

3-7 極端紫外光科学研究系

基礎光化学研究部門

小 杉 信 博 (教授)

A-1) 専門領域：軟X線光物性，光化学

A-2) 研究課題

- a) 軟X線分光による内殻電子の光物性研究
- b) 内殻励起における多電子効果の研究
- c) 内殻励起分子の振動分光と解離ダイナミクスの研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 軟X線分光による内殻電子の光物性研究:これまで我々は3d遷移金属の2p内殻などが励起できるエネルギー領域の軟X線を励起源とした偏光軟X線吸収、共鳴光電子放出、共鳴軟X線発光の測定によって3d遷移金属錯体(配位子が分子イオンの系)の電子状態の研究を展開してきた。特に、分子系特有の共有結合に由来する新しい内殻励起、イオン化、脱励起の現象が現れることを実験的に明らかにしている。また、それらの現象は低次元系物質の物性を評価する方法として強力であることを示した。
- b) 内殻励起における多電子効果の研究:内殻イオン化しきい付近における脱励起過程には異常な挙動が観測されることが多く、二電子励起状態が介在しているのではないとの推測がなされたきたが、これまでその直接的証拠がなかった。内殻イオン化のシェイクアップサテライトと同様に、電子緩和効果が大きい内殻励起において二電子励起は一般的な現象のはずである。そこで、多電子励起を敏感に観測できる実験方法を開発し、さらに理論的アプローチも確立することで、二電子励起状態が内殻電子のイオン化しきい領域に一般的に存在しうることを示した。脱励起過程を理解する上で多電子効果は本質的である。
- c) 内殻励起分子の振動分光と解離ダイナミクスの研究:これまで我々はRydberg-原子価混合による振動準位異常 脱励起過程における Renner-Teller 効果や Jahn-Teller 効果の影響 振電相互作用により初めて許容になる振電状態 大きな交換相互作用(LS)によってスピン軌道相互作用の分裂が観測できない励起状態、イオン放出過程(解離)と電子放出過程の競争などを発見してきた。今回、さらに偏光方向、遷移双極子の方向、解離イオンの方向を実験的、理論的に押さえることで、内殻ホールの局在化の効果が解離ダイナミクスを考える上で本質的であることを明らかにした。

B-1) 学術論文

M. NEEB, A. KIVIMÄKI, B. KEMPGENS, H. M. KÖPPE, K. MAIER, A. M. BRADSHAW and N. KOSUGI, "Partial electron yield spectrum of N₂: doubly excited states at the K-shell threshold," *Chem. Phys. Lett.* **320**, 217 (2000).

A. NAVES de BRITO, S. SUNDIN, R. R. MARINHO, G. FRAGUAS, I. HJELTE, T. GEJO, N. KOSUGI, S. SORENSEN and O. BJÖRNEHOLM, "Memories of excited femtoseconds: effects of core-hole localization after Auger decay in the fragmentation of ozone," *Chem. Phys. Lett.* **328**, 177 (2000).

N. KOSUGI and T. ISHIDA, "Molecular field and spin-orbit splittings in the 2p ionization of second-row elements: A Breit-Pauli approximation applied to OCS, SO₂, and PF₃," *Chem. Phys. Lett.* **329**, 138 (2000).

T. HATSUI, K. OKAMOTO, T. YOKOYAMA, Y. KITAJIMA, H. TANAKA, E. OJIMA, A. KOBAYASHI and T. OHTA, "Sulfur K-edge X-ray absorption spectra for BETS and BEDT-TTF charge transfer salts: a novel probe for the determination of hole concentration," *Chem. Phys. Lett.* **330**, 309 (2000).

B-4) 招待講演

N. KOSUGI, "Rydberg-valence mixing in inner-shell excitation in some simple molecules," Sonderforschungsbereich Metall-Substrat-Wechselwirkungen, Ruhr-Universität Bochum (Germany), October 2000.

B-5) 受賞, 表彰

小杉信博, 分子科学研究奨励森野基金研究助成(1987).

B-6) 学会および社会的活動

学協会役員, 委員

日本放射光学会庶務幹事(1994).

日本放射光学会評議員(1994-95, 98-99).

日本分光学会東海支部幹事(1993-97).

学会の組織委員

VUV-12真空紫外光物理国際会議プログラム委員(1998).

ICES-8電子分光及び電子構造国際会議国際プログラム委員(2000).

SRIシンクロトロン放射装置技術国際会議国際諮問委員(1994, 97, 2000).

IWP光イオン化国際ワークショップ国際プログラム委員(1997).

IWP光イオン化国際ワークショップ国際諮問委員(2000).

内殻励起における脱励起過程国際会議プログラム委員(2000-01).

XAFS-VII X線吸収微細構造国際会議プログラム委員及び実行委員(1992).

XAFS-XI X線吸収微細構造国際会議組織委員及びプログラム委員(2000).

SRS-2シンクロトロン放射と材料科学国際会議組織委員(1998).

原子分子の光イオン化に関する王子国際セミナープログラム委員(1995).

アジア交流放射光国際フォーラム実行委員(1994, 95).

アジア交流放射光国際フォーラム企画運営委員(2001).

XAFS討論会プログラム委員(1998, 2000, 01).

ISSP-6放射光分光光学国際シンポジウムプログラム委員(1997).

文部省, 学振等の委員会委員

新技術開発事業団創造科学技術推進事業研究推進委員(1985-90).

東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設運営委員会委員(1994-).

東京大学物性研究所高輝度光源計画推進委員会委員(1995-).

高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所放射光共同利用実験審査委員(1997-2001).

広島大学放射光科学研究センター顧問(1996-).

日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員(1997-99).

C) 研究活動の課題と展望

内殻電子が絡む研究は放射光の利用でますます広がりを見せているが、内殻励起特有の新しい現象の発見・理解やそれらの研究のための実験的・理論的方法論の開拓という観点から見直すとまだ多くの課題が残されている。我々は分子系(気体と固体)に対して内殻励起とその脱励起過程の研究を続けている。これまで測定装置上の制約を解決することで、幸いにしていくつか新しい現象を見つけることができた。昨年度から今年度にかけて本研究グループのメンバーは総入れ替えとなったため、一時的に弱体化したが、現在、研究内容も新メンバーとともに抜本的に見直して、第二フェーズを構築しようとしているところである。

基底状態からのイオン化・励起過程ではフランクコンドンの遷移が起きるため、ポテンシャル曲面のごく一部しか情報を得ることができない。第二フェーズでは、これまで研究の主ターゲットであった深い内殻励起状態を中間状態として位置付け、浅い内殻や価電子のイオン化・励起状態のうち基底状態からの直接過程では見ることのできない状態を実験的に明らかにする。また、このような高い励起状態を経る方法以外に、レーザなど他の励起源を組み合わせることで低い状態から順に研究していくアプローチも開発する。さらに、外場によって摂動を与えることで分子に電子状態変化を起こす方法を導入し、内殻励起から分子性固体における分子間相互作用を明らかにする方法を開発する。

現在、測定装置の制約についてはほとんどなくなっているが、研究の最後の詰めをUVSORで行うには光源が非力である。現状としては国内外の高輝度光源施設を利用しなければならない。そのため、国際共同研究を各メンバーが並行して進めている。

田 原 太 平 (助 教 授)

A-1) 分子分光、光化学

A-2) 研究課題：

- a) 極短フェムト秒光パルスを用いた凝縮相分子の核波束運動(振動コヒーレンス)の実時間観測
- b) フェムト秒時間分解蛍光・吸収分光による光化学ダイナミクスの研究
- c) ピコ秒時間分解振動分光による光化学短寿命種と振動緩和ダイナミクスの研究
- d) 時間分解分光法における実験手法の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 光パラメトリック増幅(OPA)により発生させたサブ10 fsの光パルスを用いたポンププローブ測定によって、光励起直後のトランススチルベン S_1 状態の過渡吸収の時間変化を測定し、 200 cm^{-1} の S_1 状態C=C- Φ 面内変角振動(ν_{25})に由来するビート信号を観測した。観測された ν_{25} ビート信号の振幅の大きさを議論し、このタイプの時間領域分光実験で観測されるビート振幅が、振動数領域の二つ分光におけるスペクトル強度(S_1 S_0 吸収の振動構造および S_1 状態の共鳴ラマン散乱)と定量的と結び付けられることを示した。また、ポンプ光源とプローブ光源に別々のOPAを用いることでポンプ光とプローブ光の波長を独立に変えることができるように装置を拡張し、これを用いて、ジフェニルシクロプロペン分子の光解離反応中に現れる核波束運動を観測した。
- b1) クリサジン(1,8-ジヒドロアントラキノン)の分子内光プロトン移動反応をフェムト秒蛍光分光法で研究した。互変異性体型の蛍光が光励起後50 fs以内に現れること、すなわち励起状態でのプロトン移動が50 fs以内で起こることを見出した。この極めて速い光プロトン移動は、この反応が通常の意味でのA \rightarrow Bという反応というよりは、励起状態での波動関数の非局在化を反映した変化であることを示唆している。また、分子内振動再分配に誘起されたプロトン平均位置の変化を反映していると考えられるスペクトル変化をサブピコ秒領域で観測した。
- b2) アゾベンゼンの $S_2(\pi\pi^*)$ 励起に伴う光異性化は、これまで信じられていたとは異なり、平面型の $S_1(n\pi^*)$ 状態に緩和してから進むということがわれわれの最近のピコ秒時間分解ラマン分光の研究で示唆された。この問題をさらに調べるために、アゾベンゼンの蛍光を定常的および時間分解的に測定した。 $S_2(\pi\pi^*)$ 状態からの蛍光にあわせて、吸収スペクトルと良い鏡像関係を示す S_1 状態からの蛍光を観測し、 S_2 励起によっても確かに平面型の S_1 状態が生成していることを確かめた。また、 S_2 蛍光と S_1 蛍光の強度を比較することによって、 $S_2 \rightarrow S_1$ 緩和の量子効率がおおよそ1であることを見出した。これは、これまでいわれていた S_2 状態から直接すすむ回転型の異性化経路が実質的に存在していないことを意味する。
- b3) 東京工業大学のグループと共同でポルフィリン励起状態の電子緩和を研究した。周辺置換基の異なる亜鉛ポルフィリン6種について S_2 蛍光の減衰および S_1 蛍光の立ち上がりを時間分解測定し $S_2 \rightarrow S_1$ 内部転換速度を求めた。周辺置換基の変化によって、内部転換速度は $< 80\text{ fs}$ から1.7 psまで20倍以上も変化することがわかり、またその変化が S_2 、 S_1 状態のポテンシャル曲面の平行性という観点で統一的に説明できることを見出した。
- c1) 近赤外域にある水和電子の電子吸収に共鳴させて水のピコ秒時間分解ラマンスペクトルをはじめ測定し、バルクの水の変角振動バンドの約 30 cm^{-1} 低波数側に大きい強度をもつ過渡ラマンバンドが現れることを見出した。これは水和電子の周りの局所的溶媒和構造が選択的共鳴効果をうけて強いラマン散乱を与えたものであると結論した。

- c2) 早稲田大学のグループとの共同で、5-ジベンゾスベレン分子の光反応初期過程を時間分解ラマン分光法で研究した。このC=O基をもつ分子では、CH基を有する5-ジベンゾスベレンやCHOHを有する5-ジベンゾスベレノールと異なり、 S_1 - T_1 系間交差がきわめて速く(~ 10 ps)進行することを見出した。また系間交差後の T_1 状態での振動冷却過程に対応する過渡ラマンバンドの低波数シフトを観測した。
- c3) 増幅したピコ秒パルスを用いてレチナールの共鳴ハイパーラマン散乱を測定し、この分子からのハイパーラマン散乱が極めて強く、希薄溶液からでも十分な強度で観測できることを見出した。さらにハイパーラマン散乱強度の励起波長依存性を調べ、これと共鳴ラマン散乱強度の励起波長依存性とを比較することによって、この分子では無極性溶液中で二光子許容の A_g 状態と一光子許容の B_u 状態のエネルギーがきわめて近接していることを見出した。
- d) 時間分解分光と時間領域分光を組み合わせて、電子励起状態をはじめとする短寿命化学種の低波数(テラヘルツ)領域の分子振動を観測する分光手法を開発した。この新しい手法を用いて、芳香族分子 S_1 状態の $0\text{ cm}^{-1} \sim 300\text{ cm}^{-1}$ 領域のラマンスペクトルに対応する信号を時間領域で得た。

B-1) 学術論文

- T. FUJINO and T. TAHARA**, "Picosecond Time-Resolved Raman Study of *trans*-Azobenzene," *J. Phys. Chem. A*, **104**, 4203 (2000).
- S. TAKEUCHI and T. TAHARA**, "Vibrational Coherence of S_1 *trans*-Stilbene in Solution Observed by 40-fs-resolved Absorption Spectroscopy: Comparison of the Low-Frequency Vibration Appearing in the Frequency-Domain and Time-Domain Spectroscopies," *Chem. Phys. Lett.* **326**, 430 (2000).
- A. SHIMOJIMA and T. TAHARA**, "Picosecond Time-Resolved Resonance Raman Study of Photoisomerization of Retinal," *J. Phys. Chem. B* **104**, 9288 (2000).
- S. Yu. ARZHANTSEV, S. TAKEUCHI and T. TAHARA**, "Observation of Excited State Proton Transfer of 1,8-Dihydroxyanthraquinone (Chrysazin) by Femtosecond Time-Resolved Fluorescence Spectroscopy," *Chem. Phys. Lett.* **330**, 83 (2000).

B-4) 招待講演

- 田原太平, 「超高速分光による分子ダイナミクスの研究」, 日本化学会第78回春季年会, 千葉, 2000年3月.
- 田原太平, 「フェムト秒・ピコ秒分光による凝縮相分子ダイナミクスの研究」, 理化学研究所, 埼玉, 2000年7月.
- T. TAHARA**, "Photochemical Dynamics Studied by Picosecond and Femtosecond Vibrational Spectroscopy," Gordon Conference "Vibrational Spectroscopy and Molecular Dynamics", Newport, RI (U.S.A), August 2000,
- T. TAHARA**, "Time-Resolved Study of Photochemical Dynamics of Fundamental Molecules in Solution Using 10 fs - 2 ps Optical Pulses," The VIIIth International Conference on Laser Application in Life Sciences (LALS2000), Tokyo (Japan), August 2000.
- 竹内佐年, 田原太平, 「液相分子の極限高時間分解分光: 10 fsパルスを用いた励起状態振動コヒーレンスの観測とその機構」, 分子構造総合討論会, 東京, 2000年9月.
- T. TAHARA**, "Excited-State Dynamics Observed through Picosecond - Femtosecond Time-Resolved Vibrational Spectroscopy," Symposium "Raman Spectroscopy : Coming Age in the New Millenium" in the 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM), Honolulu, HI (U. S. A), December 2000.

T. TAHARA, "Excited-State Proton Transfer Dynamics Studied by Femtosecond Time-Resolved Spectroscopy," Symposium "The Structure and Dynamics of Photogenerated Intermediates in Solution: Vibrational and Electronic Studies" in the 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM), Honolulu; HI (U. S. A.), December 2000.

B-5) 受賞、表彰

田原太平, 光科学技術研究振興財団研究表彰(1995).

田原太平, 分子科学研究奨励森野基金(2000).

B-6) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

日本分光学会東海支部幹事(1999).

学会の組織委員

第9回放射光学会年会プログラム委員(1995).

分子構造総合討論会プログラム委員(1997).

B-7) 他大学での講義、客員

名古屋大学, 「ミクロの時間の化学」, 総合科目「自然の科学 こんなに面白い」, 2000年12月.

C) 研究活動の課題と展望

本研究グループでは超高速時間分解分光をベースとして凝縮相の光化学反応を研究する。特にフェムト秒からピコ秒時間領域におけるダイナミクスの解明に力点をおく。フェムト秒時間領域においては分子の核運動のコヒーレンス(核波束運動)を実時間で観測することができるが、化学反応におけるコヒーレンスの意義については未だ明らかでない点が多い。このことを念頭におきながら、電子状態に対する分光、振動状態に対する分光、核波束運動を実時間で観測する分光を駆使して、複雑系である凝縮相のダイナミクスについての多角的かつ総合的な研究を行う。

反応動力学研究部門

宇理須 恒 雄 (教授)

A-1) 専門領域：電子シンクロトロン放射光化学反応

A-2) 研究課題：

- a) 放射光励起反応によるナノ構造形成とSTMによる観察
- b) 埋め込み金属層基板赤外反射吸収分光法 BMLIRRAS の開拓と反応機構の解明
- c) STM技術の開拓と、光反応のその場観察・生体物質観察への応用
- d) Si表面への生体物質の堆積と物性の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 放射光励起反応の高い空間分解能と低損傷性を利用した新しい(任意の形状で、任意の位置に大量につくれる)ナノ構造形成技術を開拓する。これによって得られる新しいナノ反応場での化学反応を調べる。放射光励起によるSi表面酸化膜の除去により650–700 °Cの低温で熱平衡状態の表面が得られることを見出した。この現象について二次元ガスモデルによる解析を行い、電子励起により、二次元ガス密度の増大と表面ホッピング速度の増大が起こっていることを明らかにした。また、この現象を利用して、10 nmレベルのナノ構造を自己組織化現象を利用して領域選択的に作成できる見通しを得た。
- b) 半導体表面反応のその場観察手法として、埋め込み金属層(BML)基板による赤外反射吸収分光法 BML-IRRAS の開発を進めている。この手法によりSi(100)表面での水素吸着反応を調べ、変角振動領域に現れる二重項ピークが、単独SiH₂と隣接SiH₂によることを明らかにした。また、モノハイドライド終端のSi(100)理想表面を得ることに成功した。この結果を利用して、Si(100)表面への生体物質堆積の新技术を提案したいと考えている。また、基板張り合わせ法などの新しい方法によるBML基板の製作の準備を進めた。
- c) 表面反応が不均一系であること、また、ナノ構造形成においては、一原子レベルで反応を評価することの必要性から、STMによる放射光励起反応表面のその場観察を1997年より開始した。放射光施設環境下でSi(111)表面の原子像観察を確認し、上記a)の研究に応用した。今後、アンジュレータ光利用にむけて放射光照射とSTM観察を同時に行う観察技術の開発および、生体物質観察に必要な技術を開拓する予定である。
- d) 上記a)及びb)の成果を利用して、Si基板表面に、配置や配向を制御して、脂質やタンパク質を堆積しこれらの物性や表面反応特性を調べる研究を新たにスタートした。2000年度は、クリーンルーム、超純水設備、化学反応器具などの実験設備の準備を進めた。

B-1) 学術論文

Y. KOBAYASHI, K. SUMITOMO, K. SHIRAIISHI, T. URISU and T. OGINO, "Control of Surface Composition on Ge/Si(001) by Atomic Hydrogen Irradiation," *Surf. Sci.* **436**, 9 (1999).

Y. GAO, H. MEKARU, T. MIYAMAE and T. URISU, "Scanning Tunneling Microscopy Study of Surface Morphology of Si(111) after Synchrotron Radiation Stimulated Desorption of SiO₂," *J. Vac. Sci. Technol., A* **18**, 1153 (2000).

Y. GAO, H. MEKARU, T. MIYAMAE and T. URISU, "Scanning Tunneling Microscopy Study of Si(111) Surface Morphology after Removal of SiO₂ by Synchrotron Radiation Illumination," *Appl. Phys. Lett.* **76**, 1392 (2000).

Y. NONOGAKI, H. HATATE, R. OGA, S. YAMAMOTO, Y. FUJIWARA, Y. TAKEDA, H. NODA and T. URISU, "SR-Stimulated Etching and OMVPE Growth for Semiconductor Nanostructure Fabrication," *Mater. Sci. Eng., B* **74**, 7 (2000).

H. NODA and T. URISU, "Assignments of Bending and Stretching Vibrational Spectra and Mechanisms of Thermal Decomposition of SiH₂ on Si(100) Surfaces," *Chem. Phys. Lett.* **326** 163 (2000).

K. MASE, S. TANAKA, S. NAGAOKA and T. URISU, "Ion Desorption Induced by Core-Electron Transitions Studied with Electron-Ion Coincidence Spectroscopy," *Surf. Sci.* **451**, 143 (2000).

B-4) 招待講演

T. URISU, "Atom-molecular level evaluation on SR stimulated surface chemical reactions," Workshop on Surface and Interface Study Using Synchrotron Radiation, SPring-8 Hyogo, March 2000.

T. URISU, "SR stimulated process and STM observation," SPring-8 Hyogo, July 2000.

T. URISU, "Atom level observation of SR illuminated Si(111) surface by STM," 65th Okazaki Conference-Advantages of Utilization of SR in Nanostructure Creation-, Okazaki, January 2000.

T. URISU, "SR stimulated process and STM observation," 2nd UK-Japan International Seminar of Application of Synchrotron Radiation to Studies of Nano-Structured Materials, Spring-8 Hyogo, July 2000.

T. URISU, "Photochemistry research using synchrotron radiation in UVSOR IMS," Pacificchem 2000-Symposium on Chemical Application of Synchrotron Radiation, Honolulu; Hawaii (U. S. A.), December 2000.

宇理須恒雄,「放射光励起によって得られる熱平衡シリコン表面」,第12回日本MRS学術シンポジウム「物質科学における放射光利用:その場測定とプロセス」,KSP川崎,2000年12月.

宇理須恒雄,「放射光励起反応プロセスと反応表面のSTMによる観察」,固体・表面光化学反応討論会,三重大学,津,2000年11月.

B-6) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

レーザー学会評議員(1983-85).

日本放射光学会評議員(1993-94, 97-98, 2001-02).

電気学会、放射光励起プロセス技術調査専門委員会幹事(1992-94).

電気学会、放射光による材料加工技術調査専門委員会委員長(1994-97).

大型放射光施設安全性検討委員会委員(1993-).

東北大学電気通信研究所研究評価委員(1995).

日本工業技術振興協会 放射光の半導体への応用技術研究委員会顧問委員(1995-).

新機能素子研究開発協会 新世紀素子等製造評価技術の予測委員会 / ハードフォトン技術研究部会委員(1995).

姫路工業大学ニューズバル利用検討委員会委員(1996-98).

姫路工業大学ニューズバル新素材開発利用専門委員会委員(1999-2000).

近畿通産局、超次世代原子デバイスの自己形成技術に関する調査委員会委員(1997-98).

電気学会、放射光・自由電子レーザープロセス技術調査専門委員会委員(1997-99).

放射線利用振興協会 放射線利用技術指導研究員(1997.11).

日本原子力研究所 研究嘱託(1998.4-2001.3).

科学技術庁「顕微光電子分光法による材料、デバイスの高度分析評価技術に関する調査」調査推進委員会委員(1998).

科学技術庁「顕微光電子分光法による材料、デバイスの高度分析評価技術に関する調査」研究推進委員会委員(1999-2000).

東北大学電気通信研究所外部評価委員(1998).

日本原子力研究所 博士研究員研究業績評価委員(1998-99).

佐賀県シンクロトロン光応用研究施設整備推進委員会委員(2000-2001).

学会の組織委員

マイクロプロセス国際会議論文委員(1992-).

第1回光励起プロセスと応用国際会議論文委員(1993).

VUV-11組織委員会 プログラム委員会委員(1993-95).

International Workshop on X-ray and Extreme Ultraviolet Lithography顧問委員(1995-).

SR197組織委員会プログラム委員会委員(1995-97).

SPIE's 23rd Annual International Symposium on Microlithography論文委員(1997).

SPIE's 24th Annual International Symposium on Microlithography論文委員(1998).

SPIE's 25th Annual International Symposium on Microlithography論文委員(1999).

レーザー学会第19回年次大会プログラム委員(1998-99).

UK-JAPAN International Seminar組織委員長(1999, 2000).

Pacificchem 2000, Symposium on Chemical Applications of Synchrotron Radiation, 組織委員(2000).

学会誌編集委員

JJAP特集論文特別編集委員(1992-93).

電気学会 電子情報システム部門誌特集号編集委員(1995-96).

JJAP特集論文特別編集委員(1998).

B-7) 他大学での講義、客員

T. URISU, "In situ observation of SR stimulated surface chemical reaction by STM and IRRAS," Temple University Philadelphia, October 2000.

C) 研究活動の課題と展望

放射光励起表面反応による半導体や絶縁物表面へのナノ構造形成を積極的に進める。また、形成したナノ構造を利用してシリコン表面への脂質やタンパク質などの生体物質の配置と配向を制御して堆積することを試みる。このような新分野の学術をきちんと追究するために、表面反応の原子レベルでの評価と制御が重要である。この問題については表面反射吸収赤外分光法(IRRAS)とSTMとを組み合わせ、single moleculeでの内殻励起反応の観察や生体物質の物性測定を行う。

見 附 孝一郎 (助教授)

A-1) 専門領域：化学反応素過程、軌道放射分子科学

A-2) 研究課題

- a) 真空紫外超励起状態の分光学と動力学
- b) 原子・分子・クラスターの光イオン化過程の研究を目指した粒子同時計測法の開発
- c) レーザーと軌道放射のポンプ・プローブまたは2重共鳴分光
- d) 極端紫外域の偏極励起原子の光イオン化ダイナミクス
- e) 高分解能斜入射分光器の研究開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 軌道放射光施設に分子線光解離装置を製作し、 CO_2 、 CS_2 、 C_2F_4 、 C_2F_6 、 C_2F_8 、 C_2F_{10} 、 C_2F_{12} 、 C_2F_4 、 C_2F_6 、 C_2F_8 、 C_2F_{10} 、 C_2F_{12} など20種余の分子についてイオン対を生成する過程を初めて見いだした。また、同施設の直入射分光器ラインに2次元掃引光電子分光装置を建設した。得られた負イオン解離効率曲線や2次元光電子スペクトル等から、超励起状態のポテンシャルエネルギー曲面を計算しイオン化状態との電子的結合を評価した。さらに今年から、極端紫外励起状態の緩和過程で放出される可視・紫外発光を検出し、蛍光分散および蛍光励起スペクトルを測定している。これらに基づいて自動イオン化や前期解離のダイナミクス、分子の2電子励起状態の特質などについて考察した。
- b) 正イオン・負イオン同時計測法を初めて開発し、複数の光解離過程の識別と放出されるイオンの並進エネルギーの測定を可能とした。また、光電子・イオン飛行時間同時計測法により始状態が選別されたイオンの光解離の研究を行った。
- c) 紫外モードロックレーザーとアンジュレータ光を組み合わせ、電子振動励起分子の光イオン化や光解離のダイナミクス、イオンの前期解離ダイナミクスなどに関する研究を行った。レーザーパルスとマルチバンチ放射光を厳密に同期させることで、分解能約500 psの時間分解ポンププローブ測定が可能である。また、レーザー誘起蛍光励起分光やレーザー多光子イオン化分光を起用することによって、超励起状態から解離生成したイオンまたは中性フラグメントの内部状態の観測を初めて可能とした。将来的には、特定の化学結合を選択的に切断したり、特異的な化学反応を起こすような光励起過程を実現するための方法論の開発を目標としている。
- d) 直線偏光した放射光を用いて、基底状態原子をそのイオン化ポテンシャルより低いリユドベリ状態へ共鳴遷移させ、放射光の偏光方向に偏極した特定量子状態の励起原子を高密度で生成させる。この偏極原子(始状態)を、直線偏光した高出力レーザーによってイオンと電子にイオン化させる(終状態)。光電子角度分布の解析と理論計算を併用して、選択則で許される複数の終状態チャンネルの双極子遷移モーメントの振幅と位相差を決定した。究極的には、希ガス偏極原子の光イオン化における「量子力学的完全実験」を目指している。
- e) 軌道放射光施設に、気相光励起素過程の研究を目的とした高分解能高フラックスの斜入射分光器を建設した。主に、分子の2電子励起状態の崩壊過程ならびに第3周期元素のL殻電子の励起およびイオン化に関する研究を行っていく予定である。現在、 SF_6 や Br_2 の対称性分離吸収スペクトルから、放出イオンの異方性パラメータを広域に渡って決定する研究を行っている。

B-1) 学術論文

K. MITSUKE, Y. HIKOSAKA and K. IWASAKI, “Laser photoionization of polarized Ar atoms produced by excitation with synchrotron radiation,” *J. Phys. B* **33**, 391 (2000).

H. NIHKURA, M. MIZUTANI and K. MITSUKE, “Rotational state distribution of N_2^+ produced from N_2 or N_2O observed by a laser-synchrotron radiation combination technique,” *Chem. Phys. Lett.* **317**, 45 (2000).

K. MITSUKE, H. HATTORI and Y. HIKOSAKA, “Superexcitation and subsequent decay of triatomic molecules studied by two-dimensional photoelectron spectroscopy,” *J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom.* **112**, 137 (2000).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

K. MITSUKE, “SR-pump and laser-probe experiments for the photofragmentation dynamics of atoms and molecules,” *The Physics of Electronic and Atomic Collisions*, Y. Itikawa et al., Eds., Am. Inst. Phys. CP500, pp. 172–181.

B-3) 総説、著書

K. MITSUKE and H. NAKAMURA, “Conference report on photo-dynamics and reaction dynamics of molecules,” *Comments Modern Phys. D* **2**, 75-81 (2000).

B-4) 招待講演

小野正樹, 「UVSOR新斜入射分光器の現状とSR・レーザー併用実験計画」, 分子研研究会「内殻電子励起状態とダイナミクス、現状と展望」, 分子科学研究所, 岡崎, 2000年1月.

見附孝一郎, 「多原子分子の2次元光電子分光 励起分子の振動と解離」, UVSORワークショップ「放射光を用いた原子分子研究の現状」, 分子科学研究所, 岡崎, 2000年3月.

K. MITSUKE, “Recent topics on photoionization and photodissociation studies in the UVSOR facility,” The 4th East Asian Workshop on Chemical Reactions, Kaohsiung, March 2000.

見附孝一郎, 「アセチレンの超励起状態と価電子イオン化」, 分子研研究会「立体ダイナミクスの新展開」, 分子科学研究所, 岡崎, 2000年7月.

見附孝一郎, 「原子・分子・ラジカルの光電子分光」, VUV/SX高輝度光源利用者懇談会研究会「高輝度放射光が明かす原子・分子・クラスター・表面科学」, 東京大学物性研究所, 柏, 2000年7月.

見附孝一郎, 「レーザー・放射光併用技術と原子分子の光イオン化ダイナミクス」, 分子研レーザーセンター研究会「レーザーと分子科学の融合を目指して」, 分子科学研究所, 岡崎, 2000年11月.

見附孝一郎, 「アンジュレータを励起光に用いた高分解能レーザー分光」, UVSORワークショップ「VUV・SX領域の挿入光源とその利用」, 分子科学研究所, 岡崎, 2000年11月.

K. MITSUKE, “SR-pump and laser-probe experiments for the photodissociation dynamics of gaseous molecules,” 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, Symposium on Chemical Applications of Synchrotron Radiation, Honolulu (U. S. A.), December 2000.

B-6) 学会および社会的活動

学協会役員 委員

原子衝突研究協会役員(1987).

原子衝突研究協会、企画委員(1996-).

原子衝突研究協会委員会、補充委員(1998-2000).

学会等の組織委員

質量分析連合討論会、実行委員(1993).

第9回日本放射光学会年会、実行委員(1995-96).

第12回日本放射光学会年会、組織委員およびプログラム委員(1998-99).

第15回化学反応討論会、プログラム委員および実行委員長(1998-99).

International Symposium on Photo-Dynamics and Reaction Dynamics of Molecules, Cochair (1998-99).

原子衝突協会第25回研究会、実行委員(1999-2000).

その他の委員

東京大学物性研究所高輝度光源計画推進委員会測定系小委員会委員.

VUV/SX高輝度光源利用者懇談会幹事.

C) 研究活動の課題と展望

光電子分光、蛍光分光、質量分析、同時計測法などを用い、気相分子の光イオン化過程の詳細を研究する。また、真空紫外領域の中性超励起状態の分光学的情報を集積しその動的挙動を明かにしたい。近い将来の目標としては、軌道放射と各種レーザーを組み合わせ、励起分子や解離フラグメントの内部状態を観測し、発光・解離・異性化・振動緩和などの過渡現象をポンプ・プローブ法や2重共鳴法で追跡すること、偏極原子の光イオン化ダイナミクスを角度分解光電子分光法で研究し、放出電子とイオン殻内の電子との相互作用の本質を理解すること、の2つが挙げられる。

界面分子科学研究部門（流動研究部門）

黒 澤 宏（教授）

A-1) 専門領域：レーザー工学、真空紫外光源とその応用、非線形光学

A-2) 研究課題：

- a) ナノ領域線形・非線形分光
- b) シンクロトロン放射光励起による半導体表面構造変化
- c) 真空紫外光を用いた光CVDによる薄膜形成
- d) 新しい真空紫外光源の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) シンクロトロン放射ならびに短パルスレーザーを光源として、高次高調波発生を行い、近接場光学顕微鏡を用いて、ナノ領域における光学特性を評価する。光源の整備と近接場光学顕微鏡の環境整備を行った。振動対策、雑音対策などの課題を残すものの、近い内に100 nm領域の蛍光特性の測定を実施できる。さらに、高調波発生を検出系の設計に取りかかる。
- b) 半導体表面構造を原子レベルで観測し、放射光照射による構造変化を観測すべく、BL-4A2ビームラインの立ち上げ、およびその場観察を可能にする走査型トンネル顕微鏡を設置、整備した。シリコンだけでなく、InP、GaAs、SiCなどの化合物半導体における表面励起反応を観測対象として、研究を続行していく予定である。
- c) 希ガスエキシマランプは、手軽な真空紫外光源であり、これを用いた光CVDによって、有機物の光分解並びに薄膜成長を行っている。室温における処理が可能なることから、半導体デバイスプロセスおよび有機光学非線形素子のコーティングとして、有望視されている。原料である有機金属ガスの光分解過程、ならびに N_2O や O_2 を混ぜることによって薄膜の成長形態が大幅に異なることを明らかにした。現在は、これらの光反応過程を詳細に調べている。

B-2) 国際会議のプロシーディング

N. TAKEZOE, H. YANAGIDA, T. TANAKA, K. KUROSAWA, Y. NONOGAKI, H. NODA, H. MEKARU and T. URISU, “Design and Construction of UVSOR-BL4A2 Beam Line for Nano-Structure Processing,” *Proc. 7th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation*, POS2-188, Berlin (Germany), August 2000.

T. SAKAKIBARA, Y. TAKIGAWA and K. KUROSAWA, “Texture and Thermoelectric Properties of $(AgBiTe_2)_{0.5}(Ag_2Te)_{0.5}$ Composit,” *Proc. XIX International Conference on Thermoelectrics*, PI-10, Cardiff (UK), August 2000.

K. KUROSAWA, N. TAKEZOE, H. YANAGIDA, J. MIYANO, Y. MOTOYAMA, K. TOSHIKAWA, Y. KAWASAKI and A. YOKOTANI, “Silica Film Preparation by Chemical Vapor Deposition using Vacuum Ultraviolet Excimer Lamps,” *Proc. International Conference on Electronic Materials & European Materials Research Society Meeting 2000*, D-II-4, Strasbourg (France), May 2000.

Y. MOTOYAMA, J. MIYANO, K. TOSHIKAWA, Y. YAGI, H. MUTOU, K. KUROSAWA, A. YOKOTANI and W.

SASAKI, "Quality Improvement of SiO₂-Films by Adding Foreign Gases in Photo-Chemical Vapor Deposition," *Proc. 197th Meeting of Electrochemical Society*, No.909, Toronto (Canada), May 2000.

J. MIYANO, Y. MOTOYAMA, K. TOSHIKAWA, T. YOKOYAMA, H. MUTOU, K. KUROSAWA, A. YOKOTANI and W. SASAKI, "SiO₂ Deposition Mechanism in Photo-CVD Using VUV Excimer Lamps," *Proc. 197th Meeting of Electrochemical Society*, No.910, Toronto (Canada), May 2000.

M. KATTO, Y. TAKIGAWA, K. KUROSAWA, T. TAKAHASHI and T. YAMANAKA, "Detection of Vacuum Ultraviolet Radiation with Optical Storage Film, Imaging Plate," *Technical Digest of CLEO 2000*, CTuA1, San Francisco (U. S. A.), May 2000.

K. KUROSAWA, H. YANAGIDA, N. TAKEZOE, Y. KAWASAKI, G. FUJITA, J. MIYANO and A. YOKOTANI, "Silica Film Preparation by Chemical Vapor Deposition Using Vacuum Ultraviolet Excimer Lamps," *Technical Digest of CLEO 2000*, CMX4, San Francisco (U. S. A.), May 2000.

B-6) 学会及び社会的活動

学会の委員

レーザー学会研究会委員(1999-).

B-7) 他大学での講義、客員

宮崎大学工学研究科,「光量子工学」, 2000年7月24 - 27日.

大阪大学レーザー核融合研究センター共同研究員, 2000年4月1日 - .

C) 研究活動の課題と展望

光の応用・実用の面から見れば、真空紫外領域は未開拓の分野であり、光源の開発とそれを使った応用の両面からの研究が必要である。最近、エキシマランプの開発が進んだことにより、ますます応用分野の広がりを見せている中、半導体絶縁膜や光学素子の反射防止膜・損傷防止膜を、室温でやさしく形成する技術の開発を行っており、産業界に浸透していくことは時間の問題であろう。このような状況にあって、光反応の基礎過程を明らかにすることが研究者に化せられた課題であると考えている。さらに、エレクトロニクスやフォトリソグラフィデバイスに新しい現象を付加するナノ構造の形成と評価技術の確立を目指した研究の必要性が叫ばれている現在、シンクロトロン放射光やフェムト秒レーザー、自由電子レーザーなどの新しい光源を利用した新しい技術の開発を目標に、研究活動を実施するつもりである。また、近接場光学顕微鏡の出現によって、ナノ領域を研究対象とする光学的評価が可能となり、今までに培ってきた、非線形光学の研究対象を、ナノ空間領域に適用した研究を実施する予定である。

福井 一 俊 (助教授)

A-1) 専門領域：真空紫外分光学、固体物性

A-2) 研究課題：

- a) 化合物半導体の電子構造に関する研究
- b) 放射光分光技術に関する研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) K内殻吸収の吸収端近傍のスペクトル形状が価電子帯のp状態の部分状態密度をほぼ反映することをを用い、窒化物半導体混晶の価電子帯p-部分状態密度を実験的に示し、かつスペクトルの入射角依存性からp-部分状態密度の異方性成分を分解する手法を提示した。内殻吸収の特徴であるサイト選択性を利用し、陰イオン直上と陽イオン直上で価電子帯p-部分状態密度の相違を明らかにした。また、紫外・真空紫外領域での物質の光学定数の提供を目標に、赤外 - 真空紫外の広い領域での反射測定を行っている。
- b) 放射光の発光点が長く、大きい被写界深度を必要とする場合の集光光学系として古くから提唱されている通称magic mirrorを初めて実用することを試み、その評価を行った。また、放射光用光学ミラーの性能を決めるミラーの曲率やスロープエラーを評価するための装置の開発を行っている。

B-1) 学術論文

H. OKAMURA, J. KAWAHARA, T. NANBA, S. KIMURA, K. SODA, U. MIZUTANI, Y. NISHINO, M. KATO, I. SHIMOYAMA, H. MIURA, K. FUKUI, K. NAKAGAWA, H. NAKAGAWA and T. KINOSHITA, "Pseudogap Formation in the Intermetallic Compounds $(\text{Fe}_{1-x}\text{V}_x)_3\text{Al}$," *Phys. Rev. Lett.* **84**, 3674 (2000).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

K. FUKUI, H. MIURA, A. OKADA, Q. GUO, S. TANAKA, H. HIRAYAMA and Y. AOYAGI, "Reflection Spectra of $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$," *Proceedings of International Workshop on Nitride Semiconductors*, IPAP Conference Series **1**, 647-650 (2000).
Q. GUO, A. OKADA, M. NISHIO, H. OGAWA, K. FUKUI and A. YOSHIDA, "Temperature Dependence of Aluminum Nitride Reflectance Spectra," *Proceedings of International Workshop on Nitride Semiconductors*, IPAP Conference Series **1**, 651-654 (2000).

B-6) 学会および社会的活動

学会の組織委員

第13回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム実行委員(1999-2000).

分子科学研究所研究会「紫外・真空紫外光領域の新しいニーズと放射光利用」主催者(2000).

B-7) 他大学での講義、客員

東京大学物性研究所嘱託研究員, 2000年4月 - 2001年3月.

高輝度光科学研究センター外来研究員, 2000年4月 - 2001年3月.

C) 研究活動の課題と展望

化合物半導体の光学的性質や電子構造に関する知見は基礎物性として、物質系の物性を理解するためだけでなく、応用するための重要な情報である。この様な研究に対し、光学定数の決定に必要な基礎吸収端を含む広い波長範囲をカバーでき、かつまた電子構造に関し構成元素別に切り分けることを可能にする内殻電子励起を行うことができる放射光は極めて有用な光源である。対象とする物質系に合わせた測定系・測定法・解析法の開発も含め、放射光を利用した化合物半導体の光学的性質や電子構造に関する研究を引き続き進めていきたい。

長岡伸一(助教授)

A-1) 専門領域：光物理化学

A-2) 研究課題：

a) 光のナイフの創成 内殻準位励起後のサイト選択的解離の研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

a) 分子全体に非局在化している価電子と異なり、内殻電子は元々属していた原子付近に局在化している。一つの分子中の同じ元素の同じ内殻の準位でも、その原子の周囲の結合などの環境によって内殻電子の励起エネルギーは変化する(例えば、 CF_3CH_3)。そこで、照射光のエネルギーを厳密に選ぶと、分子を構成する原子のうち特定のもののみを選択的に励起することが可能であると考えられる。その結果、その原子との結合だけが選択的に切れるようなサイト選択的解離反応を起こすことができる。このような発想に基づいて、放射光と同時計数法を用いて、内殻電子励起後の励起サイトに選択的な解離反応を検討し、分子中の原子の位置によって反応がどのように変化するかを研究した。

B-1) 学術論文

K. OHARA, S. NAGAOKA and K. MUKAI, "A CIDEF Study on the Photosensitized Reaction of Maleimide with Xanthone: Addition Effect of Hydrochloric Acid," *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **73**, 37 (2000).

S. NAGAOKA, M. INOUE, C. NISHIOKA, Y. NISHIOKU, S. TSUNODA, C. OHGUCHI, K. OHARA, K. MUKAI and U. NAGASHIMA, "Tunneling Effect in Antioxidant, Prooxidant, and Regeneration Reactions of Vitamin E," *J. Phys. Chem. B* **104**, 856 (2000).

H. UNO, K. KASAHARA, N. NIBU, S. NAGAOKA and N. ONO, "Thermal and Photochemical Isomerization of Tetraaryl Tetrakis(trifluoromethyl)[4]radialenes," *J. Org. Chem.* **65**, 1615 (2000).

K. MASE, S. TANAKA, S. NAGAOKA and T. URISU, "Ion Desorption Induced by Core-Electron Transitions Studied with Electron-Ion Coincidence Spectroscopy," *Surf. Sci.* **451**, 143 (2000).

S. TANAKA, K. MASE, M. NAGASONO, S. NAGAOKA and M. KAMADA, "Electron-Ion Coincidence Study for the $\text{TiO}_2(110)$ Surface," *Surf. Sci.* **451**, 182 (2000).

S. TANAKA, K. MASE, M. NAGASONO, S. NAGAOKA, M. KAMADA, E. IKENAGA, T. SEKITANI and K. TANAKA, "Electron-Ion Coincidence Spectroscopy as a New Tool for Surface Analysis –an Application to the Ice Surface," *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, 4489 (2000).

K. OKADA, K. UEDA, T. TOKUSHIMA, Y. SENBA, H. YOSHIDA, Y. SHIMIZU, M. SIMON, H. CHIBA, H. OKUMURA, Y. TAMENORI, H. OHASHI, N. SAITO, S. NAGAOKA, I. H. SUZUKI, E. ISHIGURO, I. KOYANO, T. IBUKI and A. HIRAYA, "High-Resolution Angle-Resolved Ion-Yield Measurements of H_2O and D_2O in the Region of O 1s to Rydberg Transitions," *Chem. Phys. Lett.* **326**, 314 (2000).

N. SAITO, K. UEDA, M. SIMON, K. OKADA, Y. SHIMIZU, H. CHIBA, Y. SENBA, H. OKUMURA, H. OHASHI, Y. TAMENORI, S. NAGAOKA, A. HIRAYA, H. YOSHIDA, E. ISHIGURO, T. IBUKI, I. H. SUZUKI and I. KOYANO, "Molecular Deformation in the $O\ 1s^{-1}2\pi_u$ Excited States of CO_2 Probed by the Triple-Differential Measurement of Fragment Ions," *Phys. Rev. A* **62**, 042503 (2000).

S. NAGAOKA, T. IBUKI, N. SAITO, Y. SHIMIZU, Y. SENBA, K. KAMIMORI, Y. TAMENORI, H. OHASHI and I. H. SUZUKI, "Resonant Auger Spectrum Following $Kr:2p \rightarrow 5s$ Photoexcitation," *J. Phys. B.* **33**, L605 (2000).

B-3) 総説、著書

K. MUKAI, Y. KANESAKI, Y. EGAWA and S. NAGAOKA, "Free Radical-Scavenging Action of Catechin and Related Compounds in Homogeneous and Micellar Solutions," *Phytochemical and Phytopharmaceuticals*, F. Shahide and C.-T. Ho, Eds., AOCS Press, Champaign, Illinois, pp. 222-238 (2000).

B-4) 招待講演

長岡伸一, 「内殻励起を用いた表面脱離の研究; 分子メスへの応用を目指して」, 第28回表面科学研究会, つくば, 2000年2月.

B-6) 学会および社会的活動

学会の組織委員

第13回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム実行委員(2000).

分子科学研究所研究会「内殻電子励起状態とダイナミクス 現状と展望」主催者(2000).

科学研究費の研究代表者、班長等

特定領域研究「電子励起を用いた原子分子操作」班長(1999-2001).

B-7) 他大学での講義、客員

愛媛大学理学部「磁気化学」, 2000年8月1日 - 3日.

愛媛大学理学部「分子構造論」, 2000年8月4日 - 7日.

広島大学放射光科学研究センター, 客員研究員, 1999年7月 - .

C) 研究活動の課題と展望

今後は、UVSORのBL2B1、BL3A2、BL8B1ビームラインを用いて、放射光励起による表面および気相におけるサイト選択的解離反応を研究する。また、電子線励起の実験装置を実験室で製作している。本装置は、内殻電子励起状態、あるいはオージェ終状態を選別して、エネルギー選別したイオンの収量を定量的に測定でき、本研究に最も適しているとともに世界的に前例が無い装置である。

高 嶋 圭 史 (助 手)

A-1) 専門領域：加速器物理学

A-2) 研究課題：

- a) 電子蓄積リングに代わる小型光源の研究
- b) 小型放射光施設の放射線遮蔽の研究
- c) X線発生用小型電子蓄積リングの研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 電子蓄積リングに代わる小型光源のための電子発生装置として、フォトカソードを用いた高周波電子銃の研究、開発を行っている。フォトカソード材料としてのセシウムテルライドの性質を調べるため、直線偏光の光を用いて、入射光の波長、入射角、入射面に対する偏光の方向を変化した場合の量子効率の変化を測定した。
- b) 電子蓄積リングの直線部から発生するガス制動放射が放射線遮蔽用の鉛ブロックに入射した場合に発生する電磁シャワーの空間分布を、モンテカルロ計算コードを用いて算出し、実測値を再現することを確認した。
- c) 電子エネルギー1 GeV、周長40 m程度の小型電子蓄積リングに、X線発生用挿入光源として7 T超伝導電磁石を用いた場合のダイナミックアパーチャーを計算により求め、電子が安定に周回するベータトロン振動数を求めた。この場合、ウィグラーは矩形電磁石の集合と仮定し、エッジ収束によるベータトロン振動数の変化を考慮した。

B-1) 学術論文

Y. OKAZAKI, M. ANDREYASHKIN, K. CHOUFFANI, I. ENDO, R. HAMATSU, M. IINUMA, H. KOJIMA, YU. P. KUNASHENKO, M. MASUYAMA, T. OHNISHI, H. OKUNO, YU. L. PIVOVAROV, T. TAKAHASHI and Y. TAKASHIMA, "Enhanced type-B coherent effect in collimated electron-positron photoproduction from Si crystal," *Phys. Lett. A* **271**, 110 (2000).

C) 研究活動の課題と展望

放射光源を小型化する方法として、次の2つの方法を研究している。1.高周波フォトカソードからの高密度、低エミッタンス電子ビームとレーザーの相互作用を用いる方法、2.小型の蓄積リングと、ウィグラー、アンジュレータ等の挿入光源を用いる方法。このうち、1においては、電子密度を上げるため量子効率の良いカソード材料を選択する必要があり、セシウムテルライドは有望な候補であるが、その高周波フォトカソードとしての性質はまだ十分に調べられていない。今後、カソードへの入射光の入射角、偏光の方向に関するさらに精密な測定を行うと共に、実際に高周波を印加して量子効率、カソードの寿命等の測定を行う予定である。2に関しては、X線発生用小型蓄積リングとして、磁場強度7 Tのウィグラーを電子エネルギー1 GeV程度の蓄積リングに挿入した場合の電子ビームの安定性を、電子ビームの入射中から加速後に渡って検討する予定である。また、これら小型放射光施設での放射線遮蔽物の大きさ、形状、設置場所を決定するため、発生する放射線の空間分布を容易に計算する方法の確立を目指す。