

Nd-123 単結晶超伝導体のピーク効果と磁束ピンニング機構

松下研究室 B4 002302035 黒河朋文

序論 酸化物超伝導体の臨界電流密度 J_c がある温度領域および磁界領域でピークをもつことが報告されている。Nd-123 超伝導体の単結晶やバルク材料においても中磁界領域でブロードなピークをもつことが知られている。現在 Nd-123 超伝導体のピーク効果は酸素欠損や Nd^{3+} が Ba^{2+} サイトを置換した低 T_c 相により起こることが明らかにされてきたが、そのメカニズムについては、磁界 (温度) 誘起型の引力的なピンニングと、近接効果による運動エネルギー相互作用による反発的なピンニングの立場からさまざまな議論がなされている。低 T_c 相が磁界 (温度) 誘起型の引力的なピンニングであるとすれば、低 T_c 相の臨界温度 (約 75K) 以上ではピーク効果は現われないはずである。今回は Nd-123 単結晶超伝導体で観測されるピーク効果の機構を明らかにすることを目的とする。

実験 試料は、超伝導工学研究所 (SRL) から提供して頂いた Nd-123 単結晶超伝導体である。サイズは $1.60 \times 1.45 \times 0.65 \text{ mm}^3$ であり、 c 軸は試料の広い面に垂直に配向している。臨界温度 T_c は 96K であった。測定は SQUID 磁力計を用いて、 c 軸方向と平行に外部磁界をかけて、直流磁化測定および磁化緩和測定を行った。

実験結果および検討 図 1 は 50K-94K の範囲で得られた磁化のヒステリシス曲線から評価した臨界電流密度 J_c の磁界依存性を示す。図 1 より 60K 付近から 90K 付近においてピーク効果が現われている。Nd-123 超伝導体における主なピンは低 T_c 相である。しかし、低 T_c のサイズは数 10nm のオーダーであり、周囲の高 T_c 領域との間で近接効果が十分起こり得ることから、低 T_c 相のピンニングは近接効果を伴った反発的な運動エネルギー相互作用であると予想される。したがって、このピンニング機構における要素的ピン力は磁界の増加と共に単調に減少するので、単独ではピーク効果の原因とはなり得ない。そこでピーク効果は、磁束線が disorder 転移を起こして軟化することによってピンニング効率が上がる現象であると考えられる。ただし、ピンニングが強くなるにつれて disorder 転移曲線の臨界点は高温・低磁界へ変化することから、弾性エネルギーと熱エネルギーが関与したこれまでの磁界誘起型 disorder 転移ではなく、ピンニング誘起型の disorder 転移であると考えられる。図 1 において、ピーク磁界を B_p 、 J_c が極小となるディップ磁界を B_d 、および $J_c = 1 \times 10^6 \text{ A/m}^2$ となるとき磁界を不可逆磁界 B_i として、図 2 に B_p , B_d , B_i の温度依存性を示す。この図において、ディップ磁界付近で

disorder 転移が起こっていると仮定して $B_d \rightarrow B_{dis}$ と見ると、disorder 転移曲線とピーク磁界が臨界温度付近まで伸びている。このことから、今回の実験結果はピンニングが強い場合に相当していると判断できる。

また、図 2 はピーク効果が磁界 (温度) 誘起型のピンニングによるものではない事を示している。もし、ピーク効果が低 T_c 相の磁界 (温度) 誘起型のピンニングにより起こっているならば、 B_d および B_p は低 T_c 相の臨界温度でゼロになり、それ以上の温度でピーク効果は観測されないはずである。これは、低 T_c 相は運動エネルギー相互作用による反発的なピンニングであることを表している。

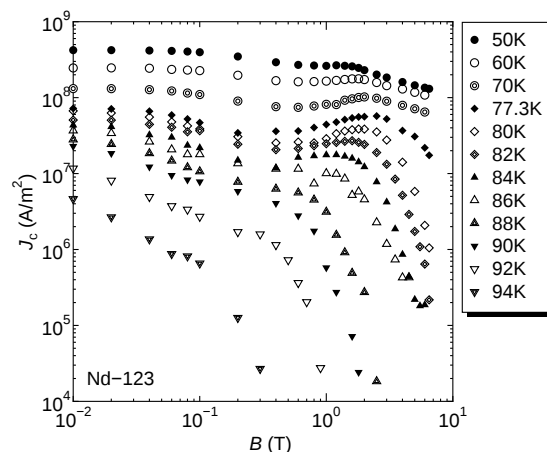


図 1 ヒステリシス曲線の測定から得られた J_c - B 特性

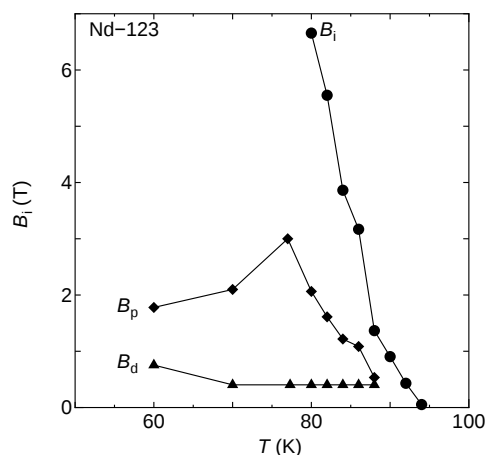


図 2 各特性磁界 (B_p , B_d , B_i) の温度依存性

学会発表 題目「In 添加 MgB_2 における臨界電流密度のシース材依存性」、第 56 回電気関係学会九州支部、2003 年 9 月 27 日