

## 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光化学反応

A-2) 研究課題：

- a) 放射光エッチングによるSi表面の微細加工とその表面への生体機能性物質の集積による生命機能の発現
- b) 放射光励起反応によるナノ構造形成とSTMによる評価
- c) 埋め込み金属層基板赤外反射吸収分光法(BML-IRRAS)の開拓と応用

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 放射光エッチングによりSi基板表面に微細加工をほどこし、そこに生体情報伝達システムの基本構造としての脂質二重膜/膜タンパク質の集積構造を、分子構造のわかった化合物から自己組織化反応を利用してかつ、タンパク質の生命機能を保持して形成し、抗原-抗体反応やリガンド-リセプター反応など生体情報伝達の基本素過程を発現する。さらにこれらの反応を分子レベルで解析する。平成15年度は集積構造形成に必要な要素技術として、SiやSiO<sub>2</sub>の-COOH化技術の開拓、SiO<sub>2</sub>表面へのオクタデシルトリクロロシラン(OTS)単分子膜の形成とこのパターンニング技術の開発、OTSをアンカーとして、ベシクルフュージョン法により安定な脂質二重膜の形成などを行った。
- b) 放射光エッチング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し、この構造をナノ反応場とみなしてこの表面での自己組織有機単分子膜や脂質膜などの自己組織化反応を調べる。また、エッチング反応の励起エネルギー依存性を調べるためアンジュレータビームラインの建設と、放射光をSTM探針下に照射できる超高真空STM装置を製作し、エネルギー可変の放射光ビームにより誘起したエッチング反応をSTMによりその場観察を行う。この問題は凝集系の内殻電子励起を原子レベルで解析する問題として、表面光科学の新分野でもあり興味深い。平成14年度はアンジュレータビームラインを完成し、さらにSTM装置を立ち上げたSi(111)の原子像を確認するとともに、原子状水素とSi(111)面との相互作用を調べた。
- c) 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の開発と応用の研究を進めている。特に平成13年度からはウエハーボンディング法によるBML基板の新しい製作法を進めている。最近Siバックボンドにそれぞれ0個、1個、2個の酸素が入った単独SiH<sub>2</sub>と隣接SiH<sub>x</sub>(SiH<sub>2</sub>二つが隣接)からなる、これまで全く観測されていなかった三対の二重項ピークを発見した。これらは遷移モーメントが表面に垂直なため従来の検出方法では検出出来ず、BML-IRRASによって初めて検出されたもので、BML-IRRASでなくては測定できない領域の存在することを明確に実証した。また、これらのピークの発見によりSiの酸化機構にこれまで知られていないメカニズム(水素のトンネルによる酸化)の存在することがわかった。平成15年度はさらにこのMNL-IRRASをタンパク質の分子認識反応の解析に応用する研究に着手した。

B-1) 学術論文

S. D. MORE, J. HUDECECK and T. URISU, "Hydrophobic/hydrophilic Interactions of Cytochrome C with Functionalized Self-Assembled Monolayers on Silicon," *Surf. Sci.* **532-535**, 993-998 (2003).

**C. -S. WANG and T. URISU**, “Synchrotron Radiation Stimulated Etching SiO<sub>2</sub> Thin Films with a Co Contact Mask for the Area-Selective Deposition of Self-Assembled Monolayer,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 4016–4019 (2003).

**S. YAMAMURA, S. YAMAUCHI, S. WATANABE, M. TABE, T. KASAI, Y. NONOGAKI and T. URISU**, “Infrared Reflection Absorption Spectroscopy Using CoSi<sub>2</sub> Buried Metal Layer Substrates Made by Wafer-Bonding,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, 3942–3945 (2003).

**T. KANBARA, K. SHIBATA, S. FUJIKI, Y. KUBOZONO, S. KASHINO, Y. URISU, M. SAKAI, A. FUJIWARA, R. KUMASHIRO and K. TANIGAKI**, “N-Channel Field Effect Transistors with Fullerene Thin Films and Their Application to a Logic Gate Circuit,” *Chem. Phys. Lett.* **379**, 223–229 (2003).

**C. WANG, S. D. MORE, Z. -H. WANG, S. YAMAMURA, Y. NONOGAKI and T. URISU**, “Patterning SiO<sub>2</sub> Thin Films Using Synchrotron Radiation Stimulated Etching with a Co Contact Mask,” *J. Vac. Sci. Technol., B* **21**, 818–822 (2003).

**Y. KUBOZONO, Y. TAKABAYASHI, K. SHIBATA, T. KANBARA, S. FUJIKI, S. KASHINO, A. FUJIWARA and S. EMURA**, “Crystal Structure and Electronic Transport of Dy@C<sub>82</sub>,” *Phys. Rev. B* **67**, 115410 (8 pages) (2003).

**Y. FUJIWARA, Y. NONOGAKI, R. OGA, A. KOIZUMI and Y. TAKEDA**, “Reactor Structure Dependence of Interface Abruptness in GaInAs/InP and GaInP/GaAs Grown by Organometallic Vapor Phase Epitaxy,” *Appl. Surf. Sci.* **216**, 564–568 (2003).

**R. TERO, K. FUKUI and Y. IWASAWA**, “Atom-Resolved Surface Structures and Molecular Adsorption on TiO<sub>2</sub>(001) Investigated by Scanning Tunneling Microscopy,” *J. Phys. Chem. B* **107**, 3207–3214 (2003).

**S. TAKAKUSAGI, K. FUKUI, R. TERO, F. NARIYUKI and Y. IWASAWA**, “Self-Limiting Growth of Pt Nanoparticles from MeCpPtMe<sub>3</sub> Adsorbed on TiO<sub>2</sub>(110) Studied by Scanning Tunneling Microscopy,” *Phys. Rev. Lett.* **91**, 066102 (3 pages) (2003).

**K. FUKUI, S. TAKAKUSAGI, R. TERO, M. AIZAWA, Y. NAMAI and Y. IWASAWA**, “Dynamic Aspects and Associated Structures of TiO<sub>2</sub>(110) and CeO<sub>2</sub>(111) Surfaces Relevant to Oxide Catalyses,” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **5**, 5349–5359 (2003).

**Y. -J. LI, O. TAKEUCHI, D. N. FUTABA, K. MIYAKE, H. SHIGEKAWA and Y. KUK**, “Characteristic Intra- and Interunit Interactions of the Kr Atoms Adsorbed on Si(111)-7×7 Surface,” *Phys. Rev. B* **68**, 033301 (4 pages) (2003).

**M. KOMIYAMA, D. YIN and Y. -J. LI**, “Electronic Structure Change on TiO<sub>2</sub> Surface due to UV Light Irradiation,” *Stud. Surf. Sci. Catal.* **145**, 153–156 (2003).

## B-2) 国際会議のプロシーディングス

**S. D. MORE, J. HUDECEK, RANGA RAO and T. URISU**, “Interactions of cytochrome *c* with functionalized self-assembled monolayers on silicon,” The First International Congress on Bio-Nanointerface, Tokyo, May 19–24 (2003).

**R. TERO, M. TAKIZAWA, Y. J. LI and T. URISU**, “Deposition of phospholipid layers on SiO<sub>2</sub> surface modified by alkyl-SAM islands,” First International Meeting on Applied Physics aphys 2003, Badajoz Spain, October 13-18 (2003).

**Y. J. LI, R. TERO, T. NAGASAWA, T. NAGATA and T. URISU**, “Deposition of 10-undecenoic acid self-assembled multilayers on H-Si(111) surfaces studied by AFM and FT-IR,” First International Meeting on Applied Physics aphys 2003, Badajoz Spain, October 13-18 (2003).

**M. TAKIZAWA, Y. -H. KIM and T. URISU**, “Deposition of lipid DPPC monolayer on SiO<sub>2</sub> surface using OTS self-assembled monolayer islands as anchor molecules,” The AVS 50<sup>th</sup> International Symposium, Baltimore, November 2-7 (2003).

**S. YAMAMURA, S. YAMAUCHI, S. WATANABE and T. URISU**, “Structure-optimized CoSi<sub>2</sub>-buried-metal-layer substrates for IRRAS made by wafer-bonding,” The AVS 50<sup>th</sup> International Symposium, Baltimore, November 2-7 (2003).

**Y. -H. KIM, M. TAKIZAWA and T. URISU**, “Characterization of Dipalmitoylphosphatidylcholine (DPPC)/cholesterol Langmuir-Blodgett monolayers by AFM and FT-IR,” 2003 International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Tokyo, October 28-31 (2003).

**MD. MASHIUR RHAMAN, R. TERO and T. URISU**, “Shrinking of spin-on glass films induced by synchrotron radiation and its application to the 3-D microfabrications,” 2003 International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Tokyo, October 28-31 (2003).

#### B-3) 総説、著書

宇理須恒雄, 「4・4ナノエッチングプロセス」, ナノテクノロジーハンドブック, 難波進他編, (株)オーム社, 5月 (2003).

#### B-4) 招待講演

宇理須恒雄, 「放射光エッチングによるナノ構造制御とシリコン基板上への生体機能性物質集積への応用」, 日本化学会第83春季年会特別企画講演, 東京, 2003年3月.

宇理須恒雄, 「放射光エッチングの特徴とナノバイオエレクトロニクスへの応用」, 第64回応用物理学関係連合講演会分科内招待講演, 福岡, 2003年8月.

宇理須恒雄, 「放射光エッチングによるナノ構造制御とシリコン基板上への生体機能性物質の集積」, ナノテクノロジー総合支援プロジェクト研究成果報告会, 大阪, 2003年6月.

宇理須恒雄, 「放射光プロセスの特徴とバイオナノエレクトロニクスへの応用」, 平成15年度第2回放射光産業利用研究会, 広島, 2003年11月.

#### B-7) 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 (1983-1985).

日本放射光学会評議員 (1993-1994, 1997-1998, 2001-2002).

電気学会, 放射光励起プロセス技術調査専門委員会幹事 (1992-1994).

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 (1994-1997).

(財)高輝度光科学研究センター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外部評価委員 (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 (1995-2000).

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 (1996-1998).

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 (1997-1998).

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 (1997-1999).

放射線利用振興協会, 放射線利用技術指導研究員 (1997年11月18-20日).

日本原子力研究所, 研究嘱託 (1998年4月-2002年3月).

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 (1998-1998).

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).

日本原子力研究所, 博士研究員研究業績評価委員 (1998-1999).

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).

科学技術振興調整費「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研究」研究推進委員 (1999-).

科学技術振興調整費「カーボンナノチューブエレクトロニクス研究」外部運営委員 (2001-).

日本学術振興会学術創生研究費書面審査委員 (2001).

科学技術交流財団「ナノ反応場とバイオエレクトロニクスインターフェイス制御研究会」座長 (2001年4月-2003年3月).

日本原子力研究所研究評価委員会, 光科学研究専門部会専門委員 (2002年11月1日-15年3月31日).

東京大学物性研究所共同利用施設専門委員会委員 (2003年4月1日-2005年3月31日).

表面科学会評議員 (2003年6月1日-2005年5月31日).

#### 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 (1993-1995).

International Workshop on X-ray and Extreme Ultraviolet Lithography, 顧問委員 (1995-2000).

SR197組織委員会プログラム委員会委員 (1995-1997).

SPIE's 23<sup>rd</sup> Annual International Symposium on Microlithography, 論文委員 (1997).

SPIE's 24<sup>th</sup> Annual International Symposium on Microlithography, 論文委員 (1998).

SPIE's 25<sup>th</sup> 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 (1998-1999).

レーザー学会第23回年次大会プログラム委員 (2002-2003).

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 (1992-1993).

電気学会, 電子情報システム部門誌特集号編集委員 (1995-1996).

JJAP特集論文特別編集委員 (1998).

*Appl. Surf. Sci.* 編集委員 (2001-).

C) 研究活動の課題と展望

生体系では電気信号と物質信号とを微小領域で交互に変換して情報を伝達する仕組みとなっており、電気信号( electrical communication )と光信号( optical communication )とで情報を伝達する物質系の通信システムと比べて格段に外部擾乱に強く小型なシステムとなっている。私はこの生命系の巧妙な情報伝達、特に分子が情報伝達の媒体となっている点は、分子通信学( molecular communication )ともいべき未開の学問分野を示唆していると考え。分子信号の発生、伝送、受信、再生、増幅などという通信の基本問題を考えた時、必ずしも生命系に限ることはないが、現に実在し最も巧妙で興味深いシステムは生命系の情報伝達システムと考えられる。本研究では生命系分子通信のキーエレメントとも言うべき受信再生素子、脂質二重膜 / チャンネルタンパク質の集積構造をシリコン基板上に構築し、分子信号の受信再生の問題を研究する。その集積構造を解析するとともに神経伝達物質の受容によるチャンネルの開閉機能を実現しその関係する分子間相互作用と分子内での信号伝達(再生)の問題の解明を目指す。申請者がこれまでに開発した、埋め込み金属層基板赤外反射吸収分光技術(BML-IRRAS)と生体物質のその場観察AFM技術とを組み合わせで解析する。放射光エッチングの応用として、生体情報伝達システムを構築する。生体情報伝達機能を分子レベルで精密に解明する、そのために理論(計算機シミュレーション)家との共同研究を重視する。の基本方針で今後この課題に取り組む。