

鉄を含む新しい超伝導体「鉄オキシニクタイト」のフェルミ面の観測に成功

現在、世界的な超伝導フィーバーを巻き起こしている、鉄オキシニクタイトのフェルミ面の観測に世界ではじめて成功し、理論的にもその電子状態を明らかにしたので、取材のうえ報道下さるようお願いいたします。

(報道概要)

今年の2月に東京工業大学の細野秀雄教授らのグループが鉄を含む新しい超伝導体(鉄オキシニクタイト)を発見し、1986年の銅酸化物超伝導体以来の世界的な超伝導フィーバーを現在巻き起こしている。通常は超伝導を壊す強磁性体の鉄を含むにもかかわらず、約50Kという高い転移温度を示すことから、新しい超伝導機構の可能性が期待されており、世界の多くの研究者が注目している。

このたび徳島大学の菅原仁准教授、大阪大学の摂待力生准教授・大貫惇睦教授、京都産業大学の山上浩志教授らの共同研究により、鉄オキシニクタイトの単結晶育成にいち早く成功し、ドハース・ファンアルフェン効果(dHvA効果と略す)測定とバンド理論からそのフェルミ面を明らかにした。フェルミ面は「金属の顔」と呼ばれるほど、その物質の電子状態を表す最も基本的な物理量である。今回の研究成果は、鉄オキシニクタイトの超伝導の発現機構を知る上での重要な基礎データであり、今後、さらに高い転移温度を持つ超伝導物質の開発への道を拓く画期的な成果である。

なお、この成果は日本物理学会発行の英文学術誌「Journal of the Physical Society of Japan」11月号(10月25日のオンライン版)のレター論文として掲載される予定である。

お問い合わせ先

部局名 徳島大学総合科学部

責任者 学部長 和田 眞

担当者 准教授 菅原 仁

電話番号 088-656-7229

メールアドレス sugawara@ias.tokushima-u.ac.jp

鉄を含む新しい超伝導体「鉄オキシニクタイト」のフェルミ面の観測

徳島大学総合科学部准教授 菅原 仁
大阪大学大学院理学研究科准教授 摂待力生
京都産業大学理学部教授 山上浩志
大阪大学大学院理学研究科教授 大貫惇睦

今年の2月に東京工業大学の細野秀雄教授らのグループが鉄を含む新しい超伝導体（鉄オキシニクタイト）を発見した。これは、2001年に青山学院大学の秋光純教授らのグループが見つけた MgB_2 （2ホウ化マグネシウム）に次ぐ日本発の快挙であり、1986年の銅酸化物超伝導体以来の超伝導フィーバーを現在巻き起こしている。発見されてわずか数ヶ月の内に100本を超える論文がプレプリントサーバーに掲載されている。

この物質で発見された超伝導がなぜこんなにも注目されているかというと、通常、超伝導とは相容れない強磁性体の鉄を含む物質で起きているからである。しかも、超伝導転移温度は、発見された当初は5Kと低かったが、構成元素の調整により、その転移温度は26Kまで跳ね上がった。つい最近の報告によれば、56Kの転移温度をもつ物質まで開発されている。この超伝導体の物質開発は多結晶試料に関しては急速に進展し、現在では単結晶試料や類似系物質の開発へと発展している。

今回、我々は鉄オキシニクタイトとして初めて超伝導が確認された、 $LaFePO$ の単結晶育成に成功し、微小な単結晶試料でも検出可能なカンチレバータイプのドハース・ファンアルフェン効果（dHvA効果と略す）測定装置を用いて、そのフェルミ面を明らかにした。フェルミ面の研究は、金属の電子状態を知る最も強力な実験手段であるが、それは、一方ではこの超伝導の発現機構を知る上での重要な基礎データとなる。現在、最も転移温度が高い銅酸化物の超伝導は銅と酸素が作る2次元面で発現していると考えられている。今回発見された、鉄を含む超伝導体もやはり鉄とリンやヒ素などのプニクゲン元素の2次元面で発現していると考えられており、その電子状態の理論的研究も現在活発に行われている。今回、我々はdHvA効果の実験から、2次元系物質で見られる典型的な円柱状のフェルミ面を直接観測した。しかも、電子の有効質量は理論計算と比べ約4倍重くなっており、主要なフェルミ面は鉄の3d電子から構成されていることから、鉄が持つ3d電子の強い相関効果をはたらいていることが明らかとなった。

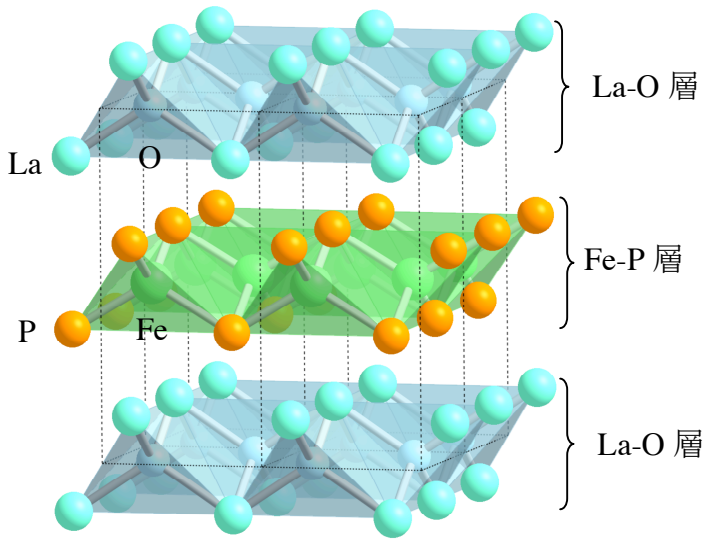
この物質の鉄とプニクゲンが作る2次元面だけを見ると、鉄をプニクトゲンで囲む四面体で形成されている。最近、この四面体が正四面体（つまりプニクトゲンがつくる三角形が正三角形のとき）超伝導転移温度が最大になるという報告もある。これらのことから、鉄のもつ磁気的な揺らぎがこの超伝導の発現機構にも関与して

いると思われる。今後、この超伝導の機構を解明すべく、他の測定手段を用いた実験や類似系の純良単結晶育成、さらにはもっと高い超伝導転移温度を持つ物質開発を行う計画である。なを、この成果は日本物理学会発行の英文学術誌「Journal of the Physical Society of Japan」 11月号（10月25日のオンライン版）のレター論文としてに掲載される予定である。

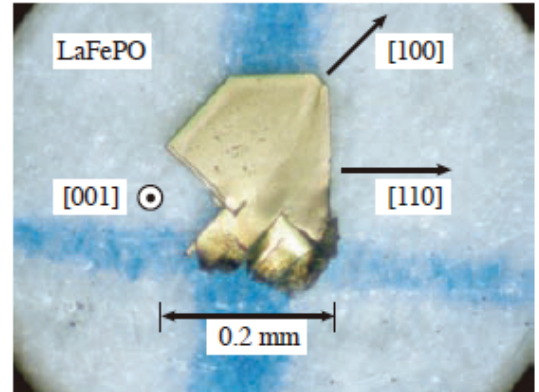
[専門用語の解説]

- **超伝導**：電気抵抗がゼロになる現象で、1911年、オランダ・ライデン大学のヘーレン・オネスによって、水銀を4.2Kまで冷却したときに初めて発見された現象である。その後、鉛やスズといった単金属や、 Ni_3Sn （ニオブ3スズ）などの多くの化合物が超伝導を示すことが解った。1957年に米国・イリノイ大学のバーディーン、クーパー、シュリファーより発表された理論（頭文字をとってBCS理論）により、その基本的なメカニズムは解明されたが、1987年にベドゥノルツとミュラーにより、この理論の予測を遥かに超えた高い転移温度もつ、銅酸化物超伝導体が発見され、新たな超伝導機構が模索されている。現在、最高の転移温度は約170K（約-100℃）であるが、超伝導技術は科学分野や医療分野で既に広く利用されており、また、新しい超伝導物質の開発も盛んに行われている。もし室温で超伝導を示す物質が開発されれば、大きな技術革新につながると期待されている。
- **鉄オキシニクタイト**： RFeXO （R=希土類、X=P, Asなどのプニクトゲン）の化学式をもつ化合物である。東京工業大学の細野秀雄教授らのグループが2006年に LaFePO において、2007年に LaNiPO において超伝導を発見した。当初、転移温度が約5Kと低かったためそれほど注目されなかったが、その後、同じ結晶構造を持つ LaFeAsO のO（酸素）サイトをF（フッ素）で置換したところ、26Kで超伝導を示すことが明らかとなり、現在、世界的な超伝導フィーバを巻き起こしている。
- **フェルミ面**：金属中には電気伝導を担う電子（伝導電子）が存在し、ある運動量を持って様々な方向に運動している。運動量の大きさ、つまり電子の持つエネルギーは無限ではなく、フェルミエネルギーと呼ばれる最大値をもつ。フェルミエネルギーを運動量空間で3次元的に描いたものがフェルミ面である。フェルミ面は金属の“顔”とよばれるほど、その電子状態を表す基本的な物理量である。
- **ドハース・ファンアルフェン（dHvA）効果**：金属の磁化が磁場の変化に対して振動する現象で、その振動数から磁場に垂直な方向のフェルミ面の極値断面積が解る。従って、磁場方向を単結晶試料に対して変えながらdHvA効果を測定することにより、フェルミ面の形状が観測できる。また、振動振幅の大きさの温度依存性を測定することにより、伝導電子のサイクロトロン有効質量が決定される。dHvA効果はフェルミ面を観測する最も強力な実験手段であるが、dHvA効果を観測するためには極めて純良な単結晶試料を必要とする。逆にdHvA効果が観測される単結晶試料は極めて純良試料である証拠となっている。

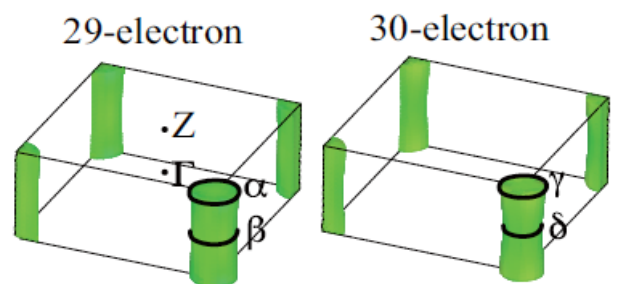
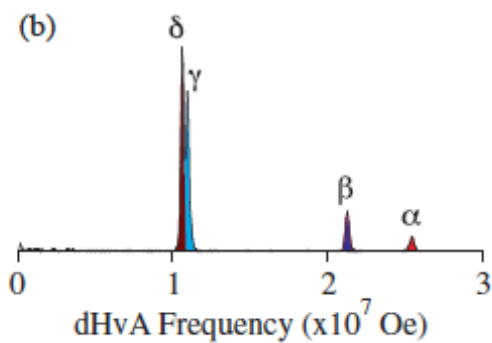
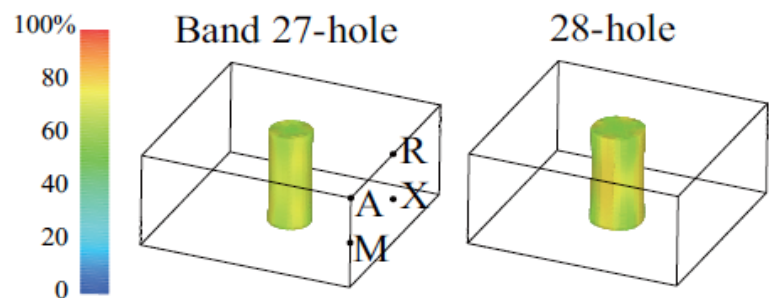
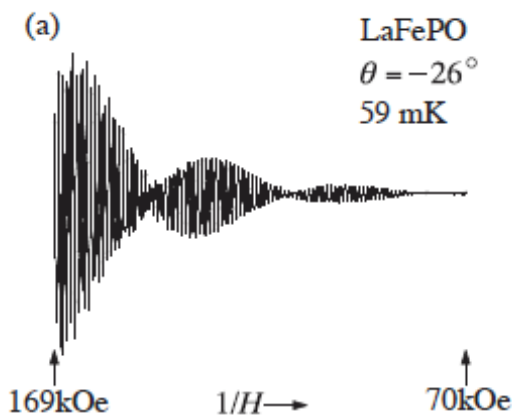
参考となる図



LaFePO の結晶構造



LaFePO の単結晶



典型的な(a)dHvA 振動と(b)フーリエスペクトル。(b)のギリシャ文字で示した振動数の値は右図のフェルミ面の断面積に対応している。

理論計算から得られたフェルミ面。色は鉄の 3d 電子の寄与を表しており、赤色が 3d 電子の寄与が 100%を示している。