

Title	鉄も超伝導に
Author(s)	清水, 克哉
Citation	大阪大学低温センターだより. 116 P.15-P.18
Issue Date	2001-10
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/4245
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

鉄も超伝導に

基礎工学研究科 清水 克哉 (内線6446)

E-mail: kshimizu @mp.es.osaka-u.ac.jp

…なるとは実は我々も驚いている。十数年間の探索をなせばあきらめかけていたからである。

1. はじめに

ここに報告する超伝導は我々のよく知る所の鉄の強磁性状態で観測されたものではない。強磁性と超伝導は相反し、強磁性は超伝導を抑制するので、強磁性と超伝導の共存は不可能である、と考えられてきた。しかし最近、圧力下で磁性と超伝導が共存する物質 (UGe_2) が発見され¹⁾、磁性と超伝導の関係に高い関心が寄せられている。

ただし、この鉄の超伝導探索の原動力は、重い電子系におけるような磁気ゆらぎ等の機構を探索しようというものではなかった。十数年前、非磁性金属なら超伝導になる一常温常圧で磁性を持つ金属であっても何らかの条件の下で (例えば高圧力下) でその磁性を取り除けば、非磁性金属として、十分な、ある低温度下では超伝導になる可能性があるというアイデアからこの研究はスタートしたのだ。そしてそれを実証するために鉄を選んだ。鉄は典型的な強磁性金属であり、なじみ深いそしてありふれた金属であるが、上記のアイデア通り、まさに高圧力下で非磁性の相が存在する例なのである。鉄の超伝導発現に関しては理論予測も既にあった^{2,3)}。鉄はおよそ10GPaの圧力で相転移を起こし、常圧の bcc 相から高圧相の hcp 相へと構造相転移する。そして同時に強磁性を失い伝導電子常磁性となる。つまり、高圧では鉄の非磁性状態が得られる。今回報告する鉄の超伝導は、この非磁性相において測定されたものである。

2. 実験の詳細と経過

鉄の高圧相に対しては古くから多くの実験がなされてきており、強磁性 bcc 相から非磁性 hcp 相への結晶構造相転移は大きな圧力幅、及び圧力ヒステリシスを持つことが分っていた。つまり、圧力を上げていく過程においては、低圧 bcc 相が高圧まで残留する。強磁性の相が残留するとそれがたとえ僅かであっても、あるべき超伝導相を壊してしまい、検出できない可能性があり、超伝導探索にはこれが大きな問題である。しかし、とにかく圧力分布があっても、十分な高圧力をかければ残留低圧相もすべて相転移を完了して非磁性状態になるだろうととにかく押した。または、高圧下レーザー加熱を行って、高温に存在する fcc 相を経由して温度-圧力相図上で bcc-hcp 相境界を避けて、hcp 相にもっていくことも試した。そして数年をかけて温度範囲50mK ~300K、圧力範囲100GPaに至るまでくまなく探索を行っ

たが、超伝導の兆候は見られなかった。

残された可能性は3つ考えられた。1つはやはり静水圧加圧の開発が必要で、そのために上記の実験ではやはり残された圧力域があった。それはhcp相の低圧力部、強磁性bcc相に隣接した圧力領域である。そこはこれまでの方法では実験上、低圧相が混ざってしまう領域である。2つめは出発試料の純度が重要であること。加圧前の試料に含まれる不純物や結晶の歪は極力取り除いてやることが望ましいはずである。そして3つめはそれでもまだ残るやり残された領域—100GPaを超える超高压下または50mK以下の超低温域—に超伝導相が存在するという。または鉄には本来超伝導相が存在しないのかもしれないということ。これら1,2についてはこの1年ほどの間に大きな技術的な進展があった。研究室で取り組んでいる重い電子系化合物の超伝導探索実験のために、DACによる圧力媒体中での加圧のための技術開発に成功したことである。また同時に微細試料への測定端子付けが可能になっていた。液体の圧力媒体では10GPaが限界だが、固体媒体では30GPaを達成した。とにかく図1(a)のような準静水圧のサンプリングが可能になった。また、試料の高純度化は理学部大貫研究室に依頼し、ウラン等の高純度化に実績のあるSSE法⁴⁾によって得られる最高純度のものを準備できた。

高純度化した試料は顕微鏡下でダイヤモンドカッターによって厚さ40 μm 、長さ200 μm 、幅70 μm に成型

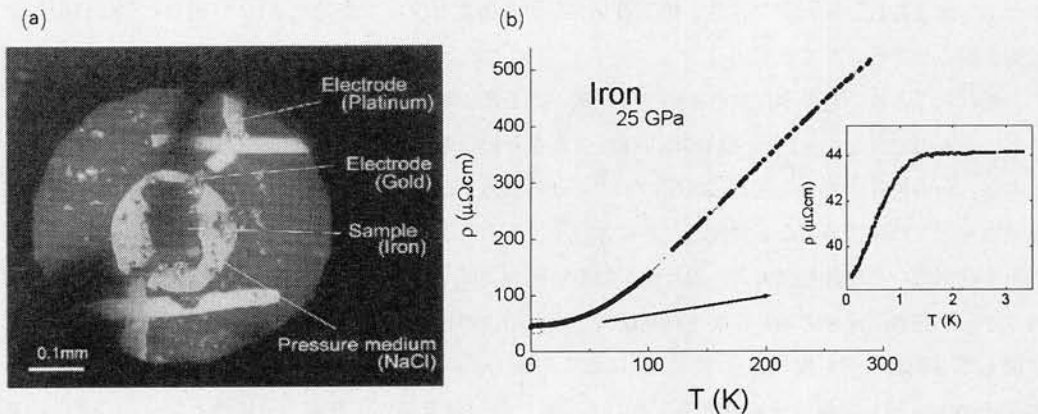


図1. (a) DAC中の試料の様子。ダイヤモンドアンビルを通して観察したおよそ20GPaでの試料の様子。(b)鉄の電気抵抗の温度依存性。測定された抵抗は金線部分の電気抵抗を含んでいる。(本文参照) 僅かに低温部に抵抗の減少が見られる。

した。成型後の試料の残留抵抗比 (R_{RT}/R_{1K}) はおよそ200であった。これに10 μm の金線をスポットウエルド法によって2本取り付け、図1(a)に示した通り、試料は食塩の圧力媒体と共にDACの試料室に封じて加圧した。数十GPaを発生させるための試料室の大きさの制限等から、測定電極の金線は4本取り付けることができず、試料室の外側で4本の白金の電極に接続されており、試料の抵抗値は金線部分を含めて4端子測定することとした。

室温において非磁性相まで圧力を印加し、³He/⁴He希釈冷凍機にDACを取り付け冷却し、鉄の高圧下の電気抵抗の温度依存性を測定した。当時M1の学生に翌朝結果を聞いたら「やっぱり、だめでした。」「そうか、もう少し圧力を上げてみようか」ということにして、DACを学生に渡し、一応データ受け取った。パソコン経由でプリンタに打ち出されたグラフは1ドット低温に「ずれ」がみえた。「おい、少

取った。パソコン経由でプリンタに打ち出されたグラフは1ドット低温に“ずれ”がみえた。「おい、少し落ちてるんじゃない?」とパソコンのデータを拡大してみると...「!」。(図1(b)参照)

冷却の過程でその電気抵抗の減少はおよそ2 K から始まるが、最低温度50mKまで冷却したが0抵抗は観測できなかった。しかしこの電気抵抗の減少は外部磁場を印加することにより低温側へ抑制され、およそ0.2Tで完全に消滅したことから、この減少が超伝導に起因することが示唆された。金線を含めた電気抵抗を観測しているため全抵抗値の数%の減少としてしか観測できないと理解できる。さらに磁気測定により同じ圧力、同じ温度でマイスナー効果が観測され、この転移が超伝導転移であることが示された⁵⁾。

超伝導転移温度と臨界磁場値の圧力依

存性を調べると図2に示す結果が得られた。強磁性bcc相との相境界線に近い15GPa以上で超伝導が出現し、その後20GPa付近で転移温度は最高値2 Kに上昇する。30GPaまで加圧すると超伝導転移は観測されない。まさにやり残されていた圧力域に超伝導相が潜んでいたわけである。今回の実験では、印加圧力の静水圧性、出発試料の純度の両方の向上によって、残留bcc相を無くし完全な非磁性化がなされやり残されていた領域に探索が及び、超伝導の発見に至ったものと考えられる。

鉄の超伝導は単なる非磁性金属の超伝導でいいのだろうか、と、高圧低温下の鉄の磁性については議論を残しているようだ。別の磁気相が低温に存在する、または僅かに磁性を残しており、 UGe_2 などと同様に磁性との共存として理解できるとの意見もある。このように磁性と超伝導の共存・競合に関して、さらにその例を探索すべく、強磁性コバルトやニッケル、反強磁性マンガンなど、他の磁性金属についてその超伝導性探索を開始したところである。今後の実験・理論両面からの追求が大いに期待される。

3. あとがき

天谷研究室で高圧実験を始めたのが十数年前。その当初からずっと鉄の超伝導は目標にあった。「押してもだめならもっと押せ」と超高压発生技術、周辺装置の充足を進めてきた。天谷教授の退官を直前に、やっと一つ目標を達成したが、それは実は意外に近いところ(圧力の値では結構低い所)にあった。まさに圧力の質と精密測定が今後の高圧研究の目指す一つの方向であることを示しているような気

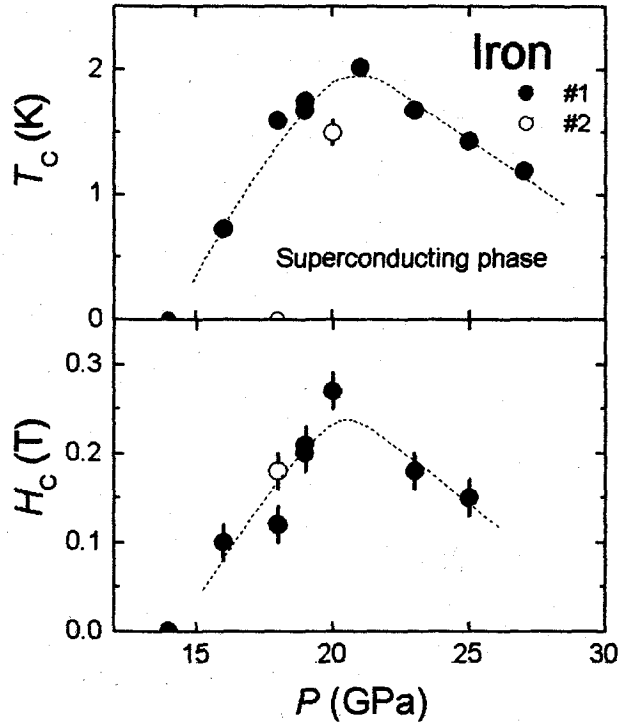


図2. 超伝導転移温度と臨界磁場値の圧力依存性。超伝導転移温度はオンセット(冷却過程で電気抵抗が減少し始める温度)でプロットしてある。

がする。

この研究は大阪大学大学院基礎工学研究科天谷喜一教授のグループにおいて、文部科学省 COE 形成プログラム(10CE2004)、科学研究費基盤研究(A)(2)(11304022)、戦略的基礎研究(CREST)の援助を得て行ったものである。

参考文献

- 1) S. Saxena et al.: Nature 406, 587 (2000).
- 2) E. P. Wohlfarth: Phys. Lett. 75A, 141 (1979).
- 3) A. J. Freeman, et al.: Physica C166, 317 (1990).
- 4) Haga et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 37, 3604 (1998).
- 5) K. Shimizu et al.: Nature 412, 316 (2001).

保 安 組 織

低温センターにおけるヘリウム液化等の業務は、高圧ガス保安法の定める高圧ガスの製造に該当します。このため、同法により保安組織を設けることが義務付けられています。2001(平成13)年10月1日現在の保安組織は次の通りです。

吹 田 分 室

保安統括者 白川 功(工学研究科長)
 〃 代理 吉野 勝美(副センター長)
保安技術管理者 百瀬 英毅
 〃 代理 片岡 俊彦
保安係員 牧山 博美
 〃 代理 大寺 洋

豊 中 分 室

森 島 洋太郎(理学研究科長)
大 貫 惇 睦(センター長)
徂 徠 道 夫
松 尾 隆 祐
鷹 岡 貞 夫
石 塚 守

※本学では、キャンパスが2箇所に分れている等の理由により、保安統括者の権限が総長から工学研究科長と理学研究科長へ委任されています。