

限流器用超電導薄膜のための新たな品質評価手法

超電導プロジェクトにおける薄膜熱特性評価技術

ここ数年酸化超電導体の産業応用に向けた技術開発が着実に進展しており、「交流超電導電力機器基盤技術研究開発」プロジェクト(NEDO、2000~2004)における超電導ケーブル(フィールド試験中)や超電導薄膜限流器(実証試験済み)などの開発にその成果を見ることができる。当部門では同プロジェクトの一環として行われた限流器用超電導薄膜の熱特性評価技術の開発を進め、YBCO薄膜の局所熱浸透率測定とその分布評価に成功した。熱浸透率は設計パラメータとして重要なだけでなく、結晶性の良否や欠陥の有無などに関わる薄膜の品質評価において有効な指標と成りうる。

限流器は、送電システムの短絡事故の影響を軽減するために、事故電流の過剰な増大を抑制する役割を果たす。超電導薄膜のSN転移(超伝導→常伝導)を利用する限流器では、限流動作時に大量のジュール熱が発生するため、その基本設計において熱的・機械的特性が十分に考慮されなければならない。熱の拡散が進まず大きな温度勾配を生じる場合には熱応力による破壊に至るためである。

本研究では基板上薄膜の熱特性を簡便に測定するために、光加熱式サーモリフレクタンズ法に基づく熱浸透率測定装置を開発した。この装置では強度変調した加熱用レーザーで薄膜表面の一部をスポット状(径15~30 $\mu\text{m}$ )に周期加熱しその温度変化に伴う反射率の僅かな周期変動(約1万分の1)を一定強度の検出用レーザー(ス

ポット径約4 $\mu\text{m}$ )の反射信号強度の変化として捉える(図1)。対象物の熱浸透率が低いほどまた加熱の周波数が高いほど反射信号の加熱信号に対する位相差は大きくなるため、反射信号の周波数位相特性を解析することで薄膜の熱浸透率が決定できる。今回その絶対値の校正にはシリコン、ゲルマニウム、ガラス状炭素、パイレックスなど基準となる参照物質を用いた。

THEVA社製YBCO薄膜(厚さ0.8 $\mu\text{m}$ 、10mm $\times$ 10mm MgO基板上)の試験片中心部80 $\mu\text{m}\times$ 140 $\mu\text{m}$ の領域を走査して熱浸透率の分布を測定すると、その値は1500~1900  $\text{Js}^{-0.5}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ の範囲でばらついていることが確認された(図2)。熱浸透率の平均値は1770  $\text{Js}^{-0.5}\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$ となり、これはバルクYBCO単結晶でこれまで報告されている熱伝導率または熱拡散率から換算される結晶c軸方向の熱浸透率の値と良く一致することが分かった。分布マップ(図2右下)中央やや下に局所的に熱浸透率の低い領域が観測されているが、内部の何らかの局所的な構造欠陥や組成不均一に起因する可能性を指摘できる。

今回開発した装置は、熱浸透率の絶対値と分布データを把握することにより、薄膜の内部状態(結晶品位や剥離・クラック等の欠陥の有無など)を簡便に評価できると期待され(図1)、大面積化が進む薄膜製造プロセスの改良や実用化に向けた耐久性試験(限流動作に伴う熱履歴や熱衝撃)に有効な評価手法であると期待される。

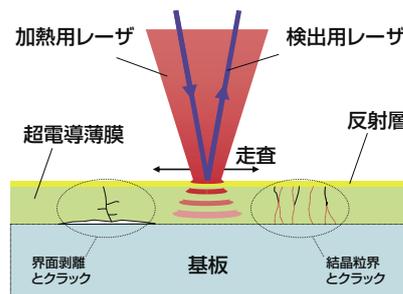


図1 サーモリフレクタンズ法による熱浸透率測定概念図

試料表面を加熱用レーザーで周期的に加熱し検出用レーザーの反射信号(周期成分)の位相変化から対象部の熱浸透率を測定する。観測部位を走査して熱浸透率の分布測定を行う。均質性評価に加え、剥離、クラックなどの欠陥検出に活用可能。

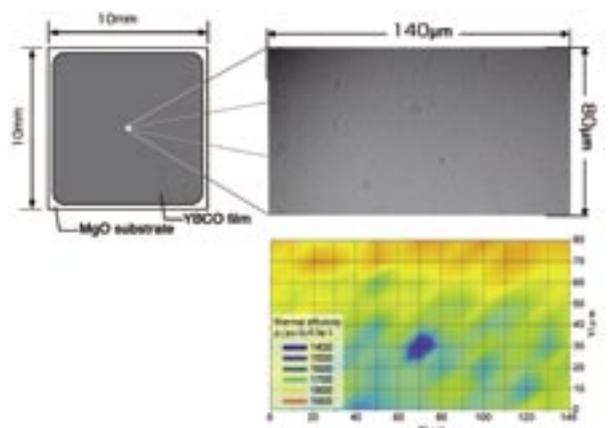


図2 YBCO薄膜試料(左上)の中心部で観察した光学顕微鏡像(右上、反射層として100nm厚のMo膜付)とこれに対応する熱浸透率分布マップイメージ(右下)



かとうひでゆき  
加藤英幸  
kato-hideyuki@aist.go.jp  
計測標準研究部門

関連情報

- 共著者：八木貴志(青山学院大学COE 研究員)。
- T. Yagi, N. Taketoshi, H. Kato: Physica C 412-414, Part 2, 1337-1342 (2004)。
- \*熱浸透率：熱を奪い取る能力を表す指標、単位体積あたりの比熱容量と熱伝導率の積の平方根。