

## テラヘルツ透過スペクトル測定による 超伝導体材料の構造解析

### [1] 組織

代表者：安田 新  
(鶴岡工業高等専門学校制御情報工学科)  
対応者：佐々木 哲朗  
(静岡大学電子工学研究所)  
分担者：Wisut Titiroonguang  
(タイ国キングモンクット工科大学)

### [2] 研究経過

1986年にBednorz, Müllerによって報告された銅酸化物系の高温超伝導体の発見以来、その超伝導の発現機構について議論されてきた。しかし、そのモデルの説明については様々なアプローチがなされてきたが結論には至っていない。最近になって銅酸化物系以外でも鉄系などでも超伝導現象は観察されており高温超伝導にいたる機構解明の研究は、近年ますますその重要性を増している。

本プロジェクトでは、過去例を見ない全く新しい試みとして、コヒーレントで周波数可変のテラヘルツ分光装置を用いた高温超伝導体のテラヘルツ透過スペクトル測定を行い、超伝導発現に起因するような特有の吸収振動の同定を行うこと、さらには超伝導体になる部分とならない部分（ノーマル部分）が存在する焼結体が中心である銅系超伝導材料のテラヘルツイメージングによる構造解析を行うことを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。これまで、本プロジェクト研究代表者がタイ国キングモンクット工科大学ラカバン校 (KMITL) Wisut教授の下でYBCO系高温超伝導体の電気的特性の測定および研究の事前調査を行い、本プロジェクトの研究の新規性が明らかになった。そこで、本プロジェクトでは、これまでの成果を踏まえながら、実際に鶴岡高専とKMITLで $YBa_2Cu_3O_{7.8}$  (YBCO) 超伝導体材料を条件を変えて作製して、そのテラヘルツ透過スペクトルの温度依存性に関する研究を静岡大学電子工学研究所 佐々木 哲朗特任教授と共同で展開した。

サンプルの作製および調達は主に研究代表者とKMITLのWisut教授が担当し、周波数可変テラヘルツ分光装置を用いた測定に関しては静岡大学電子工学研究所 佐々木研究室で行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

2014年5~6月 試料作製 (鶴岡高専)

2014年8月11日~15日 YBCO サンプルのテラヘルツ分光測定 (静岡大学)

2014年8月~12月 サンプル作製・データ解析 (鶴岡高専)

2015年1月19~20日 YBCO サンプルのテラヘルツ分光測定 (静岡大学)

2015年1月19~20日 "静岡大学『「まだないニーズ」創発プログラムの構築』事業ワークショップ", (静岡大学)

2015年1月~3月 サンプル作製・データ解析 (鶴岡高専)

2015年3月11日 (予定) 第62回応用物理学会春季学術講演会 発表 「YBCO 超伝導体のテラヘルツ吸収スペクトルの評価」 (東海大学)

### [3] 成果

#### (3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、超伝導体は転移温度を境にして超伝導状態に転移するという現象からも温度の変化によってテラヘルツ分光スペクトルの変化が起きることを推測した上で、YBCO 高温超伝導体試料が周囲温度によってテラヘルツ透過スペクトルに明確に異なることを実験により明らかにした。

サンプルは焼結温度などの条件を変えて $YBa_2Cu_3O_{7.8}$  焼結体を作製した。これらのサンプルを周波数可変テラヘルツ分光装置により0.5 - 6.0 THzの範囲のテラヘルツ透過スペクトルをサンプルの周囲温度を室温および70 Kとして採取した。サンプルの設置については $YBa_2Cu_3O_{7.8}$  焼結体を母材であるポリエチレンとともに25 wt%の濃度で十分に混合したもの6 mgをペレットとしてドーナツ状のアルミニウム製ホルダにつけたものをサンプルとした。図1として測定の概要を示す。

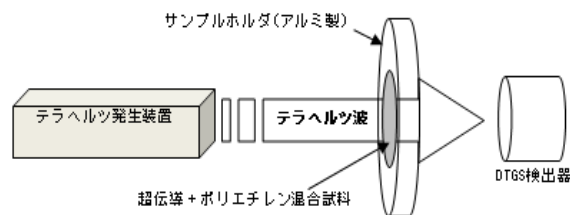


図1 超伝導体のテラヘルツ分光概略

図2の $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ のTHz吸収スペクトラムから、サンプルの周囲温度によって明確にテラヘルツ帯での吸収に差が生じていることがわかった。例えば、転移温度以下の70 Kに比較して室温において3.0 THzおよび4.2 THz付近に特徴的なテラヘルツ吸収が生じていることが分かり、これらの周波数領域の振動をもつ何らかの結晶構造・欠陥が超伝導発現に寄与していることが有力視される。なお、70 Kに降温させた後、再度室温まで昇温させた際の吸収スペクトルに変化はなく、本測定は再現性に優れていることもわかっており、今後も正確な解析が期待できる。

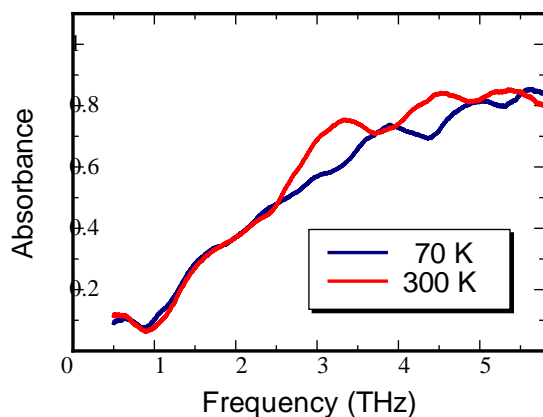


図2  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ のTHz吸収スペクトラム

第2に、焼結温度を変化させた $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 焼結体サンプルを作製し、そのテラヘルツ吸収スペクトルの採取を行った。焼結温度を700°C, 800°C, 850°C, 900°C, 980°Cのサンプルをそれぞれ用意し、そのテラヘルツ吸収スペクトルの温度依存性の評価を行っている。現在、その傾向について評価中である。

今後は、継続して条件をさまざまに変化させてサンプルを作製してコヒーレントなテラヘルツ透過スペクトルをとり、スペクトルデータをサンプルの作製条件でマトリクス化を行った上でその解析を行い、超伝導発現機構に関与するようなテラヘルツ吸収を生じさせている構造・欠陥の予想する。スペクトルデータのマトリクスはテラヘルツ吸収が生じている周波数帯を視覚的に分かりやすくする効果がある他、将来の貴重な参照データとして期待できる。

その後は主に他の角度からの解析から予想の確認を行う。電子顕微鏡、X線回折、FT-IRなど多角的に調査を行い、超伝導発現のキーとなる吸収振動の構造・欠陥を決定する。さらに、得られた最適条件での試料作製・特性確認をしてテラヘルツ吸収分析法を新しい超伝導体評価法として有用であることを実証する。

また、以上の応用研究として超伝導体になる部分

とならない部分（ノーマル部分）が存在するYBCO焼結体に代表される超伝導材料焼結体のテラヘルツイメージングも行う予定である。

### (3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトによって、静岡大学や鶴岡高専を中心として研究者間の交流が活性化し、2015年1月に「静岡大学『「まだないニーズ」創発プログラムの構築』事業ワークショップ」を行うことにつながった。また、今回の成果を2015年3月に行われる第62回応用物理学会春季学術講演会で報告する。さらに国際会議での発表、海外の権威ある学術雑誌への論文投稿などで周知していく予定である。本プロジェクトにおける研究チームは山形県と静岡県、そしてタイ国という地域間で行われているものである特色を生かして鶴岡高専や静岡大学、KMITLなどで行っている市民向けのサロンや研究発表会などで本プロジェクトに関する入門的な発表を行って広く市民への発信を行い、また他分野の研究者間の交流を深めるような活動も企図する。さらに、また、研究代表者は高等専門学校教員であることから、本プロジェクトを概要的にまとめた内容で主に十代という若い高専学生らに対して特別講義等を企画して学生の啓蒙することも考えている。

本プロジェクトで明らかになった超伝導体のテラヘルツ分光の成果は、テラヘルツ分光による高温超伝導体の超伝導発現機構の解析という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき、今後の発展が期待されている。

### [4] 成果資料

(1) 安田 新, 佐々木 哲朗, “静岡大学『「まだないニーズ」創発プログラムの構築』事業ワークショップ”, 2015年1月 (静岡大学)

(2) 安田 新, 中島 伸陽, 佐々木 哲朗 “YBCO 超伝導体のテラヘルツ吸収スペクトルの評価”, 第62回応用物理学会春季学術講演会, 2015年3月 (東海大学)

## 出張報告

氏名：安田 新

所属：鶴岡工業高等専門学校

期間：平成26年8月11日～14日

用務先：静岡大学電子工学研究所 佐々木研究室

用務内容：サンプルの測定

主たる対応者：佐々木 哲郎 特任教授