

量子電子材料研究チーム

Quantum Electronic Materials Research Team

チームリーダー 辛 埴

SHIN, Shik

(8pt) SPring-8, FEL, レーザー等の超高輝度軟X線を利用して、光電子、軟X線発光、光散乱等の実験を行い、半導体、磁性体、生体物質、分子性結晶などの量子材料について、固体の電子物性の解明を行う。当研究チームでもPLD等で試料作成を行いつつ、外部研究者との連携を深めることによって、新規量子材料の開発を積極的に行っている。特に、以下の研究を長期的な展望にたって行っている。

(1) 輸送現象の解明

高分解能軟X線発光分光器、高分解能光電子分光器を開発することにより、超伝導、強相関、電気伝導性ナノ物質の輸送現象に携わる電子状態

(2) 表面吸着物質の研究、表面ナノ構造物質の研究

化学結合状態、低次元電子状態の研究

(3) 光による電子状態や輸送現象の制御。

(1) 硬X線励起光電子分光研究(高田, Chainani, 松波, 江口, 田口)

硬X線励起による高分解能光電子分光はSPring-8において世界で最初に開発された手法であり、プローブ深さの大きい(表面状態を無視できる)という優れた特性を有することから、諸外国の放射光施設で導入が進んでいる。本年度も石川X線干渉光学研究室との共同研究として強相関系ナノ薄膜、高温酸化物超伝導物質、f電子系物質など多様な物質の電子構造研究を行った。特筆すべき成果として、光電子放出過程における反跳効果を光電子スペクトルにおいて初めて観測することに成功した。高配向グラファイト(HOPG)のC 1s内殻光電子の運動エネルギーが反跳効果によって損失すること、その運動エネルギー分布からHOPGの異方的なフォノンのエネルギーを決定できること、物理現象としてはメスバウアー効果と本質的に同じものであることを、萱沼洋輔氏(阪府大)との共同研究によって明らかにした。

(2) 硬X線・軟X線光電子分光によるVO₂の電子状態の研究(江口, 田口, 松波, Chainani, 高田)

VO₂は約340 Kで金属絶縁体転移を示す物質として知られている。その相転移のメカニズムについてはパイエルズ転移的とされる一方で、電子相関の重要性も指摘されモット転移による描像が提案されるなど、実験や理論の両面から盛んに研究が進められている。本研究ではバルク敏感な硬X線、軟X線エネルギー領域の放射光源を用いた光電子分光を行い、相転移前後の価電子帯、内殻準位の電子状態について考察した。金属から絶縁体に転移すると、フェルミ準位近傍の状態密度はコヒーレントバンドからインコヒーレントバンドへ強度が移り、エネルギーギャップが観測された。また金属絶縁体転移に伴うV 2p, V 1s内殻光電子スペクトルの変化はコヒーレントバンドからのスクリーニング効果を入れたクラスタモデル計算でよく説明できることがわかった。

(3) 軟X線光電子分光によるCe系充填スクッテルダイト化合物の電子状態の研究(松波*1, Chainani, 高田, 田口, 江口)(*1 辛放射光物性研究室)

近年、充填スクッテルダイト化合物 RT_4X_{12} (R = 希土類元素; T = Fe, Ru, Os; X = P, As, Sb) が示す多彩な物性が大きな注目を集めている。それらの物性は4f電子と伝導電子との間に働く混成効果(c-f混成)に強く依存すると考えられており、元素置換による系統的な電子状態の研究が重要である。本研究ではそれぞれ興味深い物性を示すCe系充填スクッテルダイト化合物CeFe₄P₁₂(近藤半導体)、CeFe₄Sb₁₂(重い電子系)及びCeOs₄Sb₁₂(近藤半導体と重い電子系)に対して光電子分光による電子状態の研究を行った。CeFe₄P₁₂のCe 3d内殻光電子スペクトルは f^0 、 f^1 及び f^2 終状態による3ピーク構造によって構成されるが、CeFe₄Sb₁₂とCeOs₄Sb₁₂においてはc-f混成強度の減少を反映して f^0 、 f^2 終状態が強く抑制されることがわかった。これに加えて、Ce 3d-4f共鳴光電子分光によって観測された価電子帯におけるCe 4fスペクトルにおいても、主にc-f混成強度の変化によって説明できることが明らかになった。

(4) 軟X線共鳴光電子分光による電子ドーピングしたSrTiO₃の研究(石田, 江口, 松波, 田口, Chainani)

酸化物半導体SrTiO₃(STO)は酸化物エレクトロニクスの分野で広く用いられ、界面磁性や高効率熱電特性を示して注目されている。STOに電子ドーピングすると電子励起スペクトルのフェルミ準位近傍にインコヒーレントな状態(ICE)が現われるが、その起源は未解明であった。これまでICEはTi 3d成分のみから成ると考えられていたが、O 1s内殻吸収端での共鳴光電子分光を行った結果、ICEにはO 2p成分も存在することが明らかとなった。これから、ICSはHaldane-Anderson状態(半導体に遷移金属を添加したときにバンドギャップ中に現われる状態)に類似した状態であるといえる。これは他のTi酸化物やV酸化物にも見られるICSの新しい解釈を与える。

(1) High resolution hard x-ray photoelectron spectroscopy

High resolution Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HX-PES) is the method developed at SPring-8 using high brilliance synchrotron radiation, and is now becoming very useful tool in many synchrotron radiation facilities in the world. This year, we have studied the electronic structure of high-Tc cuprates, thin films of strongly correlated materials, f-electron etc. As an remarkable result, we succeed to observed recoil effect of photoelectron for the first time. C 1s photoelectrons of Highly Oriented Pyrolytic Graphite (HOPG) lose their kinetic energy, and the energy distribution becomes broader due to the recoil effect. The observed results are quantified by Prof. Kayanuma (Osaka Pref. Univ.). The physics of recoil effect of photoelectron is essentially the same as that of Mössbauer effect for γ -ray emission from nuclei, and the photoelectron spectra give us the information on phonon dynamics.

(2) Hard x-ray and soft x-ray photoemission study in VO₂

VO₂, a d¹ electron system, exhibits a sharp first-order metal-insulator transition (MIT) as a function of temperature, at $T_{MI} = 340$ K. VO₂ has attracted enormous attention in terms of a Mott-Hubbard correlation-induced versus a structural Peierls-type MIT. We performed bulk sensitive hard x-ray and soft x-ray photoemission spectroscopy to investigate the electronic structure of VO₂. Across the MIT, spectral weight transfer from V 3d character coherent states at Fermi level to the incoherent band leads to gap-formation. Coupled changes in V 2p and V 1s core levels, with well-screened features only in the metallic phase, are nicely reproduced by a cluster model.

(3) Soft x-ray photoemission spectroscopy for Ce-filled skutterudites

The filled skutterudite compounds with a general formula RT_4X_{12} (R = rare earth; T = Fe, Ru and Os; X = P, As and Sb) have attracted much attention since they exhibit a variety of strongly correlated electron phenomena. Among these compounds, CeFe₄P₁₂ is a semiconductor with an energy gap of ~130 meV. On the other hand, CeFe₄Sb₁₂ and CeOs₄Sb₁₂ show anomalous temperature-dependent transport behavior. These properties may be related with the hybridization between conduction (c) and Ce 4f states. In order to clarify the relation between their physical properties and c -f hybridization, we have investigated the electronic structure of CeFe₄P₁₂ and CeOs₄Sb₁₂ by soft X-ray photoemission spectroscopy (PES). For Ce 3d core level PES spectra of CeFe₄P₁₂, three peak structures due to f^0 , f^1 and f^2 final states were clearly observed. On the other hand, no clear f^0 and f^2 structures were observed for CeFe₄Sb₁₂ and CeOs₄Sb₁₂. In addition, the detailed valence-band structures of Ce-filled skutterudites were investigated by Ce 3d-4f resonant PES. The difference of their spectral properties can be explained by the degree of c -f hybridization.

(4) Soft X-ray resonant photoemission spectroscopy of electron-doped SrTiO₃

SrTiO₃ crystal is one of the promising device materials for “oxide electronics”, since it exhibits novel phenomena such as interfacial metallicity and state-of-the-art thermoelectric performance. The electronic excitation spectra of electron-doped SrTiO₃ shows an incoherent excitation (ICE) appearing in the band gap of the host SrTiO₃. In order to elucidate the origin of the ICE, we performed resonant photoemission spectroscopy at the O 1s and Ti 2p absorption edges on a Nb-doped SrTiO₃ epitaxial thin film. We find that the ICE has mixed character of O 2p and Ti 3d states, contrasted to the earlier notion that the ICE is mainly composed of Ti 3d states. The ICE could be considered qualitatively equivalent to the multiple charge states of a transition metal in a semiconductor as proposed by Haldane and Anderson.

Staff

Head

Dr. Shik SHIN

Members

Dr. Ashish CHAINANI
Dr. Ritsuko EGUCHI
Dr. Yoshihisa HARADA
Dr. Koji HORIBA
Dr. Yoshiharu MIYAJIMA
Dr. Masaki OURA
Dr. Munetaka TAGUCHI
Dr. Yasutaka TAKATA
Dr. Tomoyuki TAKEUCHI
Dr. Tadashi TOGASHI
Dr. Takashi TOKUSHIMA
Dr. Yukiaki ISHIDA ^{*1}

^{*1} Special Postdoctoral Researcher

Visiting Members

Prof. Ernst E KURMAEV (Russian Aca. Sic.)
Prof. Takayoshi YOKOYA (Grad. Sch Sci & Tech, Okayama Univ.)
Dr. Kyoko ISHIZAKA (ISSP)
Dr. Takahiro ITO (Inst. Molecular Sci.)
Dr. Nozomu KAMAKURA (KEK/PF)
Dr. Eiichi KOBAYASHI (AIST)
Dr. Hiroshi KUMIGASHIRA (Fac Eng. Tokyo Univ.)
Dr. Yuji MURAOKA (Grad. Sch Sci & Tech, Okayama Univ.)
Dr. Tomohiko SAITO (Fac Sci. Tokyo Sci Univ.)
Dr. Shunsuke TSUDA (ISSP)
Dr. Takanori WAKITA (Fac. Sci., Okayama Univ.)
Dr. Ichizo YAGI (AIST)

Trainees

Mr. Kouhei FUJIWARA (ISSP)
Mr. Yusuke HITAKA (Grad. Eng. Univ. Hyogo)
Mr. Mario OKAWA (ISSP)
Mr. Hiroyuki OKAZAKI (Grad. Sci., Okayama Univ.)
Mr. Kuninari SAEKI (Fac. Sci., Okayama Univ.)
Mr. Shouhei WADA (Grad. Sci., Okayama Univ.)
Mr. Kenichi YAKIGAYA (ISSP)