

SIS ミキサ増幅器励起用 150 GHz 帯ジョセフソンアレイ発振器

150 GHz Josephson array oscillator for SIS-mixer-based amplifier

情通機構¹, 国立天文台², 総研大³, 産総研⁴ ○川上 彰¹, 村山洋佑², 鶴澤佳徳^{2,3,4},
増井 翔², 小嶋崇文^{2,3}, 宮地晃平², Shan Wenlei², 江崎翔平²

NICT¹, NAOJ², SOKENDAI³, AIST⁴ ○A. Kawakami¹, Y. Murayama², Y. Uzawa^{2,3}, K. Makise^{2,3,4},
S. Masui², T. Kojima^{2,3}, A. Miyachi², W. Shan², S. Ezaki²

E-mail: kawakami@nict.go.jp

超伝導 SIS ミキサを用いたマイクロ波増幅器は、超伝導量子ビットにおける情報の読出し、サブミリ波帯ヘテロダイン受信機用 IF 増幅器など、小型で低雑音・低消費電力の増幅器として期待されている。同増幅器は二つの SIS ミキサの周波数変換利得を利用した増幅器であるが、ミキサ動作に必要なミリ波帯局部発振源にジョセフソン発振器を導入することで、将来の集積化に有効な優れた低消費電力を実現できる。そこで我々はミリ波帯ジョセフソンアレイ発振器の検討を行っており、今回、同発振器の発振出力・線幅、雑音特性など性能評価を実施する目的で、既に国立天文台にて開発済みの 150 GHz 帯バランスド SIS ミキサの利用を想定した 150 GHz 帯ジョセフソンアレイ発振器を新たに設計・試作、その特性評価を行ったので報告する。

既に報告している 100 GHz 帯ジョセフソンアレイ発振器 [1]と比較して、RLCSJ 接合部での共振周波数を若干高く設定できることから、寄生インダクタンス L_S の低減が可能となり、これにより発振出力低減の一要因であったパラメトリック発振の抑圧が期待できる。また発振器を構成する Nb/AlOx/Nb-SIS 接合の電流密度を上げることで ($J_C=1.1 \rightarrow 2.5$ kA/cm²)、ジョセフソン接合数 11 個で目標の 1μW 程度の発振出力が期待できることが分かった。接合数の低減は、消費電力及び発振器寸法の低減につながる。

図 1 に、試作した 150 GHz 帯ジョセフソンアレイ発振器の顕微鏡写真を示す。発振器寸法は接合数低減の効果として 1×0.5 mm² 程度まで小型化出来た。図 2(a)に同発振器の I-V 特性を示す。発振器 I-V 特性上の 305 μV 付近に明確な電流ステップが観測できる。これは AC ジョセフソン効果による振動電流と発振器を構成する $\lambda/2$ マイクロストリップ共振器との結合により生じており、設計周波数 150 GHz とほぼ一致している。この電流ステップ内に定電流バイアスすることで、ジョセフソンアレイ発振器からの出力を得ることができる。発振出力は、特性インピーダンス 35 Ω の Nb マイクロストリップ線路(MSL)内に配置した高周波電流評価用検出器(以下検出器)を通過、同様の特性インピーダンスを有する銅(Cu)MSL 整合負荷に伝達、消費される。発振器バイアス on/off 時の検出器 I-V 特性を図 2(b)に示す。同特性から 305 μV の整数倍毎に明瞭なシャピロステップを観測できる。この特性を RLCSJ モデルと比較することで、検出器を通過する高周波電流を決定し、整合負荷インピーダンス (35 Ω) から発振出力を導出したところ、149 GHz において発振出力 0.44 μW が得られた。当日、ジョセフソンアレイ発振器の設計手法、特性評価など詳細を報告する。

【謝辞】本研究は JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2067)の支援を受けて実施された。本研究は JSPS 科研費 JP22H04955 の助成を受けている。

【参考文献】 [1]第 70 回応用物理学会春季学術講演会 17a-D221-3 (2023).

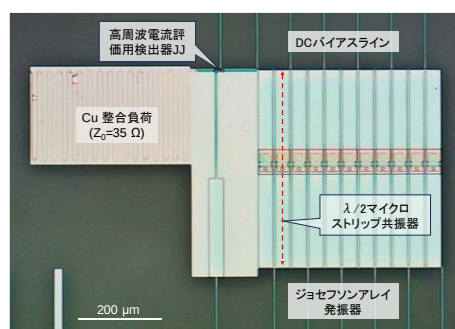
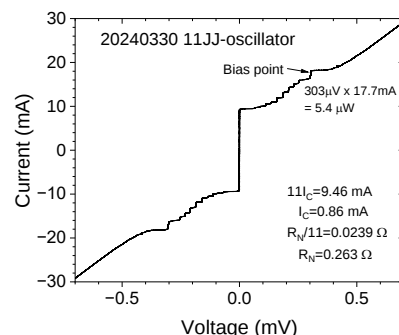
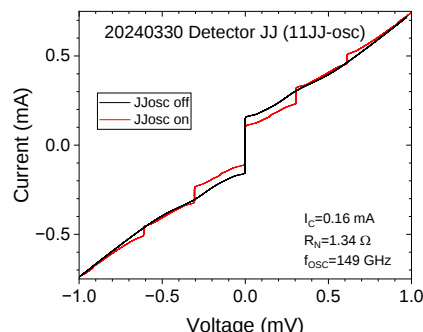


図 1 発振出力評価用 150GHz 帯ジョセフソンアレイ発振器の顕微鏡写真



(a) 発振器の I-V 特性



(b) 検出器で観測されたシャピロステップ

図 2 発振器および検出器の電流-電圧特性