

トランジスタレベルでの経年劣化補償技術におけるNBTI回復特性の利用について

松本 高士¹, 牧野 紘明¹, 小林 和淑^{2,3}, 小野寺 秀俊^{1,3}

¹京都大学, ²京都工芸繊維大学, ³JST CREST

概要

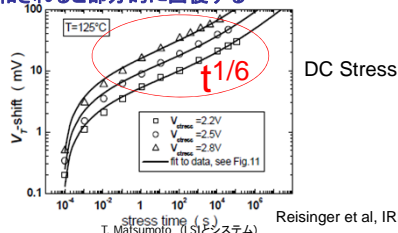
- 背景: NBTI劣化と劣化補償技術
- 様々な NBTI 評価法の比較
- Off-leak 電流法 によるNBTI回復測定結果(65nm CMOS)
- Off-leak 電流法 によるNBTI劣化測定結果 (65nm CMOS)
- 回復特性を利用したNBTI劣化補償法について

Negative Bias Temperature Instability (NBTI)

B.E. Deal et al., J. Electrochem. Soc.(1967)

重要なデバイス特性(I_{ds} , V_{th} , g_m , ...)がストレスによって劣化する

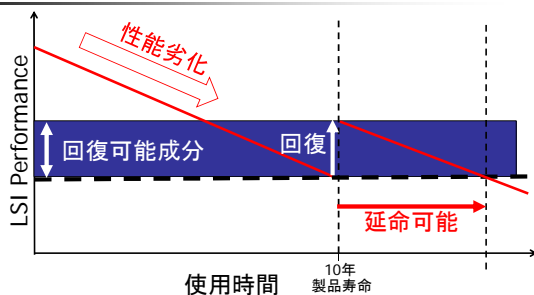
- ・主に PMOSにおいて発生する
- ・ストレス: $E_{ox} = 5-8 \text{ MV/cm}$, $T = 100^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$
- ・ストレスが緩和されると部分的に回復する



NBTI劣化補償技術

- ① 劣化検出
 - ・組み合わせ回路における遅延増大の検出 (Warning Flip-Flop)
 - ・SRAMにおける V_{min} 低下の検出
- ② 劣化補償
 - ・組み合わせ回路における遅延増大の補償 (Adaptive Time-Borrowing)
 - ・SRAM動作電圧の動的調整

NBTI回復特性を利用した経年劣化補償



回復可能成分の定量化・モデル化が必須
 ・Off-Leak Current法による回復可能成分の測定

様々なNBTI 評価法の比較(測定時のゲートバイアス)

On-the-Fly 法

$$V_{gate} = V_{stress}$$

- ➡ 測定時に回復しない (劣化測定に対するfidelityが高い)

Measure-Stress-Measure 法

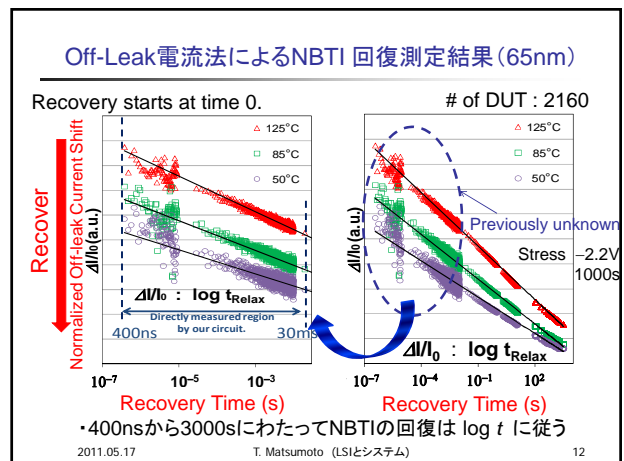
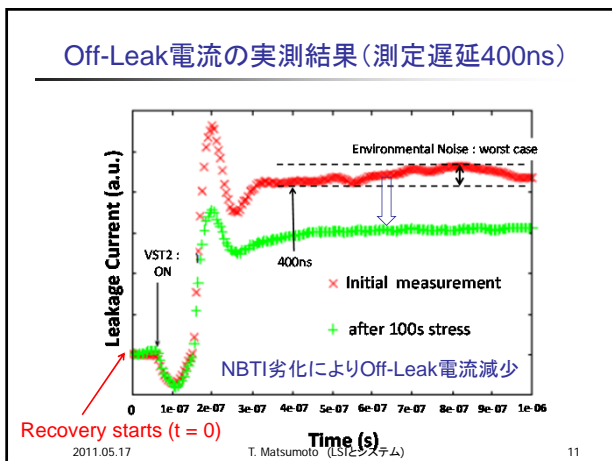
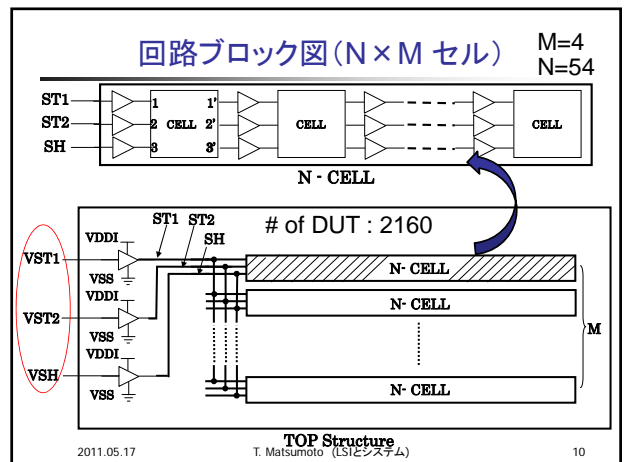
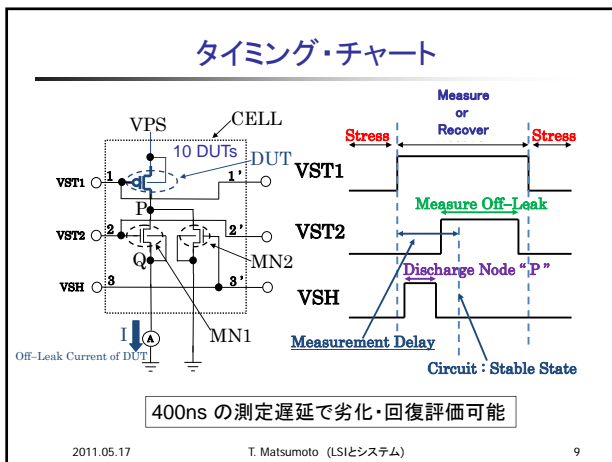
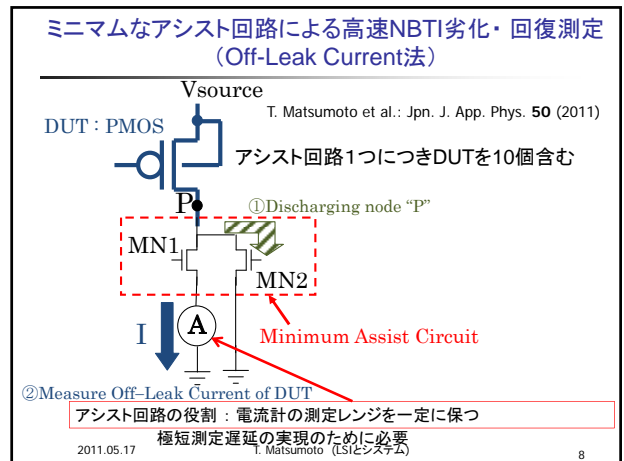
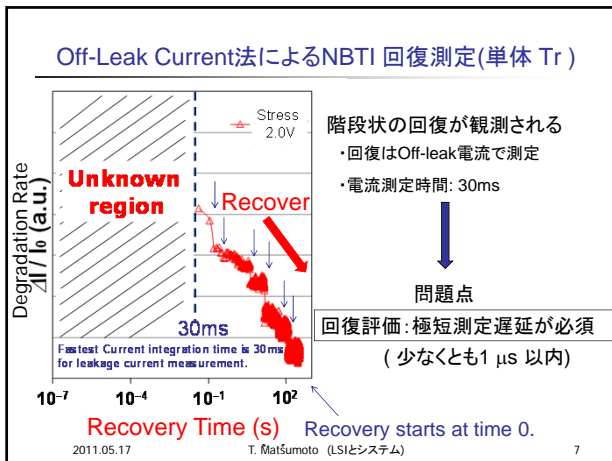
$$V_{gate} = V_{DD} \text{ or } V_{th}$$

- ➡ 測定時に劣化・回復が起きる

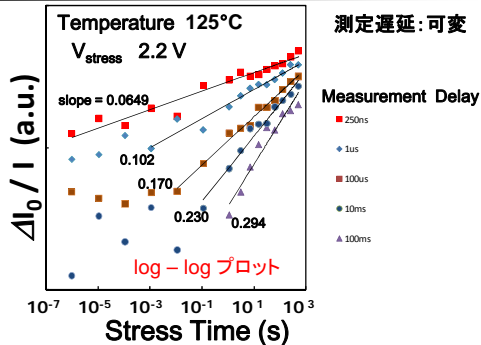
Off-Leak Current 法

$$V_{gate} = 0 \text{ V}$$

- ➡ 測定時に劣化しない (回復測定に対するfidelityが高い)

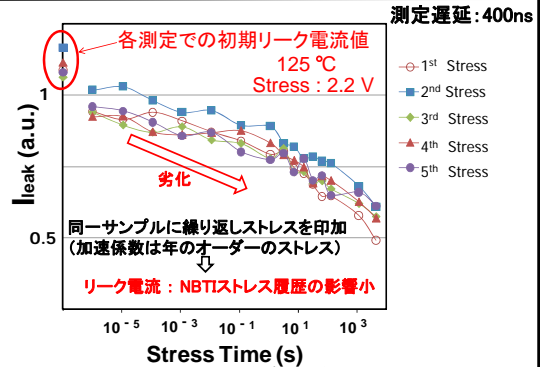


Off-Leak電流法によるNBTI 劣化測定結果(65nm)



・時間の冪に従って劣化する領域が広範囲に存在する
2011.05.17 T. Matsumoto (LSIとシステム) 13

Off-Leak電流法によるNBTI 劣化測定結果(65nm)



2011.05.17 T. Matsumoto (LSIとシステム) 14

Off-Leak電流法によるNBTI 劣化測定と劣化補償

- リーク電流へのNBTIストレス履歴の影響は小さい
 - 同一サンプルに「年」オーダー相当のストレスを5回印加 (5回分の合計ストレス時間で品質保証期間を模擬)
 - NBTIによる劣化を一定量回復させることができる
 - 初期リーク電流値付近まで回復させることが可能(劣化補償)
 - 回復量は適切な回復時間を設定することで調整可能 (1st Stress後の回復についてはlog t に従う)
- 通常動作電圧で年オーダーの使用後も劣化回復が期待される

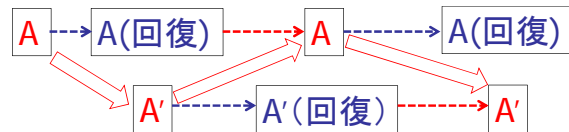
2011.05.17

T. Matsumoto (LSIとシステム)

15

レプリカ回路による劣化の非顕在化

A'...回路Aのレプリカ



使用时间

- 回路Aとそのレプリカ回路A'を交互に使用
- 使用されていない回路は回復モードに移行
- 回復モード時のシステム停止を回避可能
- 寿命はNBTI劣化のPermanent成分によって決まる

2011.05.17

T. Matsumoto (LSIとシステム)

16

まとめ

- OFF-Leak電流法によるNBTI 回復測定
 - 単体PMOSの回復特性は階段状になった
 - 2160個のPMOSの平均的な回復特性はlog t に従う
- OFF-Leak電流法によるNBTI 劣化測定
 - 時間の冪に従って劣化する領域が広範囲に存在
 - 初期リーク電流値付近まで回復させることが可能

OFF-Leak電流法による回復可能成分のモデル化

NBTI回復特性を利用した劣化補償回路の設計に必須

2011.05.17

T. Matsumoto (LSIとシステム)

17

参考文献

- [1] S. Borkar : IEEE Micro **25** (2005) p.10.
- [2] M. Alam : Microelectron. Reliab. **48** (2008) p.1114.
- [3] H. Onodera : IEDM Tech. Dig., 2008, p.701.
- [4] D. K. Schroder et al.: J. App. Phys. **94** (2003) p.1.
- [5] J. H. Sthathis et al.: Microelectron. Reliab. **46** (2006) p.270.
- [6] H. Reisinger et al.: Proc IRPS, 2006, p. 448.
- [7] H. Dadgour et al.: Proc IRPS, 2010, p. 822.
- [8] C. Shen et al.: IEDM Tech. Dig., 2006, p.333.
- [9] Z. Q. Teo et al.: Proc IRPS, 2009, p. 1002.
- [10] T. Grasser et al.: Proc IRPS, 2009, p. 33.
- [11] A. E. Islam et al.: IEDM Tech. Dig., 2009, p.733.
- [12] H. Reisinger et al.: Proc IRPS, 2010, p. 7.
- [13] T. Grasser et al.: Proc IRPS, 2010, p. 16.
- [14] B. Kaczer et al.: Proc IRPS, 2010, p. 26.
- [15] V. Huard : Proc IRPS, 2010, p. 33.
- [16] T. Aichinger et al.: Proc IRPS, 2009, p. 2.
- [17] Agilent B1500A / B1530A User's Guide
- [18] T. Matsumoto et al.: Jpn. J. App. Phys. **50** (2011).

2011.05.17

T. Matsumoto (LSIとシステム)

18