

# 産業科学研究所量子機能科学研究部門 量子分子デバイス研究分野



研究室紹介

岩崎 裕\*

Department of Quantum Molecular Devices, Division  
of Quantum Engineering, The Institute of Scientific  
and Industrial Research

**Key Words** : Surface, Nano-structures, Quantum molecular devices,  
Chemical sensor, Molecular computing

## はじめに

当研究室のルーツをたどれば、1944年にマイクロ波立体回路からスタートし、半導体のマイクロ波回路素子等への応用から、1965年赴任の前任者中村勝吾教授の固体表面電子現象の研究へと発展してきている。私自身は、中村教授の下で、固体特に半導体の表面物理を長年研究し、これをベースに民間企業における5年間の超LSI研究開発に携わった経験を経て、1991年から当研究室を担当している。

当研究室の研究の流れから、研究の後背地としては、電子産業を念頭においている。1995年の産業科学研究所の改組にともない、従来の「表面電子物性」部門から「量子分子デバイス」研究分野へと改めた。これは当研究分野は他の研究分野との協力を得て、主に電子産業に必要なとなる先端的な事項で、材料、情報及び生体に関するものの学際的な研究として推進できるテ

マを選ぼうと考えたからである。

## 2. 研究内容

半導体の表面物理をバックグラウンドとして、将来の電子産業の種になるようなデバイスの研究を行う。

当研究室の研究内容は大きく分けて次の3つに分類できる。

- (1) 表面・界面の物性とデバイスへの応用
- (2) バイオ・化学イメージセンサの開発
- (3) 量子コンピュータ、分子コンピュータのデバイスの研究

以下にその内容を順次述べる。第3節で各研究領域の具体的な研究内容(以下で下線を施した研究課題)を一つずつ示す。

- (1) 表面・界面の物性とデバイスへの応用

超LSIをさらに微細化した素子や、量子機能を積極的に生かした量子素子を実現する上で、原子レベルのプロセス制御は重要であるが、同時にチップサイズまでのメソスコピックレベルの制御も重要である。すなわち、超LSIや量子素子において、表面界面のゆらぎの制御は非常に重要である。

そのためには、表面・界面のゆらぎや成長中の表面のラフニングを、原子レベルからメソスコピックスケールにわたって理解することが重要となり、そのアプローチとして、これらの現象を自己組織的パターン形成の立場から研究している。また、このような自己組織的パターン

\* Hiroshi IWASAKI  
1945年2月1日生  
1967年大阪大学工学部電子工学科卒業  
現在、大阪大学産業科学研究所、  
量子機能科学研究部門、教授、工学博士、  
表面物性、量子分子デバイス  
TEL 06-876-4317  
FAX 06-876-4317  
E-Mail iwasaki@sanken.osaka-u.ac.jp



形成現象を利用した画像情報処理の可能性や情報発生との関連にも興味もたれる。

この研究領域での具体的な研究課題は、

- 銅電気化学的成長・融解表面のラフネスのスケーリング性
- シリコン表面原子ステップの熱力学的性質
- シリコン表面上のナノ構造形成とその電子状態
- 固・液界面の研究
- ラフネスの光散乱によるその場解析
- AFM リソグラフィーによるナノ配列構造作成と物性評価

これらの研究の研究手段としては原子間力顕微鏡 (AFM), 超高真空走査トンネル顕微鏡 (UHV-STM)・SEM・電子分光複合装置, 微分光散乱強度測定装置などを用いている。

(2) バイオ・化学イメージセンサの開発

環境問題や福祉の向上から, 様々なセンサの重要性が高まると思われる。そこで, 当研究室では半導体をベースにしたレーザビーム走査型バイオ・化学イメージセンサを開発している。バイオ・化学センサは, もっとも原初的な分子コンピュータであるとの指摘も行われている。また, 当研究室ではバイオ・化学イメージセンサの表面電位イメージセンサ機能についても研究を行っている。

具体的な研究課題は、

- 微生物コロニーの代謝活動のイメージング
- 神経細胞の活動電位のイメージングとネットワーク構築過程の研究
- BZ 化学反応パターン of イメージング
- Total Micro-Analysis System へのイメージセンサの応用

(3) 量子コンピュータ, 分子コンピュータのデバイスの研究

これからのデバイスの用途は, 計算・情報処理への用途がもっとも重要であると考えられる。ところで, 現在のいわゆるフォン・ノイマン型のデジタルコンピュータが解くことのできる問題の種類は非常に制約され, 計算時間が問題の規模を表す数の累乗で与えられるいわゆる多項式時間問題に限られている。そこで, 解くことができる問題の範囲を拡げる可能性があるといわれる

新しい原理の計算・情報処理の為のデバイスを研究することに興味がおこる。量子コンピューティング, 分子コンピューティングはこのような計算機の候補であると言われており, これらに使われるデバイスを研究対象に選んでいる。

具体的な研究課題は、

- DNA 分子のシリコン基板上での微細加工と評価
- DNA の分子認識能の情報処理への応用
- 非線形現象 (e. g. B-Z 反応系) の画像処理などへの応用
- 単一スピンメモリの研究

### 3. 具体的研究課題の例

#### 3.1 シリコン表面原子ステップの熱力学的性質

ラフニング転位温度以下の十分低い温度での熱平衡状態では, 表面は一般にテラス, 直線ステップ, キンクで記述できる。直線ステップとキンクを粗視化して連続したステップとみなすと, 表面の形態とその熱力学的な振る舞いは, 原子を単位とするよりはステップを単位としてよりよく記述できる。Si(113)微斜面では, 高温ではステップはバラバラで1原子ステップが一様に分布した起伏の少ない表面を形成している。低温では, ステップ-ステップ引力によりステップは束になって, 広い(113)面テラスとステップが集まった傾斜面とが共存した表面が

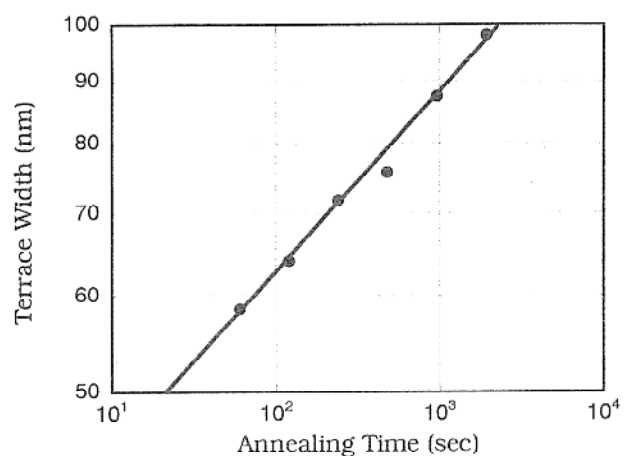


図1 Si(113)面の高温から低温表面相への緩和過程で, テラスの平均的な幅が時間とともに増加する様子

形成される。すなわち、高温のステップ表面から低温のファセット共存相に相転位する。図1は高温から低温表面相への緩和過程で、テラスの平均的な幅が低温相のアニール時間とともに増加する様子を示している<sup>1)</sup>。テラス幅の増加の速度は時間とともに緩やかとなり、時間の1/6の指数にスケールしている。ステップ束のステイフネスや移動度に仮定をおくと一応の説明ができるが、高温STMの観察結果を織り込んだ運動モデルを考察中である。

### 3.2 微生物コロニーの代謝活動のイメージング

我々はpHの分布を画像化するイメージセンサを開発し、これを用いて細菌コロニー近傍のpH分布をイメージングすることに成功した。これにより微生物の代謝活動を生きたままマイクロスコピックに観察することが可能となった。

大腸菌(K12株 JM109)コロニーの測定例を図2に示す。1.28×1.28 cm<sup>2</sup>の走査領域に、標準寒天培地上に表面塗抹植菌し、各々単菌から出発して10時間(左)、13時間(中)及び16時間(右)培養したコロニーのpH分布画像を示す<sup>2)</sup>。測定時に寒天培地を天地反転してセンサ面に接触させた。図2より、培養時間による酸性化領域の拡大や、中心付近の酸性化の進行がよく分かる。これにより微生物の代謝活性や増殖に関する情報が得られる。

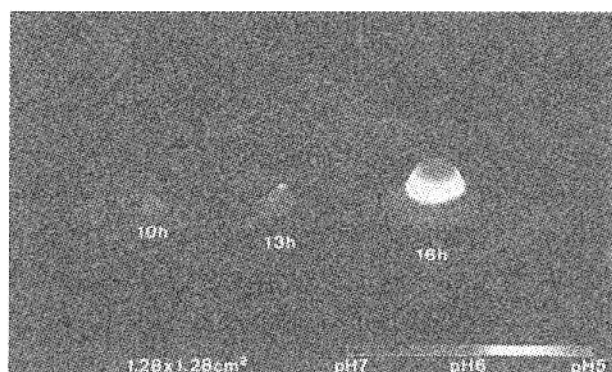


図2 大腸菌コロニーの2次元pHイメージ

### 3.3 DNAの分子認識能の情報処理への応用

DNA鎖の分子認識能を利用した連結反応などにより、アボガドロ数に匹敵する並列演算によりハミルトンパス問題等を解くことが可能なことを Adleman が初めて示した<sup>3)</sup>。我々は、

整数の集合の部分和中の中に所定の数に一致するものがあるかどうかを求めるナップサック詰め込み問題を解く方法を提案している<sup>4)</sup>。本方法では、取り扱う整数をDNA鎖の長さにコーディングして、連結反応によりあらゆる組み合わせのDNA鎖を作りだし、解に相当する長さのDNA鎖の有無を電気泳動により調べる。図3は、2 (60+20塩基長)、3 (60+30塩基長)、4 (60+40塩基長)の組み合わせにより、7 (60+70塩基長)の解を求める問題のDNA鎖の電気泳動結果で、確かに解に当たる7の長さに相当するDNA鎖の存在が矢印で示したところに認められる。

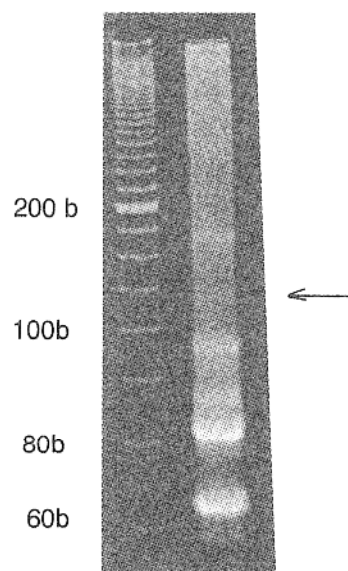


図3 2, 3, 4の組み合わせにより、7の解を求める問題のDNA鎖の電気泳動結果

## 4. おわりに

表面・界面の役割は、構造材料から機能材料へと研究が発展していくにつれ重要性を増し、更に情報の発生と情報の処理の舞台としても新たな展開が生じている。当研究室の研究は今の所発散しつつあるが、これまで培ってきた研究手段・手法を核としていつかの成果を实らせたいと努力しているところである。

紙数の関係で、研究スタッフや大学院生などの共同研究者の紹介は、研究室ホームページ (<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/qmd/>)に譲りたい。

参 考 文 献

- 1) Koichi Sudoh, Tatsuo Yoshinobu, Hiroshi Iwasaki and Ellen D. Williams : Dynamics of faceting on vicinal Si(113) studied by STM, Scanning Microscopy, to be published.
- 2) 岩崎 裕, 吉信達夫 : pH イメージセンサーを用いた細菌コロニーのイメージング, 応用物理, 66 巻, (1997)488-489.
- 3) L. M. Adleman : Molecular Computation of Solutions to Combinatorial Problems, Science 266(1994) 1021-1024.
- 4) 青井洋平, 吉信達夫, 岩崎 裕, 谷澤克行, 樹下行三 : DNA コンピューティングにおける最終的な解の同定法, 第58回応用物理学会学術講演会(1997).

