

光電子分光によるバルク金属-絶縁体転移の解明

Studies of metal-insulator transition by photoelectron spectroscopy

菅 滋正 (Suga Shigemasa)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授



研究の概要

高いエネルギー分解能の光電子分光はいまや固体電子状態の研究では必須の手法である。昨今話題になっている強相関電子系のバルク金属-絶縁体転移電子状態の解明には、本研究で先端を切り開いている硬 X 線角度積分光電子分光、軟 X 線 3 次元角度分解光電子分光、さらには極低エネルギー-超高エネルギー分解能光電子分光実験が有力である。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 物性 I

キーワード：光物性

1. 研究開始当初の背景・動機

光電子分光は物質の電子状態を知る有力手段である。強相関電子系では表面とバルクの電子状態が大きく異なるので、光エネルギー域を変える或いは電子の運動エネルギー域を変えるとスペクトルが大きく変る。これは運動エネルギーに応じて光電子の非弾性平均自由行程が大きく変るからである。そこで数 keV から数 eV まで 3 桁に渡るエネルギー域での測定で、物質のバルク、表面の電子状態を分離することが重要である。

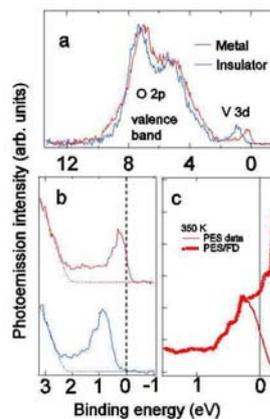
2. 研究の目的

- (1) 数 keV の硬 X 線光電子分光で強相関系の金属と絶縁体におけるバルク電子状態の違いを解明すること。
- (2) 軟 X 線 3 次元角度分解光電子分光で金属と絶縁体におけるバンド分散の違いを解明するとともに金属のバルク 3 次元フェルミオロジーを行うこと。
- (3) 極低エネルギー光電子分光で超高エネルギー分解能を実現し、バルク敏感性の物質依存性、行列要素効果、突然近似の妥当性を金属と絶縁体で検証すること。

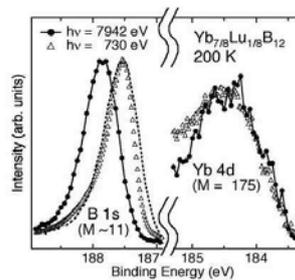
3. 研究の方法

- (1) SPring-8 の BL19LXU を用いた硬 X 線光電子分光
- (2) 実験室における超高エネルギー分解能高輝度紫外線光源で、フェルミ準位近傍の電子状態や微小ギャップの観測を行うこと。

4. これまでの成果



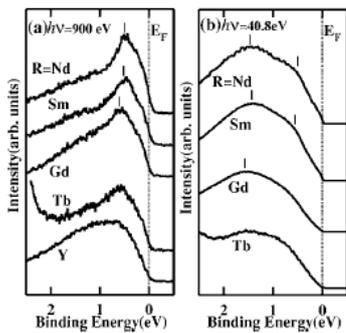
(1) VO₂ における金属-絶縁体転移に伴う価電子帯スペクトル変化を ~8keV の硬 X 線光電子分光で観察したものの。



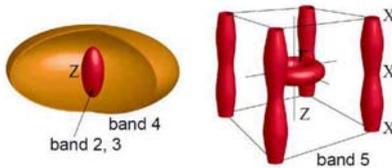
(2) 軽元素を含む化合物での硬 X 線光電子分光に現れる recoil 効果
フェルミ準位近傍の価電子帯でも軽元素成分に recoil が観測されることがあり、絶縁体と見誤られるので注意が必要

- (3) パイロクロアモリブデン化合物の金属-絶縁体転移

次図は軟 X 線 900eV と低エネルギー 40.8eV で測定したパイロクロア化合物のフェルミ準位近傍のスペクトルを示す



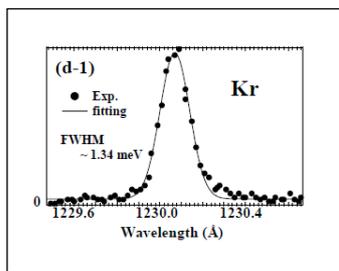
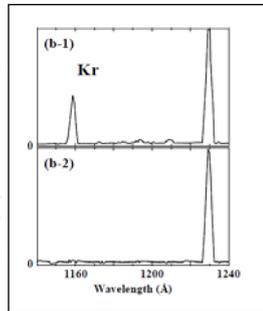
(4)軟X線角度分解光電子分光では3次元バンド分散の測定が可能である。従って金属の場合にはバルク3次元フェルミオロジーが出来る。実験で得られた強磁性体CeRu₂Ge₂の常磁性金属相での3次元フェルミ面形状を下に示す。



(5)極低エネルギー超高分解能光電子分光のためには、マイクロ波励起マイクロキャビティ希ガス放電管にイオン結晶フィルターを組み合わせ、トロイダル鏡で集光する光源が必要。その開発がAr,Kr,Xe光源について終了

右上図はフィルターにより最低エネルギー線だけを取り出せることを示し、右下図は分光器の分解能で決まっているバンド幅を示す。現実には、バンド幅は500 μ eVを切る事がAr光源について実測されている。

このシステムにさらに超高真空遮断で透過率の高いLiF超高真空窓を加えることで現実に使用可能な超高分解能光源を実現した。この光源は高エネルギー成分を完全に押さえられるので高い精度で超高分解能光電子分光が可能である。また希ガス種を切り替える機構も作成し30分以内に希ガス線種を切り替え可能である。



5. これまでの進捗状況と今後の計画
1)硬X線光電子分光については金属-絶縁体転移を示すすべての物質について研究可能であることが分かった。今後エネルギー分解能を $\rightarrow 30 \rightarrow 10$ meVに上げていく計画である。

2)軟X線3次元角度分解光電子分光は今後ギャップのある系への適用を計画中。

3)極低エネルギー超高分解能光電子分光は冷却系や分析器制御系の改修を行うと共に、Ar光源での励起強度を十分に確保できるような改良を計画している。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1)**S. Suga**, Potential and restriction of high resolution, high energy photoemission in 400-8,000 eV for studying strongly correlated electron systems, Appl. Phys. A, (2008) in press.

2)G. Funabashi, H. Fujiwara, A. Sekiyama, M. Hasumoto, T. Itoh, S. Kimura, P. Baltzer and **S. Suga**, Ultra-high resolution VUV light source system for extremely low energy photoelectron spectroscopy, Jpn. J. Appl. Phys.47, No4 (2008) in press.

3)A.Yamasaki, S. Imada., A. Sekiyama, H. Fujiwara, M. Yano, J. Yamaguchi, G. Funabashi, H. Sugawara, D. Kikuchi, H. Sato, T. Muro, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Harima and **S. Suga**, Stability of Electronic States across Metal-Insulator Transition in PrRu₄P₁₂, Phys. Rev. B, (2008) in press.

4)A. Higashiya, S. Imada, A. Yamasaki, A. Irizawa, A. Sekiyama, **S. Suga**, Y. Taguchi, M. Iwama, K. Ohgushi, and Y.Tokura Electron correlation and the metal-insulator transition of the pyrochlore molybdates R₂Mo₂O₇(R=Nd, Sm, Gd, Tb, Y), Phys. Rev. B75, 155106-1~7 (2007).

5)M. Yano, A. Sekiyama, H. Fujiwara, T. Saita, S.Imada, Y. Onuki and **S. Suga**, Three-dimensional bulk fermiology of CeRu₂Ge₂ in the paramagnetic phase by soft x-ray hv-dependent (700-860 eV) ARPES, Phys. Rev. Lett. **98**, 036405-1~4 (2007).

6)2007年 第26回島津賞受賞 **菅 滋正**