



3. Clean な s 波超伝導体における磁束フロー Vortex flow in clean s-wave superconductors

東大院新領域 花栗哲郎、高木啓史、古泉聡洋、野原実
東大院総合 土屋良重、北野晴久、前田京剛

Department of Advanced Materials Science, Univ. of Tokyo,
T. Hanaguri, K. Takagi, A. Koizumi, M. Nohara
Department of Basic Science, Univ. of Tokyo,
Y. Tsuchiya, H. Kitano, A. Maeda

Email: hanaguri@k.u-tokyo.ac.jp

第二種超伝導体の磁束芯では、半径 ξ 程度の範囲にわたって超伝導が抑制されている。したがって、磁束芯内部の準粒子は超伝導ペアポテンシャルの井戸に閉じ込められており、その励起スペクトルは、量子ドットのように多数の離散準位から形成されている。従来の超伝導体では、 ξ が長いため準粒子は不純物等により磁束芯内部で何度も散乱を受ける。その結果、準位のぼけが離散準位間隔や超伝導ギャップに比べて大きくなり、結果的に磁束芯における準粒子励起は連続スペクトルと見なすことができる。これが従来の超伝導体で磁束芯が常伝導芯で良く近似される根拠であった。実験的にも規格化された電子比熱係数 γ/γ_n や磁束フロー抵抗 ρ_H/ρ_n が混合状態において H/H_{c2} 、すなわち磁束の本数に比例することは、このような描像を支持している。

しかし、準粒子の平均自由行程 l と ξ の比 l/ξ が1より充分大きく、clean limitにあるとみなすことが出来る超伝導体では、磁束芯の離散準位に起因する異常が期待される。また、高温超伝導体のように超伝導ギャップが異方的な場合、ギャップノードに起因して、Fermi レベルでの準粒子状態密度が H/H_{c2} ではなく、 $(H/H_{c2})^{1/2}$ に比例することが指摘されている¹⁾。野原等は、clean limitにあるs波超伝導体 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の電子比熱係数 γ の磁場依存性を測定し、 $\gamma \propto B^{1/2}$ 的に変化するという異常を発見し、超伝導ギャップの異方性の結果であると報告している²⁾。また、 NbSe_2 においても $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ よりも異常の大きさは小さいものの、同様な傾向が見出されている。本研究では、このような混合状態における準粒子状態密度の異常と磁束ダイナミクスとの関係を調べるため、これらの物質の磁束フロー抵抗を測定し、比熱測定の結果と比較した。 NbSe_2 においては、これまで比熱測定に用いられていた試料の l/ξ が $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ のそれに比べて小さかったため、よりcleanな試料を作製し、電子比熱係数の測定も合わせて行った。

$\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ 単結晶はFZ法で、 NbSe_2 単結晶は化学気相輸送法でそれぞれ作製

した。いずれの試料でも平均自由行程 l と ξ の比は約 20 であり、両試料とも十分 clean limit にあるとみなすことが出来る。磁束フロー抵抗は、磁束ピン止めの影響を除くため、マイクロ波領域で測定した表面インピーダンスから計算した。測定は最低 0.5 K までの温度範囲で、40 GHz の空洞共振器擾動法で行った。

図 1 に 0.5 K における NbSe₂ の規格化された複素抵抗率の実部 ρ_1/ρ_n と規格化された電子比熱係数 γ/γ_n を規格化された磁場 H/H_{c2} に対してプロットしたものを示す。この温度において ρ_1 は磁束フロー抵抗 ρ_f に等しいと見なすことができる。図から明らかなように Ta をドーピングして dirty limit にした試料では、常伝導芯から期待される通り、 ρ_1/ρ_n 、 γ/γ_n とともに H/H_{c2} にほぼ等しい。一方、clean limit にある試料では、 ρ_1/ρ_n は H/H_{c2} にほぼ等しいが、 γ/γ_n は H/H_{c2} から大きく逸脱して $(H/H_{c2})^{1/2}$ に近い振る舞いを示している。この H/H_{c2} からの逸脱の大きさは YNi₂B₂C のそれと同程度であり、NbSe₂ でも十分に clean な試料では、 γ/γ_n は $(H/H_{c2})^{1/2}$ 的振る舞いを示すことが解った。

図 2 に YNi₂B₂C における同様なプロットを示す。NbSe₂ の場合と異なり、 ρ_1/ρ_n も H/H_{c2} から大きく逸脱していることが解る。このような磁束フロー抵抗の H/H_{c2} からの逸脱は UPt₃ においても見出されており、ギャップの異方性とのような関係があるか興味深い。また、YNi₂B₂C と NbSe₂ において、 γ/γ_n が同様の磁場依存性を示すにもかかわらず ρ_1/ρ_n が全く異なる振る舞いをするのは、磁束一本当たりの状態密度と磁束一本当たりのエネルギー散逸は独立であることを示している。

- 1) G. E. Volovik, JETP Lett., 58, 469 (1993).
- 2) M. Nohara *et al.*, Proc. M²S VI (2000) in press.
- 3) M. Nohara *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn., 68, 1078 (1999).

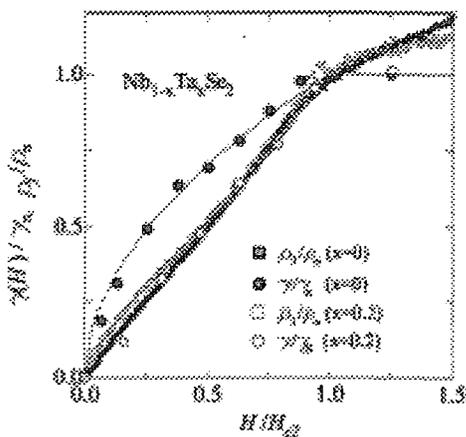


図 1

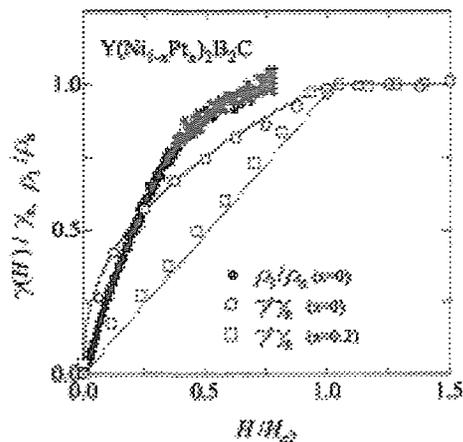


図 2