

超電導体の臨界電流密度非破壊測定法の研究開発

超電導電力機器などに利用される大型の超電導体(薄膜・厚膜・バルク体)の臨界電流密度(抵抗ゼロの状態で流し得る電流密度の最大値) J_c を非破壊的に測定することは実用上極めて重要である。超電導薄膜の J_c の非破壊の測定法としては、通常、膜の直上に置いた小コイルによって交流磁界を印加し、それによって誘起される電圧の第3高調波成分から測定する方法が一般的である。当研究部門では、この薄膜 J_c 測定法の基本原理を明確にし¹⁾、現状の測定の問題点を指摘してその改善方法を提案するとともに、その拡張による新たな測定法の開発を行なっている。まず、コイル励磁電流の周波数を変えて複数回の測定を行い、試料の不均一性の指標である電流電圧特性(超電導体に流れる電流と電圧の関係)を測定できることを明らかにした²⁾。次に、理論計算に基づく測定法の提案を実験で実証することにより、磁気軸受けなどに利用される超電導バルク体や、超電導限流器への応用が検討されているビスマス系超電導酸化物厚膜の J_c の非破壊測定も可能となった³⁾。

この方法では、超電導厚膜(バルク)試料の直上に直径が数ミリメートル径の小コイルを試料面に垂直に置き、交流電流 $I_0 \cos \omega t$ を流して交流磁界を印加する(図1)。コイル両端には、コイル電流自身による交流電圧以外に、超電導体に流れる誘導シールド電流によって交流電圧が誘起される。この時、超電導体の

非線形応答のため、基本波の他に第3高調波電圧 $V_3 \cos 3\omega t$ も現れる。理論計算から、振幅 V_3 は I_0 の2乗に比例し、 J_c に反比例することが分かった(比例定数はコイルの形状と巻数、配置から計算される)³⁾。図2に、ビスマス系酸化物厚膜試料(膜厚 $d=0.36\text{mm}$)での測定例を示す。コイル電流が小さい範囲で V_3 は I_0 の2乗に比例し、その比例係数から J_c を求めることができた。なお、この V_3 は超電導体中への交流磁界の侵入により生じ(第1の機構)、表面から磁界侵入距離 $\Lambda_0 \approx 0.1\text{mm}$ までの部分の J_c を測定できる。コイル電流 I_0 をさらに増加させると、ある閾値電流 I_{th} において突然 V_3 の増加率が減少し、プラトーを経た後また増加に転じる。これは、 I_{th} において交流磁界が厚膜の裏面を突き抜けたためであり、臨界電流密度と膜厚の積 $J_c d$ が I_{th} にほぼ比例する(比例定数はコイルの形状と巻数、配置から計算される)。この第2の機構によっても J_c を評価できるが、この J_c は厚膜試料の厚さ全体での平均値となる。さらに、 I_{th} の周波数依存性を測定すると、電流電圧特性を評価することもできる(図2挿入図)。

今回開発した方法により、超電導薄膜のみならずバルク・厚膜でも、大きな超電導体の局所的な臨界電流密度と電流電圧特性を非破壊で簡単に測定でき、コイルを走査すれば、これらの特性の分布を評価することも可能である。今後、製品化を図り、普及を目指したい。

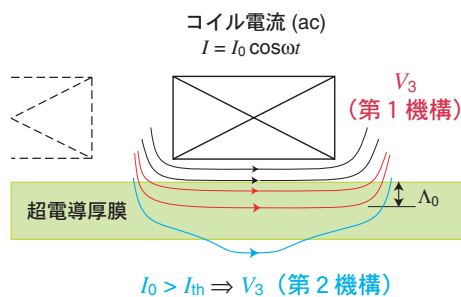


図1 第3高調波誘導電圧を用いる臨界電流密度 J_c 測定法の概念図

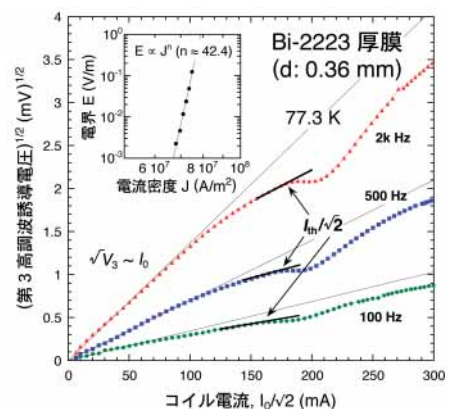


図2 ビスマス系超電導酸化物厚膜において、液体窒素中で第3高調波誘導電圧を測定した実験例



やまさきひろふみ
山崎裕文
h.yamasaki@aist.go.jp
電力エネルギー研究部門

関連情報

- 共同研究者: 馬渡康徳 (電力エネルギー研究部門) .
- 1) Y. Mawatari, H. Yamasaki, Y. Nakagawa: Appl. Phys. Lett. Vol.81, 2424 (2002).
- 2) H. Yamasaki, Y. Mawatari, Y. Nakagawa: Appl. Phys. Lett. Vol.82, 3275 (2003).
- 3) Y. Mawatari, H. Yamasaki, Y. Nakagawa: Appl. Phys. Lett. Vol.83, 3972 (2003).
- 特願 2002-068563 「超電導体の臨界電流密度の測定方法および測定装置」(馬渡康徳、山崎裕文) .
- 特願 2003-111662 「超電導体の電流・電圧特性測定方法及び装置」(山崎裕文、馬渡康徳) .
- 特願 2003-365619 「超電導厚膜の臨界電流密度及び電流・電圧特性の測定方法、及び装置」(山崎裕文、馬渡康徳) .