

YBCO-coated 線材の広範囲電界領域における E - J 特性の評価

松下研究室 福元陽介

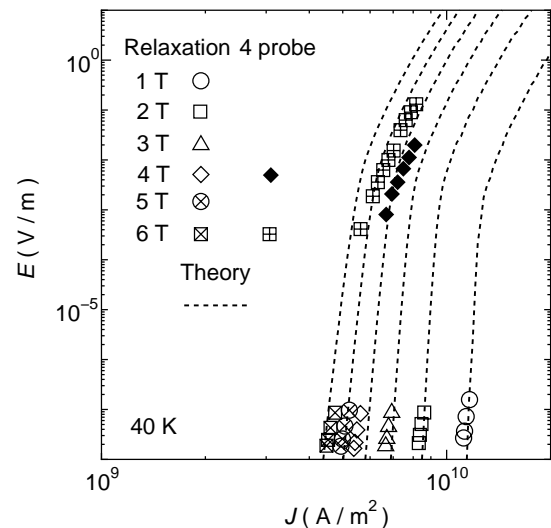
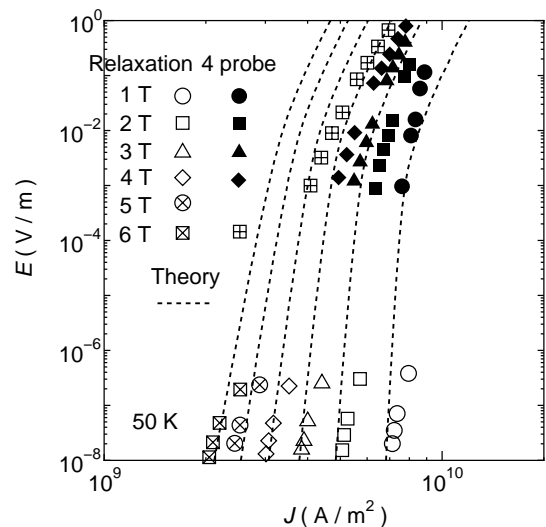
はじめに 液体窒素温度で超伝導体となることの出来る酸化物超伝導体のうちY系の超伝導体は特に高温高磁界中での特性が優れていて、その応用に向けた研究が盛んに行われている。本研究で用いたYBCO-coated 線材では、近年実用レベルに近い臨界電流特性を持った長尺の線材も開発され、その応用が期待されている。応用の際に重要となる特性の一つに臨界電流密度がある。臨界電流密度とは超伝導体に電流を流した際に最初にある電界が発生するときの電流密度のことである。これは実際の使用に際してどこまで電流が流すことが出来るかの指標となるため非常に重要な値である。しかし各応用によって超伝導体が置かれる電磁気的環境が異なるため、発生する電界の値は異なる。例えばNMRでは極めて高い磁界の安定度が要求されるため、電流を流した際に発生する電界も極めて小さな値となる。一方電力輸送用のケーブルでは交流での使用となるため、発生する電界もNMRに比べると高い値となる。このように、各応用ごとで発生する電界が異なるため臨界電流特性もそれぞれの応用に即したものが必要となる。したがって、各応用を全て含んだ広い電界領域での E - J 特性を測定し、それを定量的に評価することは非常に意味のあることであると言える。YBCO-coated 線材においては商用周波数の交流応用に対応した低電界領域での特性はすでに評価されているため、本研究ではSQUID磁力計を用いた磁化緩和測定より超低電界領域の特性評価を行った。そこから分かる E - J 特性を磁束クリープ・フローモデルを用いて理論的に解析し、さらに $E \propto J^n$ としたときの n 値、見かけのピン・ポテンシャル U_0^* の評価も行った。

実験 試料は株式会社フジクラで製作したYBCO-coated 線材である。中間層の配向にはIBAD法を、超伝導層の成膜にはPLD法を用いている。IBAD法とは線材の基板と超伝導層の間にある中間層を高度に配向することの出来る技術で、これによってその上に成膜される超伝導層も非常によく配向したものが得られる。試料は超伝導層の膜厚が $1\mu\text{m}$ 、サイズは幅が 2.74mm 、長さが 2.04mm となっている。磁化緩和測定はSQUID磁力計を用い、始めに十分な強さの磁界を加えることで、時間とともに緩和していく磁気モーメント m をいろいろな温度、および 1T から 6T までの磁界範囲で測定した。そこから求まる m の値とその時間変化から E - J 特性を評価した。

結果及び検討 SQUID磁力計によって求めた磁化緩和のデータから E - J 特性を求めた。その結果を図1、図2に示す。図の点線は磁束クリープ・フローモデルによって求めた理論値である。 10^{-2}V/m 付近の低電界領域は四端子法、 10^{-8}V/m 付近の超低電界領域はSQUID磁力計によって求められたデータである。四端子法によるデータが少ないのは、高い J による電流端子での発熱のため温度が安定せず正確な測定ができなかったからである。四端子法では実験データと理論値でずれが見られるが、超低電界領域は非常によく説明できることが分かった。 n 値は大きいほど良いとされているが、最も大きい

ところでおよそ35程度で、温度、磁界が上がるに従い急激に下がっていくことが分かった。実用超伝導線材での n 値は50程度と言われており、そういった意味では実用的にはまだ厳しいということが言える。 U_0^* をBi-2223と比較したところ、YBCOの値は非常に大きく、YBCOが高いピン・ポテンシャルを持つことが分かった。また E - J 特性の理論値から求めた U_0^* は、実験値に非常に近い傾向を示した。

まとめ 本研究では、四端子法とSQUID磁力計を用いてYBCO-coated 線材の広範囲電界領域での E - J 特性の評価を行った。超低電界領域での特性は磁束クリープ・フローモデルによってよく説明できることが分かった。 n 値は最も高いところで35程度の値を持つが、その値は磁界、温度の上昇とともに著しく低下した。 U_0^* の値はBi-2223と比べて非常に大きく、高いピン・ポテンシャルを持つことが分かった。これはYBCOとBi-2223のピン力、次元性の違いを示すものである。

図1 40.0 Kでの E - J 特性。図2 50.0 Kでの E - J 特性。