



平成 24 年 2 月 20 日

報道機関各位

東北大学多元物質科学研究所
理化学研究所

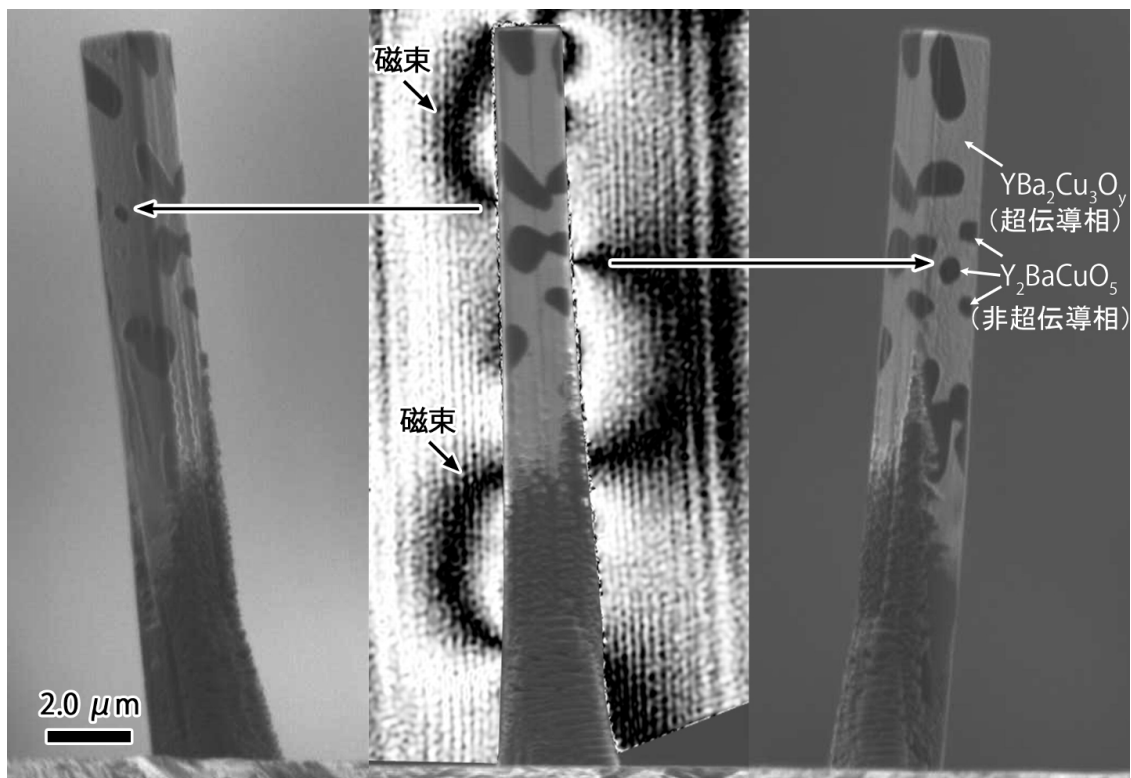
高温超伝導材料の磁束ピン止めの可視化に成功 -東北大と理研
電子線ホログラフィーと走査イオン顕微鏡法を併用し 3 次元解析

<研究成果の概要>

東北大学多元物質科学研究所の進藤大輔教授（理化学研究所客員主管研究員）と理化学研究所グループディレクター外村彰博士（日立フェロー、沖縄科学技術大学院大学教授）らの研究グループは、最新の電子線ホログラフィー技術により、高温超伝導バルク材料周辺の磁束分布を観察し、磁束量子が析出物にピン止めされている様子を 3 次元的に観察することに初めて成功しました。バルク超伝導材料の内部に分散させた非超伝導の析出物に磁束がピン止めされることにより高い臨界電流密度が得られるものと考えられてきましたが、その様子を実際に直接観察したもので、今後、超伝導の臨界電流密度や強力な磁石としての磁気特性の向上を図る上で、極めて有効な研究成果と位置づけられています。この析出物に磁束量子がピン止めされた写真は、昨年日本金属学会の金属組織写真展で最優秀賞を受賞しましたが、温度や印加磁場を変えた際の磁束分布の変化の様子を捉えた詳細な研究成果が 2 月 9 日付で米国応用物理の雑誌のインターネット版に発表されました。

<内容説明>

試料は、新日本製鐵株式会社が開発した Y 系酸化物高温超伝導バルク材料 ($YBa_2Cu_3O_y$) で、内部に微細な非超伝導相 (Y_2BaCuO_5) が分散されています。集束イオンビーム法により $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ の角柱状の試料を作製しました。この試料を 0.01T(テスラ)の磁場下で、12K(-261°C)まで冷却し、その後磁場を切り、13K(-260°C)で電子線ホログラフィー技術により磁場の分布を観察しました。写真の中央の角型の試料の周りに円弧状の黒いコントラストが見られますが、これが磁束に対応しています。その磁場の強さを解析することにより、円弧状のコントラストが磁束量子 1 本に対応していることがわかりました。この磁束量子が、試料の側面のどこから生じているかを明らかにするため、左右の写真は、試料をそれぞれ 52° だけ左と右回りに回転させ、走査イオン顕微鏡で観察したものです。走査イオン顕微鏡では、右図に示すように、析出物としての非超伝導相が黒く映し出されており、矢印で示すように磁束量子は、この非超伝導相を通過している、つまり非超伝導相に磁束量子がピン止めされていることがわかりました。このように、電子線ホログラフィーによる磁場の観察と走査イオン顕微鏡による析出物の 3 次元的観察を組み合わせることにより、磁束量子と析出物との位置関係がはじめて解析できました。この超伝導バルク材料は、永久磁石の 5 倍強力な磁石として機能するバルクマグネットなど種々の応用開発が進められており、今後非超伝導析出物の大きさや密度を変えた際の組織と磁束分布の対応付けが可能となるわけで、実用化が加速されるものと期待されています。



<用語の補足説明>

1. バルク超伝導材料

急冷や溶融、方向凝固などのプロセスを経て作製される塊状の超伝導材料。配向した超伝導体結晶中に、非超伝導物質を微細に分散させた材料組織を持たせることができ、その結果、ゼロ抵抗で高い電流を流したり、永久磁石よりも強い磁石として活用できます。

2. 電子線ホログラフィー

電子の波動性を利用し、試料の内外の電磁場の情報をホログラムとしてデジタルデータとして記録し、コンピュータ解析により、電磁場の分布をナノメートルスケールで可視化できる最先端の電子顕微鏡法。

3. 走査イオン顕微鏡

ガリウムイオンビームを数ナノメートルから数百ナノメートルに集束させ試料表面を走査させながら、試料から放出される2次電子の強度分布を同期させて2次元画像として出力する装置。原子番号の違い等による2次電子の放出量の違いから、異なる組成の組織の観察ができます。

4. 集束イオンビーム法

電子顕微鏡で試料を観察するために、試料の形態を調製する際、最近精力的に利用されてきている加工技術。加速電圧30kV程度の条件でガリウムイオンビームを集束させ試料に照射・走査させることで、金属、半導体、セラミクスなど様々な試料を精密に高速で加工・薄膜化することができます。

5. 臨界電流密度

超伝導体に抵抗ゼロで流すことができる最大の電流密度の値。臨界温度、臨界磁場と並んで、超伝導の基本特性を示す3要素の一つで、実用上重要な値です。

6. 磁束のピン止め

磁束が超伝導体の内部にあるひずみや不純物に捕らえられ、ピンで止めたように動かなくなる現象。磁束の移動に伴う電気抵抗の発生を抑える上で重要な役割を果たします。

7. 磁束量子

超伝導体に磁場が侵入した際、そのまわりを還流する超伝導電子対の軌道は、量子化条件を満足する必要があり、このため磁場はとびとびの値しかとることができません。その最小単位は磁束量子と呼ばれています。

(お問い合わせ先)
東北大学多元物質科学研究所
担当：助教 赤瀬 善太郎
akase@tagen.tohoku.ac.jp
Tel. (022)217-5171
教授 進藤 大輔
shindo@tagen.tohoku.ac.jp
Tel. (022)217-5170