

I RFe₂As₂ 化合物の試料育成と物性研究

Single Crystalline Preparation and Study of Magnetism in RFe₂As₂ Compounds

池田修悟・小林寿夫

Ikeda, S. and Kobayashi, H.

近年 FeAs を含む遷移金属化合物群が、圧力や元素置換を加えることで超伝導転移を示すことが発見された。我々は、フラックス法による化合物育成環境を整えることで、FeAs 系化合物の中で AFe₂As₂ (A : Ca, Sr, Eu) の単結晶を育成し、圧力・磁場・低温の多重極限環境下において AFe₂As₂ の磁性・格子振動と超伝導の関係を研究している。単結晶 EuFe₂As₂ による ⁵⁷Fe メスバウアー分光測定及び ¹⁵¹Eu 核共鳴前方散乱実験を行った結果、Fe サイト及び Eu²⁺ サイトの磁気モーメントは、*c* 面内を向いていることが分かった。さらに、超伝導が出現する温度・圧力領域において ⁵⁷Fe 及び ¹⁵¹Eu 核共鳴前方散乱実験を行った結果、Fe サイト及び Eu サイトに内部磁場が存在することが明らかとなった。この結果は、Fe サイト及び Eu サイトの磁性と超伝導が共存していることを示唆する結果である。また超伝導と共存している Eu サイトの反強磁性秩序は、僅か 30 kOe 程度の磁場で容易に壊れ、外部磁場の方向に磁気モーメントを揃えることが明らかとなった。

⁵⁷Fe 核共鳴非弾性散乱スペクトルの温度依存性から、AFe₂As₂ (A : Sr, Eu) においては SDW 転移温度の 1.25 倍の温度から構造の不安定性が一部の光学フォノン・モードに現れることを発見した。他機関の理論研究者と共同研究を行うことで、この構造不安定性は、低温相である斜方晶構造への揺動であり、中性子散乱で観測されている反強磁性的な短距離磁気相関と強く関係していることを指摘した。

CaFe₂As₂ 単結晶を用いた詳細な高圧力下磁化及び ⁵⁷Fe メスバウアー分光測定の結果から、新たな圧力誘起相転移の可能性を指摘した。この相転移は構造変態をともっていない可能性が強く、Fe の電子状態の変化が強く関係していることを実験的に示した。

II 3d 遷移金属化合物の物性研究

Study of Magnetism in 3d Transition Metal Compounds

池田修悟・小林寿夫

Ikeda, S. and Kobayashi, H.

他研究機関と協力して、 α -カーバイド型構造を持つ遷移金属化合物 Fe₃Mo₃N に関して ⁵⁷Fe メスバウアー分光測定を行った。その結果、4.2K まで内部磁場による原子核レベ

ルの分裂が観測されず、磁気秩序が存在しないことが分かった。 $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{N}$ は、共同研究者によるマクロ物性測定から金属強磁性発現寸前の特異な基底状態を持つことが報告されているが、 ^{57}Fe メスバウアー分光測定によるマイクロ・スコピックな視点からも、この結果が支持された。また Fe サイトを Co で置換した $(\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x})_3\text{Mo}_3\text{N}$ に対しても ^{57}Fe メスバウアー分光測定を行った。その結果、僅か 5% 程度の Co 置換で内部磁場が発生しており、磁気秩序の存在が明らかとなった。

海外の研究機関と共同で、温度・圧力誘起の金属 - 絶縁体転移を示す RNiO_3 の高圧力下 X 線回折実験を行った。その結果、 EuNiO_3 での圧力誘起絶縁体 金属転移 (5.8 GPa) においては、構造変態をとまなわなかったことが分かった。以前の我々の低温・高圧力下 ^{151}Eu 核共鳴前方散乱の測定結果から、反強磁性秩序が基底状態で消失する圧力が約 10 GPa と推測されていた。その臨界圧力においても構造変態をとまなっていないことも明らかとなった。すなわち、構造相転移をとまなわず圧力誘起絶縁体 金属・量子転移を実験的に研究する系として RNiO_3 が最適な化合物の一つであることが示された。

III (磁気) コンプトンプロファイル測定による電子状態の研究

Study of electronic states in Magnetic Material by using (magnetic) Compton profile measurement

小泉昭久・小林寿夫

Koizumi, A. and Kobayashi, H.

他研究機関・他研究室との協力のもとに、重い電子系及びその参照物質 (CeRu_2Si_2 , LaRu_2Si_2) を対象にして、高分解能コンプトンプロファイルの角度依存測定を行い、その二次元再構成解析から運動量密度分布及び電子占有数密度を求め、 f 電子の遍歴・局在性の変化についての研究を展開した。更に、U 系重い電子系物質である URu_2Si_2 においても同様の測定を行ない、隠れた秩序転移に伴う電子状態の変化を観測した。また、磁気コンプトンプロファイル (MCP) がスピン磁気モーメントの大きさのみに比例するという特徴を利用して、放射光を用いたスピン磁気ヒステリシス測定の開発を行なった。

IV 希土類・ウラン化合物の高圧力下構造と磁性の研究

Study of Structure and Magnetism in Rare Earth and Uranium Compounds under High Pressure

池田修悟・小林寿夫

Ikeda, S. and Kobayashi, H.

ウランカルコゲナイド化合物の金属強磁性体 UTeS と常磁性半導体 β -US₂ は、同じ結晶構造を持ちながら、磁性と伝導は大きくことなる。この常磁性半導体 β -US₂ に対して、圧力下電気抵抗測定を行った。その結果、折れ曲がりの異常が現れ、圧力の増加に伴い電気伝導が半導体から金属に移り変わることが分かった。特に、最高圧力 8 GPa での β -US₂ の電気伝導は、UTeS の伝導に近づいている。共同研究者による圧力磁化測定では、 β -US₂ の電気抵抗に現れた折れ曲がりの異常は、強磁性転移であることが明らかにされた。つまり常磁性半導体 β -US₂ は、圧力により金属強磁性体 UTeS の状態に近づくことが分かる。一方で、常圧の β -US₂ は、強磁性転移寸前の状態であり、ウランの 5f 電子は、磁気ポーラロンを形成していることなども明らかとなった。また同じ結晶構造を持つ強磁性半導体 USeS の磁気抵抗測定も行い、磁場により桁で変化する大きな負の磁気抵抗が β -US₂ と同様に観測された。

電荷秩序 Sm₄Bi₃ 化合物の高圧力下 X 線回折の温度依存性測定を行った。低温・高圧力下 ¹³⁹Sm 核共鳴前方散乱測定結果から得られていた、1 次転移的な磁気秩序温度で格子定数の温度依存性に異常が無いことが明らかとなった。その結果を基に、磁気秩序に何らかのフラストレーションが関与している可能性を議論した。

V レーザー逆コンプトン散乱による円偏光高エネルギー γ 線の発生と磁気コンプトン散乱測定への応用

Generation of circularly polarized high energy γ -ray by laser-Compton scattering and its application to magnetic Compton scattering measurement

小泉昭久

Koizumi, A.

ニュースパルの BL1 において、電子ビームとレーザー光との逆コンプトン散乱による円偏光高エネルギー γ 線の生成とその応用実験についての研究を行っている。位相子を用いてレーザー光の円偏光の向きを切り替えることによって、発生する γ 線の円偏光を制御することができる。これを利用して、偏光切り替えによる磁気コンプトン散乱測定を行なうことに成功した。

発表論文 List of Publications

- I-1 池田修悟・依田芳卓 (JASRI)・大石泰生 (JASRI)・張 小威 (KEK)・小林寿夫：「複合極限環境下 ¹⁵¹Eu 核共鳴前方散乱による EuFe₂As₂ の電子状態研究」日本物理学会 2010 年春季大会 (岡山大 2010 年 3 月)
- I-2 小林寿夫・池田修悟・依田芳卓 (JASRI)・中村博樹 (原子力機構)・町田昌彦 (原子力機構)：「AFe₂As₂ (A=Sr, Eu) の ⁵⁷Fe 核共鳴非弾性散乱による格子振動 II」日本物理学会 2010 年春季大会 (岡山大 2010 年 3 月)

- I-3** 池田修悟・吉田和樹・平尾直久 (JASRI)・大石泰生 (JASRI)・張 小威 (KEK)・依田
 芳卓 (JASRI)・小林寿夫：「複合極限環境下 ^{57}Fe 及び ^{151}Eu 核共鳴前方散乱による
 EuFe_2As_2 の電子状態研究」日本物理学会 2010 年秋季大会 (阪府大 2010 年 9 月)
- I-4** 小林寿夫：「新たな展開を迎えたメスbauer・核共鳴散乱分光法 最先端物性研究
 のプローブとして : 強相関係の超高压下量子物性のプローブとして」日本物理学
 会 2010 年秋季大会 (阪府大 2010 年 9 月)
- I-5** 池田修悟：「 EuFe_2As_2 における ^{151}Eu メスbauer測定」大洗研究会 (東京 2010 年
 11 月)
- II-1** T. Waki (京大), S. Terazawa (京大), Y. Tabata (京大), F. Oba (京大), C. Mi-
 chioka (京大), K. Yoshimura (京大), S. Ikeda, H. Kobayashi, K. Ohoyama (東
 北大), H. Nakamura (京大) :
 Non-Fermi-Liquid Behavior on an Iron-Based Itinerant Electron Magnet $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{N}$.
 J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 043701-1-4.
- II-2** N. Sakai, R. Chai-Ngam(Maharakham Univ.), A. Koizumi, H. Kobayashi: Exper-
 imental Study on Interlayer Magnetic Coupling in Sputtered Al/Fe/Al/Gd Mag-
 netic Multilayer Films: II. Hysteresis curves of X-ray Magnetic Circular Dichroism
 at the Gd-L3 Edge. J. Phys. Soc. Jpn **79** (2010) 064703-1-7.
- II-3** 筒井智嗣 (JASRI)・山浦淳一 (東大物性研)・小楠寛貴 (東大物性研)・池田修悟・高
 原忠司・山岡慎吾・小林寿夫・今井康彦 (JASRI)・依田芳卓 (JASRI)・廣井善二 (東
 大物性研)：「 π -パイロクロア化合物の ^{189}Os 核共鳴非弾性散乱」日本物理学会 2010
 年春季大会 (岡山大 2010 年 3 月)
- II-4** 池田修悟・和氣 剛 (京大理)・寺澤慎祐 (京大理)・中村裕之 (京大理)・小林寿夫：「Co
 置換系 $(\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x})_3\text{Mo}_3\text{N}$ の ^{57}Fe 核メスbauer測定」日本物理学会 2010 年秋季
 大会 (阪府大 2010 年 9 月)
- III-1** M. Ota(群馬大), M. Itou (JASRI), Y. Sakurai (JASRI), A. Koizumi, H. Saku-
 rai(群馬大): Perpendicular magnetic anisotropy in Co/Pt multilayers studied from
 a view point of anisotropy of magnetic Compton profiles. Appl. Phys. Lett. **96**
 (2010) 152505.(3pp)
- III-2** B. L. Ahuja(Sukhadia Univ.), B. K. Sharma(Univ. of Rajasthan), V. Purvia(Univ.
 of Rajasthan), S. Tiwari(Sukhadia Univ.), A. Koizumi, T. Nagao, Y. Sakurai
 (JASRI), N. Sakai: Spin dependent Compton scattering study of magnetic tran-
 sitions in Ir doped CeFe_2 . J. Appl. Phys. **108** (2010) 043902-1-5.
- III-3** A. Koizumi, G. Motoyama, Y. Kubo(日大), T. Tanaka(日大), M. Itou(JASRI),
 Y. Sakurai(JASRI): *f*Electron Contribution to the Change of Electronic Structure
 in CeRu_2Si_2 with Temperature: A Compton Scattering Study. Phys. Rev. Lett.
106 (2011) 136401-1-4.

III-4 小泉昭久：「コンプトン散乱の進展」日本物理学会 2010 年秋季大会（阪府大 2010 年 9 月）

III-5 伊藤真義 (JASRI)・小泉昭久・櫻井吉晴 (JASRI)：「磁気コンプトン散乱によるスピンモーメントのみの磁化曲線測定手法の改良」第 24 回日本放射光学会年会（つくば国際会議場 2011 年 1 月）

III-6 小泉昭久・本山 岳・久保康則 (日大文理)・伊藤真義 (JASRI)・櫻井吉晴 (JASRI)：「重い電子系化合物 $CeRu_2Si_2$ におけるコンプトンプロファイルの温度変化測定」日本物理学会第 66 回年次大会（新潟大 2011 年 3 月）

科学研究費補助金等

1 科学技術振興機構 戦略的創造研究 (CREST)

研究課題 物質科学のための放射光核共鳴散乱法の研究
研究グループ代表 小林寿夫

2 科学技術振興機構 若手研究 B

研究課題 アクチナイドカルコゲナイド化合物の磁性と伝導の競合の解明
研究代表者 池田修悟