談話室

第2回走査プローブスペクトロスコピー
国際会議

高橋 琢二

東京大学生産技術研究所
〒106 8558 東京都港区六本木7-22-1
(2000年10月4日受理)

Second International Conference on
Scanning Probe Spectroscopy

Takuji TAKAHASHI

Institute of Industrial Science,
University of Tokyo
7-22-1 Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106 8558
(Received October 4, 2000)

平成12年7月19日から22日まで、ドイツ・ハンブルグにて上記第2回SPS国際会議が開催された。会場のCongress Centrum Hamburg (CCH)は市の中心から北西に位置し、日本庭園もある公園(Planten un Blomen)に隣接している。この会議は、3年前にポーランドで第1回目が開催されており、主たるテーマはその名の通り、走査プローブ顕微鏡を用いたスペクトロスコピーである。参加者数は約150名で、口頭発表38件(うち招待講演が10件)がシングルセッション形式で行われ、その他にポスター発表が88件あった。なお、この会議の直前に同じ会場で、非接触AFMの国際会議(NC-AFM 2000)が開催されており、続けて参加された方も多かったようである。

以下、講演について概観してみたいが、筆者の興味に偏ったものとなることをあらかじめご了承ください。

今回の会議で目立ったのは、電子スピンの関与したトンネル現象の観測についての発表が多かったことである。

まず、CuやAuなどの通常の金属基板の上にCoのような磁性金属原子を置き、それを介したトンネルスペクトロスコピーを液体He温度程度に冷却したSTMにおいて測定することによって、いわゆる近藤効果を実測した研究例が招待講演として発表された。IBMのManoharan氏は、STMによる原子操作を用いてCu基板上にCoで楕円の柵(Quantum Corral)を作り、さらにその1つ

の焦点位置にCo原子を配置した。その結果、焦点位置のCoのスピンを打ち消す向きのスピン遮蔽雲が生じ、それが周りのCo柵で反射されて他方の焦点位置に収束するため、原子の無い方の焦点位置においてもスピン不純物に由来する近藤効果がトンネルスペクトル上で観察される、というものである。彼らはこれをQuantum Mirageと呼んでいる。また、Kiel大学のBerndt氏、U.C. BerkelyのCrommie氏は、それぞれAg基板上的のCe原子、Au基板上的のCo原子を介したトンネルスペクトルの計測を行い、コンダクタンス曲線のバイアス0V付近に近藤効果に伴う非常にシャープな共鳴線が現れることを観測している。

一方、磁性体試料中の電子スピンを観測するためのスピン偏極STM/STSに関しては、Wのような非磁性体にFeやGdなどの磁性体薄膜コーティングを施した探針、根本に小さなコイルを巻き付けて磁化の方向を周期的に変えられるようにした弱磁性体探針、円偏光レーザー光を照射したGaAs探針など、探針に工夫を凝らした研究成果が、それぞれ、Hamburg大学のBode氏、Max-Planck研究所のWulfschkel氏、北海道大学のSueoka氏らによって発表された。

さて、量子ドットのような量子構造に関する研究成果もいくつか発表されていた。Hamburg大学のMorgenstern氏は、STM探針の作る電界によって局所的な電子の閉じ込め状態が実現されるいわゆる探針誘起バンド曲がり効果を利用して、InAs(110)表面の二次元電子系に対して量子ドットの形成を行った。コンダクタンス特性の測定を通じて、負の試料バイアス範囲では表面近傍の三角ポテンシャル的な閉じ込めによる電子の量子化で10 meV程度の間隔を持ったサブバンドが形成されること、一方、正のバイアス範囲では磁場中においてランダウレベルの形成に起因する振動が観測されることを明らかにしている。また、Eindhoven工科大学のKemerink氏は、試料表面近傍に埋め込んだGaAs/AlGaAs量子井戸構造中に同じく探針誘起電界によって量子ドットを形成し、そこからのトンネル電流励起ルミネッセンスを測定した結果、トンネル電流を増加させると発光ピークがブルーシフトすること、そのシフト量はトンネル電流の1/3乗に比例すること等を見いだしており、ドットの帯電効果とドット内電子の多体効果によるものと結論づけている。さらに、Berlin工科大学のManke氏らは、SNOMを用いてGaAs中に埋め込まれたInGaAs単一量子ドットからのフォトルミネッセンス測定に成功し、発光ライン幅が温度によって大きく変化することを見いだした。

これは、比較的狭いエネルギー間隔を持ったドット内価電子帯のサブバンド間でキャリアの熱的励起が生じているためと解釈されている。また金属被覆を行わないファイバー探針ではドットの外周に沿うようなリング状の発光が観測され、その空間的形狀が測定する波長に依存して変化することから、静電的に帯電した探針によるシュタルクシフトが観測されたものと考えている。

ところで、最近新しい一次元伝導体として注目されているカーボンナノチューブに関する Delft 工科大学の Lemay 氏らの報告は非常に興味深かった。彼らは、STM 探針に数 V の電圧を印加することで単一壁ナノチューブを切断した上で、その短くなったナノチューブにおけるコンダクタンスを測定することに成功している。数十 nm 程度の長さに切断されたナノチューブではコンダク

タンス特性のバイアス依存性に振動が見られ、チューブを短くするとその振動間隔が広がることから軸方向の閉じ込め効果が観測されたものと考えられている。

以上ざっと眺めてきたように、形状評価への利用のされ方や普及率では汎用性という点で分のある AFM に追い越されてしまった感のある STM ではあるが、スペクトロスコピーという面ではやはり確実に電圧をかけて電流を流すことができる利点が大きく、いまだ STM 健在なり、という印象を強く受けた。次回の SPS 会議はまた 3 年後に開催される予定であるとのこと、それまでに STM/STS を含む SPM スペクトロスコピーがどのような新しい展開を示すか、また何がホットな話題となっているか、非常に楽しみである。