

走査トンネル分光法による $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の非平衡渦糸観測

吉澤俊介¹, 松葉健², 茂筑高士¹, 平田和人¹, 西田信彦³

(¹物材機構, ²東大院総合, ³豊田理研)

磁場中に置かれた超伝導体に形成される量子磁束（渦糸）のふるまいは、多くが磁化や電気伝導などのバルク測定で研究されているが、詳細に理解するには実空間観測が欠かせない。渦糸の運動を実空間観測した例としてはローレンツ顕微鏡による研究[1]が挙げられる。しかし、このような磁束密度の空間変化から渦糸を可視化する方法は、磁束どうしが重ならないごく低磁場でしか使えない。高磁場で渦糸を実空間観測できるほぼ唯一の方法が、走査トンネル顕微鏡・分光法（STM/STS）を使った手法である。渦糸の中心部の芯とよばれる領域では超伝導が抑制されており、エネルギーギャップ内に準粒子励起状態ができるので、低エネルギー局所状態密度の空間変化を STM/STS によってマッピングすることにより渦糸芯を可視化できる。渦糸芯どうしは上部臨界磁場付近まで重ならないので、高磁場においてもこの手法は有効である。非平衡状態の渦糸に関しては、STM で高速スキャンを行うことにより渦糸運動をアニメーションのように観測できる[2,3]。それでも 1 枚の画像を取得するのに 10-20 秒程度を要するため、隣接渦糸間距離をさらに短い時間で動くような速い渦糸運動や、運動速度を制御できない場合に対応するのは難しい。

今回、銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) の STM/STS を温度 4.2 K、磁場 14.5T のもとで行い、渦糸運動に関する情報を得る新しい手法を開発した。まず、渦糸を 60 個程度含む $90 \text{ nm} \times 90 \text{ nm}$ の領域を観察したところ、渦糸が動かずにいる領域と動きやすい領域があることがわかった。後者の領域の dI/dV 像には探針スキャン方向に筋状のノイズが多数入り、渦糸芯の輪郭は不明瞭であった。このようなノイズは、渦糸が断続的にピンサイトに滞在するために生じる[4]。そこで渦糸の動きやすい $45 \text{ nm} \times 45 \text{ nm}$ 領域に視野を固定したまま、約 40 時間にわたって繰り返し dI/dV イメージを取得し、それらを統計関数を用いて合成することにより、渦糸の滞在しやすい場所や、その場所における滞在頻度などの、渦糸運動の特徴を反映した画像を得ることに成功した。

[1] K. Harada et al. Nature 360, 51 (1992).

[2] A. M. Troyanovski et al. Nature 399, 665 (1999).

[3] K. Uchiyama, S. Suzuki, A. Kuwahara, K. Yamasaki, S. Kaneko, H. Takeya, K. Hirata, N. Nishida, Physica C 470, S795 (2010).

[4] S. Yoshizawa, T. Koseki, K. Matsuba, T. Mochiku, K. Hirata, and N. Nishida, J. Phys. Soc. Jpn. 82, 083706 (2013).