

急峻電流特性トランジスタを利用した確率共鳴による微小信号検出

Detecting small signals using stochastic resonance based on a nanowire transistor

NTT 物性研 ○西口克彦、 藤原聡

NTT Basic Research Labs., Katsuhiko Nishiguchi and Akira Fujiwara

E-mail: nishiguchi.katsuhiko@lab.ntt.co.jp

[背景] 確率共鳴はノイズを活用することで微小信号への応答が可能となる現象で、非線形性や双安定性を示すシステムを用いて実現できる[1]。今回、電流特性の非線形性が強く、また双安定特性も示すトランジスタを用いて、これらの特性が確率共鳴現象に与える影響を考察した。更に、双安定性特性の揺らぎによって、確率共鳴の効果が大きくなることが分かった。

[素子構造と動作原理] ノンドープ SOI 基板上的の Si 層に細線 FET のチャネルを作製し、poly-Si ゲート(LG および UG)を形成する(Fig. 1)。UG で LG 両端の FET チャネルを反転させることでソースとドレインを形成し、LG 電圧 V_{LG} で電流 I_D を制御する。ドレイン電圧 V_D を増加させるとインパクト・イオン化などによって I_D - V_{LG} 特性の S 値が 60mV/dec 以下になり、 $V_D=2.2V$ 以上ではヒステリシスが現れる(Fig. 2)[2]。確率共鳴の入力信号 S_{in} として FET の閾値よりも小さい矩形波をノイズ S_{noise} とともに LG に印可、 I_D を出力信号 S_{out} としてモニタし、 S_{in} と S_{out} の類似性を入出力信号相関比で評価する。

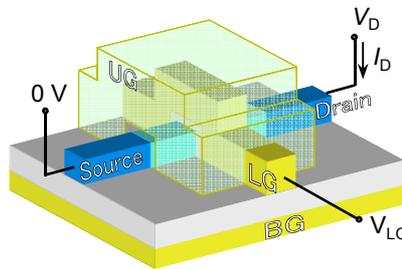
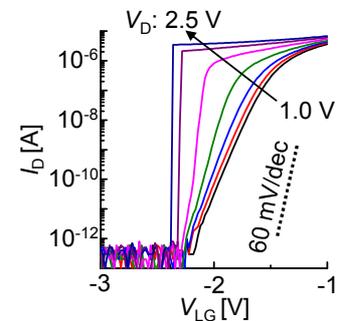
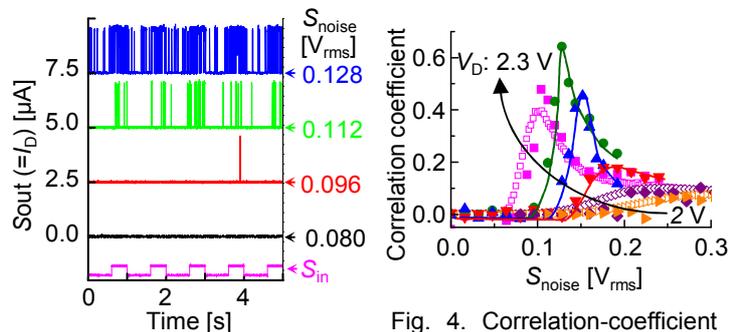


Fig. 1. Device structure of an FET with small subthreshold swing.

Fig. 2. I_D - V_{LG} characteristics at various V_D s.

[結果] S_{in} は FET の閾値より小さいため電流は流れないが、ノイズを印可することにより S_{in} に類似した S_{out} が得られる(Fig. 3)。この時、 S_{noise} を変化させると、入出力信号相関比は確率共鳴特有の釣鐘型の特性になることを確認した(Fig. 4)。また、 V_D の増加により S 値を減少させると、入出力信号相関比のピーク値が上昇しており、これは電流特性の非線形性が強いほど確率共鳴特性が改善することを示している。更に V_D を増加し電流特性にヒステリシスが現れると、入出力信号相関比が更に改善した。ヒステリシス特性は電流の双安定状態を表しているが、その効果だけでは観測された入出力信号相関比を説明することができず、ヒステリシス特性の揺らぎが重要であることを、シミュレーションによって確認した。このヒステリシス特性の揺らぎは、素子を並列接続した時の確率共鳴特性も改善することを、実験・シミュレーションにより確認した。これはヒステリシス特性の揺らぎが素子間で相関がないため、各々の素子に無相関ノイズを印可したことに相当し、所謂、アンサンブル系による tuning の必要ない確率共鳴 [3]と同じ効果が得られたものである。これらの特徴は FET 以外の系でも利用でき、確率共鳴の利用を促進するものと考えられ、ノイズに埋もれた微小信号を検出するセンサなどへの応用が期待できる。

Fig. 3. S_{in} - S_{out} characteristics at various S_{noise} s.Fig. 4. Correlation-coefficient characteristics when V_D is changed from 2 to 2.3 V.

- [1] L. Gammaitoni et al. Rev. Mod. Phys. 70 (1998) 223. [2] K. Nishiguchi et al. Appl. Phys. Express 5 (2012) 085002. [3] J. J. Collins et al. Nature 376 (2002) 236.