

| | |
|--------------|---|
| Title | FCC鉄の磁気構造 |
| Author(s) | 角田, 頼彦 |
| Citation | 大阪大学低温センターだより. 74 P.6-P.9 |
| Issue Date | 1991-04 |
| Text Version | publisher |
| URL | http://hdl.handle.net/11094/3550 |
| DOI | |
| rights | |
| Note | |

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

FCC鉄の磁気構造

理学部 角田 頼彦 (豊中4152)

鉄は通常体心立方 (BCC) 構造で強磁性体であるが、高温 (1185K~1667K) では面心立方 (FCC) 構造が安定で、 γ 相と呼ばれている。 γ 相の鉄がどのような磁性を示すかは、古くから興味を持たれ研究されてきた。バルクの鉄では、磁気秩序が起こる様な低温ではマルテンサイト変態が起こって、単相の γ -鉄は得られない。そこで γ 相の鉄を低温で安定化させる方法としてこれまで、1) 第2元素との合金 (FeMn, FeNi等) を作るか、2) 微粒子、析出粒子として得る方法が用いられてきたが、1) は電子構造が変化するので近似的なものである。Cu中にFeを析出させると、球状で直径150nm程度のサイズまでFCC構造のままのFeが得られる。これが最も純粋な γ -Feとして、その磁性を調べるために従来用いられてきた。

最初にCu中に析出した γ -Feを用いて、中性子回折で磁気構造を直接測定したのは、Abraham達¹⁾ (1962)で、彼等の結果を図1に示す。(第一種反強磁性構造という。) この構造は、後に合金系で決定されたもの²⁾と一致していたために、 γ -Feの磁気構造として今日まで誰もが信じて疑わなかった様である。そしてEhrhart達(1980)³⁾が、Cu中の γ -Feが低温で結晶構造がわずかに変化している事を報告した時でも、この磁気構造に由来する磁歪であると考えられた。

我々の研究は構造相転移の再検討から始まった。注意深いX線の実験から、Cu中の γ -Feの低温結晶構造はEhrhart達が求めた結果とは可成り異なったものである事が判明した⁴⁾。そしてこの結晶構造は、図1の磁気構造とは相入れないものである事がわかった。早速磁気構造も中性子回折を用いて再検討し、 γ -Fe析出粒子の磁気構造が従来考えられていた単純なものとは異なり、空間変調をもつ結晶構造の影響を受けた⁵⁾、より複雑なものである事を報告した⁶⁾。この結果は他に書いたもので⁷⁾ここではそれ以後の進展について述べる。

ところでFCC構造の鉄の磁性を理論家が議論する時、Cu中の γ -Feの様に格子が歪んだ状態は考えていない。CubicのFeについて計算をしている。低温でCubicのままの γ -Feは存在しないのか、もしそれが存在すると理論と比較出来るので興味がある。この結論は割合に容易に得られた。 γ -Feの析出粒子サイズを小さくすると (直径<15nm)、構造相転移が阻止され、低温でもCubicのままである事がわかった。又Coを加えると (CoもCuに析出する)

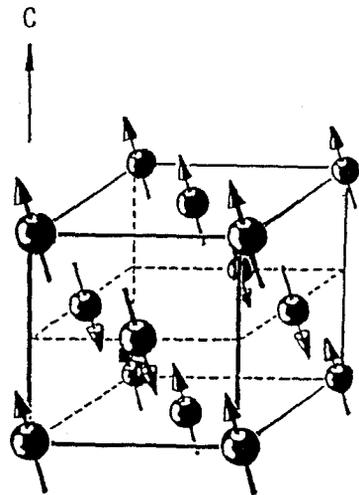


図1 従来考えられていた γ -Feの磁気構造

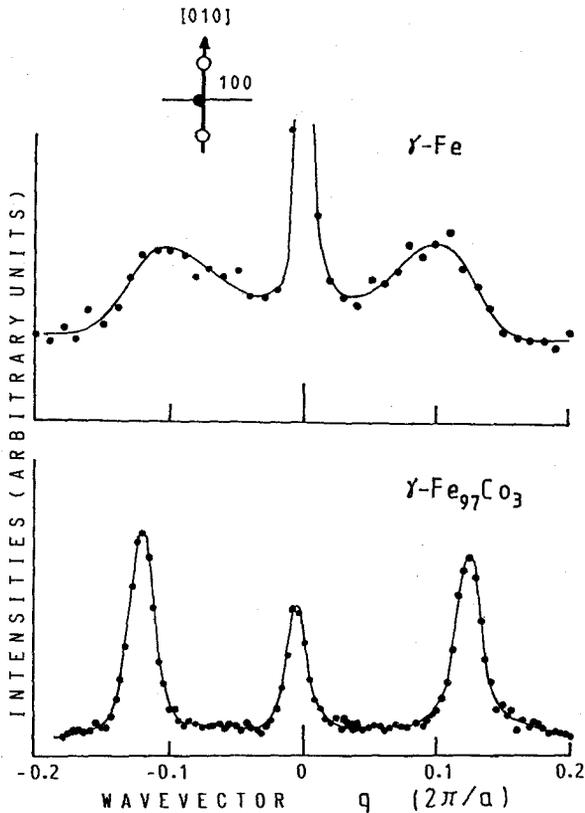


図2 Cubic γ -Fe及び γ -FeCo合金の100逆格子近傍での低温の中性子回折パターン。中央($q=0$)のピークは高調波中性子によるCuのブラッグピーク

γ -FeCo合金の析出粒子が得られるが、微量のCoの添加で(約2%)十分大きな析出粒子でも構造相転移が阻止出来る事がわかった。これらのCubicの γ -Fe及び γ -FeCoについて中性子回折で得られた100逆格子点近傍の回折パターンを図2に示す。 γ -Feの回折線の巾が広いのは、析出粒子サイズが小さいために、不完全なBragg散乱になっているからである。逆格子点から離れた位置に対称的に衛星反射が観測され、スピンの空間的に変調を受けた構造である事を示している。この変調波の波長は格子定数の約10倍でCo濃度に依存して連続的に変化し、格子の周期とは不整合(Incommensurate)な波である。Feのスピンを担っているd-電子は、原子間を飛び移り、バンドを作っているため、この様なスピンの変調構造をスピン密度波(SDW)と呼んでいる。SDWに付随した格子歪波(Strain Wave)が観測にかからない事から、この空間変調はスピンの大きさの変調と考えるよりも、スピンの向きの変調構造と考えた方が良い。図3は実験で得られた100, 110近傍の衛星反射強度比をうまく説明出来る γ -FeのSDWのモデルである。⁸⁾

理論では γ -Feの磁性はどう考えられているのだろうか。パラメータを用いない第一原理による計算では、 γ -Feはまだ強磁性体か、反強磁性体かという問題や、磁気モーメントの体積依存性を議論している段階で、空間変調を持った構造を議論する段階に至っていない。しかし3dシリーズ全体の磁性を、d電子数と、電子間交換相互作用の大きさと原子間を飛び移る移動度の比(U/t)をパラメタ...

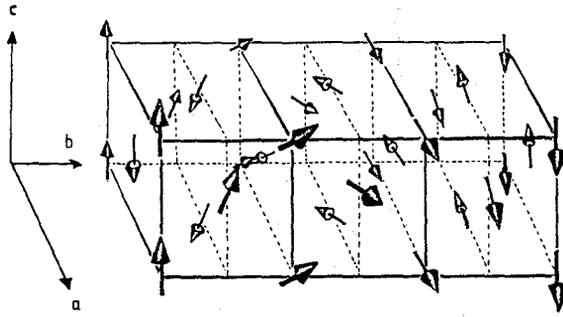


図3 Cubic γ -FeのSDWのモデル

にして磁気相図を導く立場の理論計算では、 γ -Feの付近では反強磁性から強磁性に移る中間状態になっていて可成り微妙である。

多くの計算では、以前の実験データからも反強磁性体であると結論されていた。その中で γ -FeがSDWである可能性を最初に指摘したのはHirai(1982)⁹⁾の論文である。この計算が、実験では未だ図1の構造が信じられていた時である事に意味がある。次の年に出たHeine¹⁰⁾の磁気相図でも γ -Feの電子数付近では、SDWの相が現れているが、具体的に γ -FeがSDWである可能性については述べられていない。

SDWはこれまでCr(BCC構造)で観測されていて、これに関しては多くの研究がある¹¹⁾。Hiraiの計算に依ると、Crの場合は有限のQでの帯磁率のするどいピークの大部分がフェルミ面近傍の電子の寄与によるもので、特殊な形をしたフェルミ面のネスティングがSDWを安定化させている事を示しているが、 γ -Feの場合は様子がやや異なる。 γ -Feでは実測されている波数ベクトル近くに帯磁率はピークを示すが、フェルミ面近傍だけでなく、3d電子全体がこのピークに寄与している事から、特殊なフェルミ面のネスティングと考えるよりも、d-電子数を連続的に変化させた時、反強磁性から強磁性へに移る中間で現れた相と考えられる。局在スピンの考えると、d-電子数と共に反強磁性から強磁性に変化してゆく過程で近接原子間のスピン相互作用が小さくなり、遠方の相互作用と拮抗するようになり、それらが競合して現れたSDWと見なす事が出来る。CrのSDWはよく研究されているが、やや異なる起源を持つ γ -FeのSDWについての性質を、Crの場合と比較してみる事は興味のある問題である。

参考文献

- 1) S. C. Abrahams, L. Guttman and J. S. Kasper (1962) Phys. Rev. **127**, 2052.
- 2) Y. Endoh and Y. Ishikawa (1971). J. Phys. Soc. Japan **30**, 1614.
- 3) P. Ehrhart, B. Schonfeld, H. H. Ettwig and W. Pepperhoff (1980) J. Mag. Mag. Matr. **22**, 79.
- 4) Y. Tsunoda and N. Kunitomi (1988) J. Phys. (F) Metal Phys. **18**, 1405.
- 5) T. Jo (1989) J. Phys. Cond. Matt. **1**, 7971.
- 6) Y. Tsunoda, N. Kunitomi and R. M. Nicklow J. Phys. (F) Metal Phys. (1987) **17**,

2447.

- 7) 角田、国富 日本物理学会誌 (1987) 42, 987.
- 8) Y. Tsunoda (1989) J. Phys. Cond. Matt 1 10427.
- 9) K. Hirai (1982) J. Phys. Soc. Japan 51, 1134.
K. Hirai (1990) Prog. Theor. Phys. suppl. No. 101, 119.
- 10) V. Heine and J. H. Samson (1983) J. Phys. (F) Metal Phys. 13, 2155.
- 11) E. Fawcett (1988) Rev. Mod. Phys. 60, (1) 209に詳しくまとめられている。

お 知 ら せ

・低温センターだよりの編集委員の先生方が一部交代いたします。

(旧) 服 部 武 志 氏 (工・応物)

〃 三 谷 康 範 氏 (工・電気)

(新) 萩 行 正 憲 氏 (超伝導セ)

〃 小 林 祐 次 氏 (蛋白研)

新メンバーで望む「低温センターだより」をこれからもよろしくお願いします。

そして服部・三谷両先生、長い間ご苦勞さまでした。