

aF キャパシタ DRAM でのノイズ-エネルギー変換の エネルギー障壁高さ依存性

Energy barrier height dependence of noise-energy conversion in an aF DRAM

NTT 物性科学基礎研究所 ○知田 健作, 藤原 聡, 西口 克彦

NTT Basic Research Laboratories ○Kensaku Chida, Akira Fujiwara, Katsuhiko Nishiguchi

E-mail: kensaku.chida.ry@hco.ntt.co.jp

【概要】 ナノデバイスでの量子効果や帯電効果を利用すると、効率的なエネルギー変換が実現できる可能性がある [1]。前講演会では aF キャパシタ DRAM に白色ノイズを印可すると電荷蓄積が起こり、ノイズがエネルギーに変換されることについて報告した[2]。本講演では、この現象のエネルギー障壁高さ依存性について調査し電荷蓄積の起源について考察した結果について報告する。

【実験手法】 本実験で用いたデバイスは Silicon on insulator 基板上に形成された DRAM 構造で、ビット線(BL)、ワード線(WL)、aF ストレージキャパシタ(SC)、検出器(Detector)から構成される (Fig. 1)[3]。電子は WL に形成されたバリアを越え SC-BL 間をランダムに運動し(Fig. 2)、SC 内電子数 N は SC 温度 T_{SC} を反映した範囲で増減する[4]。WL 電圧 V_G を変調すると WL に形成されているエネルギー障壁高さが変調され、電子の遷移レートが増減する。BL にピーク電圧 V_{PP} の白色ノイズ (CF 3.1) を印加しながら検出器電流 I_d を計測し、 N をモニタした。実験は全て室温(300 K)で行った。

【結果】 I_d は N のゆらぎを反映してステップ状の変化を示す[Fig. 3(a)]。 I_d を N に変換し N のヒストグラムを作成し[Fig. 3(b)]、その平均値 N_{avg} から SC 電位 $V_{SC}(=2N_{avg}E_c)$ を、分散 δN^2 からは $T_{SC}(=2\delta N^2 E_c/k)$ を求めた[4]。ここで、 $E_c(=e^2/2C \sim 8 \text{ meV})$ は帯電エネルギー、 e は素電荷、 C は SC 容量、 k はボルツマン定数である。 V_{SC} は V_{PP} を大きくするにつれて増大し、 T_{SC} は V_{PP} に依らず $\sim 300 \text{ K}$ であった[2]。様々な V_G 下で V_{SC} の V_{PP} 依存性を調べた結果、電荷蓄積量はエネルギー障壁高さに依存しないことが分かった (Fig. 4)。この結果は、電荷蓄積の駆動力がエネルギー障壁でのノイズの整流によって生み出される電位差であることを示す。また、この現象は伝導特性の非対称性と局所詳細釣り合いの仮定から普遍的に導かれる現象であるため、本研究で観測されたノイズのエネルギーへの変換は、材料を問わずナノデバイスで普遍的に利用できる。

【参考文献】 [1] G. Benenti et al., *Phys. Rep.* **694**, 1 (2017). [2] 知田健作 他 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 21p-A102-2 (2022). [3] K. Nishiguchi et al., *JJAP* **47**, 8305 (2008). [4] K. Nishiguchi, Y. Ono, and A. Fujiwara, *Nanotechnol.* **25**, 275201 (2014).

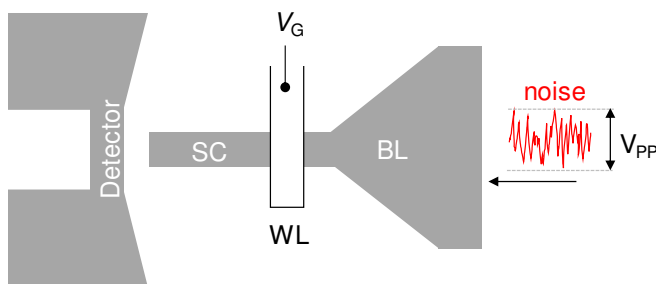


Fig. 1 Schematic illustration of the device.

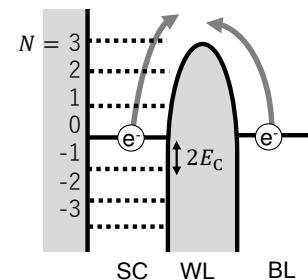


Fig. 2 Schematic potential landscape.

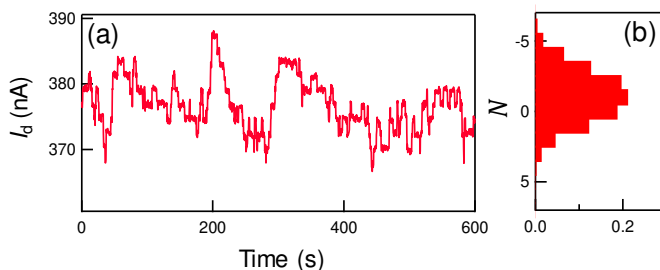


Fig. 3 (a) I_d as a function of time. (b) Histogram of N obtained from a data set including (a).

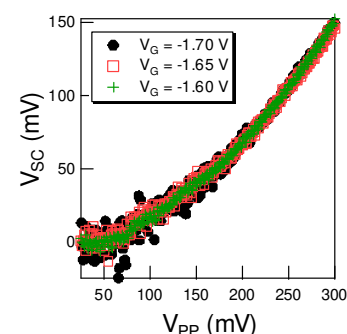


Fig. 4 V_{SC} as a function of V_{PP} of white noise with various V_G .