

# 超伝導光-テラヘルツ波変換素子の 開発とその室内通信応用

## 通信・放送機構による 「創造的情報通信技術開発推進制度(TAO)」

特集 プロジェクト研究

萩行正 憲\*

Development of Superconductive Light-Terahertz Wave Transforming  
Devices and Their Application to Local Area Network

**Key Words :** High-T<sub>c</sub> Superconductor, Femtosecond Laser, Terahertz Radiation,  
LAN, Superconducting Optoelectronics

### 1. はじめに

筆者と郵政省通信総合研究所のグループは平成7年6月にバイアス電流を流した高温超伝導薄膜に超短光パルスを照射すると幅0.45ピコ秒(1ピコ秒は $10^{-12}$ 秒)の電磁波パルス(テラヘルツ波と呼ばれる)が空中に放射される新現象を世界で初めて見いだした。この新現象について本誌平成8年新春号の夢はバラ色欄に「超伝導オプトエレクトロニクス—超伝導エレクトロニクスとオプトエレクトロニクスの融合—」と題して小文を書かせていただいてから早2年が過ぎた。現象の発見からまだ3年半であるが、短期間に発見当初には想像もできなかった程の展開を見せている。高温超伝導体の超高速光応答とテラヘルツ波放射に関連した現象を中心に筆者らは新分野「超伝導エレクトロニクス」あるいは「超伝導フォトニクス」を提唱しているが、この分野は日々に成長しており、またその魅力的な内容から各方面から研究委託や助成金をいただくようになってきた。ここで述べる郵政省関連の「TAO」からの研究委

託もそうであるが、本誌に当センターの斗内助教授が書かれている「戦略基礎」並びに「さきがけ研究21」でもその一端の研究を推進している。

### 2. プロジェクトの内容

本プロジェクトが発足する元になった超短光パルス励起による高温超伝導体からのテラヘルツ電磁波放射<sup>1,2)</sup>の概要については、本誌の斗内助教授の文を見ていただくとして、ここではプロジェクトの内容について述べる。研究チームのメンバーは総括責任者が萩行正、研究分担者が、斗内助教授と森川治非常勤研究員である。研究期間は平成9年度から平成13年度であり、前半の3年間は主として光-テラヘルツ波放射素子の高性能化、後半の2年間は主としてその室内テラヘルツ通信システムへの応用研究を行う。

情報通信の高度化に伴い通信速度への要求は高まる一方である。西暦2010年までには各家庭にまで光ファイバーがひかれ、送られる画像情報も格段に増加し、立体テレビでは数十ギガビット/秒にまで達すると言われている。郵政省通信総合研究所の展望では、各家庭までは光ファイバー、家庭内では電波による無線通信を使用する案、即ち、光電波融合通信の構想が示されている。これほどの高速の無線通信にはテラヘルツ帯の電波が必要となる。これにこたえて、光-電波(テラヘルツ波)変換素子を開発し、光電波融合通信システムのひとつのプロトタイプを示すのが本プロジェクトの目的である。また、テラ



\* Masanori HANGYO  
1953年2月21日生  
1981年京都大学大学院理学研究科物理  
理学第一専攻修了  
現在、大阪大学超伝導エレクトロニ  
クス研究センター、教授、理学博士、  
超伝導エレクトロニクス、光物性  
TEL 06-6879-7980  
FAX 06-6879-7984  
E-Mail hangyo@rcsuper.osaka-  
u.ac.jp

ヘルツ帯で用いられる材料の評価技術(テラヘルツ帯の屈折率, 吸収係数など)の開発も同時に行う。

### 3. 現在までに得られている結果

#### 3.1 放射強度の増大

無線通信応用としてはできるだけハイパワーが欲しいわけであるが, テラヘルツ帯で大きな出力を得るのはなかなか難しい。発見当初の出力は10nWオーダーであったが, アンテナ構造をダイポール型からより効率の高いポウタイ構造に変え, MgO基板の裏側にテラヘルツ波の全反射を防ぎ集光性を向上させるための半球レンズを付加するなどした結果, 図1に示されるように150mAのバイアス電流を流し, 平均出力30mWのモード同期チタンサファイアレーザで励起した場合に0.5 $\mu$ Wを得ている<sup>3)</sup>。また, 高温超伝導体が層状の物質であり, 電気的な異方性が強いことを利用して, 従来の超伝導CuO<sub>2</sub>層が基板に平行な膜にかえて垂直な膜を使用することにより, 同一条件では約10倍の出力が得られることも確認した<sup>3)</sup>

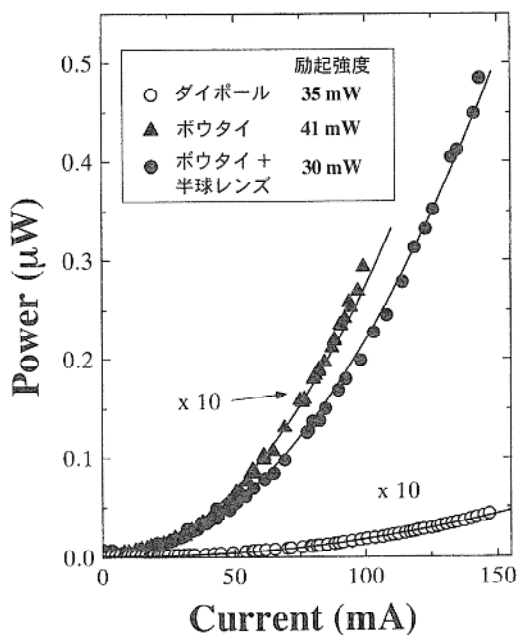


図1 アンテナ構造の改善とMgO半球レンズ付加による放射強度の増大

#### 3.2 連続テラヘルツ波の放射

これまでのテラヘルツ波放射は高価なモード同期チタンサファイアレーザからの時間幅80フェムト秒のパルス光で励起していたが, 通信など一般への

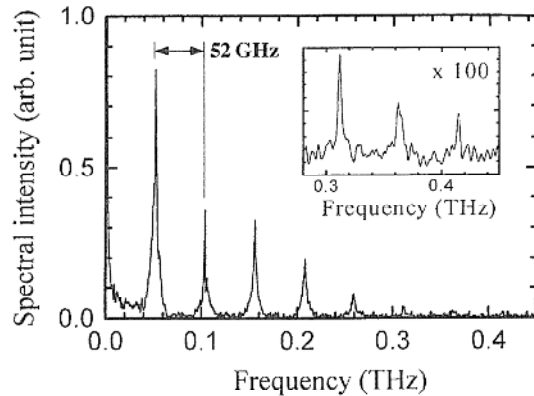


図2 マルチモードレーザダイオード励起によるCWサブテラヘルツ波の放射

応用のためには半導体レーザでも励起できることが望ましい。テラヘルツ波放射のための励起用光源として光強度が時間的に激しく揺らいでいる必要がある。実は連続発振のマルチモードレーザダイオードは縦モード間のビートのために1ピコ秒程度の特異時間で激しく揺らいでいる。そこでまず半導体光伝導スイッチにマルチモードレーザダイオードの光を照射してみた結果が図2である<sup>4)</sup>。縦モード間の周波数間隔に相当する52ギガヘルツの間隔で0.5テラヘルツまでの放射が得られている。現在, この手法を高温超伝導放射素子にも適用する計画を進めている。

#### 3.3 超伝導電流の可視化

超伝導体中では電流は試料の端を流れる傾向があり, また, 磁場に応答して特異な電流分布ができた

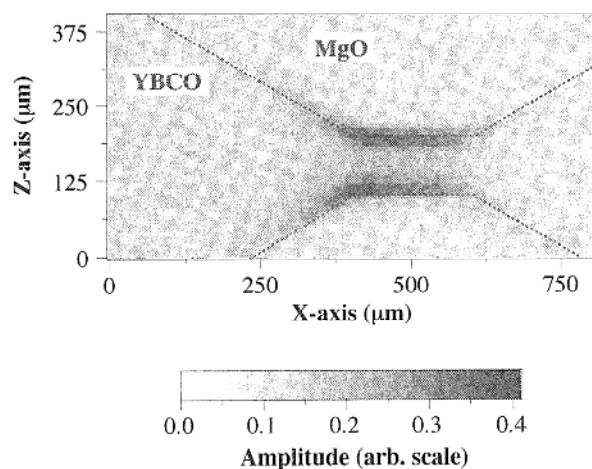


図3 テラヘルツ電磁波放射で見た高温超伝導薄膜中の電流分布

りする。この特性は超伝導材料の善し悪しにも大きな影響を及ぼす。超伝導体中の電流分布については、従来は磁気光学効果やホール効果を利用して磁場を測定し、それから電流分布を逆算する事が行われてきた。これに対し、我々は先に述べたテラヘルツ波放射現象を利用して直接電流分布を測定する新しい手法を開発した。これは、レーザー光を絞って試料表面上を二次元的に捜査し放射されるテラヘルツ波の振幅を測定するものである。図3はこのようにして測定したMgO基板上の高温超伝導体YBCO薄膜素子中の電流分布であるが、電流がブリッジ部の端を流れている様子がよくわかる<sup>5)</sup>。この手法は完全に非接触であり、他のプローブとの共存が可能であることから超伝導材料のユニークな評価方法として役立つと考えられる。

ま と め

通信・放送機構の委託研究「超伝導光-テラヘルツ波変換素子の開発とその室内通信応用」の概要と得られている結果について記した。高温超伝導体の超高速光応答とテラヘルツ電磁波放射はいろいろな展開の可能性を持っているが、現時点での展望を図4にまとめた。この研究は超伝導エレクトロニクス研究センターを中心に国内外の研究グループと共同で行っているが、平成2年に設立された超伝導エレクトロニクス研究センターは平成12年3月で10年の時限満了を迎える。現在、時限後の新構想につ

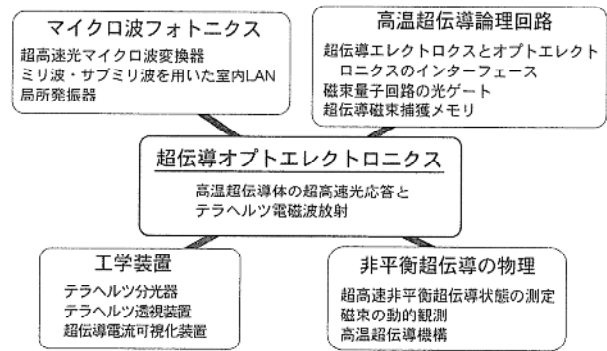


図4 超伝導オプトエレクトロニクスの将来展望

いて各方面のお知恵を拝借して検討中であるが、この場をお借りして皆様のご協力とご支援をお願いしたい。

参 考 文 献

- 1) M. Hangyo et al. : Appl. Phys. Lett., 69, 2122 (1996).
- 2) M. Hangyo et al. : IEICE Trans. Electron., E80-C, 1282 (1997).
- 3) S. Shikii et al. : IEICE Trans. Electron., E80-C, 1297 (1997).
- 4) M. Tani et al. : IEEE Microwave and Guided Waves Lett., 7, 282 (1997).
- 5) 萩行正憲, 斗内政吉, 谷 正彦, 阪井清美: レーザー研究, 26, 536 (1998).