty links inside the network on chip switches," 5th Indonesia Jpn. Joint Sci. Symp. October 25-26, 2012, Chiba, Japan.

Abu ElEnin Sherihan and Masato Kitakami, "Evaluating Static Load Balancing Algorithm in Grid," Proc. SICE Annual Conference 2011, September 13-18, 2011, Tokyo, Japan.

Abu ElEnin Sherihan and Masato Kitakami, "Comparing Static Load Balancing Algorithms in Grid," Proc. 8th International Conference, Cooperative Design, Visualization, and Engineering, September 11-14, 2011, Hong Kong, China.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

北神 正人 (KITAKAMI, Masato)  
千葉大学・大学院融合科学研究科・准教授  
研究者番号: 20282832

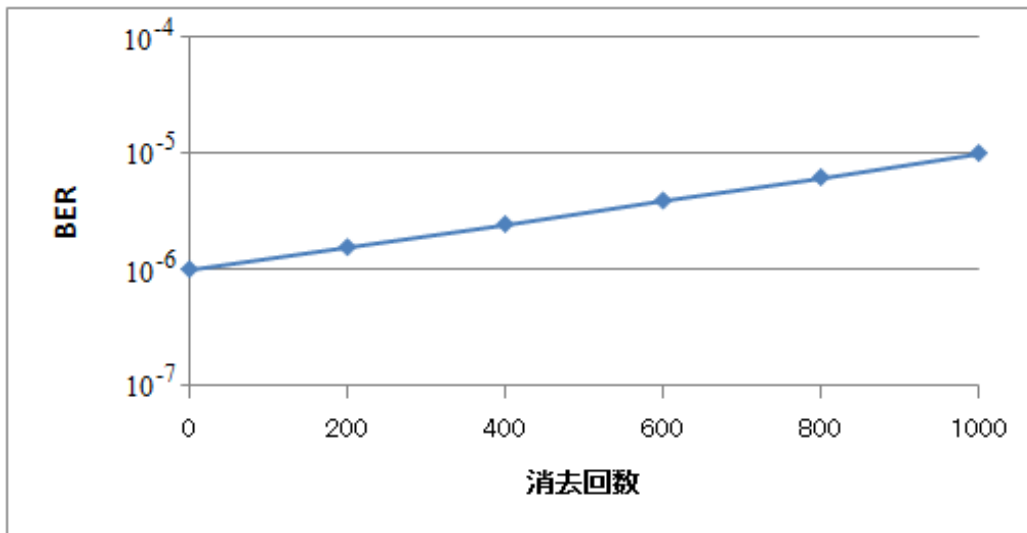


図1 消去回数と誤り率の関係

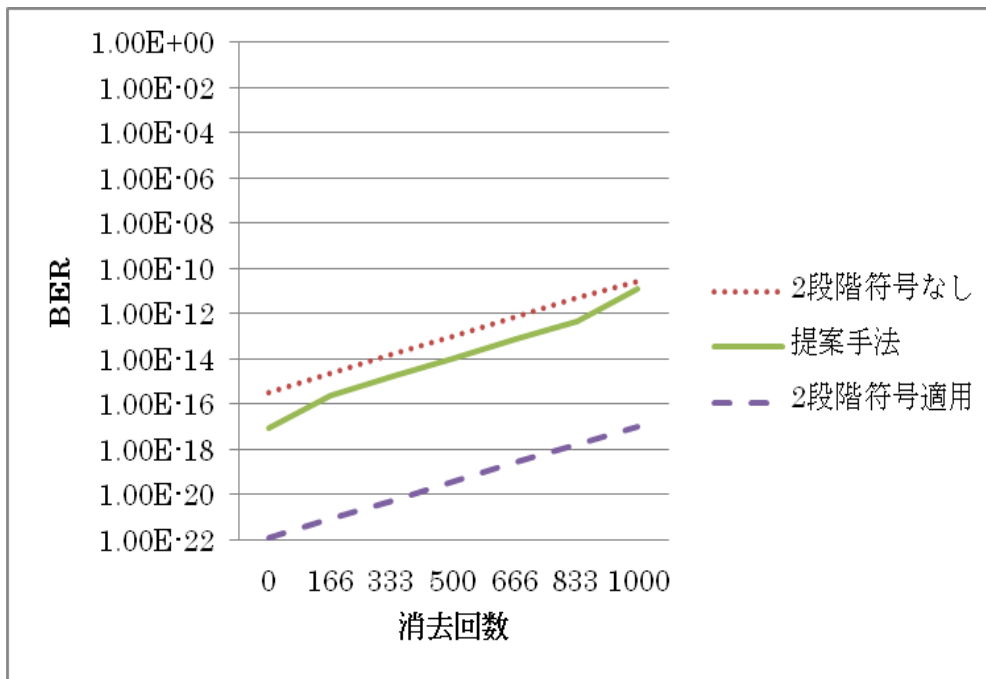


図2 提案手法における消去回数とビット誤りの関係