

超伝導 3 次元実装技術で構成された ジョセフソンパラメトリック発振器の設計

Design of Josephson Parametric Oscillator with superconducting 3D-structure

日本電気¹, 産総研², ○宮田 明^{1,2}, 石原 邦彦^{1,2}, 西 教徳^{1,2}, 難波 兼二¹,

山口 彩未¹, 佐藤 哲朗^{1,2}, 森岡 あゆ香^{1,2}, 山本 剛^{1,2}, 菊池 克^{1,2}

NEC¹, AIST², ○Akira Miyata^{1,2}, Kunihiko Ishihara^{1,2}, Takanori Nishi^{1,2}, Kenji Nanba¹,

Ayami Yamaguchi¹, Tetsuro Satoh^{1,2}, Ayuka Morioka^{1,2}, Tsuyoshi Yamamoto^{1,2}, Katsumi Kikuchi^{1,2}

E-mail: a-miyata@nec.com

組合せ最適化問題の高速解法のためのブレークスルーとして「量子アニーリングマシン」が期待されている。量子アニーリングマシンに用いられる量子ビットには磁束量子ビットやノイズ耐性に優れたジョセフソンパラメトリック発振器 (JPO) などが提案されている[1-3]。本講演では、JPO のコヒーレンスと集積化を両立するために開発を進めている、超伝導 3 次元実装により構成した、電磁界結合で空間を介した配線を実現する JPO の設計について報告する。

図 1 に、我々が開発している超伝導 3 次元実装による JPO の等価回路と断面概略図を示す。量子チップ上に JPO の共振器導体と SQUID が、インターポーザ上に JPO が要する信号配線が各々配置される。量子チップとインターポーザは、フリップチップ接続により、Cu バンプを介して導電的に接続する。Cu バンプの表面に予め超伝導材料を成膜して接合することで、量子チップの Nb 配線層とインターポーザの Nb 配線層の間を、超伝導特性を維持して立体的に接続できる。

量子チップ上の SQUID は、片端を接地したインターポーザ上の微小配線に電流を流すことで、ポンプ磁場を印加する構造とした。ポンプ磁場を共振周波数の 2 倍に近い周波数で発振閾値以上の強度で印加すると、JPO は印加したマイクロ波の周波数の 1/2 の周波数で発振する[4]。発振信号を観測する結合容量は、量子チップとインターポーザの接合面の間に、平行平板状に構成した。

続いて、設計した JPO を実際に作製し、反射特性を評価した。図 2 に作製した JPO の共振周波数の測定結果を示す。作製した JPO の共振周波数は、ポンプ磁場に対して周期的に変化しており、SQUID の等価的なインダクタンスが SQUID 内を通る磁束の周期関数となることを確認できた。以上により、超伝導 3 次元実装で構成した、ポンプ磁場印加構造と結合容量を有する JPO の基本となる動作が実証できた。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16007) の結果得られたものです。

[1] S. Puri et al., Nature Commun. 8, 15785 (2017).

[2] P. Hauke et al., arXiv:1903.06559 [quant-ph]

[3] T. Yamaji et al., IEICE Trans. on Elect., to be published.

[4] Z. R. Lin et al., Nature Commun. 5, 4480 (2014).

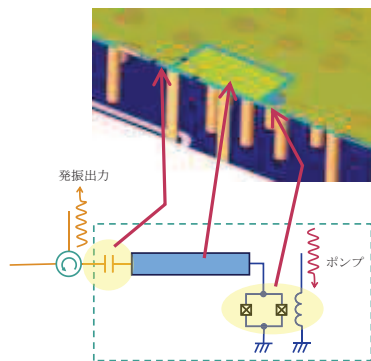


図 1. 超伝導 3 次元構造 JPO の構成

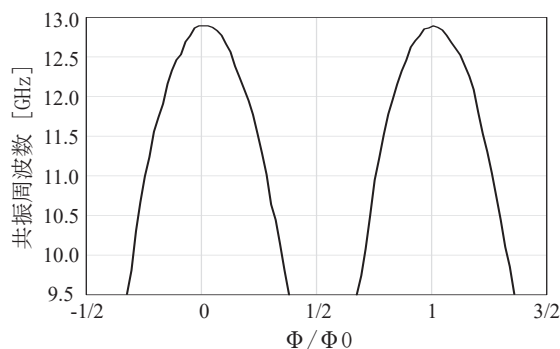


図 2. ポンプ磁場に対する共振周波数変化