

## 集積機能工学講座

<http://sk.kuee.kyoto-u.ac.jp>

### 高温超伝導体固有ジョセフソン接合からのテラヘルツ発振

電波と光の中間の周波数に位置するテラヘルツ (THz) 領域はこれまでにコヒーレントな光源が得られていませんでした。電子の振動を利用するにも半導体の易動度の上限から周波数が制約され、量子効果を利用する場合にもそのエネルギーは 10 ケルビン以下の温度に相当するので、極低温が必要であるからと考えられてきました。超伝導体のトンネル接合であるジョセフソン接合では、交流ジョセフソン効果により直流電圧を交流電流に変換することが可能であるだけでなく、超伝導ギャップにより集団励起状態(プラズマモード)が保護されるので、散逸の少ないコヒーレントな電磁波が励起されることが期待されてきました。特に、高温超伝導体の典型物質の一つである Bi2212 では、結晶構造に由来するジョセフソン接合(固有ジョセフソン接合)により 100 GHz のプラズマ周波数と高い超伝導転移温度に由来する 50 meV に及ぶ超伝導ギャップのために、プラズマモードは安定に存在し、テラヘルツ領域に達する強力な電磁波が得られることが予言されてきました。様々な試みがなされた結果、2007 年に高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$  (Bi2212) からの結晶外への THz 波が初めて観測されました。THz 発振のメカニズムは、交流ジョセフソン効果により励起された電磁波が Bi2212 単結晶からなる空洞共振器の共振条件に一致した時、積層するジョセフソン接合で同期した振動が起こり、0.3-1 THz の単色・コヒーレントな電磁波が発振されると解釈されています。

これまでの研究で、発振には積層するジョセフソン接合の位相が同期して振動することが必要であると指摘されていますが、交流ジョセフソン効果と空洞共振条件が満たされたときに常に発振するわけではなく、接合間の同期をもたらす条件は明らかになっていませんでした。そこで我々は、Bi2212THz 素子にバイアス電流を加える電極が素子内部で発生するジュール熱の逃げ道にもなっていることに注目し、電極の厚さを 30 – 400 nm の範囲で変えた素子を作成し、THz 発振の有無と発振条件を比較しました。図は電極厚さが 70 nm の素子から発振された電磁波の FT-IR 分光スペクトルです。50K において、400 GHz の中心周波数で装置の分解能以下の線幅を持つ単一のスペクトルが得られました。また、電極の厚さを厚くしていくと、発振が検出される温度範囲は狭くなり、400nm の厚さの電極を持つ素子では発振を検出することができませんでした。このことは、発振をもたらす同期現象にとって、薄い電極を持つ素子で実現されている温度の不均一な状態が必要であることを示しています。このように、超伝導体において温度の不均一性を積極的に活用するデバイスはこれまでになく、非常に興味深い研究対象であるといえます。

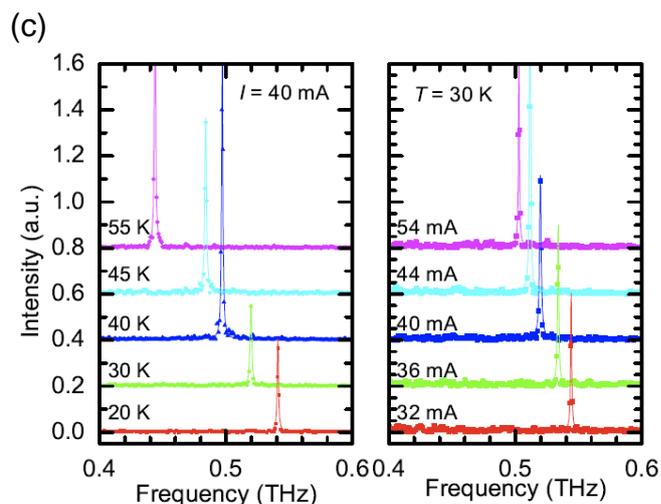
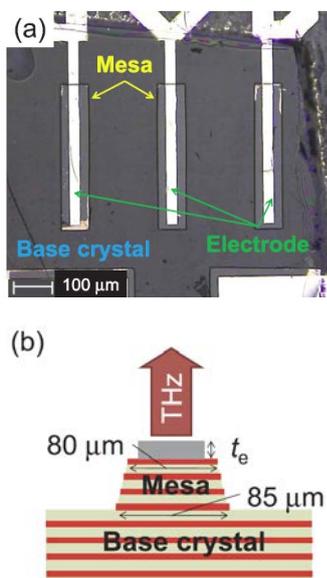


図: (a) 高温超伝導 THz 素子の写真。3 つ見える個々のメサに電圧を加えて発振させる。(b)素子の断面概念図。(c)発振スペクトルの温度依存性およびバイアス電流依存性。