

6-3 光分子科学研究領域

光分子科学第一研究部門

岡 本 裕 巳（教授）（2000 年 11 月 1 日着任）

A-1) 専門領域：分子分光学，物理化学

A-2) 研究課題：

- a) 先端的な近接場分光法の開発
- b) 有機分子からなるナノ構造体の光化学・物理的特性
- c) 金属微粒子の素励起波動関数のイメージングと微粒子内ダイナミクス
- d) 金属微粒子及びその凝集体，配列体における電場増強効果と相互作用

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 分子・分子集合体におけるナノ構造の観察と，特徴的な光学の性質，励起状態の（超）高速ダイナミクス等を探るための，近接場時間分解分光装置の開発を行い，並行して試料の測定を行っている。基本的な測定システムは既に数年前に完成し，光学像の横方向分解能は 50 nm 程度，時間分解能は 100 fs 以上を同時に実現している。現在は，更に短いレーザーパルスと空間位相変調による分散補償を導入した装置を開発しており，近接場で 20 fs レベルの超高速測定が今少しで可能となる段階にきている。これにより金微粒子のプラズモンの緩和を，近接場領域で実時間観測すること等が可能になると予測している。
- b) 所外との共同研究として，LB 膜を生成する共役高分子化合物，ポリジアセチレン膜を有する金属微粒子等に関して，近接場分光法に基づいた研究を進行中である。ポリジアセチレン LB 膜では，膜の色相の差によるモルフォロジーの違いや近接場光照射による構造変化，低パワー近赤外光による多光子重合反応等を見だし，解析を進めている。またポリジアセチレン膜を有する金属微粒子の，単一粒子レベルのキャラクタリゼーションを行い，微粒子上におけるジアセチレンの光重合プロセスの解析に不可欠な情報を得た。
- c) 各種形状金属微粒子の分光及びダイナミクスの測定を，単一微粒子内で空間を分解して行っている。既に数年前に，貴金属微粒子の近接場分光測定により，プラズモンモードの波動関数の二乗振幅に対応するイメージが得られることを見だししていた。その理論的解釈について，所外との共同研究を行い，試料と測定系を全て含んだ大規模な電磁気学シミュレーションにより，微粒子と近接場測定系との相互作用に関する進んだ解釈が可能となりつつある。また電子線描画による 2 次元金属ナノ構造で，プラズモン共鳴の特性の解明と制御を目指した研究を行い，特徴的なプラズモンモードのイメージングや，ある種の金属微粒子で近接場光が異常に強く透過するなど，興味深い光学特性を見だし，その起源も理論解析によりほぼ明らかとなっている。
- d) 貴金属微粒子を凝集・配列した試料の近接場領域での光学の性質に関する研究を，所外との共同研究で行っている。微粒子の形状・サイズと凝集状態による電場増強の違い，微粒子間の電磁気学的な相互作用，周囲のクロモフォア分子との相互作用に関して，近接場イメージングを用いた実証的研究を進めている。貴金属薄膜に開けた微細な開口（ナノヴォイド）の作る光電場の構造についても研究を進めた。また金属微粒子を用いた光反応場の研究への展

開の可能性を探っている。この他、非線形光学効果が関与する新規な光トラッピングの現象を見だし、理論解析を通じてその起源を解明した。この手法は、ナノ配列を作成する新たな方法としての可能性が期待できる。

B-1) 学術論文

K. SAWADA, H. NAKAMURA, T. MARUOKA, Y. TAMURA, K. IMURA, T. SAIKI and H. OKAMOTO, “FDTD Simulated Observation of a Gold Nanorod by Scanning Near-Field Optical Microscopy,” *Plasma Fusion Res.* 5, S2110 (4 pages) (2010).

Y. JIANG, T. NARUSHIMA and H. OKAMOTO, “Nonlinear Optical Effects in Trapping Nanoparticles with Femtosecond Pulses,” *Nat. Phys.* 6, 1005–1009 (2010).

B-3) 総説、著書

岡本裕巳, 「光ナノ計測」, 「光科学研究の最前線2」, 光科学研究の最前線2編集委員会編, 強光子場科学研究懇談会, p. 62 (2009).

B-4) 招待講演

岡本裕巳, 「プラズモン波動関数と増強電場の近接場光学イメージング」, 第21回名古屋コンファレンス, 名古屋, 2010年1月.

岡本裕巳, 井村考平, 「近接場分光法による金属ナノ構造の光子場イメージング」, 第57回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2010年3月.

井村考平, 岡本裕巳, 「近接場顕微分光に基づく光反応場の動的可視化・制御」, 第57回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2010年3月.

岡本裕巳, 井村考平, 「低次元系金属構造体における局在光電場分布の可視化」, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山, 2010年3月.

K. IMURA and H. OKAMOTO, “Optical imaging of plasmon wavefunctions and optical fields in noble metal nanostructures,” The 3rd Taiwan–Japan Joint Symposium on Organized Nanomaterials and Nanostructures Related to Photoscience, Hualien (Taiwan), March 2010.

H. OKAMOTO and K. IMURA, “Near-Field Optical Imaging of Enhanced Photon Fields and Plasmon Waves in Metal Nanostructures,” The 28th Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2010), Cambridge (U.S.A.), July 2010.

H. OKAMOTO and K. IMURA, “Near-Field Imaging of Plasmonic Waves and Enhanced Optical Fields,” The 6th International Workshop on Nano-scale Spectroscopy and Nanotechnology, Kobe (Japan), October 2010.

H. OKAMOTO and K. IMURA, “Field enhancement in metal nanostructures visualized by near-field microscopy,” Pacificchem 2010 Symposium #72 “Frontiers of Surface-Enhanced Raman Scattering: Single-Nanoparticles and Single Cells,” Honolulu (U.S.A.), December 2010.

B-6) 受賞、表彰

岡本裕巳, 光科学技術研究振興財団研究者表彰 (1994).

岡本裕巳, 分子科学研究奨励森野基金 (1999).

井村考平, 応用物理学会講演奨励賞 (2004).
井村考平, ナノオプティクス賞 (2005).
井村考平, 分子構造総合討論会奨励賞 (2005).
井村考平, 光科学技術研究振興財団研究者表彰 (2007).
井村考平, 日本化学会進歩賞 (2007).
井村考平, 日本分光学会賞(奨励賞)(2007).
原田洋介, ナノオプティクス賞 (2010).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等員

日本化学会トピックス小委員会委員 (1993–1996).
日本分光学会編集委員 (1993–2001).
日本分光学会東海支部幹事 (2001–).
日本化学会東海支部常任幹事 (2003–2005).
分子科学研究会事務局 (2004–2006).
分子科学会運営委員 (2006–2008).

学会の組織委員等

The International Symposium on New Developments in Ultrafast Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (Tokyo), Organizing Committee (1995).
The Tenth International Conference on Time-Resolved Vibrational Spectroscopy (Okazaki), Local Executive Committee (2001).
The Twentieth International Conference on Raman Spectroscopy (Yokohama), Local Organizing Committee (2006).
International Workshop on Soft X-ray Raman Spectroscopy and Related Phenomena (Okazaki), Local Organizing Committee (2006).
The 12th Korea-Japan Joint Symposium on Frontiers of Molecular Science (Jeju), Co-chair (2007).
Japan-Korea Joint Symposium on Molecular Science 2009 “Chemical Dynamics in Materials and Biological Molecular Sciences” (Awaji), Co-chair, Secretary general (2009).
The 7th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (Jeju), Technical Program Committee (2009).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

日本学術振興会科学研究費委員会専門委員 (2006–2007).
日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員 (2008–2010).
日本学術振興会国際事業委員会書面審査員 (2008–2010).

その他

スーパーサイエンスハイスクール(愛知県立岡崎高等学校)活動支援 (2003, 2004).
総合研究大学院大学物理科学研究科副研究科長 (2010–).

B-8) 大学での講義，客員

総合研究大学院大学物理科学研究科，「分子分光学」2010年7月8日-12日.

総合研究大学院大学物理科学研究科，「量子分子科学」2010年11月24日-26日.

B-10) 競争的資金

科研費基盤研究(B)，「動的近接場分光法による励起伝播ダイナミクスの分子科学」岡本裕巳 (2004年-2006年).

科研費若手研究(B)，「メソスコピック領域における金微粒子を用いた空間的エネルギー伝播の直接観測」井村考平 (2004年-2006年).

倉田記念日立科学技術財団倉田奨励金，「時空間コヒーレンス観測に向けた超高速近接場分光システムの開発」岡本裕巳 (2005年).

科研費萌芽研究，「近接場分光法による素励起の波動関数イメージング」岡本裕巳 (2005年-2007年).

科研費特定領域研究「極微構造反応」(公募研究)「極微構造における素励起の時空間コヒーレンスの超高時間分解近接場分光」岡本裕巳 (2005年-2007年).

科研費基盤研究(A)，「ナノ微粒子系の波動関数と励起状態の動的挙動」岡本裕巳 (2006年-2010年).

科研費若手研究(A)，「励起と検出の時空間を制御した時間分解近接場分光手法の構築」井村考平 (2006年-2010年).

池谷科学技術振興財団研究助成，「固体表面・界面歪みの利用を目的とした2次元高確度歪み検出系開発」成島哲也 (2007年).

科研費特定領域研究「光-分子強結合場」(計画研究)「近接場顕微分光に基づく光反応場の動的可視化・制御」岡本裕巳 (2007年-).

住友財団基礎科学研究助成，「開口散乱型近接場光学顕微鏡の開発」井村考平 (2007年-2008年).

科学技術振興機構さきがけ研究，「プラズモン物質の波動関数の光制御とその応用」井村考平 (2008年-).

科研費挑戦的萌芽研究，「ナノ円二色性イメージングの開発と分子集合体キラリティ」岡本裕巳 (2009年-).

科研費基盤研究(S)，「ナノドット配列における結合励起状態の時空間特性と励起場制御」岡本裕巳 (2010年-).

C) 研究活動の課題と展望

静的・動的近接場分光装置を用いた，メソスコピックな分子系・微粒子系に関する研究を推進している。有機分子系では所外との共同研究を数件行い，他の方法では得難い情報を引き出すこと，微小空間での反応の誘起等が可能になっており，今後もこのような方向を一つの軸として行く。金属微粒子に関しては波動関数や光電場の空間分布をイメージするという独自の研究領域を拓く事ができ，プラズモンの物理的本質に関する新たな視点を得つつある。これらを次のフェーズに発展させることが，今後の研究の今一つの軸と考えている。時間分解近接場分光の時間分解能を格段に向上させ，励起直後の励起のコヒーレントな空間伝播や緩和の空間挙動の研究を目指している。またこれまでの金属微粒子の研究によって，金属ナノ構造の性質・機能(特に微粒子の集合構造における光電場増強に基づく光学特性，新たな光反応場としての機能)の新たな可能性や，プラズモン電場，波動関数の空間特性に関する新たな可能性を見いだし，或いは確立しつつある。間もなく研究室内で電子線描画法によるナノ構造体作成ができるようになる予定であり，それらを発展させる方向も継続して積極的に進める。また最近，金属微粒子の研究の副産物として，非線形光トラッピングという新たな現象を見い出したが，環境が整えばこれを発展させて新たな研究領域開拓に繋げたい。