

読者の広場

Q&A

Q: 「超電導材料の磁力線観察に成功したという記事がありました。どのような技術により可能になったのでしょうか。また、どのような応用が期待されるのでしょうか？」

A:

電子線ホログラフィー

磁力線の観察は透過電子顕微鏡法 (TEM) の一つである電子線ホログラフィーという手法を用いて行いました。電子線ホログラフィーでは「試料周辺を通過した電子波 (物体波)」と「試料から離れたところ通過した電子波 (参照波)」を干渉させて干渉縞 (ホログラム) を撮影・記録し (図 1)、この干渉縞を解析することで、物体波の位相と振幅を計算 (再生) することができます。電磁場の存在する空間を電子の平面波が通過するとき、その空間におけるスカラーポテンシャルやベクトルポテンシャルに応じて波の位相が変化するため、この位相変化をホログラムに記録し、再生することで試料内外の微弱な電磁場を可視化することが可能です。

試料準備方法とホログラムの撮影手順

観察に用いた試料は熔融法で作製されたバルク YBCO で、方向凝固された超伝導の 123 相の中に磁束のピン止めサイトとして常伝導の 211 相粒子が分散された試料です。これを集束イオンビーム (FIB) を用いて $2\ \mu\text{m} \times 2\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ 程度の角柱状に加工し観察用の試料としました。ホログラムの撮影には鏡筒内で温度制御と外部磁場制御ができる特殊な透過電子顕微鏡を用いました。まず T_c 以上の温度域で c 軸方向に外部磁場を印加し、外部磁場を印加したまま T_c 以下の温度に冷却後、外部磁場をオフにして、試料周辺のホログラムを撮影しました。得られた位相再生像には電場のノイズを差し引く処理を行いました。観察初期ではいろいろなサイズの試料を観察しましたが、上記の試料形状のときに磁束量子一個がピン止めされている様子が捉えられました。

走査イオン顕微鏡による組織観察

上記試料は厚さが $2\ \mu\text{m}$ あって入射電子が透過できないため、TEM では材料の組織観察ができません。そこで、組織観察は FIB 装置で得られる走査イオン顕微鏡法 (SIM) の像を用いました。これはガリウムイオンで試料表面をスキャンした時に発生する 2 次電子を、走査電子顕微鏡法 (SEM) と同じ要領で画像化する顕微鏡法です。SIM 像では 211 相が暗いコントラストになり、123 相との区別は容易につきます。図 2 (a) に、ホログラフィーで得られた位相再生像 (位相増幅 2 倍) に SIM による試料の像を重ねたものを示します。図 2 (b) は試料を 52° 傾けた側面の SIM 像です。このように位相再生像と SIM を組み合わせることで磁束量子がピン止めされた位置を材料組織と対応付けすることに成功しました。

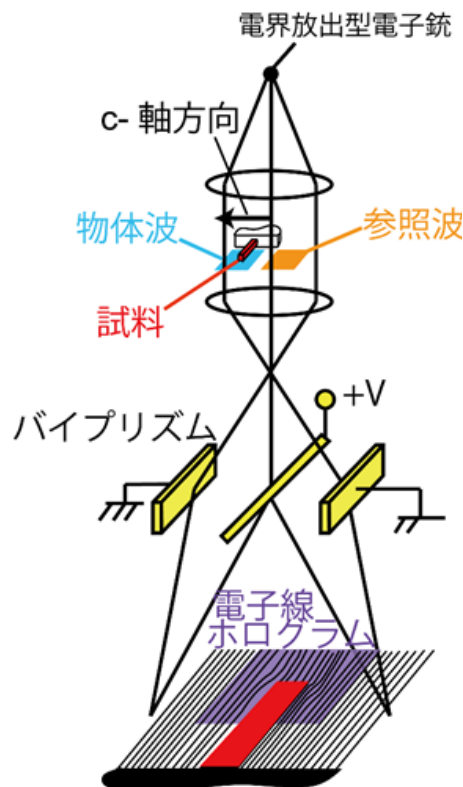


図1 電子線ホログラム形成の模式図

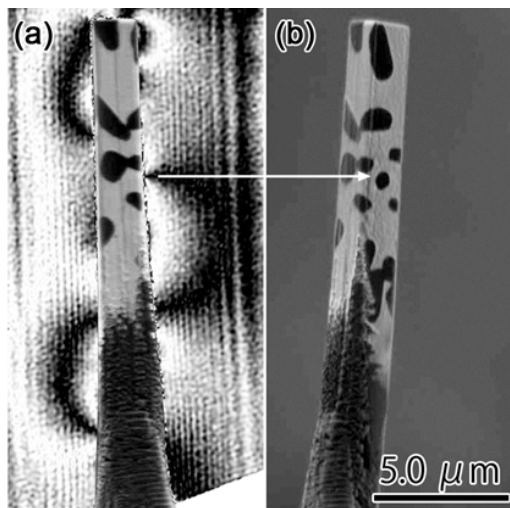


図2 (a) 位相再生像（背景、位相増幅2倍）と走査イオン顕微鏡像（試料）を合成した図。
(b) 試料の右側面（52°傾斜）の走査イオン顕微鏡像。

応用について

高温超電導材料は社会の多方面で実際に利用されるステージに入りつつありますが、電力や通信への応用にしろ、強力な電磁石としての応用にしろ、磁束量子のピン止めがその性能の要になっています。現在、超電導材料ではピン止め点として更に微細な非超伝導相が導入されたものが実用化に向けて開発されてきており、評価する側も、より高倍率での解析が必要となってきました。そうした材料の評価に本研究結果が活用されていくことを望みます。

参考文献：

Z. Akase, H. Kasai, S. Mamishin, D. Shindo, M. Morita and A. Tonomura: "Imaging of magnetic flux distribution in vicinity of insulating particles in high- T_c superconductor by electron holography", J. Appl. Phys., 111 (2012) 033912(1)-033912(5).

回答者

東北大学多元物質科学研究所：赤瀬善太郎 様、進藤大輔 様
理化学研究所,株式会社日立製作所：外村 彰 様

[超電導 Web21 トップページ](#)

「Web21 についてのご意見・ご感想、「読者の広場」その他で取り上げて欲しい事項、その他のお問い合わせは、超電導 Web21 編集局メール web21@istec.or.jp までお願いします。」