

CONFERENCE REPORTS (3)

第1回 STM 国際会議

森田 清三

東北大学電気通信研究所 〒980 仙台市片平 2-1-1

(1986年8月26日 受理)

Scanning Tunneling Microscopy '86

Seizo MORITA

Research Institute of Electrical Communication,  
Tohoku University  
Katahira 2-1-1, Sendai-shi 980

(Received August 26, 1986)

1. はじめに

走査型トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscope: STM) は、1982年に IBM Zürich のグループにより初めて製作されて以来急速な進歩と発展をとげつつある。実際、1984年に CANCUN で非公式ミーティングを開いた時の参加者は9人で講演も9件であったのが、1985年に OBERLECH で開かれたワークショップには45人が参加し35件の講演が行なわれ、三年目(1986年)は7月14日から18日迄の5日間かけてスペインの SANTIAGO DE COMPOSTELA で第1回目の STM 国際会議が開かれ、200人以上が参加し73件もの講演が行なわれている。

Table 1 に STM 技術の現状を、Table 2 に第1回 STM 国際会議のトピックスを示す。Z方向の安定度が

Table 1 The state of STM technique today

1) z-stability:	$10^{-4} \text{ \AA}$ in UHV
2) lateral resolution:	1.4 $\text{ \AA}$ in graphite 5 $\text{ \AA}$ in metal
3) atomic resolution*:	at 700 K-at 4.2 K in UHV at air in liquid
4) color of atoms:	NiO on Ni(100)
5) real time video of atoms	
6) monoatomic tip	
7) one day STM**	

\* 原子の観測に成功している温度範囲等の環境範囲。

\*\* 一日で製作でき、しかも原子が見れる程高性能の STM トンネルユニット。参考文献 D. P. E. Smith and G. Binnig: Rev. Sci. Instrum. September (1986) to be published.

Table 2 The topics of STM '86 conference

- 1) Spatially resolved electronic structure
- 2) Effect of inter atomic forces on STM
- 3) Imaging of atoms in real time with STM
- 4) Phonon spectrum and image
- 5) Molecular image of LB film
- 6) Image of copper phtalocyanine
- 7) Image of recA-DNA complex
- 8) One day STM

$10^{-4} \text{ \AA}$  ということは、フォノン構造が測定できるということであり、Table 1 の 1) と 5) と 7) は今回の会議のトピックス [Table 2 の 4) と 3) と 8) に対応] にもなっている。注目すべき点は、これらがすべてスタンフォード大学で開発された技術であることだろう。IBM Zürich は第4世代 STM<sup>1)</sup> であるポケットサイズ STM<sup>2)</sup> を主として使っており、この STM は真空用 STM として他の分析装置との併用を考えて設計した装置である。他方、今回の会議の特徴は、大気圧専用 STM<sup>3)</sup>、液体専用 STM<sup>4)</sup>、原子の実時間測定専用 STM<sup>5)</sup>、フォノン構造測定専用 STM や微細加工専用 STM<sup>6)</sup> のような用途を特定した専用機が数多く発表されたことである。

2. 講演内容

ここでは、Table 2 の国際会議でのトピックスの順に従って、各内容を紹介しよう。

1) 空間的に分解された電子構造

STM は最初、試料表面の凹凸のみを見る装置と考えられていたが、実験では電子構造が STM 像に影響していることが明らかになった<sup>7,8)</sup>。今回の会議では、STM を用いて電子構造を空間的に分解して見る方法とその実験結果が明らかにされた<sup>9)</sup>。IBM Thomas J. Watson 研究所の Feenstra のグループはこの方法を用いて Si (111)  $2 \times 1$  再構成を調べ、再構成は buckling model ではなく  $\pi$ -bonded chain model で説明されることを示した<sup>9)</sup>。同じ研究所の Demuth グループは、Si(111)  $7 \times 7$  再構成を調べ5種類の Surface States の bonds の像を得ている<sup>9)</sup>。

2) 原子間力の STM への影響

従来の STM 像の測定は、探針と試料との間隔が  $10 \text{ \AA}$  から数  $10 \text{ \AA}$  の範囲で行なわれた。今回の会議では、 $1 \text{ \AA}$  まで近づけてグラファイトの原子像を測定した結果、探針と試料との距離を近づけていくと、原子の凹凸差が増大していき、見かけ上  $20 \text{ \AA}$  以上にもなることが明らかにされた<sup>10)</sup>。

3) 原子の実時間ビデオ像

スタンフォード大学のグループは、 $10^{-3}$  秒程度で

STM 像が得られる高速 STM を開発して、グラファイトや TaSe<sub>2</sub> 等の物質の原子像をビデオで実時間測定して、中心を Y 方向にずらせていって実時間のビデオが得られていることを示した<sup>9)</sup>。

#### 4) フォノン構造とフォノン像

スタンフォード大学のグループは液体ヘリウム温度でグラファイトの格子振動のスペクトルと像を、また、Sorbic Acid 中でグラファイトを測定することにより、C=C や C=H の分子振動も見出している。

#### 5) 有機・高分子・生体物質等の測定

有機・高分子・生体物質等の測定も初められており、今回の会議では、LB 膜の分子像、Copper phthalocyanine (CuPc) の内部電子構造、recA-DNA complex の微細構造についての報告があった。

#### 6) GaAs DH-laser diode のポテンシャル分布の測定

STM を使ったポテンシオメータ (Scanning Tunneling Potentiometry: STP) を用いて GaAs Double Heterojunction laser diode のポテンシャル分布を測定した実験では、ポテンシャル分布が Active な GaAs の領域で変化しており、レーザの threshold 直前の電圧では、ポテンシャルがある場所で急激に変化していることが明らかにされた。

#### 7) Monoatomic tip の製作

FIM (Field Ion Microscope) の技術を発展させて、上部 3 層の原子配置を抑制した STM 用の W の monoatomic tip の開発が行なわれた。この方法によれば、再現性よく、比較的短時間で monoatomic tip ができ、しかも binding energy が  $\sim 6$  eV と安定なことが明らかにされた。

#### 8) その他

その他の興味ある実験としては、Pt 表面を電気化学的に処理すると faceting や activation のような形状変化が見出された報告や、Pt 表面に CO, NO, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 等のガスを接触させると表面に 1×1 再構成ができたとの報告等があった。

### 3. おわりに

STM の現時点での問題点としては、原子像が見えている対象が、グラファイト等の層状物質や Si 等の半導体に限られている点で、通常の金属では 5Å 程度の分解能しかなく原子像が得られていないことである。

また、今回の会議で特に強く感じた点は、用途を限定した多様な各種専用 STM の開発の必要性和、STM の可能性を拡大するための広範囲な応用研究の必要性である。

本会議のプロシーディングは Surface Science の特別号として 1987 年 3 月頃出版される予定であり、ここで引用した参考文献は発表済みのものできるだけ講演内容に近いものを選んだことをおこたわりします。

### 文 献

- 1) G. Binnig and H. Rohrer: IBM J. Res. Develop. (to be published in July 1986).
- 2) Ch. Gerber, G. Binnig, H. Fuchs, O. Marti and H. Rohrer: Rev. Sci. Instrum. **57**, 221 (1986).
- 3) S. Morita, T. Okada, Y. Ishigame, C. Sato and N. Mikoshiba: Jpn. J. Appl. Phys. **25**, L516 (1986).
- 4) R. Sonnenfeld and P. K. Hansma: Science **232**, 211 (1986).
- 5) A. Bryant, D. P. E. Smith and C. F. Quate: Appl. Phys. Lett. **48**, 832 (1986).
- 6) M. A. McCord and R. F. W. Pease: J. Vac. Sci. Technol. **B**: **4**, 86 (1986).
- 7) R. S. Becker, J. A. Golovchenko, D. R. Hamann and B. S. Swartzentruber: Phys. Rev. Lett. **55**, 2032 (1985).
- 8) R. M. Feenstra, W. A. Thompson and A. P. Fein: Phys. Rev. Lett. **56**, 608 (1986).
- 9) R. J. Hamers, R. M. Tromp and J. E. Demuth: Phys. Rev. Lett. **56**, 1972 (1986).
- 10) J. M. Soler, A. M. Baro and N. Garcia: Phys. Rev. Lett. **57**, 444 (1986).