
国立大学法人 九州工業大学大学院工学研究院 物質工学専攻
エネルギー・超伝導材料学研究室
Kyushu Institute of Technology
Department of Materials Science and Engineering
Energy and Superconducting Materials Laboratory

エネルギー・超伝導材料学研究室は、古くから「鉄の街」として知られる北九州市において100年以上の歴史を持つ九州工業大学マテリアル工学科の一研究室として、九州工業大学戸畑キャンパスにおいて研究活動を行っている。現在のメンバーは教授1名、助教2名、博士研究員1名、修士課程学生11名、学部学生7名(H26.2現在)であり、九州工業大学内の他グループや電力中央研究所・名古屋大学・東北大学など学外の機関と連携して研究を推進している。材料科学の知識を用いて高性能エネルギー材料を開発することが研究室の使命であり、超伝導線材高性能化を目指して超伝導材料開発を行うことに重点を置いている。

活動の詳細

研究では、薄膜作製を中心として構造評価、特性評価、材料設計・解析を行い、超伝導材料の高性能化を行っている。現在扱っている超伝導材料は $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO)、 $\text{YbBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ (Yb124)、 $\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_6$ (Hg1212)、Fe(Te,Se)と、酸化物高温超伝導体から鉄系超伝導体まで多岐にわたっている。

薄膜作製にはパルスレーザー蒸着(Pulsed Laser Deposition; PLD)や有機金属分解法(Metal Organic Deposition; MOD)を用いている。薄膜X線回折装置(X-ray diffraction; XRD)を用いて作製した薄膜の配向性や格子定数を評価している。さらに走査型電子顕微鏡(Scanning electron microscopy; SEM)を用いて、表面・断面観察や電子後方散乱回折(Electron Backscatter Diffraction; EBSD)による方位解析を行っている。また透過型電子顕微鏡(Transmission electron microscopy; TEM)を用いたナノ組織観察も他研究グループと連携しながら進めている。特性評価においては、物理特性評価装置(Physical Property Measurement System; PPMS)を用いて薄膜の臨界電流密度(J_c)を温度・磁場・磁場角度を変化させながら測定し、ピンニング特性を測定している。材料設計・解析を行うために、第一原理計算(The Vienna Ab initio simulation package; VASP)を導入し、自由エネルギー計算による熱力学観点からの薄膜構造の設計・解析やバンド計算による超伝導特性の解析などを進めている。これらの結果を薄膜作製にフィードバックし、より高い性能を有する薄膜の作製を目指している。

主な研究テーマ

・ J_c 向上を目指した新規人工ピン(Artificial Pinning Center, APC)開発

APCの開発は10年以上にわたって研究を続けている研究室の基幹テーマである。高性能YBCO線材の開発において J_c の向上は今なお求められており、APCの制御が不可欠である。APCとしてナノロッドやナノ粒子を開発してきたが、現在はナノロッドに加えナノ粒子などの第二のAPCを導入したハイブリッドAPCに着目している。ナノロッドやナノ粒子単独では磁束制御に限界があることがわかってきたが、ハイブリッドAPCを用いれば J_c 値を向上させ J_c 異方性を抑制することが可能になると考えられる。またハイブリッドAPCにより新しい磁束状態を実現し、それを解析することにより磁束挙動の理解を深めることも目的の一つである。

BaSnO_3 (BSO)ナノロッドに加え Y_2O_3 ナノ粒子を導入したYBCO薄膜を作製した。このハイブリッドAPCにおいてナノロッド及びナノ粒子の密度を制御することにより、高磁場での J_c 値及び J_c の異方性を改善することに成功した。

またYBCO+BSOと $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (PrBCO)の多層膜を作製することによりナノロッド+ナノレイヤーというハイブリッドAPCを作製した。PrBCO層の厚さを厚くしたりYBCO+BSO層の厚さを薄くしたりすると磁束構造が変化し磁束ピンニングが弱められていくことが分かった。

今後も引き続きハイブリッドAPCのさらなる構造制御を進めていく予定である。

・シミュレーションに基づく超伝導材料の解析

APCの要素ピン力は J_c に支配的なパラメータでありAPCの界面状態に大きく依存するため、APCの界面状態の解析が必要である。しかし界面構造は複雑であり、界面で何が起きているかということを理解する必要がある。ま

たキャリア変化や圧力印加により電子状態がどのように変化するかということは臨界温度(T_c)制御に向けて明らかにする必要があります。これらを計算機シミュレーションを用いて解析している。

界面構造の理解を目的として、第一原理計算、分子動力学(Molecular Dynamics; MD)計算、有限要素法(Finite Element Method; FEM)応力ひずみ計算を行っている。FEMによりYBCO+BSO薄膜ではナノロッドに平行な方向に弾性ひずみが存在していることが分かった。MD計算によりナノロッド界面には構造の乱れが存在することが明らかになった。現在第一原理計算により界面での組成変化を計算している。今後これらの結果を統合的に解析し、界面構造の理解を進めていく。

また第一原理計算によりY124やHg1201に圧力を印加したときのバンド計算を行っている。フェルミエネルギー近傍での状態密度の圧力に対する変化を解析し、 T_c 制御に有効な材料及び条件を探索している。

•Yb124 薄膜における圧力効果

Y124は圧力により T_c が大きく増大し T_c が100 Kを超える可能性があることが報告されている。この圧力効果を薄膜において実証することで T_c の高い(>100 K)線材を開発できる可能性がある。そこでYb124薄膜の圧力効果実験を進めている。

PLDやMODでプリカーサを作製した後熱処理を行う*ex-situ*法でYb124薄膜を作製した。XRDからYb124がエピタキシャル成長していることを確認した。

九州工業大学基礎科学研究系の美藤教授の圧力印加実験の結果、Yb124薄膜において数Kの T_c 上昇を確認した。

•Hg1212 薄膜の作製プロセスの開発

従来線材よりも高い T_c を有する120 K級超伝導線材を開発することを目的としてHg1212の薄膜作製プロセスの開発を行っている。

まず薄膜作製時に必要なHg1212ペレットを、グローブボックスと真空封入を用いて作製した。作製したHg1212ペレットは $T_c = 118$ Kであることがわかった。RE212プリカーサ膜にHg1212ペレットからHgを導入する*ex-situ*プロセスによりHg1212薄膜を作製した。XRDからHg1212薄膜がエピタキシャル成長していることを確認した。今後、超伝導特性の解析を進め、120 K級超伝導線材の実現に向けてさらなる特性制御を進める。

連絡先

〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1

国立大学法人 九州工業大学大学院工学研究院 物質工学研究系

教授 松本 要

matsu@post.matsc.kyutech.ac.jp