筑波大学 University of Tsukuba　筑波大学 超伝導量子デバイス工学研究室 Superconductor & Quantum Device Engineering Lab University of Tsukuba　Argonne NATIONAL LABORATORY

高温超伝導体固有ジョセフソン接合系の物質科学
―超伝導コヒーレントテラヘルツ量子光源の創成―

辻本 学
筑波大学数理物質系
tsujimoto@ims.tsukuba.ac.jp

テラヘルツ（THz = 10^{12} Hz）帯の電磁波の総称であるテラヘルツ波を使った次世代技術は、化学分析、セキュリティ、医療診断、創薬、高速無線通信、環境計測、宇宙観測など、幅広い学術分野と産業分野での応用が期待されている。テラヘルツ波の高い透過性と空中で自由に取り回せる性質は、セキュリティ検査、建造物基礎の欠陥検査、古美術品鑑定などの非破壊かつ非侵襲なイメージング応用に適している。テラヘルツ無線通信では大容量のデータを短時間で送受信できるため、映像中継の非圧縮伝送、災害復旧の暫定的ネットワークインフラ、遠隔医療など、社会的ニーズの高い技術への応用が可能である。また、ミリ波と遠赤外線の中間に位置づけられるテラヘルツ帯には、奇しくも豊かな物理現象が存在することが知られている（図 1）。これら個々の現象を深く理解し、その応用を探索することは、現代の物理学者に課せられた重大なミッションである。そのためには、テラヘルツ技術の開拓が欠かせない。

著者が主宰する超伝導量子デバイス工学研究室では、高温超伝導体の単結晶に内在するナノ構造を使った新しいテラヘルツ量子光源素子の創成に取り組んでいる。素子の材料となるビスマス系銅酸化物高温超伝導体の結晶構造を図 2 に示す。この物質は、結晶そのものが超伝導体－絶縁体－超伝導体の層状構造を形成している。この構造に直流電圧を印加すると、局在した超伝導波動関数の量子干渉効果によって結晶全体に渡るマクロな位相同期が起こり、結晶の外部にコヒーレントな連続テラヘルツ波が放射される。この現象の詳しい物理機構は未だ明らかにされていない。本講演では、このトピックに関する研究背景を概観した後、著者が 2017 年から 2 年間 Argonne National Laboratory に長期留学して得られた成果や、最新の研究動向に触れた後、今後の展望について解説する。

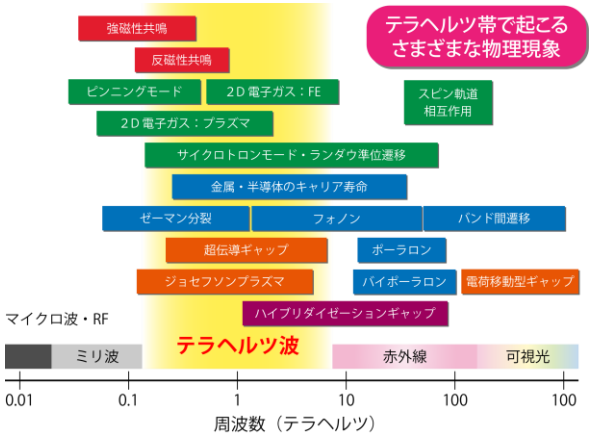

図 1：テラヘルツ帯で起こるさまざまな物理現象

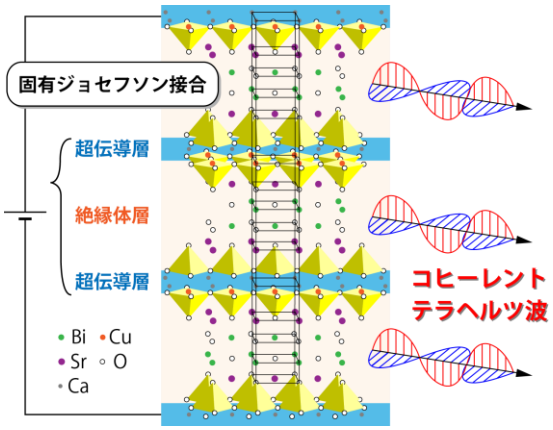

図 2：高温超伝導体の結晶構造

謝辞　本研究は、東北大学の立木昌教授、筑波大学の門脇和男教授、南英俊博士、柏木隆成博士、京都大学の掛谷一弘准教授、弘前大学の渡辺孝夫教授、デルフト工科大の山本卓博士、産業技術総合研究所の川畑史郎博士、浅井栄大博士、テュービンゲン大学の Kleiner 教授、アルゴンヌ国立研究所の Kwok 博士、Welp 博士、セントラルフロリダ大学の Klemm 教授との共同研究により行われました。ここに感謝いたします。