

平成22年 5月 23日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20740201

研究課題名 (和文) 磁束格子フローの結晶方位

研究課題名 (英文) Orientations of driven vortex lattice in the flux flow state

研究代表者

小久保 伸人 (KOKUBO NOBUHITO)

九州大学・高等教育開発推進センター・助教

研究者番号：80372340

研究成果の概要 (和文)：第2種超伝導体の磁束フロー状態において、磁束格子の格子方位を捉える簡便な実験手法の開発に成功した。これは、磁束を駆動する電流に微弱な高周波電流を重畳し、磁束運動の周期性から格子方位を共鳴的に捉える技術である。従来の大型加速器実験では測定できない薄膜試料で実験が可能となる。アモルファス超伝導膜における共鳴実験から、運動方向に格子方位が揃う平行な方位運動と、これまでの概念を覆す垂直な方位運動を発見した。

研究成果の概要 (英文)：We have succeeded in developing a simple experimental technique for detecting the orientation of vortex lattice in the flux-flow state for type II superconductors. This technique is based on the resonance between the periodicity in vortex-lattice motion and a small rf current superimposed on top of the transport current. It is applicable to the small samples including films which are not possible to study by the conventional method of the small angled neutron scattering measurement. Employing the resonant technique to amorphous superconducting films, we find not only the lattice orientation parallel to the flow direction, but also the perpendicular orientation which is not expected in theoretical studies so far.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,700,000 | 810,000 | 3,510,000 |
| 2009年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：第2種超伝導体、磁束格子、モードロック共鳴

1. 研究開始当初の背景

(1) 第2種超伝導体に誘起された量子化磁束の集合体 (磁束格子) は、互いに働く相互作用により周期的な2次元の三角格子を組む。

(2) 磁束格子の格子方位は、静的な場合、超伝導体を構成する母体原子配列の対称性や超伝導秩序パラメータの異方性、ピン止め特性など微視的な環境で決まる。これに対し、

電流印加により磁束をフロー状態にすると、微視的環境から受ける影響が有効的に減少する。このため、静的な磁束状態と違った、フロー状態に特有な格子方位が現れる可能性がある。

(3) フロー状態における格子方位の理解は、これまで有効な実験手段がなく、あまり進んでいない。

2. 研究の目的

(1) フロー状態における磁束格子の格子方位を捉える新しい実験手法を開発する。

(2) 微視的環境の影響が弱い非晶質（アモルファス）超伝導膜において、フロー状態における磁束格子の格子方位を実験的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 格子方位の決定方法

① 磁束が格子構造を保ってフローする場合、磁束配列がもつフロー方向の周期性により、磁束の速度は周期的に変調される。この速度変調は、磁束の平均速度 v とフロー方向の磁束間距離 a で決まる内部周波数

$$f_{\text{int}} = v/a$$

で特徴づけられる。

② 内部周波数の大きさは、格子方位に依存する。例えば、格子方位が運動方向に揃う場合（図 1(a)）、フロー方向の磁束間距離は格子定数 a_{Δ} で与えられる。このとき、内部周波数は $f_{\text{int}} = v/a_{\Delta}$ となる。一方、運動方向に対して格子方位が垂直な場合（図 1(b)）、フロー方向の磁束間距離はもうひとつの格子定数である列定数 a_{\perp} で与えられる。このため、 $f_{\text{int}} = v/2a_{\perp}$ となる。正三角格子の場合、 $a_{\perp} = (\sqrt{3}/2)a_{\Delta}$ と与えられるため、垂直方位の内部周波数は平行な場合に比べて $\sqrt{3}$ 倍大きくなる。

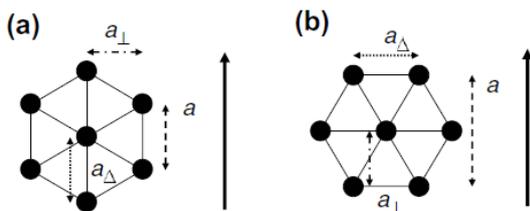


図 1 磁束格子の方位と運動方向の関係

③ 微弱な高周波電流を直流電流に重畳し、磁束運動に伴う高周波インピーダンスを測定する。内部周波数と高周波電流の周波数 f が調和的に関係付けられたとき、磁束格子の周期的な運動が高周波電流にロックされる。これをモードロック共鳴という。共鳴が起こる電圧値と格子方位の共鳴条件を定量的に比較し、磁束格子の格子方位を決定する。

(2) 共鳴実験装置

極低温用高周波同軸ケーブルを用いて、モードロック共鳴インサートを作製する。4 端子対法による精密高周波インピーダンス測定装置と組み合わせ、磁束格子方位を捉える共鳴実験装置を構築する。

(3) 試料

高周波スパッタ装置を製作し、Mo と Ge および Nb と Ge を混ぜたアモルファス超伝導膜の成膜を行う。

4. 研究成果

(1) 主な成果

① 図 2(a) は、異なる磁場で得られた高周波インピーダンスの結果である。高周波インピーダンスの実部の微分カーブにモードロック共鳴を示す明確なピークを観測した。

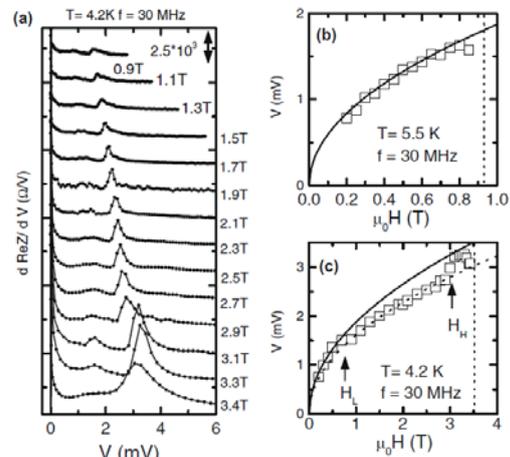


図 2 モードロック共鳴実験例

図 2(b) 及び(c)に、共鳴が起こる電圧値を磁場に対してまとめた。それぞれ 5.5 K 及び 4.2 K で得られた共鳴電圧の磁場依存性を示す。高温の 5.5 K（図 2(b)）では、共鳴電圧は磁場 H に対して単調に増加し、平行な共鳴条件

$$V_{l/l}^{\parallel} = f l B a_{\Delta}$$

を示す実曲線と非常によく一致する。ここで

l は試料の長さを表し、磁束密度 B は印加磁場 H と等しいとした ($B = \mu_0 H$)。一方、低温の 4.2 K (図 2(c))では、低磁場 ($H < H_0$)と高磁場 (3 T 付近)において平行な共鳴条件と一致し、中間の磁場 ($H_0 < H < H_1$)で垂直な共鳴条件

$$V_{1/2}^\perp = flBa_\perp$$

を示す破曲線と一致する。いずれもフィッティングパラメータはない。実験データとの一致から、磁束格子の格子方位を決定した。

②図 3 に得られた格子方位を温度磁場相図としてまとめた。広い温度磁場範囲にわたって垂直な格子方位運動が現れ、高磁場及び低磁場の狭い範囲において平行な格子方位運動が現れることが分かった。

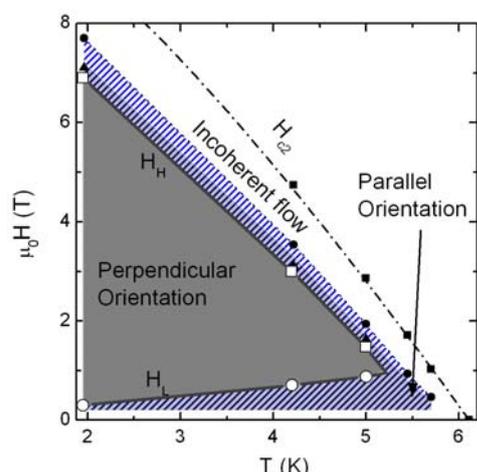


図 3 磁束格子の格子方位の温度磁場相図

(2) 国内外における位置づけとインパクト

①本研究で見出した実験手法は、微弱な高周波電流を磁束の駆動電流に重畳することにより、フロー状態における格子方位を共鳴的に捉えるものである。バルクな大きさの試料しか測定できない大型加速器実験と違い、薄膜を含めた小さな試料で測定が可能となる。印加する電流値も小さく抑えられるため、試料の発熱の問題がほとんどない。さらに、実験装置も安価で小型である。このため格子方位を捉える画期的で簡便な手法として注目を集めた。

②垂直な格子方位の物理的起源として、超伝導体を構成する原子配列の結晶軸や超伝導秩序パラメータの異方性といった微視的な環境の影響がこれまで考えられてきた。また、微視的な影響がない場合、磁束の運動に伴う

エネルギー散逸を最小にする議論から、平行な格子方位運動が常に安定であると信じられてきた。本研究で用いたアモルファス超伝導膜には、原子配列の結晶軸や超伝導秩序パラメータの異方性がない。したがって、アモルファス超伝導体で見出した垂直方位運動は、これらの既成概念では説明できない。フロー状態に特有な新しい格子方位運動である可能性を示した。

(3) 今後の展望

本実験技術は、エキゾチック超伝導体における異方的な超伝導秩序パラメータの対称性を決定する新しい手法になりえる。また、超伝導体に限らず、電荷密度波やヘリウム液面電子に応用することにより、電子系の運動状態に関する新奇物性の探索に応用できる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① N. Kokubo, T. Nishizaki, B. Shinozaki, and P. H. Kes, Lattice orientations of driven vortex matter in amorphous MoGe films, Physica C, 査読有, 470 巻, 2010, 43-47
- ② N. Kokubo, B. Shinozaki, and P. H. Kes, Field dependent orientation of driven vortex lattice in amorphous MoGe films, Journal of Physics: Condensed Matter, 査読有, 150 巻, 2009, 052116-1-052116-4
- ③ N. Kokubo, B. Shinozaki, and P. H. Kes, Mode locking and lattice orientations of vortex matter in amorphous MoGe films, Physica C, 査読有, 468 巻, 2008, 581-584

[学会発表] (計 27 件)

- ① 小久保伸人, 傾斜磁場下における磁束格子フローの格子回転, 第 17 回磁束線物理国内会議, 2009 年 12 月 2 日, 大阪府立大学
- ② N. Kokubo, A. Kanda, S. Okayasu, B. Shinozaki, Direct Observation of Vortex States in Amorphous MoGe Disks by Scanning SQUID Microscopy, The 12th International Workshop on Vortex Matter in Superconductors, 2009 年 9 月 12-16 日, 内藤セミナーハウス (山梨県)

- ③ N. Kokubo, Periodic spacing and lattice orientations of driven vortex matter in amorphous MoGe films detected by mode locking techniques、Joint JSPS-ESF International Conference on Nanoscience and Engineering in Superconductivity、2009年3月23日、Tsukuba
- ④ 小久保伸人、西寄照和、篠崎文重、P. H. Kes、駆動された渦糸格子の格子方位、第16回渦糸物理国内会議、2008年12月8日、東京工業大学
- ⑤ N. Kokubo、T. Nishizaki、B. Shinozaki、and P. H. Kes、Orientations of driven vortex lattice in amorphous MoGe films、25th International Conference on Low Temperature Physics、2008年8月11日、Amsterdam

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小久保 伸人 (KOKUBO NOBUHITO)
九州大学・高等教育開発推進センター・
助教
研究者番号：80372340

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者