

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、そこに脂質二重膜/チャンネルタンパク質の人工細胞膜構造を、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形成し、生命機能(イオンチャンネル特性)の発現、言い換えれば、「プロテントランジスタ」の創成をめざす。また、これらバイオ素子とSi-MOSトランジスタとの高次集積回路の創成をめざす。平成14年度は、パターン化したCo薄膜をエッチングマスクとする放射光エッチングと各種の鎖状アルキル分子のSiやSiO₂表面での自己組織化反応を利用し、Si表面を領域選択的に異なる種類の自己組織誘起単分子膜を形成することに成功した。また、LB膜堆積法により脂質単分子膜を固体表面に形成しAFMにより構造を解析し固体表面の特性(親水性、疎水性)と膜の構造との関係を調べた。
- 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設計し、さらにSTM装置を立ち上げた(Si(111)の原子像を確認)。
- 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)の開拓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基板の新しい製法を進めているが、平成14年度は研究担当者である総研大生(D2)山村周作氏の画期的とも言える発明により、活性層である最上層Si単結晶の表面だけでなくSiと埋め込み金属層との界面の両方とも原子レベルで平坦なBML基板の製作に成功した。従来のイオン注入法により製作したBML基板では界面だけでなく表面もイオン注入損傷の影響で平坦にすることが困難であったことを考えると画期的な改良と言える。また、応用面でも、13年度のSiバルクの水素原子の検出に引き続き、14年度は同じ研究者である総研大生(D3)冨志宏氏の努力により、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SiH₂と隣接SiH_x(SiH₂二つが隣接)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の存在することがわかった。

B-1) 学術論文

- Z. -H. WANG, H. NODA, Y. NONOGAKI, N. YABUMOTO and T. URISU**, “IR Line Width Broadening at Nearly Ideal H-Termination Region on Si(100)-(2×1) Surfaces,” *Surf. Sci.* **502-503**, 86–90 (2002).
- Z. -H. WANG, H. NODA, Y. NONOGAKI, N. YABUMOTO and T. URISU**, “Hydrogen Diffusion and Chemical Reactivity with Water on Nearly Ideally H-Terminated Si(100) Surface,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **41**, 4275–4278 (2002).
- S. MORE, H. GRAAF, M. BAUNE, C. WANG and T. URISU**, “Influence of Substrate Roughness on the Formation of Aliphatic Self-Assembled Monolayers (SAMs) on Silicon(100),” *Jpn. J. Appl. Phys.* **41**, 4390 (2002).
- S. FUJIKI, Y. KUBOZONO, M. KOBAYASHI, Y. KAMBE, Y. RIKIISHI, S. KASHINO, K. ISHII, H. SUEMATSU and A. FUJIWARA**, “Structure and Physical Properties of $Cs^{3+}_\alpha C_{60}$ ($\alpha = 0.0-1.0$) under Ambient and High Pressures,” *Phys. Rev. B* **65**, 235425 (2002).
- Y. TAKABAYASHI, Y. KUBOZONO, T. KANBARA, S. FUJIKI, K. SHIBATA, Y. HARUYAMA, T. HOSOKAWA, Y. RIKIISHI and S. KASHINO**, “Pressure and Temperature Dependences of the Structural Properties of Dy@C-82 Isomer I,” *Phys. Rev. B* **65**, 073405 (2002).
- B. G. MSHRA and G. RANGA RAO**, “Promoting Effect of CeO_2 on Cyclohexanol Conversion over CeO_2 -ZnO Mixed Oxide Catalysts Prepared by Amorphous Citrate Process,” *Bull. Mater. Sci.* **25**, 155 (2002).
- G. RANGA RAO and B. G. MISHRA**, “Mixed Al/Ce Oxide Pillaring of Montmorillonite: XRD and UV-VIS Diffuse Reflectance Study,” *React. Kin. Catal. Lett.* **75**, 251 (2002).

B-2) 国際会議のプロシーディングス

- C. WANG, M. RAHMAN and T. URISU**, “Synchrotron radiation stimulated etching SiO_2 thin films with a Co contact mask for the area-selective deposition of self-assembled monolayer,” 2002 International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Tokyo, November 6-8, (2002).

B-4) 招待講演

- 宇理須恒雄,「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」, 科学技術交流財団研究会, 岡崎コンファレンスセンター, 2002年3月.
- 宇理須恒雄,「放射光エッチングによるSi表面の微細加工と生体機能性物質の集積」, コンボン研究所講演会, 2002年3月.
- 宇理須恒雄,「タンパク質トランジスタとシリコン電子回路の集積をめざして」, 学術創成研究報告会 生命科学と物質科学の統合をめざして, 岡崎コンファレンスセンター, 2002年12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 (1983-1985).
- 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).
- 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 (1995-2000).

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).

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-2003年3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).

SRI97組織委員会プログラム委員会委員 (1995-1997).

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 (1998-1999).

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).

C) 研究活動の課題と展望

基本的には昨年度の分子研リポートの本節の記述とそれほど変わらない。ただし、この1年間の進展を反映し(課題)がより明白になった。この点について、以下に述べる。

課題:パッチクランプ法は細胞生物学の分野で最も多く利用されている計測技術であるが、その測定系は高度な除震設備とファラデーケージによる電氣的誘導雑音の遮蔽を必要としている。それと比較して、我々を含む生き物においてはそのようなものがいっさい装備されていないにもかかわらず、振動や電気誘導雑音の影響を全く受けずに、生命機能維持に必要な信号伝達が常時行われている。この違いはなぜか? この素朴な疑問について私は、生物においては、信号伝達を電気信号と化学物質信号とを交互に組み合わせて伝達しかつ、それぞれがナノレベルの微小素子あるいは回路となっており、全体がそれらの高度な集積体として機能を発現していることにより、外部擾乱に強いシステムとなっているものと考え。私はこのような集積構造自体、およびこのようなものを人工的に作るのに、自分の専門である放射光エッチングとシリコンの素材としての長所が役立つことに興味を持ち、細胞膜構造を、分子構造の明確な化学物質を素材として、微細加工をほどこしたシリコン表面に自己組織反応により形成し、この集積体の構造と物性を解明するとともに、生命機能を発現させることをめざす。構造や物性の解明においてはAFM、STM、我々が開発した新赤外反射吸収分光BML-IRRAS、近接場顕微鏡、ナノ加工、分子動力学計算など分子科学の最先端的手法を適用し、表面化学の新分野開拓と位置づけて研究を進める。