

TDGL 方程式による超伝導ナノストリップ検出器のシミュレーション

Numerical Simulation of Superconducting Nanostrip Detectors

Based on the Time-Dependent Ginzburg-Landau (TDGL) Equations

産総研 ○馬渡 康德, 浅井 栄大, 柏谷 聡

AIST, ○Yasunori Mawatari, Hidehiro Asai, and Satoshi Kashiwaya

E-mail: y.mawatari@aist.go.jp

量子情報通信や質量分析などへの応用に向けて, 超伝導ナノストリップを用いる光子・分子検出器の研究開発が進展している. この検出器においては, 超伝導ストリップに臨界電流以下のバイアス電流を流しておき, 光子・分子の衝突により超伝導ナノストリップが局所的に常伝導転移して生じる電圧パルスがカウントされる[1]. 光子・分子の衝突により超伝導ストリップが常伝導転移する機構として, ホット・スポットのモデル, 渦糸と反渦糸の対が発生するモデル, および位相滑りのモデルなどが考えられてきた. 最近, 時間依存 Ginzburg-Landau (TDGL)方程式と熱拡散方程式に基づくシミュレーションにより, 超伝導ナノストリップにおける常伝導転移の過程が明らかになりつつある[2,3]. 本研究でも同様のシミュレーションを行い, 輸送電流を運ぶ超伝導ナノストリップに光子が衝突して常伝導転移する過程の詳細を明らかにするとともに, 光子エネルギー E_p , バイアス電流 I_b , およびストリップ幅 w などのパラメータが, 超伝導ストリップの常伝導転移過程にどのような影響を及ぼすか考察を行った.

本研究では光子検出器を想定し, 超伝導ストリップの幅は十分狭くてバイアス電流による自己磁場の効果は無視できると仮定した. この場合は, TDGL 方程式でベクトルポテンシャルをゼロとするゲージを選び, 電磁場の Maxwell 方程式とは分離して解くことができる[2]. こうしたシミュレーションの結果, 臨界電流以下のバイアス電流を安定に運ぶ初期状態から, 光子の衝突の後に次の(i), (ii), および(iii)の過程を経て超伝導ナノストリップは常伝導転移に至ることがわかった. この結果は, [2,3]の報告を支持する.

- (i) 光子の衝突により, 高温で超伝導電子密度が抑制されたホット・スポットが発生する.
- (ii) 渦糸と反渦糸の対が発生し, バイアス電流により駆動されてストリップのエッジへ流れる. この渦糸の発生と流れは断続的に起こり, やがて温度や超伝導電子密度の分布はストリップ幅にわたってほぼ一様になる. 以降は, 一次元的な位相滑りと同様の振舞が断続的に発生する.
- (iii) 渦糸の流れや位相滑りに伴う発熱により温度が上昇し, やがてストリップ幅にわたる帯状領域で温度が臨界温度を超えて常伝導状態となる. 同時に, 超伝導ストリップ両端の電圧も上昇していく.

本研究ではシャント抵抗の効果は無視してバイアス電流は常に一定としているが, 光子エネルギー E_p やバイアス電流値 I_b が小さい場合は(i),(ii)の過程の後に初期状態へ復帰して(iii)に至らない場合があり, さらに E_p や I_b が小さいと (i)の後に初期状態へ復帰する場合もある. 講演では, さらに E_p と I_b の他にストリップ幅 w も変化させたときの常伝導転移過程の振舞についても述べたい.

-
- [1] G. N. Gol'tsman *et al.*, Appl. Phys. Lett. **79**, 705 (2001).
 - [2] A. N. Zotova and D. Y. Vodolazov, Phys. Rev. B **85**, 024509 (2012).
 - [3] Y. Ota, K. Kobayashi, M. Machida, T. Koyama, and F. Nori, Physics Procedia **27**, 352 (2012).