

ジョセフソンパラメトリック増幅器用 20 GHz 帯ジョセフソンアレイ発振器の検討

Study of 20 GHz Josephson array oscillator for Josephson parametric amplifiers

情通機構¹, 国立天文台², 総研大³ ○川上 彰¹, 鞆澤佳徳^{2,3}, 村山洋佑²

NICT¹, NAOJ², SOKENDAI³, ○A. Kawakami¹, Y. Uzawa^{2,3}, Y. Murayama²

E-mail: kawakami@nict.go.jp

ジョセフソンパラメトリック増幅器(Josephson Parametric Amplifier: JPA)は極低雑音であり, 超伝導量子ビットにおける情報の読出しに必要な増幅器である[1]. 今後, 量子ビットの集積化において, 増幅器の広帯域化と共に発熱量の低減は重要な課題である. JPA に関連する発熱量の多くはポンプ電力に起因しており, 必要な同電力の低減と共に高効率・低雑音発振源によるポンプ波の生成は有効である. 従来から我々は SIS ミキサ増幅器用ミリ波帯ジョセフソンアレイ発振器(Josephson Array Oscillator: JAO)の検討を行っており, 既に増幅器動作を可能とする発振出力と高効率・低雑音特性を有する 150 GHz 帯 JAO を報告している[2]. そこで今回, JPA 用ポンプ波発振源としての可能性を検討する目的で, 20 GHz 帯 JAO の設計・試作を行ったので報告する.

我々が提案している JAO は, マイクロストリップ共振器と結合させたジョセフソン接合を基本要素とし, 必要な発振出力に応じて接合数を決定している. 今回, 発振周波数, 出力, 効率を各々 20 GHz, 10 nW, 10% とした. 図 1 に共振器結合型ジョセフソン接合の顕微鏡写真, 断面図, I-V 特性を示す. ジョセフソン接合には Cu 薄膜抵抗でシャントした Nb/AlOx/Nb-SIS 接合を使用しているが, シャント抵抗により形成される共振構造の共振周波数も発振周波数に合わせる必要がある. 図 1(d) はマイクロストリップ共振器の有無による I-V 特性の違いを示している. 共に 20 GHz に相当する約 41 μ V に各共振による構造が確認できる. また 82 μ V 付近の構造は, パラメトリック発振によるものと考えている.

試料冷却には GM 冷凍機を使用した. 図 2(a) に試作した JAO の顕微鏡写真を示す. 発振器は 11 個の共振器結合型ジョセフソン接合により構成され, 各共振器の開放端を集中定数電極で同電位にすることで, 共振状態を共有している. 発振出力は共振器開放端に接続したマイクロストリップ線路に伝達し, コプレーナ線路に変換した後, SMA コネクタを介してセミリジッドケーブルに接続, 同ケーブルにて 4K ステージから室温のパワーメータ(アンリツ社製 ML2438A)に伝達している. ここで各線路の特性インピーダンスは全て 50 Ω である. また冷却時の SMA コネクタ及びセミリジッドケーブルの伝送損失は約 -11.4 dB であった. 図 2(b) に I-V 特性と伝送損失を考慮した発振出力特性を示す. I-V 特性上 41 μ V 及びその 2 倍電圧付近に明瞭な電流ステップが観測でき, そのステップ内にバイアスした際, 発振出力が得られ, 最大 5.7 nW であった. バイアス電圧値及びパラメトリック発振動作から, 発振周波数は約 20 GHz と考えられる. 詳細は当日報告する.

【謝辞】本研究は JST ムーンショット型研究開発事業(JPMJMS2067)及び JSPS 科研費 JP22H04955 の助成を受けて実施された. 【参考文献】 [1]信学技報, vol. 120, no. 313, SCE2020-21, pp. 24-29 (2021), [2]第 85 回応用物理学学会秋季学術講演会 18p-B5-14 (2024).

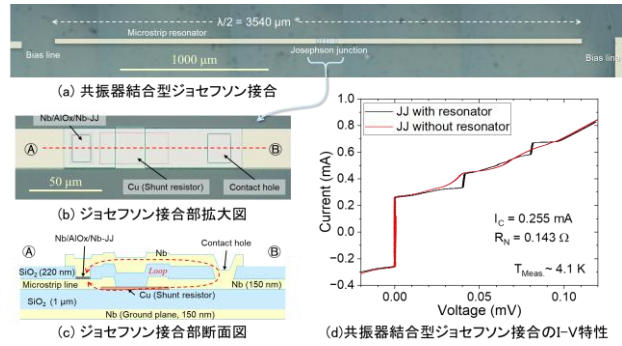
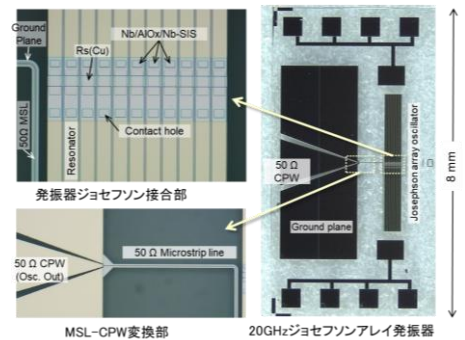
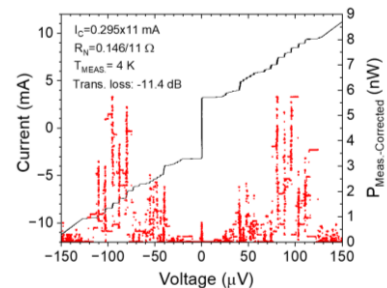


図 1 20GHz マイクロストリップ共振器と結合したジョセフソン接合



(a)ジョセフソンアレイ発振器の顕微鏡写真



(b) I-V 特性(黒線)および発振出力(赤点)

図2 試作した 20GHz 帯ジョセフソンアレイ発振器