

高温超伝導テラヘルツ波検出デバイス

東北大学・電気通信研究所・助教授・中島健介

テラヘルツ (THz) 帯のスペクトロスコピー技術は新たな周波数資源の開拓のために非常に重要である。一方、マイクロ波帯でよく使われていたヘテロダインミキシング技術は周波数の上昇に伴い変換効率が急激に減少するため、THz帯スペクトロスコピーへの応用は難しい。また、回折や干渉などの光学技術は複雑な操作や長波長による回折損失の増加が問題となる。そのため、テラヘルツ帯でのスペクトロスコピーの開発についてはまだ数多くの課題が残されている。超伝導弱接合における交流ジョセフソン効果に基づくスペクトロスコピー技術は八十年代に提案され、その後幾つか実験例が報告された。最近では高温超伝導ジョセフソン接合により約 450GHz までの実証報告例がある。この技術は周波数掃引が接合の電圧変化により単純に実現され、短時間で広い帯域の連続測定が可能である。また、ジョセフソン接合は高感度（雑音等価パワーが約 $10^{-14} \text{W/Hz}^{1/2}$ である）、大ダイナミックレンジ（約 10^5 ）という特長を有している。こういったことから、スペクトロスコピーの応用に対して非常に有望であると考えられる。高温ジョセフソン接合を用いたスペクトロスコピーは低温超伝導の接合に比べより広い帯域と高い動作温度などが期待できる。本研究では、高温超伝導ジョセフソン接合を用いた簡便なテラヘルツ帯における高速スペクトロスコピーの開発の基盤技術となる高温超伝導 YBCO 粒界型ジョセフソン接合のテラヘルツまで応答など基礎特性を明らかにすることを目的とした。

本研究では、低損失の Si バイクリスタル基板上に YBCO 粒界型ジョセフソン接合を作製し、その THz 帯まで電磁波に対する応答特性などを詳細に調べた。最適な基板材質の選択や接合特性の改善などにより、YBCO 接合の直接応答周波数としてこれまで最高の 2.525THz の電磁波に対する明瞭なシャピロステップを観測した。また、図 1 に示すように接合の $I_c R_N$ 積が $225 \mu\text{V}$ になる高温 (70K) でも 2.525THz に応答することを確認した。さらに、これら接合の外部磁界や電磁波電界の偏向に対して応答の影響、ハーモニックミキシング特性なども調べ、微弱な磁界を印加することによってテラヘルツ信号の応答を増大できることが見出され、2.525THz までの高次ハーモニックミキシングも実証した。それらの結果により、高温超伝導粒界型ジョセフソン接合は高温、広帯域で動作する簡便なスペクトロスコピーとして有望であることを示した。また、場合によって半導体ポロメータとの組み合わせにより複合計測システムの構成も考えられる。今後は、実用化に向けてシステムの最適化や接合特性の改善などを進めて行く予定である。

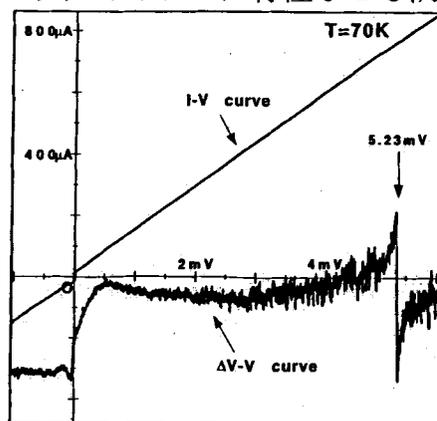


Fig. 1 I-V and ΔV -V curves at $f=2.525\text{THz}$ and $T=70\text{K}$. The $I_c R_N$ product was $225 \mu\text{V}$.