

青野原子制御表面プロジェクトの研究成果

目次

1. 単原子層制御	2
2. 超尖鋭探針構造制御	3
3. 単原子分析法	4
4. 単原子操作技術	5
5. 単原子操作検出と極微小域電気計測	7
6. 電界による原子の蒸発と移動(理論)	9
7. 単原子操作機構	10
8. 超低エネルギーイオン・原子衝突(理論)	12
9. 表面局所電子状態と原子配列(理論)	14
10. 単原子反応制御	15
11. 室温シングル・エレクトロン・デバイス	17

1. 単原子層制御

MBE に CAICISS を組み込み、原子層レベルで組成の制御も含めた単原子層制御

研究成果の概要

MBE 成長を CAICISS によってその場観察しながら、基板表面の元素をモニターする。CAICISS のスペクトルのピーク位置で原子種がわかり、積分強度が表面組成を表わす。この積分強度をコンピュータによって処理し、所望の表面組成となるように MBE のシャッターをコントロールする。下図 (図 1、図 2) の例では ImAs_1 分子層を $\text{Im}:\text{As}=1:1$ で制御した結果である。これによって、単原子層制御の見通しを得た。

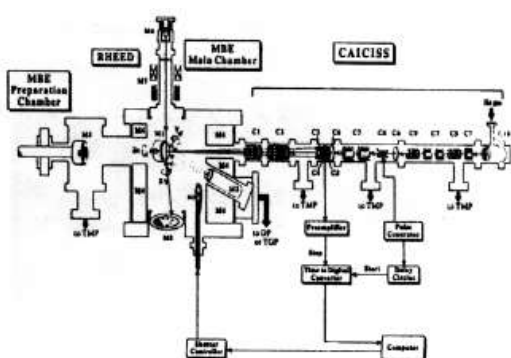


図 1 CAICISS による MBE のシャッター制御システム

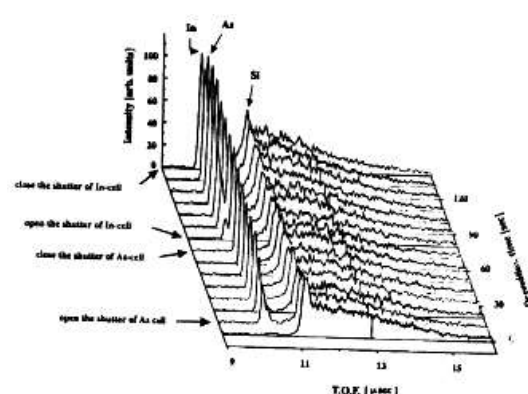


図 2 ImAs_1 分子層の原子層制御

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 半導体、金属、超伝導体、誘電体等の薄膜成長における原子層制御
- 2) アトムクラフト技術への基板供給

特許出願

特 願：平 2-251410

出 願 人：新技術事業団、日本真空(株)

請求の概要：面内回転、傾斜回転および自転の 3 つの回転運動をもち、これらの回転運動の自由度を向上させることで、MBE 成長の原子層制御を可能とするマンピュレータ

報告書他

- 1) 西原隆治:青野原子制御表面プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.41-53 (新技術開発事業団、1994 年 9 月).「MBE による原子層制御とその応用」

〔研究者名〕西原隆治、中山知信

2. 超尖鋭探針構造制御

走査トンネル顕微鏡 (STM) の探針を構造制御し、この超尖鋭探針を用いた STM により半導体表面上に原子集団を形成。

研究成果の概要

- 1) 特殊な電解研磨技術により、Ir あるいは W ワイヤを曲率半径 200Å 以下の超尖鋭探針に加工した。
- 2) Pb を被覆した超尖鋭 STM 探針を用い、Si (m) 7×7 表面にパルス法によりナノメータースケールの Pb 原子集団の形成に成功した。(図 1)
- 3) 探針上の異種原子の新しい移動機構について提案を行った。

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 量子構造の形成
- 2) 量子デバイスのプロセス (nm スケール超微細加工)
- 3) マイクロマシンのプロセス

特許出願

- 1) 探針被覆原子移動方法

特 願：平 6-155071(平 6.7.6)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：STM 用探針に被覆したデバイス原料を電界電子放射電流を利用し先端方向へ移動させる方法。

報告書他

- 1) E.Snyder:青野原子制御表面プロジェクトシンポジウム報告資料、pp137-148 (親支術事業団 1994 年 9 月)「Metallic Deposition on Si from an STM tip : Principles and Preliminary Results」
- 2) 榎村昭男:青野原子制御表面プロジェクトシンポジウム報告資料、pp149-155 (新技術事業団 1994 年 9 月)「探針表面上の異種原子の拡散制御」

〔研究者名〕Eric.J.Snyder、榎村昭男

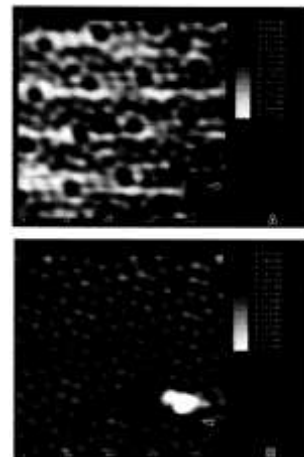


図 1 A はパルスを与える前、B はパルス(-3.5V、30msec)を与えた後の Si (111) 表面。B の白く見える塊が Pb(～1.5ML、幅 2nm)。矢印はマーカーである欠陥を示す。

3. 単原子分析法

走査トンネル顕微鏡と原子プローブとの結合による固体表面上の単一原子の元素分析法の開発。

研究成果の概要

- 1) 走査トンネル顕微鏡 (STM) 像によって選び出した固体表面上の原子を STM 探針上に原子移動させたのちに、探針から電界脱離させて質量分析する、単一原子の元素分析装置の試作機を製作した。(図)
- 2) 原子レベルの形状が重要な STM 探針と巨視的寸法をもつ電極とが共存する系での電極設計精度を高めるコンピュータ・シミュレーション手法を開発した。
- 3) STM 探針材料が STM 像ならびに原子レベル表面加工と分析に及ぼす影響を調べる基礎として、各種材料の STM 探針作製方法を開発した。

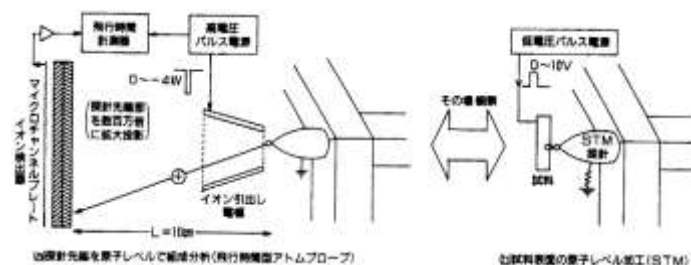


図 試作した単原子分析装置の原理図

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 原子レベル空間分解能と高い元素固定精度をもつ固体表面分析装置
- 2) 電界電子/イオン放射源を組み込んだ機器一般の高精度設計
- 3) 用途に適した材質の探針を備えた走査プローブ顕微鏡

特許出願

- 1) 極微領域表面の分析方法とその装置

特 願：平 6-195155(平 6.8.19)

出 願 人：新技術事業団、日本電気（株）

請求の概要：走査プローブ顕微鏡の探針表面に試料表面の少数の原子を取り上げ、これを飛行時間法による質量分析で元素同定する分析方法およびその装置

報告書他

- 1) 野村英一:青野原子制御表面プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.29-39 (新技術事業団、1994 年 9 月)。「アトムプローブ・走査トンネル顕微鏡複合装置の開発」

〔研究者名〕野村英一

4. 単原子操作技術

STM 探針による単原子の除去、供給、移動のための技術開発とその応用

研究成果の概要

- 1) STM 探針と Si (111) 7×7 表面の間に電圧パルスを加えることによって、任意の位置から Si 単原子を除去できることを見出した。
- 2) STM 探針に吸着している Si 原子を再び表面に供給できることを示した。
- 3) 表面に供給した Si 単原子を STM で移動させることができることを示した。
- 4) Si (111) 7×7 表面の Si 原子を除去し、特定のパターンを作製した。
- 5) 表面に供給した単原子の再除去、および原子欠陥の修復を行った。
- 6) STM による原子除去を利用し、結晶学的に異なる位置にある原子の間の結合エネルギーの差を見積もる方法を開発した。

(図 a, b, c)

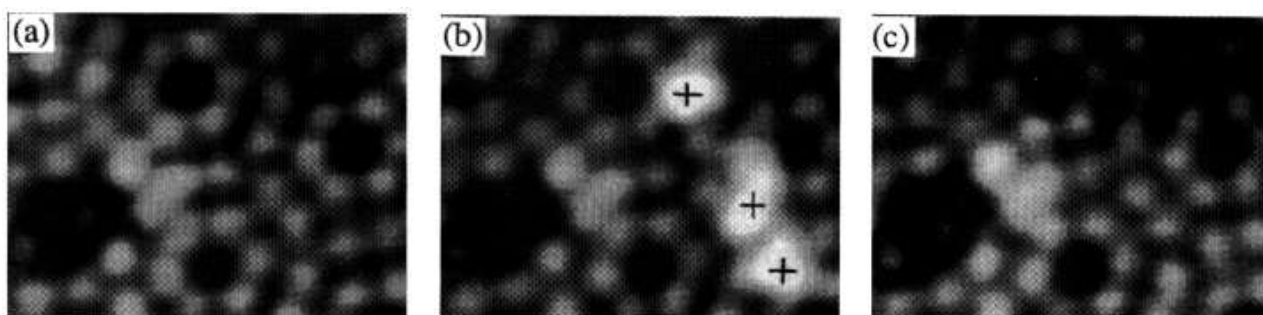


図 Si(111) 7×7 表面からの Si 単原子の供給と再除去、(a)供給前、(b)供給後、(c)供給した Si 原子の再除去

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 高密度大容量メモリ
- 2) 量子効果デバイス
- 3) 原子の結合の解析

特許出願

- 1) 原子パターンとメモリ装置

特 願：平 6-126639 (平 3.6.8)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：探針と基板との間に電圧パルスを加え、1 個単位の原子除去・供給を行うことによって形成した原子パターン、および、原子パターンメモリ装置。

報告書他

- 1) D.H.Huang, H.Uchida and M. Aono: Jpn. J. Appl. Phys. vol 31, pp4501-4503 (1992).

"Fabrication of Atomic-Scale Structures on Si (111) 7 X 7 Using a Scanning Tunneling Microscope (STM)."

- 2) H.Uchida, D.H.Huang, J. Yoshinobu and M. Aono: Surt. Sci. vol 287/288, ppl056-1061 (1993). "Single-Atom Manipulation on the Si (111) 7 X 7 Surface by the Scanning Tunneling Microscope (STM)."
- 3) 青野正和,内田裕久,D.H.Huang, 小林中,F,Grey:精密工学会誌 vol 59,pp25-29(1993).
“原子単位での加工とその機構”
- 4) H.Uchida, D. Huang, F. Grey and M. Aono: Phys. Rev. Lett. vol 70, pp2040-2043 (1993)
"Site-Specific Measurement of Adatom Binding Energy Differences by Atom Extraction with the STM."
- 5) D. Huang, H.Uchida and M. Aono: Jpn. J. Appl. Phys. vol 33, pp L190-L193 (1994).
"Scanning Tunneling Microscope Fabrication of Atomic - Scale Memory on a Silicon Surface."

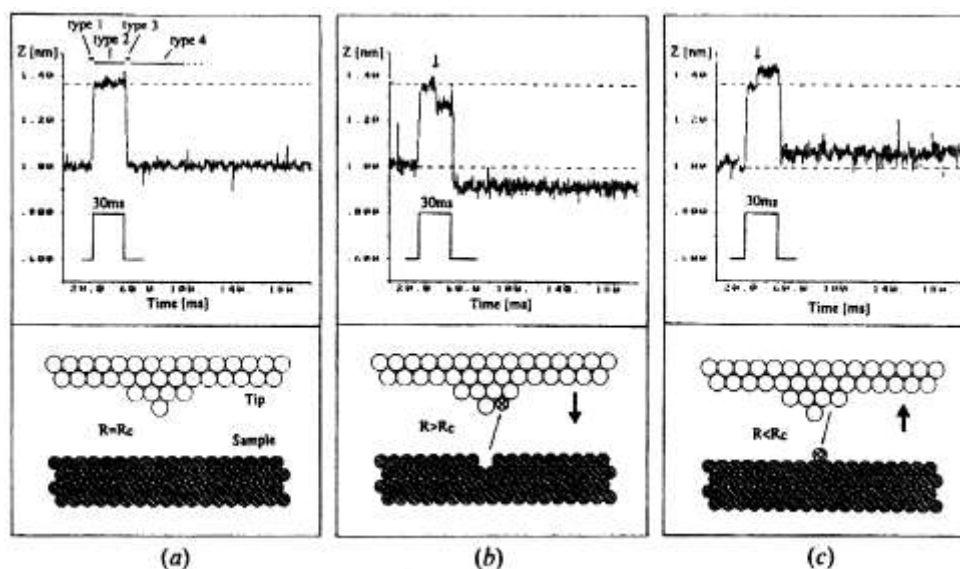
〔研究者名〕 黄 徳歆、内田裕久

5. 単原子操作検出と極微小域電気計測

走査トンネル顕微鏡 (STM) による単原子の除去と供給を電気信号のモニターにより、その瞬間に検出する。極微小域の電気特性を直接計測する。

研究成果の概要

STM 探針と試料表面の間に電圧パルスをかけ、単一原子または数個の原子を表面から引き抜いたり、表面に与えたりする時、探針と試料表面間の距離をピエゾ素子電圧により電氣的にモニターしていると、原子の引き抜き、付与の瞬間にそれを検出することができる。従来、原子の引き抜き、付与現象が起こった際には、その事象後に試料表面の像を観測して確認していたが、このリアルタイム検出法が可能になったことにより、連続的な原子の引き抜き、付与などの場合に短時間に現象を把握することができるようになった。(図)



成果展開可能なシーズ、用途等

1) 原子単位変換材料および原子単位変換デバイス等を創製する場合に有用である。

特許出願

1) 物質表面における原子移動の検出方法

特 願：平 6-137669 (平 6.6.20)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：物質表面における一原子または数ケ原子の移動をリアルタイムで検出する検出方法。

報告書他

1) Francois Grey:青野原子制御表面プロジェクト報告資料、p83-100 (新技術事業団、1994)

年 9 月)"Time-resolved Studies of Atom Manipulation by STM"

- 2) F. Grey, D. H. Huang, A. Kobayashi, E. Snyder, H. Uchida and M. Aono : J. Vac. Sci. Tech. B12(3), p1901-1905(1994) "Time-Resolved Atomic-Scale Modification of Silicon with a Scanning Tunneling Microscope"
- 3) F. Grey, D. H. Huang, and M. Aono : Phil. Mag. B, Vol. 70, p711-720(1994) "The sound of one atom hopping : atomic manipulation on silicon surfaces by STM"

〔研究者名〕 Francois Grey、黄 徳歆、小林 中、Eric Snyder、内田裕久、青野正和

6. 電界による原子の蒸発と移動 (理論)

STM 探針と試料表面間における電界による原子授受のシミュレーション。

研究成果の概要

走査型トンネル顕微鏡(STM)は、鋭い探針で物質表面をなぞるようにして、その構造を原子スケールで観測することを可能にしたが、探針と表面の間に強い電界を与えると、表面の原子を引き抜くことができる。しかし、そのメカニズムはいまだに明らかではない。これを理論的に解明するために、探針と表面を一体としたクラスター模型を作成し、強い電界の中で表面と探針との間で電子や原子はどのようにふるまうのかを分子軌道論を用いてシミュレーションをおこなった。

図のように表面原子のポテンシャル・エネルギー面が電界の変化により大きく変化し、原子の脱離過程が明らかにされた。

成果展開可能なシーズ、用途等

分子軌道論を用いたクラスター模型は原子の断熱的なポテンシャル・エネルギー面を記述できる極めて厳密な計算方法であり、ナノ領域で生ずる化学反応をともし現象のメカニズムの解明に役立つであろう。特に電極の近傍や STM 環境下で起こる分子の解離や生成過程をシミュレーションする事を可能にするだろう。計算規模の増大に伴い高速計算機の一層の発展が望まれるところである。

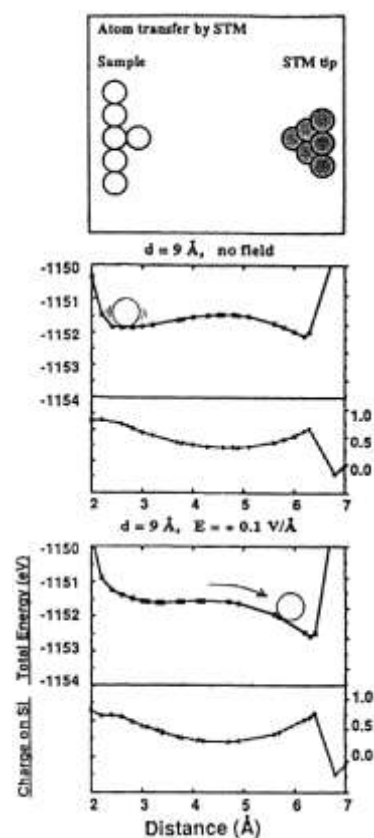
特許出願

なし

報告書他

- 1) M. Tsukada and M. Sawamura, Surf. Sci. 283 (1993) 182.
- 2) M. Sawamura, M. Tsukada and M. Aono, Jpn. J. Appl. Phys. 32 (1993) 3257.
- 3) M. Sawamura, S. Watanabe and M. Aono, submitted to Nanotech.

〔研究者名〕 沢村 誠



7. 単原子操作機構

STM 探針による単原子操作の物理機構の解明。それに基づく表面原子結合状態の計測。

研究成果の概要

STM を用いた単原子操作は、探針と試料表面上の原子との間に働く相互作用を利用して行われるがその相互作用の中でも特に基本的に重要な電界蒸発現象に注目して、その機構の解明を行った。その結果

- (1) 探針・試料間に印加する電圧がある閾値以上の大きさであれば、正負いずれの極性の場合でも電界蒸発を引き起こすことが出来ることを見出した。
- (2) この正負の電圧極性に対して、試料として用いたシリコンの表面原子が正または負のイオンとなって脱離していることを裏付ける最初の実験的結果を得た。一次元のトンネル模型による数値解析から、この脱離過程における正、負イオンの電界強度が約 $0.6\text{V}/\text{\AA}$ であり、従来の電界イオン化過程での値の約 16% 程度に過ぎないことを明らかにした。
- (3) (2) の結論が、脱離過程と個々の表面原子の結合エネルギーの大きさとの間の強い相関を示していることに着目して、電界蒸発による原子の引き抜きを利用した表面原子の結合状態を評価する新しい手法を開発した。これを Si(001) 表面に適用し、結晶学的に異なる位置にある Si 原子間の結合エネルギー差を導くことが出来た。

(図 1、図 2、図 3)

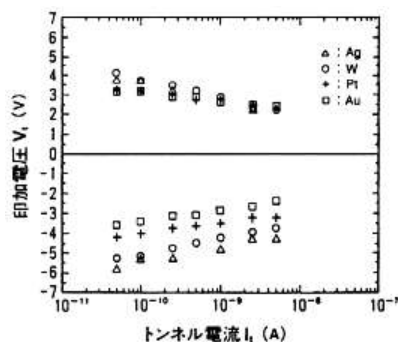


図 1 閾値電圧の探針材質依存性 (試料:n 型 Si (111) 7×7 表面)

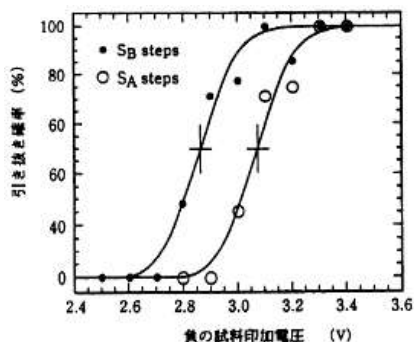


図 2 電界蒸発によって表面原子を引き抜く場合の試料バイアスに対する引き抜き確率の変化 (SA ステップと SB ステップ間)

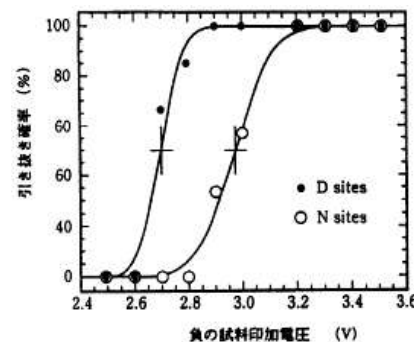


図 3 電界蒸発によって表面原子を引き抜く場合の試料バイアスに対する引き抜き確率の変化 (N サイトと D サイト間)

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 単一原子の操作を正確に制御した、人工的な原子スケールの物質構造の構築およびその構造物に基づく新しい量子特性の発現に関する物性研究とそれを応用した量子デバイスの開発。
- 2) 個々の原子の結合エネルギーの大きさを評価するといった、局所領域のエネルギー的安定性に基づく新たな表面実験方法への展開。

特許出願

1) 物質表面における原子移動の検出方法

特 願：平 6-137669 (平 6.6.20)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：物質表面における一原子または数ヶ原子の移動をリアルタイムで検出する検出方法。

報告書他

1) 小林 中:青野原子制御表面プロジェクト報告資料、pp117-135 (新技術事業団、1994 年 9 月)「STM における電界蒸発の機構解明とその原子操作への応用」

2) A. Kobayashi, F. Grey, E. Snyder, & M. Aono : Physical Review B Vol. 49, pp 8067-8070 (1994). "Spatially anisotropic atom extraction around defects on Si (001) using a STM"

3) A. Kobayashi, F. Grey, E. Snyder, & M. Aono : Surface Science Vol.291,pp L 739-L 744 (1993). "Probing local binding energy differences on the Si (001) 2x1 surface by field-induced atom extraction with the STM"

4) A. Kobayashi, F. Grey, R. S. Williams & M. Aono : Science Vol. 259, pp 1724-1726 (1993). "Formation of Nanometer-Scale Grooves in Silicon with a Scanning Tunneling Microscope"

5) 青野正和、小林 中、F.Grey、内田裕久、D.H.Huang、吉信 淳:応用物理、第 61 巻 pp.1264-1268 (1992).「走査トンネル顕微鏡における探針と Si 表面との相互作用およびその原子操作への応用」

他

〔研究者名〕 小林 中

8. 超低エネルギーイオン・原子衝突 (理論)

STM 探針から放出される超低エネルギーイオンと表面原子の衝突散乱シミュレーション

研究成果の概要

数ないし数+eV 程度の低速希ガスイオンと固体表面との衝突現象は STM の探針から供給される原子の表面での挙動を理解する上で重要と考えられるが、まだ理論的にも実験的にも研究例が少ない。

本研究では、低速イオンと表面の衝突過程を理解するため、分子動力学法を用いてシミュレーションを行った。具体的な計算は O/Rh(111)表面に運動エネルギー5-50eV の希ガスイオンに照射した場合を扱った。シミュレーションの結果、つぎのような事実が明らかになった。

- (a)反跳粒子のエネルギーと散乱角の分布は、入射粒子の質量や入射エネルギーによって非常に異なる。
- (b)入射粒子の質量が表面原子に比べて充分軽い場合は、エネルギーと散乱角の分布は入射エネルギーが数ないし数+eV 領域で大きく変化する。この急激な変化はエネルギーと共に等ポテンシャル面の形状が変化することに対応しており、入射粒子が表面に侵入し始めるエネルギーで最も顕著に見られる。
- (c)一方、入射粒子の質量が表面原子に比べて同程度以上の場合は、散乱粒子の角度エネルギー分布は入射エネルギーに対して比較的鈍感であり、常に幅の広いスペクトルが観測される。これは入射粒子の表面での多重衝突によるものと考えられる。(図)

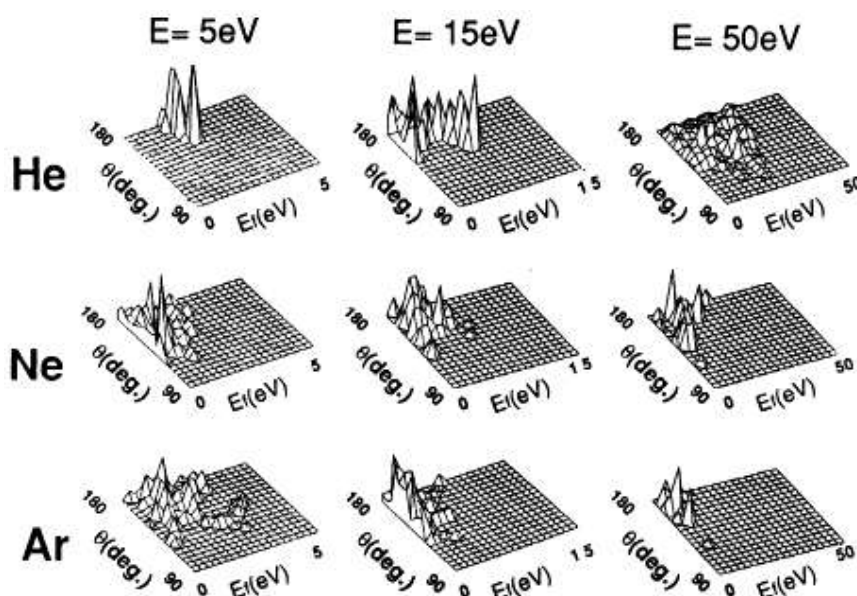


図 低速の希ガスイオンを O/RH(111)面に照射したとき、散乱イオンの角度とエネルギーの分布強度。希ガスの種類がヘリウム、ネオン、アルゴンそれぞれについて衝突エネルギーが 5ev、15ev、50ev の場合についてシミュレーションを行なっている。

成果展開可能なシーズ、用途等

表面の層単位、原子単位での加工、分析における基礎データとなる。

特許出願

なし

報告書他

- 1) Masato. Nakamura. (Masaru Tsukada and Masakazu Aono) : "Interaction of Low Velocity Rare Gas Ion with a Solid Surface" Surf. Sci. 283, 46-51 (1993)
- 2) Masato. Nakamura. (Masaru Tsukada and Masakazu Aono) : "A Computer Simulation Study on Scattering of Hyperthermal Energy Rare Gas Ion Beams from Solid Surface" Nucl. Instrum. Method B78, 81-85 (1993)
- 3) Masato. Nakamura. Masaru Tsukada and Masakazu Aono : "Computer Simulation on Interaction of Low Velocity Rare Gas Beams with Solid Surface" proceeding in XIV International Symposium on Molecular Beams pp. 357-360
- 4) Masato. Nakamura. (Masaru Tsukada and Masakazu Aono) : "Computer Simulation of Scatteings of Hyperthermal-Energy Rare Gas Ions from Solid Surface" proceeding in 18-th ICPEAC p. 758

〔研究者名〕 中村正人

9. 表面局所電子状態と原子配列（理論）

STM 像の計算法の確率。安定原子配列のシミュレーションによる理論的予測。

研究成果の概要

- 1) 走査トンネル顕微鏡 (STM) 像を理論計算することにより、銀を吸着したシリコン表面では表面原子の位置と STM 像で突出して見える所とが一致しないことを見出した。
- 2) STM 探針の形状が STM 像にどのように影響を及ぼすのか、理論計算によって明らかにした。
- 3) 単電子操作技術を用いてシリコン(111)表面に供給したシリコン原子について、シミュレーションで安定位置を予測し、観察された STM 像と照らし合わせてこの原子の位置を決定できた。(図)

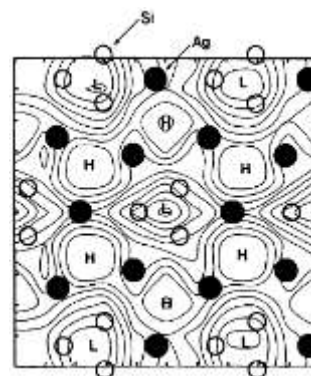


図 タングステン探針と銀吸着シリコン表面との間のトンネル電流の等値線図

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 表面原子配列に解析
- 2) 人工的な超微細構造の安定性や物性の予測

特許出願

なし

報告書他

- 1) 渡邊 聡:青野原子制御表面プロジェクトシンポジウム報告資料、pp.5-16 (新技術事業団、1994 年 9 月)。「構造制御された表面の STM 像の理論計算」
- 2) S. Watanabe, M. Aono and M. Tsukada : Phys. Rev., Vol. B44, pp. 8330-8333 (1991).
"Theoretical Calculations of the Scanning-Tunneling-Microscopy Images of the Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ - Ag Surface"
- 3) S. Watanabe, M. Aono and M. Tsukada : Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, pp. 2911-2913 (1993).

〔研究者名〕 渡邊 聡

10. 単原子反応制御

走査トンネル顕微鏡 (STM) 探針先端における化学反応を利用した単原子の連続供給

研究成果の概要

STM の官金探針に連続的に供給した水素原子 (H) を次々と試料表面にデポジットし、Si (111)-7×7 表面を局所的に水素化することによって、ナノメートルスケールの任意のパターンを描くことに成功した。この局所的水素化のメカニズムは、分子状水素 (H_2) の解離吸着による探針への水素原子の供給と探針に吸着した水素原子の電解蒸発の 2 段階に分けられる。このメカニズムは白金探針と H_2 の反応を利用しているが、他の元素の探針と他の気体との反応を利用することも考えられるので、応用が期待される。(図 1、図 2)

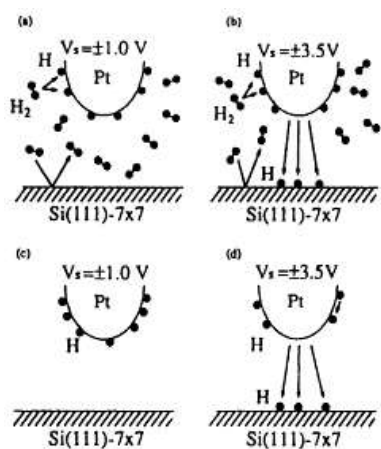


図 1 Pt 探針を用いた Si (111) -7×7 表面への水素原子供給の模式的メカニズム



図 2 Si 表面を局所的に水素化して描いたナノメートルスケールのパターン

成果展開可能なシーズ、用途等

1) 各種試料と気体の組合せによる新しい人工物質、デバイスなどの構築。

特許出願

1) 物質表面への異種原子の局所的供給法

特 願：平 6-134641 (平 6.6.16)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：微細探針と試料物質と異なる分子との反応を利用した物質表面への異種原子の局所的供給法

報告書他

1) 倉持宏実:93 年創造科学技術研究報告会第 4 部講演要旨集 p71-78 (新技術事業団、1993 年 12 月)「個々の原子の供給に化学反応を利用する」

- 2) 倉持宏実:青野原子制御表面プロジェクト報告資料 p101-116 (新技術事業団、1994 年 9 月)
- 3) A. Kuramochi, H. Uchida and M. Aono : Phys. Rev. Lett. Vol. 72, p 932-935 (1994). "Local Hydride Formation of the Si(111) - 7×7 Surface by Hydrogen Atoms Deposited from a Scanning Tunneling Microscope Tip"

〔研究者名〕 倉持宏実、内田裕久、青野正和

11. 温室シングル・エレクトロン・デバイス

液晶分子を担持する基板及び走査トンネル顕微鏡探針ではさみ、トンネル二重接合を形成し室温で単一トンネリングを観測した。

研究成果の概要

- 1) 液晶分子を白金基板担持しこの上に走査トンネル顕微鏡 (STM) 探針を保持することで分子を中間電極とするトンネル二重接合を形成し、単一電子トンネリング特性を示す電流－電圧曲線が得られた(図 1)。
- 2) 更に絶縁基板上の白金島と島の上に液晶分子を配置し、この上に STM 探針 (ゲート電極) を保持することで、単一電子トランジスタを作成した(図 2)。
- 3) ゲート電圧を変化させることで、定電流バイアスされたトンネル接合両端の電圧を素電荷以下の量で制御できることを示した(図 3)。

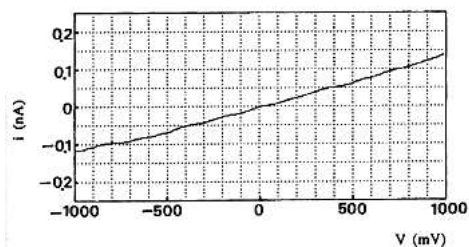


図 1 トンネル二重接合から得られた階段状の電流－電圧特性

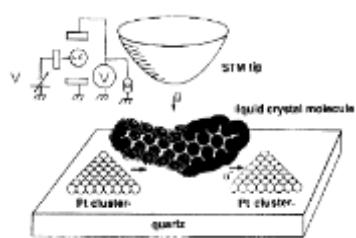


図 2 白金島と島の上に液晶分子を配置し、この上に STM 探針を保持することで単一電子トランジスタを形成する概念図

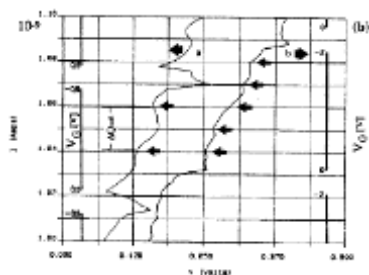


図 3 図 2 の構造で得られたトランジスタのゲート電圧 V_g 対出力電圧 V 特性

成果展開可能なシーズ、用途等

- 1) 室温で動作する単一電子トランジスタ
- 2) 超高感度エレクトロメータ (SQUID に対応)

特許出願

- 1) 高温・単一電子トンネリング構造

特 願：平 5-32313 (平 5.2.22)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：STM 微細探針に微小空隙を介して液晶物質等の分子および基板を順次配設して一電子トンネリングさせることからなる高温・単一電子トンネリング構造

- 2) 一電子トランジスタ

特 願：平 6-125421 (平 6.6,7)

出 願 人：新技術事業団

請求の概要：複数の電極部の間に分子が介在配置され、電極部に加える電圧の変化でトンネル電流が制御されるトランジスタ。

報告書他

- 1) H. Nejoh: Incremental Charging of a Molecule at Room Temperature Using the Scanning Tunneling Microscope Nature Vol. 353, No. 6345, pp. 640-642 (1991)
- 2) H. Nejoh and M. Aono: Incremental Charging of a Molecule at Room Temperature: Disturbance of Molecular Electronic States Due to the Tunneling Event Modern Physics Letters. B, Vol. 6, No. 4, pp.187-195 (1991)
- 3) H. Nejoh, D. P. E. Smith and M. Aono: Cyanobiphenyl-group alignment observed by a scanning tunneling microscope Nanotechnology Vol. 2 pp.214-220 (1992)
- 4) H. Nejoh, S. Watanabe and M. Aono: Single-electron charging of fullerene molecule observed at room temperature by scanning tunneling microscopy Proceedings of 3rd International Conference on High Technology, pp.115-118 (1992)
- 5) H. Nejoh, S. Watanabe, M. Nakamura and M. Aono: Single-electron manipulation under high-field at room temperature NATO-ASI Series, Kluwer Academic Publisher, pp. 115-119 (1993)
- 6) H. Nejoh, S. Watanabe, M. Aono and N. Shima: Single-electron Charging Effects in a Molecule Interacting with a Substrate Japanese Journal of Applied Physics Series 9, pp.122-125 (1993)
- 7) H. Nejoh and M. Aono: Single electron tunneling observed in a 2D tunnel junction array at room temperature Japanese Journal of Applied Physics Vol. 32, pp.532-535 (1993)
- 8) H. Nejoh, M. Ueda and M. Aono: Single-Electron Charging Effects Controlled by the Distance between a Substrate and a Liquid-Crystal molecule Japanese Journal of Applied Physics Vol. 32, pp. 1480- 1483 (1993)
- 9) H. Nejoh, M. Tsukada and M. Aono: Suppression of single electron charging effects in liquid crystal molecules due to infrared irradiation pp. 112-120 Nanostructures and Quantum Effects. H. Sakaki and H. Noge eds. Springer-Verlag (1994)
- 10) H. Nejoh and M. Aono: Voltage oscillations in an array of tunnel junctions controlled by an STM gate at room temperature Applied Physics Letters Vol. 64 pp.2803-2805 (1994)

〔研究者名〕 根城 均