

金材技研

科学技術庁

金属材料技術研究所

1991 No.11

ニュース

新しいスピン波をパーマロイ細線 2 次元格子
で発生／酸化物超電導体の磁界特性を左右す
る揺らぎ／ステンレス鋼の液体 Na 腐食試験

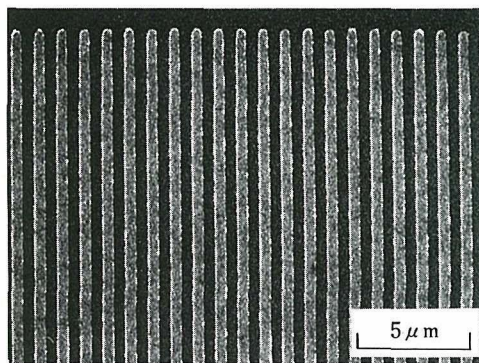
磁気双極子相互作用による新スピン波を観測

—— 磁性体の細線格子で発生に成功 ——

日常広く使用されている磁気テープ、磁気ディスク、永久磁石などは、磁性体微粒子の集合体である。これらの磁気応用機器では、微粒子の大きさと形状、それらのばらつき、および集合の状態によって機器の性質が大きく左右されることは、よく知られている事実である。しかしながら、現在の材料科学は、このような微粒子すなわち微細な構造体が、相互作用を持って集合している不均質非連続体に関して、充分に有効な情報を与えるには至っていない。

生体では、個々の微細な構造体が秩序を持って組織を作り、それらが連動して有機的に作動している。その結果、秩序のない組織体よりも著しく高い機能が発揮されている。このような問題に材料基礎科学のメスを入れるために、当研究所を中心とした国際流動基礎研究「微細な秩序構造を有する金属物質の人工組織体の創製と新機能発現に関する研究」(金材技研ニュース, 1989年, No.12参照)が、平成元年度からスタートした。このプロジェクトの中で当研究所は、電子線を直径35nmに絞ってコンピュータで走査する電子線リソグラフ装置を作製し、それをを用いて形状や大きさを正確にそろえ、一定の秩序を持たせた細線や微粒子の配列を薄膜に彫刻して、その磁気的性質を調べている。

高透磁率合金パーマロイの細線からなる 2 次元格子を、シリコン単結晶の基板上に作製してその



磁気双極子相互作用によるスピン波が初めて観測されたパーマロイ細線 2 次元格子(白い縞模様)

マイクロ波共鳴を調べたところ、新しいスピン波が観測された。従来から知られているスピン波は隣接した電子が、相互にそのスピンを平行にしようとする量子論的な交換相互作用により、スピン整列の波動が伝わる現象である。今回のスピン波は、規則的な細線間の磁気双極子相互作用によるもので、初めて観測された現象である。

このプロジェクトを推進することにより、現在の材料科学では不明確であった個々の微粒子の本質的な性質や集合した微粒子が持つ性質などが、順次明らかにされていくものと思われる。更に、微粒子 1 個に 1 ビットの情報を記録する超高密度磁気記録や新しい方式の磁気メモリなど、応用の分野での発展も期待される。

酸化物超電導体における超電導揺らぎ

—— 高温での実用化のキーポイント ——

酸化物高温超電導体の発見以来5年が経過して臨界温度競争も一段落し、現在は基礎的・応用的研究が着実に進められている。

超電導も一般的には一種の相転移で、その性質は空間の次元性に大きく支配される。完全な2次元物質は原理的に超電導にならないが、酸化物超電導体は層状構造で擬2次元物質であるから、超電導になり得る。しかし、その超電導状態は3次元物質である金属系超電導体とは大変異なっており、酸化物超電導体に高温（ここでは臨界温度直下の温度を指す）で磁場をかけると、電気抵抗が発生して超電導でなくなる。このため、酸化物超電導体の2次元性の効果、すなわち2次元的事実であることが超電導体内部にもたらすある種の時間的・空間的揺らぎ（超電導揺らぎ）の研究が、注目されている。単結晶を用いた当研究所における磁場中での各種実験（比熱、反磁性磁化、電気抵抗の測定など）によれば、図1に示したビスマス系酸化物超電導体（Bi-2212）には、予想以上に強い超電導揺らぎが存在することがわかってきた。

層状構造のBi-2212結晶では、c軸（層に垂直な軸）方向とab面（層に平行な面）内の物性の異方性が著しい。荷電子の有効質量 m の比で表わすと $m_c/m_{ab}=10^4\sim 10^5$ 、コヒーレンス長 ξ （超電導体中の2個の荷電子が相関を保ち得る距離）の比で表わすと $\xi_{ab}/\xi_c=100\sim 250$ に達した。なお、この際に測定された $\xi_c=0.02\sim 0.03\text{nm}$ という値

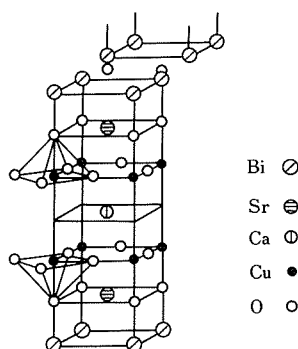


図1 ビスマス系酸化物超電導体（ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ ）の結晶構造

は、金属系超電導体では見られない小さな値であって、酸化物超電導体に特徴的なものである。

超電導体が磁場中で良い特性を示すためには、磁束が動かないように、強くピン止めすることが必要である。Bi-2212のように、c軸方向のコヒーレンス長 ξ_c が層間距離（1.5nm）に比べて充分短いと、磁束線は層間で分断されてしまう。そのため、図2のように磁束線は CuO_2 面上を浮遊するパンケーキ状のものになる。このパンケーキには有効なピン止め力が働かず、超電導揺らぎによって CuO_2 面上を漂うことになる。更に、高温では熱的励起を受けて、この運動が助長される。

理論的考察の結果、この状態を近似的に磁束線パンケーキの気体分子集合体と考え、熱的励起を受けた磁束線パンケーキの運動によって電圧（ジョセフソン電圧）が発生し、それにより電気抵抗が生じるというモデルを作った。当研究所のこのモデルは、酸化物超電導体が高温の磁場中で超電導を示さなくなる現象を、定性的ではあるが初めて説明し得たものである。なお、このモデルはBi-2212を用いた実験に基づいているが、ほかの酸化物超電導体でも、本質的には同じである。

酸化物高温超電導体実用化の大きな障害は2次元性に伴う超電導揺らぎにあることがわかったので、これを克服する研究が強く望まれる。

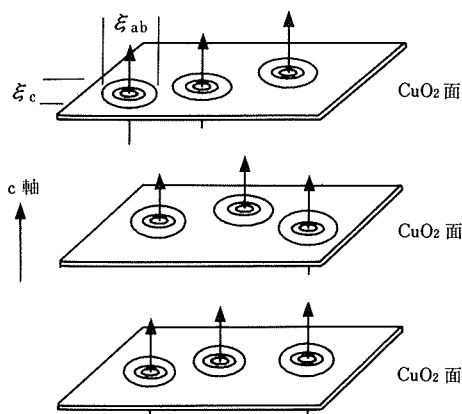


図2 磁束線パンケーキの模式図（矢印はパンケーキ状磁束量子に伴う磁場の方向）

ステンレス鋼の液体ナトリウムによる腐食

—— 熱輸送媒体の環境で長時間実験を実施 ——

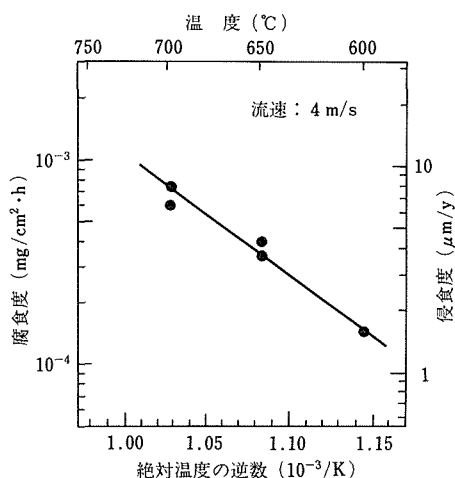
ナトリウム (Na) は融点98℃、沸点883℃で大気圧下での液体状態の温度範囲が広く、熱伝達性もよい。また、一般的構造材料である鋼の重要成分である鉄 (Fe)、クロム (Cr)、ニッケル (Ni) の液体ナトリウム中の溶解度が小さく、その温度による変化も少ないことから、循環させて使用する熱輸送媒体として優れている。液体ナトリウム中の不純物で鋼の腐食に特に有害な元素は酸素であるが、液体ナトリウムを約125℃に保てば結晶性の酸化ナトリウムとして除去できるので、酸素濃度を1～2 ppm (質量) に低下させるのは容易である。更に、ナトリウムは中性子照射などによる変化が少ないことから、高速増殖炉に実用されている唯一の冷却材である。

当研究所は、316ステンレス鋼でループを作り、酸素濃度1～2 ppmの液体ナトリウムを循環させながら、その最高温度帯 (温度600～700℃、流速4 m/s) に各種ステンレス鋼の薄板状試料を最長1年以上の長期間浸せきして、ステンレス鋼試料の腐食挙動を詳細に調べた。最高温度帯のステンレス鋼試料中の鉄とクロムは、それぞれナトリウムおよびナトリウム中の微量酸素と反応し、鉄またはクロム、ナトリウム、酸素の3成分からなる

錯体を作る。この3成分錯体はナトリウム中に溶解して低温帯に運ばれ、分解して鉄またはクロムが析出する。遊離した酸素は再び最高温度帯に運ばれて、この反応を繰り返す。一方、ステンレス鋼試料中のニッケルは最高温度帯で液体ナトリウム中に溶解し、低温帯に運ばれて溶解度限を超えると析出する。液体ナトリウムの循環により、この溶解も繰り返される。

オーステナイト系ステンレス鋼試料の腐食では、初期にクロムの反応およびニッケルの溶解による表面からの選択的溶出が著しいが、時間が経過するとこれら元素の溶出と試料内での拡散が平衡に達して、以後は試料の組成によって決まる定常腐食速度になる。この定常腐食速度の測定例を図に示したが、316ステンレス鋼試料では、600℃以下における腐食はほとんど問題にならない。

ループ内を循環する液体ナトリウム (この場合ループを316ステンレス鋼で作っているので、ループ表面からナトリウム中にニッケルが溶込んでい) の、最高温度帯に浸せきしたステンレス鋼試料表面の鉄、クロム、ニッケルの見掛けの平衡組成は、表のようになった。この表は、それぞれの浸せき温度において、試料中に平衡組成以上に含まれている元素は試料表面からナトリウム中に溶出し、逆に平衡組成以下の元素はナトリウム中から試料表面に吸収されて、平衡組成に近付こうとすることを示している。ステンレス鋼中にはクロムが平衡組成以上に含まれているので、クロムがナトリウム中の酸素と選択的に反応し、ステンレス鋼試料の主成分である鉄の溶出を抑制する。ニッケルを含まないフェライト系ステンレス鋼試料はナトリウム中のニッケルを表面に吸収し、腐食速度が小さくなることもわかった。



液体ナトリウム中における316ステンレス鋼試料の腐食速度

液体ナトリウム中のステンレス鋼表面の平衡組成

試料浸せき温度	見掛け平衡組成(質量率)
600℃	Fe-7%Cr-1%Ni
650℃	Fe-6%Cr-1%Ni
700℃	Fe-5%Cr-1%Ni

注：316ステンレス鋼製ループを使用した場合

創立35周年記念金属材料技術研究所研究発表会の御案内

本年度は「超電導技術（マルチコアプロジェクト）」で3件，「新合成技術による材料創製」で3件，「金属間化合物材料の開発」で2件の研究発表を行います。皆様方の御来聴をお待ち致しております。（聴講自由，プログラムと講演要旨は前号に掲載）

日時：平成3年11月14日（木） 10:15～17:00

会場：金属材料技術研究所・大会議室 東京都目黒区中目黒2-3-12 電話（03）3719-2271

12月の研究発表（国内分）

学・協会名	開催期間	発表題目	発表者(所属)
日本表面科学会 (東京：早稲田大学)	12.2～12.4	1. ファクターアナリシス法の表面分析への応用 2. 金属薄膜上への異種金属原子の多層偏析	藤田 大介（第4）ほか 吉武 道子（表面）ほか
SAMPE先端材料技術国際会議 (千葉・幕張メッセ)	12.11～12.14	1. β 型チタン合金の機械的性質に及ぼす時効処理の影響	宗木 政一（力学）ほか

◆特許速報◆

●出 願

発 明 の 名 称	出願日	出願番号	発 明 者 名
窒化鉄磁性流体製造装置	3. 7. 22	03-181112	中谷 功（日本精工(株)との共同出願）
結晶性SiC膜の製造法	3. 7. 30	03-211421	野田哲二，荒木 弘，阿部富士雄，鈴木 裕

◆短 信◆

●海外出張

氏 名	所 属	期 間	行 先	用 務
小口多美夫	基礎物性研究部	3. 9. 1～3. 11. 16	ドイツ	非周期金属形の理論の研究
松下 明行	基礎物性研究部	3. 9. 1～4. 8. 31	アメリカ	長期在外研究員
小玉 俊明	環境性能研究部	3. 9. 2～3. 9. 12	フィリピン	日・アセアン技術協力責任者会議等出席
門馬 義雄	第5研究グループ	3. 9. 7～3. 9. 13	イギリス	国際会議出席
西島 敏	損傷機構研究部	3. 9. 7～3. 9. 15	イギリス	国際会議出席
浅野 稔久	第1研究グループ	3. 9. 9～3. 9. 27	フランス	二国間協力に伴う専門家派遣
太田 昭彦	環境性能研究部	3. 9. 11～3. 9. 16	中国	国際シンポジウム出席
竹山 雅夫	第3研究グループ	3. 9. 14～3. 9. 25	アメリカ	国際会議出席
田中 千秋	環境性能研究部	3. 9. 15～3. 9. 22	ドイツ	国際会議出席
戸叶 一正	表面界面制御研究部	3. 9. 17～3. 9. 20	韓国	共同研究打合せ及び講演
前田 弘	第1研究グループ			
新居 和嘉	所長	3. 9. 18～3. 9. 28	中国	共同研究の現状調査
清沢 昭雄	表面界面制御研究部			
海江田義也	第3研究グループ	3. 9. 21～3. 9. 30	ソ連	国際会議出席
小玉 俊明	環境性能研究部	3. 10. 2～3. 10. 9	タイ	タイ大気腐食研究巡回指導
和田 仁	第1研究グループ	3. 10. 2～3. 10. 12	オランダ、ベルギー、ドイツ	VAMAS専門委員会会議出席
木村 秀夫	第1研究グループ	3. 10. 6～3. 10. 16	カナダ、アメリカ	国際会議出席
萩原 益夫	力学特性研究部	3. 10. 19～3. 12. 9	アメリカ、ドイツ、フランス	中期在外研究員

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
 (本 所) 〒153 東京都目黒区中目黒2-3-12
 TEL (03)3719-2271, FAX (03)3792-3337
 (筑波支所) 〒305 茨城県つくば市千現1-2-1
 TEL (0298)51-6311, FAX (0298)51-4556

通巻 第395号 平成3年11月発行
 編集兼発行人 真 鍋 烈
 印刷所 株式会社 三 興 印 刷
 東京都新宿区西早稲田2-1-18