

RF 駆動による高速 FET センサ

Wide-bandwidth charge sensitivity with a radio-frequency field-effect transistor

NTT 物性研¹, Delft Univ. of Tech.² ○西口克彦¹, 山口浩司¹, 藤原聡¹, H. Zant², G. Steele²
 NTT Basic Research Labs.¹, Delft Univ. of Tech.² Katsuhiko Nishiguchi¹, Hiroshi Yamaguchi¹, Akira Fujiwara¹,
 Herre van der Zant², Gary Steele²
 E-mail: nishiguchi.katsuhiko@lab.ntt.co.jp

[背景] 微細トランジスタ(FET)は高感度な電荷センサとして利用でき[1]、我々は、数十 nm のチャンネルを持つ Si FET を用いて室温で単一電子を検出することに成功している(Fig. 1)[2]。しかし、微細 FET はチャンネルが小さいため抵抗が大きくなり、動作速度が数十 kHz 程度に限られていた。今回、我々はトランジスタに共振回路を接続し、高周波信号の反射特性をモニタすることで動作速度を 20 MHz まで改善することに成功した[3]。

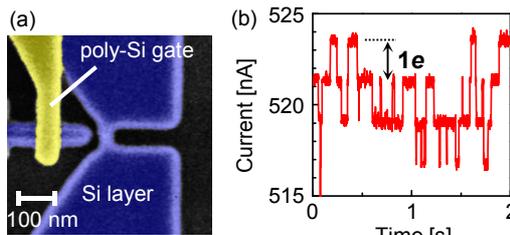


Fig. 1:(a) An SEM image of an FET. (b) Single-electron detection at room temperature.

[動作原理と結果] 単一電子を検出する FET はノンドーパ SOI 基板から作製する[2]。この FET にインダクタ L を接続すると FET の寄生容量 C_s とで LC 共振回路が構成される[Fig. 2(a)]。回路の共振周波数 $1/(2\pi LC_s)$ に近い周波数 $f_{carrier}$ の信号 $S_{carrier}$ を coupler を介して回路に印可すると、回路の反射特性に応じた反射信号 S_{ref} が得られる。この時、FET のゲート端子に周波数が $f_{gate}(=10 \text{ MHz})$ の信号 S_{gate} を印可すると、FET のチャンネル抵抗とともに回路の反射特性が変調される。その結果、 S_{ref} のスペクトラム特性には、 $S_{carrier}$ に起因する信号の両脇に S_{gate} に起因する 2 つのサイド・ピークが現れる[Fig. 2(b)]。今回、 S_{gate} には単一電子信号に相当するパワーを印可しており、これらサイド・ピークの出現は S_{gate} に印可された単一電子信号の検出を意味する。LC 共振回路は反射特性に応じて $S_{carrier}$ を

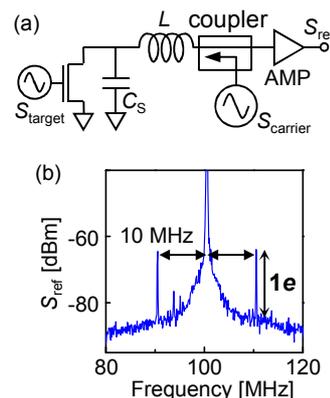


Fig. 2:(a) An equivalent circuit. (b) Frequency spectrum of S_{ref} .

一定期間蓄積することができるので、その範囲内で高速に S_{gate} を検出できる。また、同様の手法を用いる他の素子と比較し Si FET には数桁大きいパワーを印可することができるので、大きなサイド・ピーク信号が得られる。一方、サイド・ピークの周波数 $f_{carrier} \pm f_{gate}$ 付近では、通常の測定で問題となる低周波数領域での $1/f$ ノイズを実質的に除去できるため S/N 特性が改善する。結果として、高速に微小な信号を検出することが可能となり、20 MHz で感度 $\sim 10^{-4} \text{ e/Hz}^{0.5}$ という性能を室温で実現した。なお、 S_{ref} と $S_{carrier}$ をミキサに入力することで、 $f_{carrier} \pm f_{gate}$ に現れるサイド・ピークを元の周波数 f_{gate} に戻すことができ、任意の波形の S_{gate} を検出できる。これらの特徴により、室温で動作する高速・高感度なセンサとして幅広い利用が期待できる。

[謝辞] 本研究において有益なご助言を頂いた静岡大学・猪川洋教授に深く感謝いたします。本研究の一部は最先端・次世代研究開発支援プログラムの助成を受けて行われた。

[1] M. H. Devoret et al. Nature 406 (2000) 1039. [2] K. Nishiguchi et al. Jpn. J. Appl. Phys. 47 (2008) 8305. [3] K. Nishiguchi et al. Appl. Phys. Lett. 103 (2013) 143102.