

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 —



萩行正憲*

Superconducting Optoelectronics

— Fusion of Superconducting Electronics and Optoelectronics —

Key Words : High-Tc Superconductor, Femtosecond Laser Pulse, Terahertz Radiation

はじめに

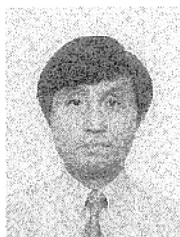
高温超伝導体の発見から10年が過ぎ、あの当時のフィーバーもかなり冷めかけてきつつあるように思われる。私が所属している大阪大学超伝導エレクトロニクス研究センターは高温超伝導体への期待が大きく膨らんでいた平成2年度に、それまでの工学部附属超伝導工学実験センターの10年の成果を踏まえて新しく発足したものである。当時の状況については電気工学科の青木教授が6年前にやはり「生産と技術」の「夢はバラ色」欄で述べておられる。私自身も、平成2年末に応用物理学科から当センターに助教授として移り、村上前センター長兼教授のもとで高温超伝導薄膜の作製とそのミリ波領域の電磁応答の研究を続けてきた。元々の専攻が光物性で、金属である超伝導物質は光の苦手とするところであり、新センターに相応しい新しいテーマを求めて苦闘していたところ、平成7年6月に、郵政省通信総合研究所関西先端研究センターの協力を得て従来の超伝導体では思

いもかけない新しい現象を発見することができた。幸い平成8年4月から新しくセンター長に就任された興地教授のもとで文部省その他の予算がつき、新しい分野である「超伝導オプトエレクトロニクス」の開拓を目指して現在センター一丸となって頑張っている状況である。以下でこの現象の紹介と新しい分野に対する夢を述べたいと思う。

超短光パルス励起による テラヘルツ電磁波パルスの放射

素子のアイデアは以下のとおりである。超伝導体には電圧なしで大電流が流れる。この電流は超伝導キャリアが担っている。これに超短光パルス(時間幅80フェムト秒, 1フェムト秒は 10^{-15} 秒)を照射すれば超伝導キャリアは一瞬のうちに常伝導キャリアに転換され、格子振動や不純物による散乱を受けて短時間のうちに静止するであろう。すなわち、超短光パルスの照射は超伝導電流の急激な減少を引き起こすであろう。古典電磁気学で知られているとおり、電流の時間変化は電磁波の放射を伴う。特に時間変化がピコ秒以下で起こればそれに応じた超短電磁波パルスが空間に放射されるであろう。この様なアイデアに基づき、MgO基板上のYBCO(酸化物高温超伝導体のひとつ)薄膜を加工して図1に示されるような素子を作製した。これはダイポールアンテナと呼ばれるタイプであるが、中央のブリッジ部に光パルスを照射することにより電流を変調する。

*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、超伝導物性、超伝導エレクト
ロニクス
TEL 06-879-7980
FAX 06-879-7984
E-Mail hangyo@rcsuper.osaka-u.ac.jp



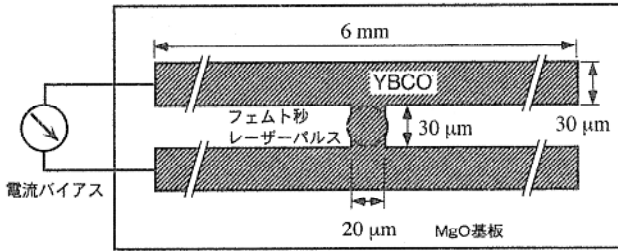
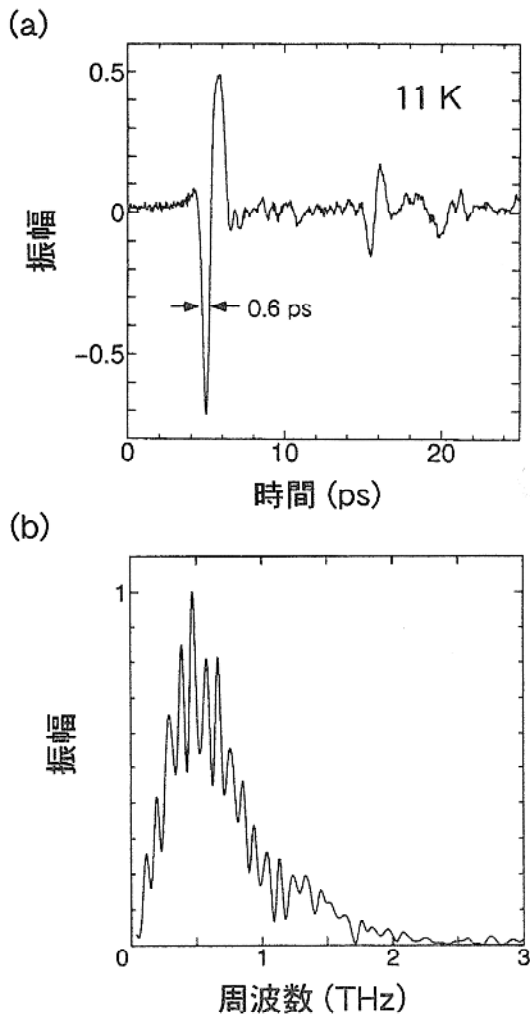


図1 光励起型テラヘルツ波発振素子の模式図

図2(a)はこの素子から放射された電磁波の波形である。測定には少し特殊な装置を使用し、素子から放射された電磁波は空間を50cm程度伝搬させたのち検出している。時間幅0.6ピコ秒の電磁波パルスが放射されたことがわかる。図2(b)には波形(a)の振幅のフーリエ成分を示したが、2テラヘルツ(1テラヘルツは 10^{12} ヘルツ)にまで周波数成分が及んでいるのがわ

図2 (a) 放射電磁波パルスの波形
(b) 放射波形のフーリエ成分

かる(この意味でテラヘルツ放射といわれる)。放射パワーは素子の形や照射レーザーのパワーにもよるが、現在1マイクロワット程度の出力が得られている。超伝導体を用いた発振器としては、ジョセフソン効果を利用したジョセフソンアレー発振器やフラックスフロー発振器が知られているが、電磁波を空間に放射させて伝搬させた後検出した例は極くまれでかつパワーも我々の素子に比べて極端に弱い。

将来の発展

これまでの酸化物超伝導体を用いたエレクトロニクス素子は、従来の金属低温超伝導体ですでに提案・試作されていた素子をそのまま移しかえたものが殆どで、高温超伝導体が転移温度が高いということから必然的に背負っている超伝導コヒーレンス距離が短いというデメリットのために原子スケールでの構造制御が要求され、非常な困難をしいられてきた。我々の素子は、全く別の観点からの発想で、高温超伝導体の性質を巧みに利用している。即ち、

1. 酸化物高温超伝導体は光反射率が低く(20%以下)、照射光が有効に利用される。
2. 超伝導転移温度が高いため、光照射パワーを強くできる。
3. キャリヤー密度が低いため超伝導薄膜内部で発生した電磁波が有効に外部空間に放射される。
4. 酸化物超伝導体特有の強い電子間相互作用のためか、超伝導電流の光による変調速度がピコ秒以下である。

以上のことをまとめると、高温超伝導体は光に対して超高速で派手な反応を示すということである。つまり、高温超伝導体はすぐれたオプトエレクトロニクス材料でもある。実験をしながら考えていると結構面白いアイデアが次々と浮かんできて、現在順次実行に移しているところである。まず、パルス発振ではなく、半導体レーザー励起による連続発振にトライしている。また、よりたくさんの電磁波を超伝導薄膜から取り出すために、酸化物高温超伝導体固有の異方性を利用することも計画し、実行しつつある。放射電磁波が超伝導電流の方向に偏光し、パワー

が電流密度の2乗に比例することから、超伝導電流方向と密度の空間マッピングも考えている。高温超伝導体は通信応用の1.5ミクロン帯の光も十分吸収するので、ファイバーからの光をテラヘルツ域の電磁波に直接変換するための光・電波変換器とし応用することも計画している。極く最近、超伝導体に超短光パルス照射しつつ磁石を近づけるとバイアス電流なしでもテラヘルツ電磁波が放射されることを見いだした。これも、超伝導磁束の光応答として見るととても興味ある現象で新しい応用があるかも知れない。電磁波の波形を直接見ているので、その源としての超伝導電流の光による時間応答が500フェムト秒程度の時間分解能でわかることになる。このような速い時間応答の測定は通常のオシロスコープで電圧応答を測る方法ではとうて

い不可能である。この新しい手法を武器として非平衡超伝導状態の物理にも踏み込んでいきたいと考えている。

おわりに

先にも述べたように、超伝導エレクトロニクス研究センターは新センター長を中心として新しいスタッフも揃い(この号が出る頃には新しい助教授も着任している予定である)、大型の予算も得ているので上記の計画を実行していくつもりである。この素子は超伝導エレクトロニクスとオプトエレクトロニクスを結ぶ「超伝導オプトエレクトロニクス」とでも呼ぶべき新しい分野の創出を期待させるものであり、後3年で時限となる当センターの最終目標として発展させたい。

