

機関番号：11101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2009～2010

課題番号：21840005

研究課題名（和文） 強相関電子の局在から遍歴の転移における電子状態

研究課題名（英文） Electronic structure of strongly correlated electrons in itinerant to localized transition

研究代表者

任 皓駿 (IM HOJUN)

弘前大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：10538177

研究成果の概要（和文）： 強相関電子系の特徴である電子の局在化は、重い電子、高温超電導などの新奇的な物性の原因になっているため、多くの凝縮系で研究されている。しかし、凝縮系の中の電子の置かれる複雑な環境は局在化の機構の理解する事を難しくしている。本研究では、強相関電子を空間的に孤立させてその環境を単純化し、局在化の機構を電子構造の立場から明らかにする。

研究成果の概要（英文）： Localization of electrons, which is a typical property of strongly correlated electrons systems, has been intensively studied in condensed matter physics. However, the complexity of the surroundings around electrons in condensed matters makes it difficult to understand the mechanism of the localization. In this project, we have made the surroundings around strongly correlated electrons simple, and have clarified the mechanism of localization in view of electronic structure.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,060,000	318,000	1,378,000
2010年度	990,000	297,000	1,287,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,050,000	615,000	2,665,000

研究分野：ナノテク・材料(共通基礎研究)

科研費の分科・細目：物性I

キーワード：強相関電子系、重い電子系、局在電子、電子構造、光電子分光

1. 研究開始当初の背景

局在状態は、電子構造に直接に影響を与えながら、磁性、量子臨界、重い電子などの新奇的な物性の原因になっているため、光電子分光を用いた電子構造の研究が積極的に行われている。高温超伝導体の場合、光電子分光は

最も基本的に行われる研究方法で、数え切れないくらいの論文が発表されている。一方、比較的電子間混成のエネルギースケールが低い（約数ケルビンから数十ケルビン）重い電子系に関しては、最近の飛躍的な測定装置と資料質の発展により、本格的な研究が始まっている。しかし、数多くの研究にもかかわらず

ならず、局所化のメカニズムについては、まだ明確だと言えない状況である。例えば、「周期性を持っている凝集物質中で、どう局在電子が形成されるか」は重い電子系の発見の時から謎になっている。それから、「凝集物質中で局在電子の周期性が消えるとどうなるのか」、「それは完全に不純物として局在されている重い電子と同じ性質を持つのか」など、解決されていない問題が散在している。

2. 研究の目的

金属中の局在電子の電子構造を明確にするために、お互いに補完的な二つの系を考案した。一つは、凝集物質の中で、電子の性質が遍歴から局在状態に制御できる $Ce_xGd_{1-x}CoSi_3$ ($0 \leq x \leq 1$) 系である。もう一つは、完全に局在された不純物状態から遍歴状態に制御できる Ag(111) の上に Co を吸着した系である。この二つの系を、光電子分光と共鳴プロセスを組み合わせた測定方法（共鳴光電子分光法）を用いて、比較及び分析することにより、局在電子の電子構造を明らかにする。

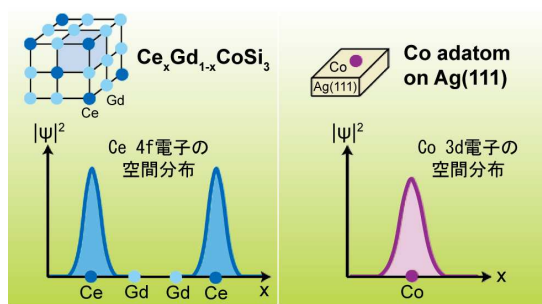
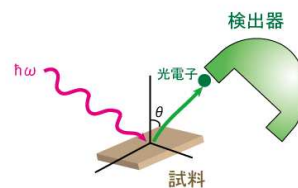


図1. $Ce_xGd_{1-x}CoSi_3$ と Ag(111) 上の Co 吸着システムの模式図。各システムにおいての局在電子の空間分布。

3. 研究の方法

電子の性質が局在から遍歴まで転移する「Ce 希薄化合物系」と「Ag(111) 上の Co 吸着系」において、共鳴光電子分光法を用いる系統的な研究を遂行した。共鳴光電子分光法の特徴は測定したい軌道を選択的に測定することができる方法である。本研究では、局在された電子状態と伝導電子の状態を選択的に観測した。

光電子分光



共鳴プロセス

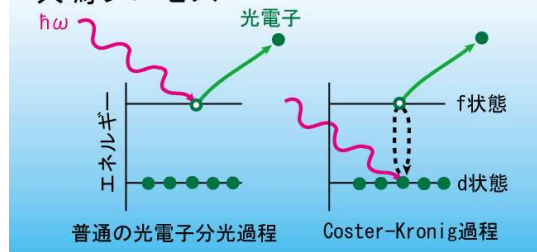


図2. 光電子分光と共鳴プロセス（f 電子系の場合）の模式図。普通的光電子分光過程と Coster-Kronig 過程を同時に満たす条件で共鳴が起こる。

(1) $Ce_xGd_{1-x}CoSi_3$ 系の場合、局在された電子は Ce 4f-電子であり、伝導電子は主に Co 3d である。したがって、利用する光子エネルギーは Ce 4d-4f の共鳴を起こす約 120 eV 近傍になる。この領域の光度が強い UVSOR-II の BL5U で実験が行われた。

(2) Ag(111) 上の Co 吸着系は、Co 3p-3d 共鳴を利用して測定する。実験は UVSOR-II の BL5U で行われた。この際、限られたビームタイム中で、最大の効果を得るため、資料準備所としてポータブルチャンバを利用した。これは、実験室で作った表面条件をできるだけビームラインにそのまま活用するためである。

4. 研究成果

(1) 「Ce 希薄化合物系」では、Ce を他の元素で置換して Ce 4f 電子を凝縮状態から不純物の状態に変える。本研究に用いた試料は $Ce_xGd_{1-x}CoSi_3$ 系である。CeCoSi₃ は Ce 4f-電子と伝導電子との強い混成を持ち遍歴性の強い試料である。その Ce を Gd で置換すると、Ce 4f-電子の周期性はどんどん弱くなり、結局は周期性がない状態になる。少ない濃度の Ce 4f 電子状態をよく観測するため、Ce 4d-4f 共鳴現象を用いる光電子分光の測定を放射光利用施設の UVSOR で行った。実験の結果、CeCoSi₃ に観測されたフェルミ順位の近傍の

強い近藤共鳴ピークが、連続的に Ce 希薄状態でも大きく形成される事を観測した。これは、Ce 希薄の状態になっても、Ce 4f 電子が伝導電子と強く混成している事を示している。

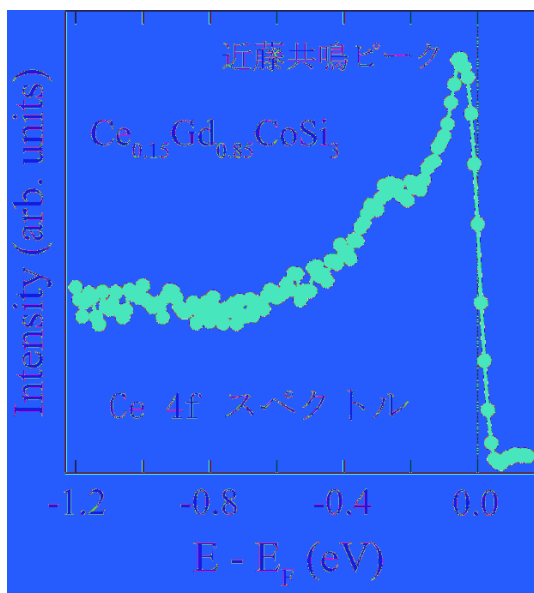


図3. Ce 4d-4f 共鳴のスペクトル ($h\nu = 120$ eV) から非共鳴スペクトル ($h\nu = 113$ eV) の差分から得られた $Ce_xGd_{1-x}CoSi_3$ ($x = 0.15$) の Ce 4f スペクトル。強い近藤共鳴ピークが見られている。

(2) 「Ag(111)上の Co 吸着系」においては、資料準備所のポータブルチャンバの開発と光電子分光法を用いた電子構造の研究との二段階に分かれて行われた。Ag などの単結晶上に Co を吸着した系は近藤効果を起こす系としてよく知られ、走査型トンネル分光などの研究方法で多く研究されている。試料準備層のポータブルチャンバを開発は実験室で行われ、直接制作した加熱装置とスパッタリング装置を利用して表面処理及び吸着条件を確定した。得られた条件を用いて Co 3p-3d 共鳴角度分解光電子分光の測定を行い、Ag(111)上の Co 吸着系の電子構造の研究の基盤を作った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 4 件)

- ① H. Miyazaki, H. J. Im, K. Terashima,

S. Yagi, M. Kato, K. Soda, T. Ito, S. Kimura, La-doped EuO: A rare earth ferromagnetic semiconductor with the highest Curie temperature, Applied Physics Letters, 査読有, 96, 2010, 232503 (1-3)

- ② H. J. Im, H. Miyazaki, T. Ito, S. Kimura, K. E. Lee, Y. S. Kwon, Ce 4d-4f resonant angle resolved photoemission studies on quantum criticality in heavy-fermion Ce112 systems, UVSOR activity report 2009, 査読無, 2010, 96 page

- ③ Change of lattice constant due to the hybridization effect of a ferromagnetic semiconductor EuO, H. Miyazaki, T. Ito, H. J. Im, K. Terashima, T. Iizuka, S. Yagi, M. Kato, K. Soda, S. Kimura, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, 200, 2010, 012124 (1-4)

- ④ A. Yasui, H. Yamagami, H. J. Im, First-Principles Local-Density Approximation Study of Electronic Structure in $CeCoSi_2$, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, 78, 2009, 104705 (1-4)

〔学会発表〕 (計 5 件)

- ① H. J. Im, Ce 4f electronic structure of heavy-fermion systems across quantum critical point: a resonant angle-resolved photoemission study, The 2nd GCOE International Symposium, 2010, Sendai

- ② H. J. Im, Systematic angle-resolved photoemission study of heavy-fermion materials, 11-th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure, 2009, Nara

- ③ H. J. Im, Systematic angle-resolved photoemission study of Ce-based heavy-fermion systems, 2nd International UVSOR Workshop on Low-Energy Photoemission of Solids using Synchrotron Radiation, 2009, Okazaki

- ④ H. J. Im, Electronic structure of heavy-fermion systems across quantum

critical point: an angle-resolved photoemission study, 第3回北東北国立3大学連携推進研究プロジェクト研究会, 2009, 秋田市

- ⑤ H. J. Im, Ce 4d-4f resonant angle-resolved photoemission study of heavy-fermion systems in weakly hybridized regime, UVSORユーザーミーティング, 2009, 岡崎市

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~hojun/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

任 皓駿 (IM HOJUN)

弘前大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 10538177