

表面ダイナミクス研究ユニット

Surface Dynamics Research Unit

研究ユニットリーダー 宗 像 利 明
MUNAKATA, Toshiaki

固体表面での原子の再配列や化学反応は、フェムト秒での電子の動きがきっかけとなってピコ秒の時間スケールで原子が動くことによって進行する。したがって表面での原子分子の動的過程を理解するには、表面および吸着分子の電子励起状態の分光測定と時間分解測定とが不可欠である。当研究ユニットでは、フェムト秒レーザーを光源とした2光子光電子分光法で、電子励起状態の観測を行っている。特に、分光的に観測される電子状態と反応性との関連を探求している。

1. 吸着分子の電子励起状態 (宗像, 竹広^{*1}, 首藤^{*2})

2光子光電子分光により、吸着誘起の結合準位・反結合準位の観測を行った。分子が表面に吸着すると、占有結合準位と非占有結合準位がフェルミ準位の近傍に形成される。これらの吸着誘起電子準位が反応性を支配する要件となっている。昨年までにCu(111)面に吸着したベンゼンや、Si(001),(111)に対する2光子光電子分光を行ってきたが、本年度は基板による結合様式の差異を解明するためにd電子が開核構造であるNi(001)面でのベンゼン吸着を取り上げた。これまでに、複数の吸着誘起占有・非占有準位が検出されたが、いずれもCu(111)面の場合よりも線幅が広い。これは、d電子が吸着結合に関与していることを反映している。Cu(111)と比較しながら、吸着結合電子状態について考察を進めている。

2. 表面での電子ダイナミクス (宗像, 園田^{*3}, 坂上^{*1}, Abdouani^{*2})

高温超電導体であるBi2212の2光子光電子分光を行い、未知の電子励起状態を観測した。この電子励起状態はバンド幅が0.3eVであり、固体のバンドとしては非常に狭い。励起光の波長を細かく変えた測定から、このバンドは、アピカル位のO 2pからCu 3d_{z²}への遷移と考えられる。逆光電子分光やX線吸収分光に比べ2光子光電子分光では1桁以上高分解能な測定ができた。バンド幅、サテライト構造の現れ方などには他の手法の結果と大きく異なる点も観測されている。差異の原因については励起状態の動的過程、電子相関との関連で興味深い。さらに、光遷移の共鳴プロフィールに異常な振る舞いがみられ、解析を進行中である。2光子光電子分光が金属酸化物電子構造の高分解能測定に有効であることを実証することができた。また電子や空孔の動的過程を非平衡グリーン関数法で理論的に解析した。

3. 時間分解顕微光電子分光 (宗像, 寺井^{*4}, 相田^{*4}, 榎田^{*4}, 坂谷^{*5}, 上野^{*2})

フェムト秒レーザーを光源とした、時間分解顕微光電子分光装置の開発を進めている。100 fs レーザー光の高調波

(9 eV) を集光して微小域の光電子分光を行う。銅多結晶のフェルミ端の測定から光電子のエネルギー分解能は4 eVの電子に対して30 meVであった。この分解能はパルス幅100 fsのフーリエ限界(18 meV)に近い。また、空間分解能は420 nm 光で0.9 μm, 140 nm 光では0.3 μm が実現した。いずれも、集光系の回折限界に達した分解能である。すなわち、物理的限界に迫るエネルギー分解能と空間分解能を同時に達成することができた。さらに、フェムト秒光源を用いるので時間分解測定も可能である。これらの性能は、表面吸着種や微小結晶の物性研究に有効と期待される。

^{*1} 基礎科学特別研究員, ^{*2} 共同研究員, ^{*3} 協力研究員, ^{*4} 研修生, ^{*5} 研修生 (東理大大学院)

Research Subjects and Members of Surface Dynamics Research Unit

1. Electronic Excited States of Adsorbed Molecules
2. Electron Dynamics at Surfaces
3. Time-Resolved Photoemission Microspectroscopy

Head

Dr. Toshiaki MUNAKATA

Members

Dr. Mamoru SAKAUE^{*1}
Dr. Naoki TAKEHIRO^{*1}
Dr. Yasuyuki SONODA^{*2}

^{*1} Special Postdoctoral Researcher

^{*2} Contract Researcher

Visiting Members

Dr. Abdureyim ABDUAINI (Univ. Tokyo)
Dr. Ken-ichi SHUDO (Fac. Eng., Yokohama Natl. Univ.)
Prof. Nobuo UENO (Fac. Eng., Chiba Univ.)

Trainees

Makihide AIDA (Fac. Eng., Chiba Univ.)
Takuya MASUDA (Fac. Eng., Chiba Univ.)
Sei-ichi SAKAYA (Tokyo Univ. Sci.)
Youko TERAII (Fac. Eng., Chiba Univ.)

誌上発表 Publications

[雑誌]

(原著論文) *印は査読制度がある論文誌

Munakata T., Abuduaini A., and Sonoda Y.: “Two-photon photoemission of metal oxide”, *Trans. Mat. Res. Soc. Jpn.* **26**, 1013–1016 (2001). *

Sakaue M., Munakata T., Kasai H., and Okiji A.: “Effects of virtual electron transitions between image states on electron dynamics at metal surfaces”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **71**, 872–879 (2002). *

Shudo K., Takeda S., and Munakata T.: “Resonant surface-state transitions of Si(111)- 7×7 measured with two-photon photoemission spectroscopy”, *Phys. Rev. B* **65**, 075302-1–075302-6 (2002). *

(総説)

宗像利明: “吸着分子および半導体の2光子光電子分光”, *表面科学* **22**, 586–593 (2001).

口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

Munakata T. and Sonoda Y.: “Electronically excited states of surfaces studied with two-photon photoemission”, 5th RIKEN Int. Conf. on Coherent Control in Matter, Hayama, Apr. (2001).

Sakaue M., Munakata T., Kasai H., and Okiji A.: “Microscopic theory of ultrafast electron dynamics on metal surfaces”, 20th European Conf. on Surface Science (ECOSS-20), Kraków, Poland, Sept. (2001).

Munakata T.: “Time-resolved photoemission microscopy based on fs-VUV laser light”, 20th European Conf. on Surface Science (ECOSS-20), Kraków, Poland, Sept. (2001).

Sonoda Y. and Munakata T.: “Two-photon photoemission of high-temperature superconductor Bi2212”, 20th European Conf. on Surface Science (ECOSS-20), Kraków, Poland, Sept. (2001).

(国内会議)

宗像利明, 園田康幸: “表面電子励起状態と光励起過程”, 第17回化学反応討論会, 福岡, 5月(2001).

坂上護, 宗像利明, 笠井秀明, 興地斐男: “金属表面局在電子

状態の時間分解二光子光電子スペクトル”, 「放射光物性理論の現状と展望」に関するワークショップ, (SPring-8理論研究会サブグループ), 播磨, 6月(2001).

宗像利明: “表面電子励起状態と顕微2光子光電子分光”, 第2回表面エレクトロニクス研究会, 和光, 7月(2001).

坂上護, 笠井秀明, 中西寛: “固体表面と高密度プラズマとの相互作用に関する理論的研究: 金属清浄表面・原子吸着表面における超高速電子ダイナミクス”, 大阪大学レーザー核融合研究センター共同研究成果報告会「レーザー研シンポジウム 2001」, 吹田, 7月(2001).

坂上護, 宗像利明, 笠井秀明, 興地斐男: “金属表面局在電子状態における光誘起超高速電子ダイナミクスの微視的理論”, 日本物理学会 2001年秋季大会, 徳島, 9月(2001).

園田康幸, 宗像利明: “2光子光電子分光法による高温超伝導体(Bi2212)の非占有準位の観測”, 日本物理学会 2001年秋季大会, 徳島, 9月(2001).

梶田拓也, 坂谷精一, 上野信雄, 宗像利明: “フェムト秒パルスレーザーを用いた時間分解顕微光電子分光装置の開発”, 分子構造総合討論会 2001, (日本化学会), 札幌, 9月(2001).

園田康幸, 宗像利明: “2光子光電子分光法による銅酸化物電子状態の観測(高温超伝導体 Bi2212)”, 吸着分子の分光法セミナー, 熱川, 11月(2001).

宗像利明: “レーザー光電子分光法による表面電子励起状態の測定と顕微分光への試み”, 物性研短期研究会「新しいコヒーレント光源の利用研究と将来の展望」, 柏, 11月(2001).

三浦良雄, 笠井秀明, 坂上護, 中西寛, 興地斐男: “STM発光による表面ナノ構造解析の理論”, 日本物理学会第57回年次大会, 滋賀県草津, 3月(2002).

宗像利明, 梶田拓也, 坂谷精一: “マイクロビーム光電子分光法による表面微小域電子状態の観察”, 日本物理学会第57回年次大会, 滋賀県草津, 3月(2002).

坂上護, 宗像利明, 笠井秀明, 興地斐男: “金属表面からの二光子光電子放出における二次電子・正孔の超高速ダイナミクス”, 日本物理学会第57回年次大会, 滋賀県草津, 3月(2002).

竹広直樹, 宗像利明: “2光子光電子分光法で見る Ni(100)上吸着ベンゼンの電子状態”, 日本化学会第81春季年会, 東京, 3月(2002).