走査型トンネル分光の発展と高温超伝導

Development of scanning tunneling spectroscopy and high-T_c superconductivity

○花栗哲郎（理研創発物性科学研究センター）

○Tetsuo Hanaguri (RIKEN CEMS)

E-mail: hanaguri@riken.jp

走査型トンネル顕微鏡（STM）が持つ原子レベルの空間分解能と、トンネル分光法が持つμeVにも達する高いエネルギー分解能を組み合わせると、物性の背景にある電子状態を解析する強力な手法になる。また、原理的に STM はコンパクトにすることが可能であり、極低温強磁場といった極限環境と組み合わせることができる。これらの利点にいち早く着目し、低温 STM の開発をゼロから行い、銅酸化物高温超伝導体の超伝導状態における原子像取得に成功した [1] 北澤研究室は、当時学生だった私にとって畏敬の対象だった。

原子像取得の次のステップは、原子分解能 STM 像の全てのピクセルでトンネル分光を行い、局所状態密度を反映するトンネルコンダクタンスをエネルギー毎にマップすることである。北澤先生はこれを AST（Atomic-Site Tunneling）と名付け、その実現に取り組まれていた。現在でいう分光イメージング STM である。分光イメージングには非常に時間がかかり、一回のスキャンに数日を必要とする。この間、振動等の擾乱を徹底的に排除し、視野のドリフトを原子レベル以下に抑えなければならない。私は 1999 年に北澤研究室に異動し高安定 STM の開発を始めたが、恥ずかしながら、北澤先生が退官されるまでに成果を出すことができなかった。その後、Cornell 大 Davis グループの技術指導を得、異動先の理研で定常的に分光イメージングが可能になった時は、もう 2007 年になっていた [2]。

分光イメージングを使うと、銅酸化物高温超伝導体の電子状態の思いもかけない特徴が見えるようになった。その一つは、いわゆる擬ギャップを反映した電子状態の短距離秩序（ナノストライプ）の存在である [3]。分光イメージングの最大の特徴は、コンダクタンス像に現れる電子定在波の Fourier 変換をとることにより波数分解した電子状態の情報も得ることができる点にあるが、これにより *d* 波超伝導ギャップの分散を求めることができるようになったほか、超伝導とナノストライプが波数空間ですみ分けていることも明らかにされた [4]。さらに、超伝導状態の電子定在波の磁場依存性に超伝導ギャップの位相構造が反映されることがわかり [5]、鉄系超伝導体の超伝導ギャップ構造解明に応用された [6]。このように、分光イメージング STM は実空間と波数空間の電子状態を同時にしかも磁場中で観測できる手法としてユニークであり、トポロジカル絶縁体など、高温超伝導以外の様々なエキゾチックな物性解明にもさかんに応用されるようになっている。今後、薄膜作製技術との融合や時間分解測定などにより、さらに新しい展開が期待できる。

1) T. Hasegawa, M. Nantoh and K. Kitazawa, Jpn. J. Appl. Phys. **30**, L276 (1991).
2) T. Hanaguri *et al.*, Nat. Phys. **3**, 865 (2007).
3) Y. Kohsaka *et al.*, Science **315**, 1380 (2007).
4) Y. Kohsaka *et al.*, Nature **454**, 1072 (2008).
5) T. Hanaguri *et al.*, Science **323**, 923 (2009).
6) T. Hanaguri *et al.*, Science **328**, 474 (2010).

© 2015年 応用物理学会