

## 完全空乏型 Silicon-on-Thin-BOX (SOTB) SRAM セルにおける 最低動作電圧 ( $V_{\min}$ ) の統計的解析

### Statistical Analysis of Minimum Operation Voltage ( $V_{\min}$ ) in Fully Depleted Silicon-on-Thin-BOX (SOTB) SRAM Cells

東大生研<sup>1</sup>, LEAP<sup>2</sup>

○水谷朋子<sup>1</sup>, 山本芳樹<sup>2</sup>, 槇山秀樹<sup>2</sup>, 山下朋弘<sup>2</sup>, 尾田秀一<sup>2</sup>, 蒲原史朗<sup>2</sup>, 杉井信之<sup>2</sup>, 平本俊郎<sup>1</sup>  
IIS, Univ. of Tokyo<sup>1</sup>, LEAP<sup>2</sup>

○Tomoko Mizutani<sup>1</sup>, Yoshiki Yamamoto<sup>2</sup>, Hideki Makiyama<sup>2</sup>, Tomohiro Yamashita<sup>2</sup>,  
Hidekazu Oda<sup>2</sup>, Shiro Kamohara<sup>2</sup>, Nobuyuki Sugii<sup>2</sup>, and Toshiro Hiramoto<sup>1</sup>

E-mail: mizutani@nano.iis.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】SRAM の更なる微細化・低電圧化には、トランジスタのランダムばらつき抑制が重要な課題である[1-4]. セルトランジスタのアンバランスが原因で、SRAM の最低動作電圧 ( $V_{\min}$ ) は論理回路と比較して高くなる[5]. チップ全体を低い電源電圧 ( $V_{DD}$ ) で動作させるには  $V_{\min}$  の低減が必要である. 大容量 SRAM セルの  $V_{\min}$  はワーストセルで決まるので、SRAM セルの安定性を統計的に解析することは非常に重要である. 一般に、SRAM セルの安定性を評価するには、スタティックノイズマージン (SNM) が用いられる. しかしながら、以前我々は  $V_{\min}$  と SNM の相関が必ずしもよいわけではないことを示した[6-7]. 本研究では、完全空乏型 (FD) Silicon-on-Thin-BOX (SOTB) 6T-SRAM における各セルの  $V_{\min}$  を測定し、統計的解析を行ったので報告する[8].

【結果】65nm 技術で作製したイントリシクチャネルを有する FD SOTB 6T-SRAM ( $t_{SOI}=12\text{nm}$ ,  $t_{BOX}=10\text{nm}$ ,  $T_{inv}=2.8\text{nm}$ ) [9-10]を、DMA-TEG を用いて測定した[4]. Fig. 1 に 28k SRAM セルの  $V_{\min}$  累積度数分布を示す. (a)正規分布, (b)対数正規分布をプロットした. これらの図より、 $V_{\min}$  は明らかに正規分布ではなく、対数正規分布することがわかる. さらに、基板バイアスを調整することにより SRAM のセルトランジスタ(NMOS, PMOS と)のしきい値電圧 ( $V_{THC}$ ) を変化させた. Fig. 2 に 1k SRAM セルのメジアン  $V_{\min}$  とメジアン SNM の  $V_{THC}$  依存性を示す.  $V_{THC}$  が増加するに従い、メジアン  $V_{\min}$  は減少しメジアン SNM は増加する. これらの結果は妥当である. Fig. 3 に 1k SRAM セルのワースト  $V_{\min}$  とメジアン  $V_{\min}$ , さらに特徴的な 2 セル(Cell-A および Cell-B)の  $V_{\min}$  の  $V_{THC}$  依存性を示す. ワースト  $V_{\min}$  はメジアン  $V_{\min}$  とは  $V_{THC}$  に対する振る舞いが異なる. 特に Cell-B はメジアン  $V_{\min}$  とは反対の傾向を示す. 以上より、ワースト  $V_{\min}$  はメジアン  $V_{\min}$  やメジアン SNM とは異なる傾向を示すため、セルの安定性はワースト  $V_{\min}$  で評価しなければならないことがわかった. 【謝辞】本研究は METI および NEDO から LEAP に委託された研究の一環として実施された.

【文献】[1] A. J. Bhavnagarwala *et al.*, IEEE JSSC, p.658, 2001. [2] F. Tachibana *et al.*, JJAP, 44, p.2147, 2005. [3] A. Bhavnagarwala *et al.*, IEDM., p.675, 2005. [4] T. Hiramoto *et al.*, IEEE TED, 58, p.2249, 2011. [5] S. Jain *et al.*, ISSCC, p. 66, 2012. [6] A. Kumar *et al.*, Silicon Nano. Workshop, p. 31, 2013. [7] T. Mizutani *et al.*, JJAP, 53, 04EC18, 2014. [8] T. Mizutani *et al.*, to be presented in Silicon Nano. Workshop, 2014. [9] Y. Yamamoto *et al.*, VLSI Tech. Symp., p. 109, 2012. [10] Y. Yamamoto *et al.*, VLSI Tech. Symp., p. 212, 2013.

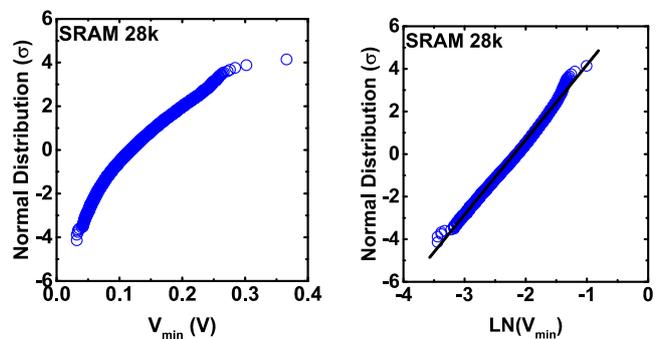


Fig.1. Cumulative distribution of  $V_{\min}$  of 28k SRAM cells. (a) normal and (b) log-normal distribution.

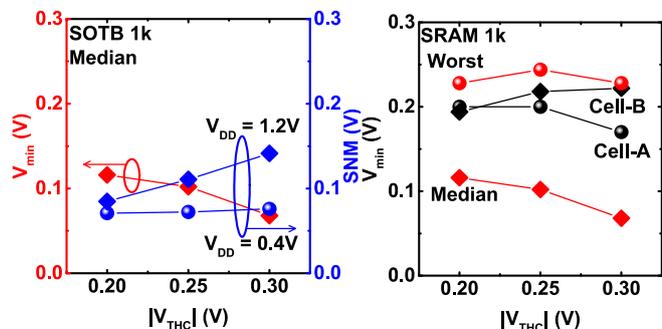


Fig.2.  $V_{THC}$  dependence of median  $V_{\min}$  and median SNM in 1k SRAM cells.

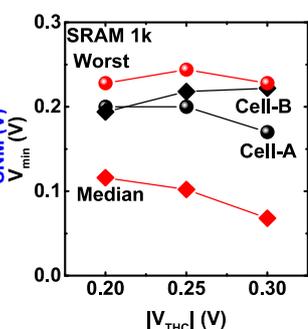


Fig.3.  $V_{THC}$  dependence of median and worst  $V_{\min}$ .