

「量子効果等の物理現象」
平成7年度採択研究代表者

青野 正和

(大阪大学大学院工学研究科 教授、理化学研究所 主任研究員)

「人工ナノ構造の機能探索」

1. 研究実施の概要

本研究を実施する目的は、様々な興味深い機能が期待される人工ナノ構造を設計し構築し、かつそれらが示す機能を新しい計測法の開発によって積極的に計測・評価して、人工ナノ構造の新しい機能を探索し、ナノサイエンスとナノテクノロジーの世界にブレークスルーをもたらすことにある。

2. 研究実施内容

研究は次の7つのグループが密接に協力し合って進めたが、各グループが責任をもって進めた研究の内容は次の通りであった。

(1) 理化学研究所・Aグループ

独立駆動2探針 STM (DT-STM) を建設してその基本動作の確認を終えると共に、3探針 STM (TT-STM) への準備を進めた。これによって、電子輸送特性の測定を開始した。また、新しいモードのスピンの偏極 STM (SP-STM) を建設して、強磁性体の磁気ドメイン観察やナノスケールでの磁気構造観察などを行った。さらに、放出光の分光検出が可能な STM を建設して、人工ナノ構造からトンネル電子注入によって誘導される光の像観察と分光を行った。また、イオン・電子混合伝導体の表面にナノスケールの金属クラスターをトンネル電流の向きによって成長または消滅させることを見出し、原子スイッチの可能性を開いた。

(2) 大阪大学・Bグループ

分子スケールで局所に与えた刺激をトリガーとする分子の連鎖重合反応によって導電性分子鎖などを形成する技術の開発を行うための STM 装置を建設した。分子の熱振動を抑制してよく制御された実験を行うため、低温冷却機構も整備した。すでに興味深い予備的な結果を得ている。

(3) 東京大学・Cグループ

次のような興味深い成果が得られた。1) $\text{Si}(111)\sqrt{3} \times \sqrt{3}-\text{Ag}$ 表面の上に少量の Au, Ag, Cu, Li, Na, K, Cs などが付加されると、 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$ 構造が共通に

形成されるが、それらは同じメカニズムで高い電気伝導度を示す。2) Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面を 6K の低温で STM 観察したところ、電子の定在波が明瞭に観測され、これは表面電子準位バンドによる電気伝導現象を目に見える形でデモンストレーションするものである。3) 約 1 原子層の Pb を吸着した Si(111) 表面の構造が約 200K で構造相転移し、それに伴って表面電気伝導度が著しく変化する。これらの表面電気伝導に関する研究をさらに押し進めるため、局所 4 プローブ測定装置を開発した。

(4) 理化学研究所・Dグループ

個々の分子の操作によって機能性分子ナノ構造を創製し、その機能を探索するために、分子の操作と下地の構造修飾を制御よく行いうる低温 STM を建設した。そして、水素原子で終端された Ni(110) 表面の上に独特の直線構造が STM によって誘起されることを見出した。

(5) 理化学研究所・Eグループ

様々な形の結合型量子ドット系を作成してその基本特性を調べ、いくつかの興味深い特性を見出した。たとえば、量子化離散準位を有する量子ドットを直列に結合した系でクーロンブロッケイド特性を測定し、容量的な結合とトンネル的な結合とを観測した。

(6) 日立基礎研究所・Fグループ

ナノメートルスケールのアトムリレートランジスターの実現を目指し、その構造構築と電極接続に関する研究を進めている。また、ナノスケールの電子デバイスとの関連で、極微細加工技術と STM の像観察をうまく組み合わせ、Si(111) 表面の表面電子準位を介した電気伝導の観測も行った。

(7) 東京大学・Gグループ

ナノ構造の興味深い機能を理論的に探索した。それを通して、実験グループと密接な協力を行っている。特に次の諸点を中心に研究を進めている。1) 固体表面に非磁性原子で形成された鎖が強磁性を示す可能性がある。2) ある原子の鎖が局所構造をもつと、その鎖を流れる電流がそこで渦を形成して磁気モーメントを発生する可能性がある。3) ナノ構造のトンネルギャップを電流が流れるとき、どのような光が放出されるか。4) 量子電導度を第一原理的な計算によって研究すること。

3. 主な研究成果の発表 (論文発表)

○Z.-H. Wu, and T. Nakayama, S. Qiao, and M. Aono, " Luminescence from a transition metal of Fe induced with a scanning tunneling microscope", Surf. Sci., 415 (1998) L1032.

- 青野正和、C.-S. Jiang、中山知信、奥田太一、S. Qiao、桜井亮、C. Thirstrup、Z.-H. Wu,, “走査プローブ法によるリソグラフィーの方向性 --- ナノ構造の構築からその物性や機能の計測へ --- ”、表面科学、19 (1998) 698.
- C. Thirstrup, M. Sakurai, T. Nakayama, and M. Aono, “Atomic scale modifications of hydrogen-terminated silicon 2x1 and 3x1 (001) surfaces by scanning tunneling microscope”, Surf. Sci., 411 (1998) 203.
- 桜井亮、C. Thirstrup, (理研)、青野正和 (阪大、理研)、“STM リソグラフィーによるシリコンダングリングボンド細線の形成とその装飾”、表面科学、19 (1998) 708.
- C. Thirstrup, M. Sakurai, and M. Aono,” Photon emission STM using optical fiber bunches”, Journal of Surface Analysis 4 (1998) 152.
- D. H. Huang, and M. Aono, “STM atom manipulation with different Material tips” , J. Surf. Analysis 4(1998) 264.
- 青野正和、姜 春生、中山知信、奥田太一、喬 山、櫻井 亮、C. Thirstrup, 呉 章華、“ナノスケールの物性や機能をどう測るかーナノ構造の「構築」から「計測」へー” , 応用物理、67 (1998) 1361.
- Z. -H. Wu, T. Nakayama, S. Qiao, and M. Aono, “Intensity and polarization switching behaviors of light emission induced with a scanning tunneling microscope” ; Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 2269.
- D. H. Huang, T. Nakayama, and M. Aono, “Platinum nanodot formation by atomic point contact with a scanning tunneling microscope platinum tip” , Appl. Phys. Lett. 73 (1998) 3360.
- T. Kobayashi, C. F. McConville, G. Dorenbos, M. Iwaki, and M. Aono, “Depth profile and lattice location analysis of Sb atoms in Si/Sb(δ -doped)/Si(001) structures using medium-energy ion scattering spectroscopy” , Appl. Phys. Lett. 74 (1999) 673.
- K. Hashimoto, T. Nakayama, N. Yoshimoto, M. Yoshikawa, M. Aono, and I. Yamaguchi, “Three distinct terraces on a β -(ET)₂I₃ surface studied by scanning tunneling microscopy” ,Jpn. J. Appl. Phys. 38 (1999) L464.
- C. Thirstrup, M. Sakurai, K. Stokbro, and M. Aono, “Visible light emission from atomic scale patterns fabricated by the scanning tunneling microscope” , Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 1241.

他 14 件