

超高速テラヘルツ無線通信デバイスの実現に向けた 超伝導テラヘルツ光源の高出力化

情報通信技術

SATテクノロジー・ショーケース2024

■ はじめに

世界の情報通信トラフィックは指数関数的に年々増加しており、これに応えるためには通信システムの絶え間ない高速化が不可欠である。なかでも次世代の移動通信システム「Beyond 5G」の基盤として特に注目されているのが、0.3 THzから3 THzの周波数範囲、いわゆるテラヘルツ帯である。テラヘルツ帯は、電波と光の中間の周波数帯域であり、エレクトロニクスとフォトニクスがリーチできる周波数レンジの間に位置している。そのため、この帯域で動作する高品質な発信器や受信器を、半導体をベースとした現行のプロセス技術だけで製造することは困難である。こうした背景から、新しい動作原理に基づいたテラヘルツ信号処理デバイスの開発が強く求められている。

本研究では、ビスマス系銅酸化物高温超伝導体の一種である $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) を用いたテラヘルツ波発振に着目する。 Bi2212 は液体窒素温度での超伝導転移が可能な比較的新しい超伝導体であり、固有ジョセフソン接合と呼ばれる超伝導層と絶縁層が交互に積層した結晶構造をもつ。固有ジョセフソン接合はその接合方向に直流電圧を印加すると超伝導秩序パラメータ同士の位相干渉によって交流の超伝導電流が励振されるという性質をもっており、これは交流ジョセフソン効果と呼ばれている。交流ジョセフソン効果で引き起こされる交流電流の周波数は接合にかかる電圧の大きさに比例することが知られており、その典型的な発振周波数はちょうど1 THz前後である。このように、超伝導材料固有の特性を利用することで周波数可変なテラヘルツ信号発信器を実装することが可能であり、その実現に向けた研究が精力的に進められている(図1)。

■ 活動内容

超伝導テラヘルツ光源の放射強度に関する最高記録は610 μW である。本研究では、通信デバイスとしての実用の幅が広がる1 mW 級放射の実現を目指す。そのために、① 動作原理の公理的定式化、② 高速な計算速度と高いモデリングの柔軟性を兼ね備えたシミュレーション手法の確立、③ シミュレーションを通して確認された最適設計の実装という「理論、シミュレーション、実装」の3ステップでの研究を計画している。今回の発表では理論に関する成果を省略し、シミュレーションに関する研究で得られた結果と現在進めている実装に関する進捗を報告する予定である。以下にその概要を示す。1, 2はシミュレーションに関する成果、3は実験に関する報告である。

1. 超伝導テラヘルツ光源の非線形電気回路モデル化

本デバイスの設計を困難なものとしている要因として、デバイス抵抗の温度に対する非線形性と、超伝導電流の電圧に対する非線形性という2つの非線形性がある。こうした非線形性の影響を正しく評価するためには適切なモデル下における数値計算が不可欠である。ここでは広く使われている電気回路シミュレータ「LTSpice」を用いた非線形電気回路シミュレーションの手法とその成果について解説し、デバイスの高周波損失がデバイスの直流特性に無視できない程度の影響を与えていることを示す。

2. 超伝導テラヘルツ光源の3次元FDTDモデル化

本デバイスは超伝導体共振器内部に励起される電磁波の共振現象によってその放射強度を高めている。しかしながら、そのメカニズムをシミュレーション上で再現し、デバイス設計に役立てた例は少ない。ここでは、市販の3次元FDTDシミュレータである「CST studio suite」を用いた数値計算手法とその成果について解説し、シミュレーションを通して確認されたデバイスの最適設計が従来構造に比べて最大700倍の放射強度増強を実現するという結果を示す。

3. 超伝導テラヘルツ光源の設計および実装

2. において得られたデバイスの最適設計に対し、それを実装する手法の提案と現在得られている進捗について報告する。

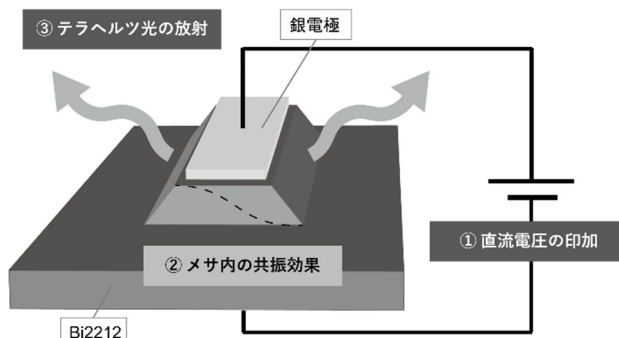


図1：超伝導テラヘルツ光源の模式図

代表発表者 **小林 亮太(こばやし りょうた)**
 所属 **京都大学大学院 工学研究科 電子工学専攻 米澤研究室**
 問合せ先 **〒615-8510 京都市西京区京都大学桂 A クラスターA1 棟 309 号室
 TEL:075-383-2271 FAX:075-383-2270
 Kobayashi.ryota.86a@st.kyoto-u.ac.jp**

■キーワード: (1)テラヘルツ波
 (2)ジョセフソン接合
 (3)銅酸化物高温超伝導体