

超伝導細線三端子素子のパルス電流応答シミュレーション

Simulation of pulse-current responses of a superconducting-nanowire three-terminal device

東理大¹, 横国大², 産総研³ °安川 直輝¹, 山梨裕希², 吉川信行², 西尾 太一郎¹, 馬渡 康徳³Tokyo Univ. of Science¹, Yokohama National Univ.², AIST³,°Naoki Yasukawa¹, Yuki Yamanashi², Nobuyuki Yoshikawa², Taichiro Nishio¹, and Yasunori Mawatari³

E-mail: 1224703@ed.tus.ac.jp

超高速かつ超低損失な超伝導単一磁束量子 (SFQ) 回路と高集積な半導体 (CMOS) 回路を組合せる、超高性能ハイブリッドシステムの実現が待望されている。そこで必要になる2種の回路のインターフェースとして、超伝導細線の超伝導-常伝導転移を利用する三端子素子である nTron[1]が MIT の研究グループにより提案された。我々は、その三端子動作の基礎的な理解を目的として、直流応答シミュレーション[2]やパルス電流をゲートに入力したときのパルス電流三端子動作に関するシミュレーション[3,4]を行い、報告してきた。今回は、SFQ 回路からのパルス波入力を想定し、パルス電流応答のシミュレーションを行ったので報告する。

シミュレーションの基礎となる支配方程式には、時間依存 Ginzburg-Landau (TDGL) 方程式と熱拡散方程式を用いて、有限要素法により数値解析シミュレーションを行った[2]。超伝導状態にある三端子素子にチャンネルバイアス電流 (I_{bias}) を印加し、ゲート電流 (I_g) を入力した時のチャンネル電圧 (V_{ch}) の応答を調べた。 I_g は一定のゲートバイアス電流に SFQ 回路からのパルス信号を模した矩形波状のパルス波を加えた電流である。

Fig. 1(a) は、 $I_{\text{bias}} = 75 \mu\text{A}$ としてゲートに量子化磁束ひとつ分程度のパルス波 (波高0.5 mV, 波幅~5 ps) を入力した時の三端子素子の超伝導状態 (青色) 及び常伝導状態 (赤色) の領域の時間変化である。パルス入力によってゲートから磁束が侵入し、チャンネルを跨ぐように常伝導領域が生じる。時間の経過とともに一旦は常伝導領域が拡大するが、その後領域は縮小し、50 ps程度で超伝導状態に復帰することを確認した。また Fig. 1(b) は、 V_{ch} の数値計算結果である。時刻 $t = 0 \text{ ps}$ でパルスが入力されたのち、チャンネル電圧が発生し、 $t = 18 \text{ ps}$ で最大 5.3 mV の電圧が生じた。そこから、30 ps程度かけてチャンネル電圧が減少し、最終的にゼロ電圧状態へ戻る。

本研究は、JSPS 科研費 JP20K05314 の助成及び JST 次世代研究者挑戦的研究プログラム JPMJSP2151 の支援を受けたものです。

[1] A. N. McCaughan and K. K. Berggren, *Nano Lett.* **14**, 5748 (2014).[2] N. Yasukawa et al., *Supercond. Sci. Technol.* **37**, 065013 (2024).

[3] 安川他、第 84 回応用物理学会秋季学術講演会 21p-B204-8 (2023).

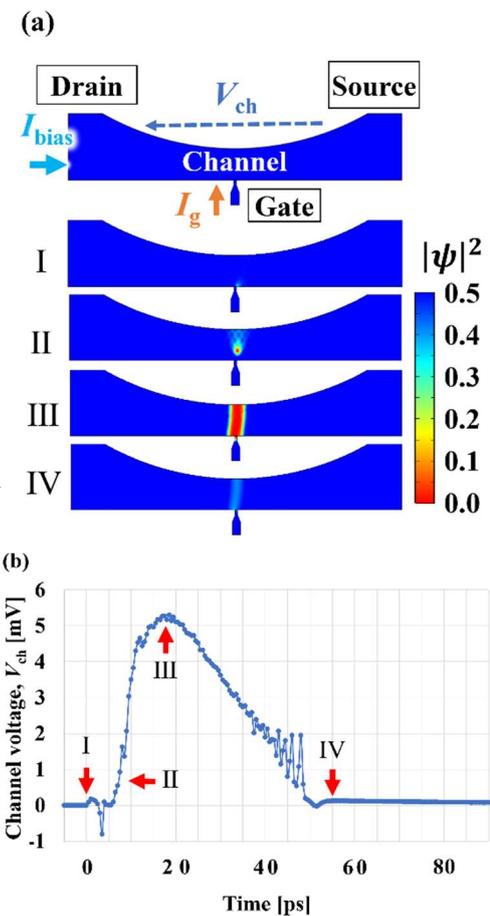
[4] N. Yasukawa et al., The 36th International Symposium on Superconductivity (ISS 2023) ED-3-4.

Fig. 1. (a) Evolution of the superconducting region (blue) and the normal region (red) in the nTron. (b) Channel voltage characteristics of the nTron.