

氏 名	みや た せい き 宮 田 成 紀
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2101 号
学位授与の日付	平 成 13 年 11 月 26 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 材 料 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	中性子小角散乱法による第2種超伝導体の微細構造と磁束状態の観察

論文調査委員 (主 査) 教授 長 村 光 造 教授 志 賀 正 幸 教授 酒 井 明

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は中性子小角散乱法により第2種超伝導体の微細構造と磁束状態を明らかにするため行った結果をまとめたものであって、6章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景である超伝導体中の量子化磁束の状態とその検出方法について論じ、中性子小角散乱法の有意性を結論し、本研究の目的を述べている。

第2章ではNb単結晶中に形成された磁束格子の静的な異方性と温度・磁場の変化に対する振る舞いを調べた。Nb単結晶中に形成された磁束格子は磁場を110方向に印加すると2回対称性格子を形成する。磁束線同士の相互作用を考慮した磁束格子の弾性理論から予測されるように、外部磁場を減少させるときに磁束同志の間隔が広がる過程で磁束線格子は最密方向である110方向に容易に剪断変形すること、低温ではさらに001方向に沿った圧縮変形を起こすことが解析の結果明らかとなった。

第3章では、Nb単結晶中の磁束線構造を調べるためにバックグラウンドを下げる努力を行い、(50)という高次の反射まで捕らえた精度の高い測定データを用いて解析を行った結果、London理論に付加的な減衰項を導入することによって、散乱強度プロファイルの説明が可能であることがわかった。それより磁束線半径を3.3Kで20.3nmと決定したが、これは表面からの磁場侵入長に比べてかなり小さい値であることが明らかとなった。またこの付加的な減衰項は位置的な揺らぎに起因すると解釈できるが、さらに厳密な解釈のためにはLondon理論の拡張が必要であることが示唆された。

第4章では、 $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Nd123)における高い臨界電流密度(J_c)起源を明らかにするため、中性子小角散乱法を用いて磁束線のピンニングサイトとなる可能性をもつNd123中の不均質構造を調べた。測定により得られた結果は2次元パターンが異方的であり、かつ周平均して得られる散乱強度は散乱ベクトルの3乗の逆数に比例するという特徴を示した。これらの結果は試料中によく配向した散乱体が存在することを示すものであり、またより高い J_c を示す試料中においてスケールのより大きな散乱体の存在が示唆されたことと矛盾しないことがわかった。そこで数値計算により定量的な検討を行ったところ、実験で得られた2次元パターンおよび散乱プロファイルの特徴ある散乱ベクトル依存性の両者をもっともよく説明するのは、結晶のc軸に平行な軸を持った楕円柱を、試料が双晶構造をもつことを考慮して二方向に配向させた場合であり、そのab面内での楕円形の軸長がそれぞれ400~200nm, 200~100nmであり、高い J_c をもつ試料のほうがサイズが大きいことが計算機実験との比較から明らかとなった。また小角散乱を生ずる散乱体としてはNd/Ba置換領域の可能性が示唆された。

第5章では、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO)を用いた測定において観測された、小角散乱強度が時間とともに増大していく一種の緩和現象について考察を行った。特性時間が数日間にも及ぶ長時間にわたる緩和現象であり、小角散乱強度は大きいときで20倍以上にもなった。およそ30K以下でのみ観測され、30K以上では観測されなかったが、この試料における超伝導転移温度30Kであることから、超伝導の発現と直接あるいは間接的に関連した現象であることが示唆された。そのゆらぎ

のスケールは平均で 100nm (ボロド半径) 程度であり, この小角散乱の起因は超伝導状態における磁気的なゆらぎによるものと推論された。類似の結晶構造をもつ電子ドープ型高温超伝導体である $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ でも同様の現象が観測されているため, ドープ状態にもよるが, 214系に一般に見られる現象であることが結論された。

第6章は結論であり, 本論文で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は中性子小角散乱法により第2種超伝導体の微細構造と磁束状態を明らかにするため行った研究の結果をまとめたもので, そのおもな成果は次の通りである。

(1) Nb 単結晶中に形成された磁束格子は磁場を 110 方向に印加すると 2 回対称性の格子を形成し, 外場に対して磁束線は最密方向である 110 方向に剪断変形し, 低温ではさらに 001 方向に沿った圧縮変形を起こすことが解析の結果明らかとなった。(50) という高次の反射まで捕らえた精度の高い中性子散乱強度の測定データを解析し, London 理論に付加的なゆらぎに起因する減衰項を導入することによって, 散乱強度プロファイルの説明が可能であり, それより磁束線半径を 3.3K で 20.3nm と決定した。

(2) $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ における高い臨界電流密度 (J_c) の起源を調べるため, 中性子小角散乱法を用いて不均質構造を調べた。実験で得られたストリーク状の散乱プロファイルを説明できるのは, 結晶の c 軸に平行な楕円柱を, 試料が双晶構造をもつことを考慮して二方向に配向させた場合であり, その ab 面内での楕円形の 2 つの軸長がそれぞれ 400~200nm, 200~100nm であり, 高い J_c をもつ試料のほうがサイズが大きいことが計算機実験との比較から明らかとなった。

(3) $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 結晶について小角散乱強度を低温で観測すると, 30K 以下の温度範囲内で時間とともに積分強度が増大する一種の特性時間が数日間にも及ぶ長時間にわたる緩和現象が見出された。そのゆらぎのスケールは平均で 100nm (ボロド半径) 程度であり, この小角散乱の起因は超伝導状態における磁気的なゆらぎによるものと結論された。

以上要するに本論文は, 第2種超伝導体中の磁束構造, 磁束ピンニングの起源, 磁気的ゆらぎの構造に関する基礎的研究の結果をまとめたもので, 学術上, 実際上寄与するところが少なくない。よって, 本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また平成13年10月18日, 論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果, 合格と認めた。