

高温超伝導体を用いた新しいテラヘルツ光源における温度分布の可視化と制御に成功 — 小型コヒーレントテラヘルツ光源の実現につながる重要な手がかり —

京都大学大学院工学研究科 電子工学専攻 集機能工学講座
日本学術振興会特別研究員 S P D 辻本 学
准教授 掛谷 一弘

【ポイント】

- 高温超伝導小型コヒーレントテラヘルツ光源における温度分布の可視化に成功
- 発熱による過剰な温度上昇を抑制することで高出力なテラヘルツ発振を実証
- 数値シミュレーション解析により効率的な冷却方法を提案

京都大学大学院工学研究科電子工学専攻の辻本学氏（日本学術振興会特別研究員 S P D）と掛谷一弘准教授の研究グループは、高温超伝導体を用いたテラヘルツ光源における温度分布の可視化と制御に成功し、温度分布とテラヘルツ発振強度の関係をはじめて明らかにしました。この成果によって、高出力連続テラヘルツ光源を設計することが可能となります。この研究は日本学術振興会の科学研究費補助金（基盤研究（B）、若手研究（A）、若手研究（B）、特別研究員奨励費）の支援で行われました。研究成果をまとめた論文はアメリカ物理学会 Physical Review Applied 誌にて 2014 年 10 月 29 日に公開されます。11 月 30 日から京都大学で開催される国際会議「9th International Symposium on Intrinsic Josephson Effects and THz Plasma Oscillations in High-Tc Superconductors (THz-Plasma 2014)」では本研究結果について口頭発表を行います。

【研究成果の概要】

テラヘルツ帯(テラは 10 の 12 乗を指す接頭語)の電磁波を用いたテラヘルツ技術は、医療診断、セキュリティー検査、タンパク質の構造解析、高速無線通信、宇宙観測など、幅広い分野への応用が期待されています。テラヘルツ波の最大の特徴は、電波のような高い透過性と光のように優れた空間分解能をあわせ持つことです。このテラヘルツ波の連続光源の候補として、高温超伝導体のナノ構造を利用した超伝導テラヘルツ光源（図 1）が 2007 年に発明されました。それ以降光源の実用化をめざし、これまで精力的な研究が世界中で行われてきましたが、莫大なジュール熱による温度上昇が超伝導状態を破壊し、結果として光源の出力が低下してしまうという技術的問題が指摘されていました。

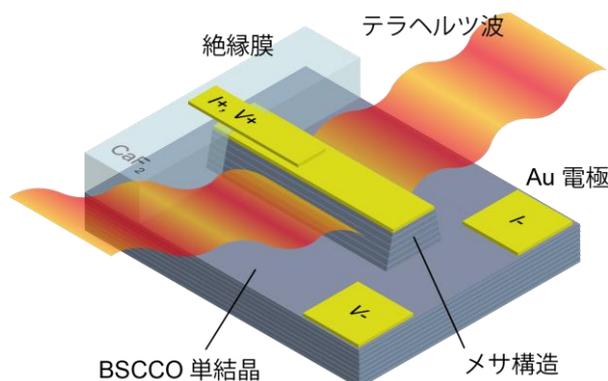


図 1：超伝導テラヘルツ光源

本研究グループは今回、極低温環境でも有効な温度イメージング装置を構築し、微小サイズの光源表面における特徴的な温度分布の可視化に成功しました。そして温度分布とテラヘルツ発振強度の比較ができる特殊な構造を有した光源を用いて実験を行い、過剰な温度上昇を抑制することでテラヘルツ発振の高出力化を実証しました。さらに、得られた結果を数値シミュレーション解析することで、高出力テラヘルツ光源の実現につながる効率的な冷却方法を提案しました。

【研究成果の意義】

本研究により得られた知見は、超伝導テラヘルツ光源の高出力化・高機能化につながる直接的な手がかりであるという点で国際的にも高く評価されています。また、今回提案された効率的な冷却方法は、超伝導テラヘルツ光源のみならず、あらゆる電子デバイスが直面する発熱の問題にも適用できるという意味で画期的です。信頼できるテラヘルツ光源の登場は社会利便性の向上だけでなく、さまざまな研究分野の同時発展を促進する可能性を有しているため、本研究成果は非常に重要であるといえます。複雑かつ高精度な調整を必要とする分子線エピタキシー技術を用いて作製される従来のテラヘルツ光源と異なり、超伝導テラヘルツ光源は物質本来の結晶構造を基盤としたシンプルな構造のため耐久性・量産性に強みを持ちます。また、動作温度は市販の冷凍機で容易に到達できる温度のため、ポータブル応用も提案されています。単色性に優れているので、特定の化学物質などの同定にも用いることができます。原理的にはレーザーのような高いコヒーレンスを有しているため、高速無線通信への応用も期待できます。超伝導テラヘルツ光源が実用化されれば、これまで半導体素子を中心に発展してきたテラヘルツ技術に革命的な進歩をもたらし、我が国の科学技術の発展にも大きく貢献することが予想されます。

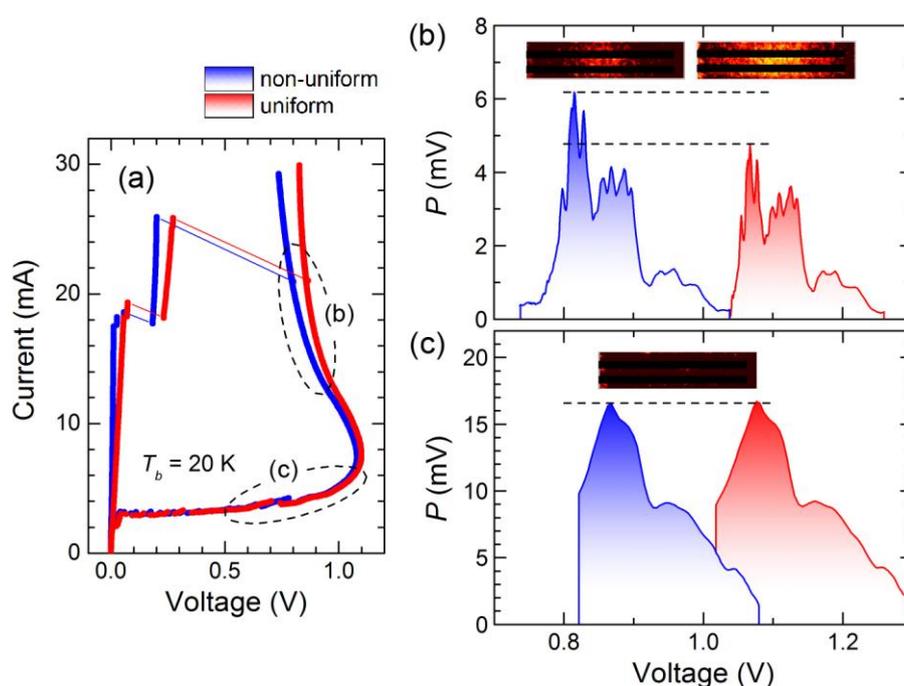


図 2 : (a) 超伝導テラヘルツ光源の電流電圧特性。(b) 高電流域、(c) 低電流域における発振強度の電圧依存性。挿入図は可視化した温度分布。過剰な温度上昇を抑制することで発振強度が増大していることがわかる。