

高温超伝導が起こる仕組みに迫る

背景

当研究所では、液体窒素などで冷却しなくてもゼロ抵抗を示す「室温超伝導体」が発見されれば電気事業をはじめ多くの産業分野で超伝導の利用を核とした技術革新が可能になると考え、そのための基礎研究として高温超伝導が起こる仕組みの解明を積極的に進めてきた。

目的

当研究所は高温超伝導体の高品質単結晶試料の作製とその電気伝導特性の測定において世界をリードしているが、同時にその他の実験手法を得意とする世界各国の様々な研究グループと共同研究を進め、当所で作製した単結晶を用いて高温超伝導体の物性を多面的に調べることにより高温超伝導が起こる仕組みの解明を目指している。ここでは、米国ロスアラモス国立研究所のバルス強磁場施設のグループと共同で行った極低温ホール係数測定に関する研究と、米国イリノイ大学物理学科のヤズダーニ準教授のグループと共同で行ったSTM（走査型トンネル顕微鏡）による電子の状態の直接観測に関する研究の成果を紹介する。

主な成果

- (1) 物質中で電子がどんな集団状態になっているかを反映する物理量であるホール係数を、ビスマス系高温超伝導体に55万ガウス（55テスラ／地磁気の約百万倍）の超強磁場をかけて超伝導を故意に壊した状態で、絶対零度1度以下の極低温まで測定した。その結果、極低温で観測されるホール係数は超伝導がもっとも強くなる最適電子濃度（15%）のところで急激に変化することがわかった（図-1）。この結果は、超伝導の舞台となっている電子の集団がちょうど最適電子濃度を境として異なった状態にあることを示しているが、このように異なる集団状態が隣接しているときには電子の集団が不安定になり、量子力学的な「ゆらぎ」が非常に大きくなるのが物理学では知られている。従って今回の結果は、高温超伝導現象がそのような量子力学的ゆらぎによる電子集団の不安定性によって起こっている現象であることを示唆する。この成果は英科学誌ネイチャーに掲載された¹⁾。
- (2) ビスマス系高温超伝導体中の電子状態を、超伝導が起こる温度よりも高い温度においてSTMを用いて直接観察したところ、電子が空間的に列状にならんだ奇妙な秩序状態をとっていることがわかった（図-2）。電子が空間的に並んでしまうと電気が流れなくなるのが普通だが、高温超伝導体では電子が並ぶことによって逆に電気がもっとも流れやすい状態である超伝導状態を導いている、という驚くべき結論が今回の結果から導かれる。この成果は米科学誌サイエンスに掲載された²⁾。

今後の展開

量子力学的ゆらぎや電子の秩序化という特徴的な物理現象が高温超伝導が起こる背景にあることが明らかになったので、今後はより具体的にこれらの物理現象と超伝導の関係を探り、高温超伝導発現機構の解明を目指す。

主担当者 材料科学研究所 材料物性・創製領域リーダー 安藤 陽一

- 関連報告書
- 1) “Signature of optimal doping in Hall-effect measurements on a high-temperature superconductor”, *Nature* **424**, 912 (2003) .
 - 2) “Local Ordering in the Pseudogap State of the High- T_c Superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$,” , *Science* **303**, 1995 (2004) .

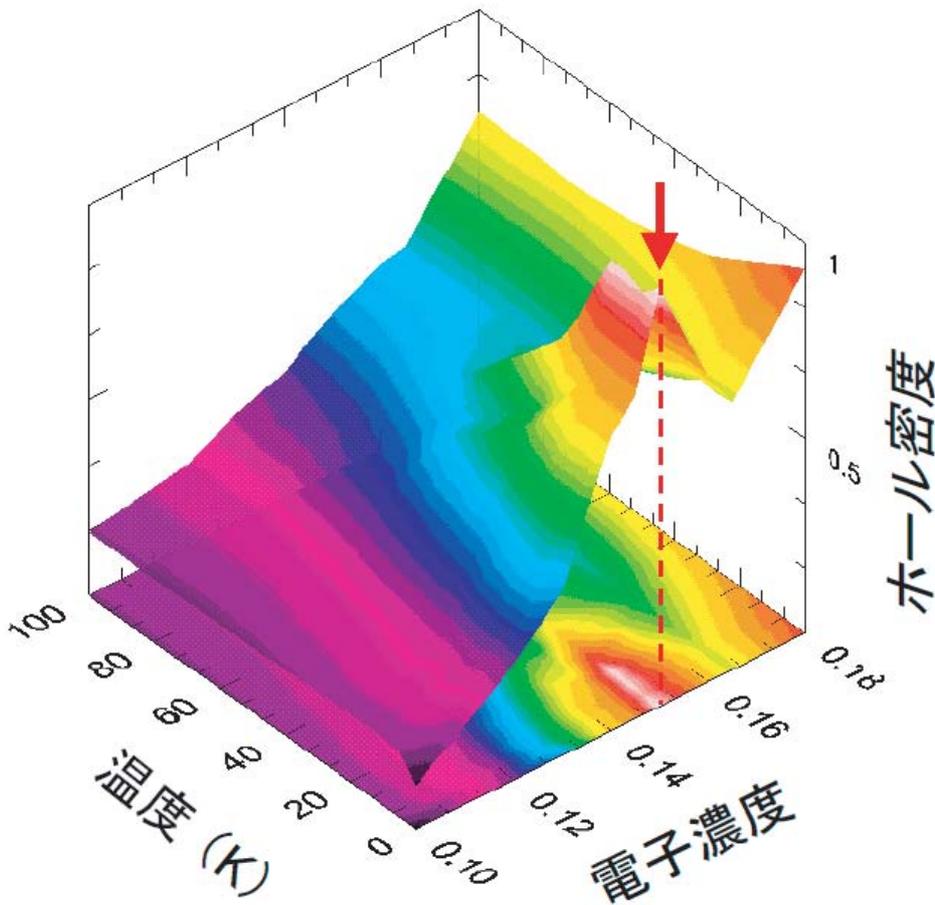


図-1 55万ガウス（55テスラ）の超強磁場で高温超伝導体の超伝導状態を壊したときのホール密度（ホール係数の逆数に相当し、電子の集団状態を反映する）を、温度（左側の軸）および電子濃度（右側の軸）の関数として3次元プロットしたもの。電子濃度0.15（つまり15%）のところが超伝導がもっとも強くなる最適電子濃度。この最適電子濃度を境に二つの異なる電子の集団状態が競合している結果、絶対零度近くではホール密度に鋭い「山」（図中の赤い矢印）ができています。

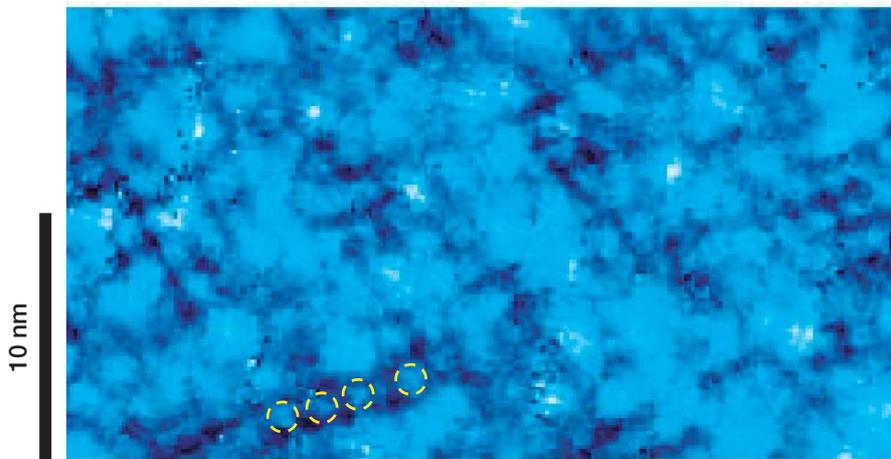


図-2 ビスマス系高温超伝導体の単結晶試料を超伝導が起こる温度よりも高い温度であるマイナス173℃においてSTMで測定した結果。試料と探針の間の距離を一定に保って探針を試料表面で動かしたときに流れる電流が空間的にどう変化するかを測定しているため、電流が多く流れるところが白く表され、そこに電子が集まっていることになる。図中に黄色い点線で囲ったように、電子は直径約1nmの大きさのぼやっとした固まりを形成しており、このような固まりが空間的に並んだ奇妙な配列状態をとっている。