TLC NAND 型フラッシュメモリにおけるデータ保持寿命評価

Data-Retention Lifetime evaluation of TLC NAND Flash Memories

中央大理工，○溝口 恭史，高橋 知紀，竹内 健
Chuo Univ., ○Kyoji Mizoguchi, Tomonori Takahashi and Ken Takeuchi
Email: mizoguchi@takeuchi-lab.org

1. はじめに

従来の NAND 型フラッシュメモリは，微細化の限界を迎えつつある。そこでメモリセルを積層することにより，データ容量を増加させることができる 3D NAND 型フラッシュメモリの開発が進んでいる(図 1)[1]。本論文では，しきい値電圧(V_{TH})変動によるデータ保持寿命予測手法を提案し，従来の 2 次元(2D) NAND 型フラッシュメモリと 3D NAND 型のデータ保持特性について評価した[2]。

2. V_{TH} 変動によるデータ保持寿命評価

図 2 に示すように，TLC (3bits/cell)では，高い V_{TH} 状態ほど，V_{TH} の減少が大きい。図 3 に 2D (1Xnm)及び 3D TLC の V_{TH} の減少が最も大きい“G”状態における実測の V_{TH} 分布を示す。3D TLC では，V_{TH} 分布の下裾(V_{TH_LOWER})と上裾(V_{TH_UPPER})が大きく下がっている。一方で，2D TLC では上裾に比べて，下裾が大きく下がっていることが判明した。図 4 に 3D TLC における下裾の V_{TH} の書き込み直後からデータ保持後の V_{TH} の変動(ΔV_{TH})を示す。ΔV_{TH} はデータ保持時間を t とすると $\ln(t)$に比例して単調減少する。したがって，ΔV_{TH} の傾きを S, V_{TH} が減少し始める時間を t_0 とすると，$\Delta V_{TH} = S \ln(t/t_0)$と表せる。提案のデータ保持寿命予測手法では，この式を用いることにより，分布の下裾(累積確率=0.005)と上裾(累積確率=0.995)の将来の V_{TH} の変動を予測し，データ保持寿命を推定する。

V_{TH_MARGIN} の減少量を V_{TH_LOSS}, 下裾と一つ下の V_{TH} 状態の上裾の差を V_{TH_MARGIN} と定義する(図 5)。提案のデータ保持寿命予測方法では，書き込み直後の全ての V_{TH} 分布のマージンの合計(Total initial V_{TH_MARGIN})が V_{TH} 損失の合計(Total V_{TH_LOSS})と等しい，つまり，Total V_{TH_MARGIN} が 0 になる時間を求めることによりデータ保持寿命を予測する(図 6)。

図 7 に 2D TLC と 3D TLC のデータ保持寿命予測結果を示す。2D TLC では，書き換え回数 1 回の場合では 1000 年以上のデータ保持寿命であるが，書き換え回数を増加させるとデータ保持特性が急激に劣化し，書き換え回数 300 回では，1 年と推定された。一方で 3D TLC では，書き換え回数 1～300 回の場合では 10 年以上と推定された。

3. 結論

本論文では，V_{TH} 変動によるデータ保持寿命予測手法を提案し，2D 及び 3D NAND 型フラッシュメモリにおけるデータ保持特性を評価した。表 1 に本論文の要約を示す。2D NAND 型フラッシュメモリは 1 回のみ書き込みを行い，長いデータ保持寿命が必要とされるディジタルアーカイブに適しており，3D NAND 型フラッシュメモリは多くの書き換えを行うデータセンター用 SSD に適していることが判明した。

謝辞

本研究は，JST, CREST の支援(グラント番号 JPMJCR1532)を受けたものである。有留誠一さんのご協力に深謝します。

参考文献

[1] H. Tanaka et al., *VLSI Tech.*, 2007, p. 14-15.
[2] K. Mizoguchi et al., *IMW*, 2017, pp.119-122.

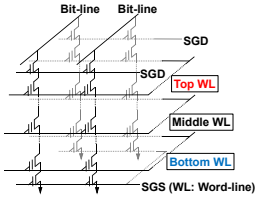


図 1: 3D NAND アレイ

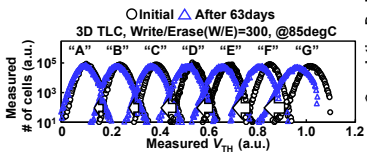


図 2: 3D TLC におけるしきい値電圧

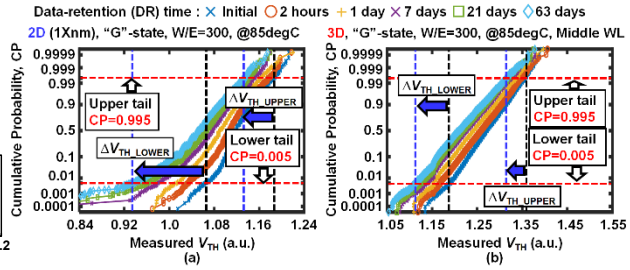


図 3: (a) 2D 及び(b) 3D TLC の“G”状態における実測の V_{TH}

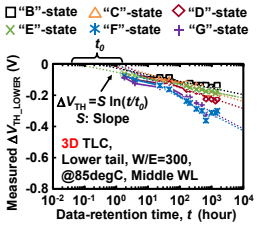
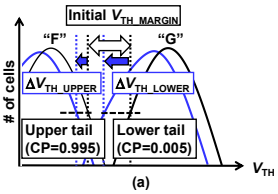


図 4: 3D TLC の実測のΔV_{TH}



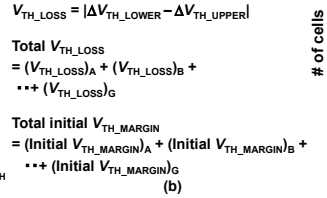


図 5: $V_{TH\ MARGIN}$ と $V_{TH\ LOSS}$ の定義

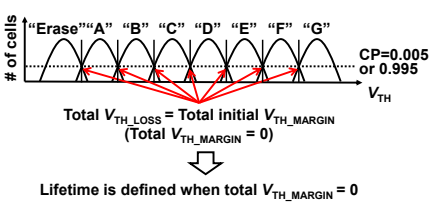


図 6: データ保持寿命の定義

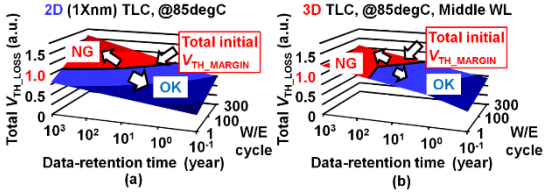


図 7: (a) 2D 及び 3D TLC のデータ保持寿命予測結果

表 1: 本論文の要約

	DR lifetime (W/E=1)	DR lifetime (W/E=300)	Applications
3D NAND flash (Middle WL)	73 years	13 years	Data center SSD
2D NAND flash	Over 1000 years	1 year	Digital archive

© 2018年 応用物理学会