



木村 真一

岡崎国立共同研究機構 分子科学研究所

プロフィール：1966年2月生。1991年3月東北大学理学研究科博士課程修了、理学博士。日本学術振興会・特別研究員（1991.4—1993.3）、神戸大・助手（1993.5—1993.10）、分子研・助手（1993.10—1998.3）、神戸大・助教授（1998.4—2002.3）を経て分子研極端紫外光実験施設（UVSOR）・助教授（2002.4—）。専門：放射光を使った固体物性研究、方法論。趣味：出張。

赤外磁気光学イメージングによる局所電子構造

要旨

磁性体などの物質は、低温で磁気相転移や構造相転移、超伝導転移が生じ、物質の性質（物性）が大きく変わります。その起源となっているのが物質中の電子の状態です。電子は一つの状態に1つの電子しか存在できないために、電子が存在できる最大のエネルギーがあり、フェルミ準位と呼ばれています。物質の磁性や伝導などの性質は、そのフェルミ準位の極近傍の電子状態が支配しています。そこで、その電子状態の情報が得られれば、物性を担っている電子の性質がわかるはずです。特に、各種の相転移では電子状態の変化がきっかけになって起こっているものがあり、相転移の起源である電子状態を特定することは極めて重要です。このように、物質の状態が相転移によって変革する過程をフェルミ準位極近傍の電子状態の変化としてつぶさに観測できれば、極めて重要な情報が得られると考えられます。

そのような観点から、フェルミ準位極近傍の電子状態を個別に励起できる赤外分光に着目しました。特に相転移の途中で生じる相分離の状態は、極めて面積が小さく、顕微鏡的な観察が必要です。そのために、本研究では「赤外磁気光学イメージング」という実験手法を開発しました。（図1）この装置は、シンクロトロン放射光（大型放射光施設SPring-8）からの赤外線の高輝度性と円偏光性を使い、顕微鏡分光と円偏光二色性を組み合わせて、磁場中の顕微赤外磁気光学分光および特定の構造に着目してイメージングを行うというものです。このことで、磁性体などの相転移途中の電子状態の変化を空間的に軌道モーメントを分離して調べることができます。

赤外磁気光学イメージング分光装置(概念図)

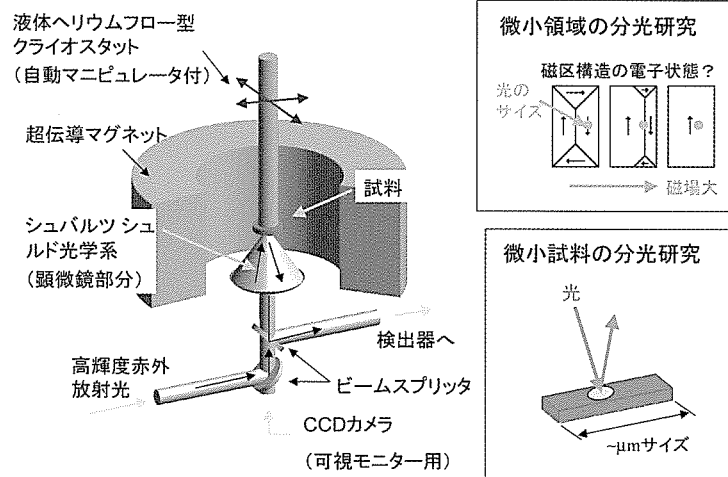


図1 赤外磁気光学イメージング分光装置の概念図。この装置は、シンクロトロン放射光（SPring-8）からの高輝度な赤外線を使い、顕微赤外分光と超伝導マグネットでの磁気円二色性を組み合わせたものである。

完成した赤外磁気光学イメージング分光装置の性能としては、空間分解能 $11.7\mu\text{m}$ 、光量子エネルギー範囲 $0.1\sim 2\text{eV}$ 、最大磁場 14T 、最低温度 3.5K を達成しました。この装置を使って、最初のテスト的な測定として重水素置換された有機超伝導体 $\kappa\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ （大きさは約 $0.2\text{mm}\square$ ）の磁場誘起超伝導・絶縁体転移に伴う電子状態の変化を観測しました。（図2）その結果、 0.1eV 以上の電子状態の変化は温度によるものが主で、磁場にはあまり依存しないことがわかりました。このことは、超伝導から絶縁体への劇的な変化は、フェルミ準位から 0.1eV 以下の電子状態の変化で起こっていると考えられます。

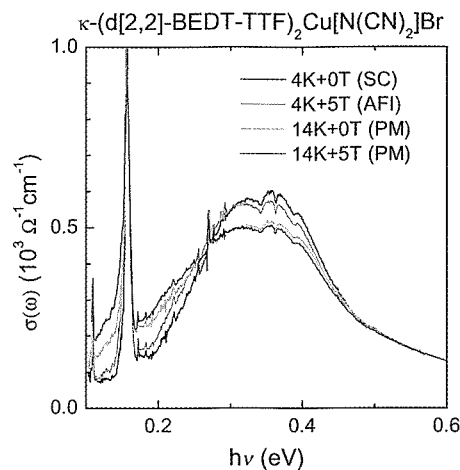


図2 4つの水素基のうち2つだけ重水素置で置換した κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Brの中赤外ピークの温度・磁場依存性。
SC: 超伝導、AFI: 反強磁性絶縁体、PM: 常磁性金属を表す。

今後は、さらにフェルミ準位に近い電子状態の変化を観測し、物性の起源である電子状態を調べていく方針です。また、この装置に高圧セルを取り付けることで、低温・高圧・高磁場の多重極限環境下での赤外分光測定も可能になります。多重極限環境下では、常温常圧では予想もできなかった状態が出現しますが、本研究はそのような多重極限の電子状態研究を行う足がかりでもあります。

研究成果

研究期間中の発表論文・解説記事

1. S. Kimura *et al.*, "Collapse of Kondo Lattice in $Ce_{1-x}La_xPd_3$ ($x = 0, 0.03$)", *Physica B* (in press).
2. S. Kimura *et al.*, "Optical reflectivity of the clathrate compound Ba_6Ge_{23} ", *Physica B* (in press).
3. S. Kimura *et al.*, "Infrared Spectroscopy under Extreme Conditions", *Physica B* (in press).
4. S. Kimura *et al.*, "Optical and Magneto-Optical Studies on Electronic Structure of CeSb in the Magnetically Ordered States", *J. Phys. Soc. Jpn.* **71** (2002) (in press).
5. S. Kimura *et al.*, "Charge Ordering Effect of Electronic Structure of $Yb_4(As_{1-x}Sb_x)_3$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.* **71** Suppl. p. 300 (2002).
6. S. Kimura *et al.*, "Temperature-Induced Valence Transition of $EuNi_2(Si_{0.25}Ge_{0.75})_2$ Studied by Eu 4d-4f Resonant Photoemission and Optical Conductivity", *J. Phys. Soc. Jpn.* **71** Suppl. p. 255 (2002).
7. S. Kimura *et al.*, "Optical conductivity of diluted Kondo semiconductors $Yb_{1-x}Lu_xB_{12}$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.* **71** Suppl. p. 303 (2002).
8. S. Kimura *et al.*, "Influence of electronic structure of $CeSbNi_{0.15}$ on its optical conductivity", *Physica B* **312-313**, 251 (2002).
9. S. Kimura *et al.*, "Optical gap in the diluted Kondo semiconductors $Yb_{1-x}Lu_xB_{12}$: lattice and single-site effects", *Physica B* **312-313**, 157 (2002).
10. S. Kimura *et al.*, "Magneto-optical study of the colossal magnetoresistance pyrochlore $Tl_2Mn_2O_7$ ", *Physica B* **312-313**, 714 (2002).
11. S. Kimura *et al.*, "Low-Energy Electronic Structure of $Ce_{1-x}La_xSb$ ($x = 0, 0.1$) in the Magnetically Ordered States", *Physica B* **312-313**, 228 (2002).
12. S. Kimura *et al.*, "Low-Energy Optical Conductivity of Yb_4As_3 ", *Physica B* **312-313**, 356 (2002).
13. S. Kimura *et al.*, "Spectroscopy Studies of Temperature-Induced Valence Transition Material $EuNi_2(Si_{1-x}Ge_x)_2$ around Eu 3d-4f, Eu 4d-4f and Ni 2p-3d Excitation Regions", *J. Phys. Soc. Jpn.* **71**, 148 (2002).
14. S. Kimura *et al.*, "Charge dynamics in the colossal magneto-resistance pyrochlore $Tl_2Mn_2O_7$ ", *Phys. Rev. B* **64**, 180409(R) (2001).
15. S. Kimura *et al.*, "Temperature Dependence of Low-Energy Optical Conductivity of $Yb_4(As_{1-x}P_x)_3$ ($x = 0, 0.05, 0.15$)", *J. Phys. Soc. Jpn.* **70**, 2829 (2001).
16. 木村洋昭、木村真一他、"SPring-8 赤外物性ビームライン-BL43IR-の建設"、*放射光* **14**, 250 (2001).
17. S. Kimura *et al.*, "Front end and optics of infrared beamline at SPring-8", *Nucl. Instrum. Meth. A* **467-468**, 437 (2001).
18. S. Kimura *et al.*, "Infrared spectromicroscopy and magneto-optical imaging stations at SPring-8", *Nucl. Instrum. Meth. A* **467-468**, 893 (2001).

19. S. Kimura^他, "Infrared beamline at SPring-8: design and commissioning", *Nucl. Instrum. Meth. A* **467-468**, 441 (2001).
20. S. Kimura *et al.*, "Optical conductivity of $\text{Yb}_{1-x}\text{Lu}_x\text{B}_{12}$: Energy gap and mid-infrared peak in diluted Kondo semiconductors", *Phys. Rev. B* **62**, R13265 (2000).
21. S. Kimura *et al.*, "Optical Study on Electronic Structure of Rare-Earth Sesquioxides", *J. Phys. Soc. Jpn.* **69**, 3451 (2000).
22. S. Kimura *et al.*, "Optical and magneto-optical studies on magnetic phase transition of CeSb and CeBi", *Physica B* **281-282**, 449 (2000).
23. S. Kimura *et al.*, "Energy gap evolution in the optical spectra of Kondo alloy system $\text{Yb}_{1-x}\text{Lu}_x\text{B}_{12}$ ", *Physica B* **281-282**, 280 (2000).
24. S. Kimura *et al.*, "Pseudogap formation in the intermetallic compounds $(\text{Fe}_x\text{V}_x)_3\text{Al}$ ", *Phys. Rev. Lett.* **84**, 3674 (2000).
25. S. Kimura *et al.*, "Electronic structure in the magnetically ordered states of CeSb studied by magneto-optical spectroscopy in the infrared region", *J. Phys. Soc. Jpn.* **69**, 647 (2000).
26. 木村真一、"赤外域の円偏光放射光の利用 - 赤外磁気円偏光二色性 -"、*放射光* **13**, 62 (2000).
27. S. Kimura, "Infrared Magnetic Circular Dichroism of Strongly Correlated 4f Electron Systems with Synchrotron Radiation", *Jpn. J. Appl. Phys.* **38** Suppl. 38-1, 392 (1999).