第三高調波交流帯磁率による超伝導体の臨界電流密度の評価

北村良平 (91232023)/ 松下研究室

1. はじめに　一般に基本波交流帯磁率測定は、超伝導材料の臨界電流密度J_cや不可逆磁場などの特性評価に用いられるが、交流磁場の周波数が高い場合、磁束線に働く粘性力の影響などのために、J_cの値が正確に与えられないことがある。ここで第三高調波交流帯磁率は、基本波にくらべ信号は小さいが、上記の影響が少ないことから、この測定を用いた評価法の優位性が注目されている。しかし、解析に量子化磁束の可逆運動の影響がある場合、現象を不可逆だとする臨界状態モデルが使えない。そこで、本研究では量子化磁束の可逆運動の影響がそれぞれ異なる高温酸化物超伝導体や金属系超伝導体試料について基本波及び第三高調波交流帯磁率を測定し、量子化磁束の可逆運動の影響を考慮したCampbellモデルを用いた解析により評価したJ_cと、直流磁化からの見積った値を比較しながら、Campbellモデルを用いた解析法の正当性について論議する。

2. 測定　試料は、Y系の超伝導体粉、QMG法によるY系バルク超伝導体、Nb-Ti平板、そして二種類のNb-Ti極細多芯線材の計五つである。測定したのは、SQUIDによる一定温度中の直流磁化ΔM及び磁化曲線のマイナーカーブの傾きSと、基本波及び第三高調波交流帯磁率である。なお交流帯磁率法では、温度と直流磁場を固定して交流磁場依存性を求めた。

3. 結果及び検討　図1にY系粉体の83KにおけるJ_cの磁場依存性を示す。この場合試料内に存在する電流は粒内に局在した臨界電流密度のみであるから、交流帯磁率から求めたJ_cと、直流磁化から求めたJ_cとは同じ結果となるはずである。また、直流磁化から求めている値は不可逆の極限での値なので、真の値に近いと考えられる。しかしながら直流磁化から求めたJ_cは交流帯磁率から求めた値と比べて小さい。一般に交流帯磁率から求めた値は量子化磁束の変位の小さい順(χ_3'、χ_1''、χ_3'')に外れが大きく、過大評価になる。

次に、図2にNb-Ti平板の4.5KにおけるJ_cの磁場依存性を示す。先に示した酸化物超伝導体と比べて、それぞれの交流帯磁率から求めたJ_cが1.5T以下の磁気特性が不可逆なところで一致している。また量子化磁束の可逆運動が顕著となる2T付近から、直流磁化から求めたJ_cと交流帯磁率から求めたJ_cと見積もりが逆転し、帯磁率から求めた値が過大評価される傾向にある。この原因として高磁場になるにしたがって磁束線が熱揺動によって磁束線の運動を引き起こす磁束クリープの影響や、量子化磁束の変位とピン力密度との関係がCampbellモデルの記述からはずれていることが考えられる。

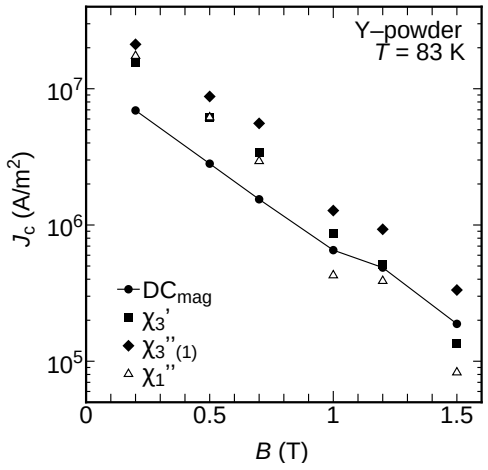

図 1: $T = 83$ K におけるY系粉体のJ_cの磁場依存性。

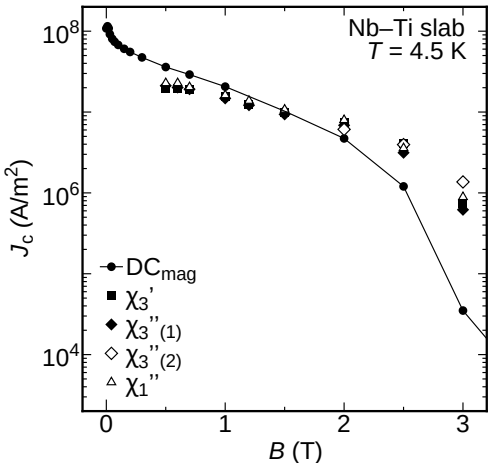

図 2: $T = 4.5$ K におけるNb-Ti平板のJ_cの磁場依存性。