
これからの 大学等 研究施設

第1編「物質科学編」

監修 有馬 朗人

社団法人 文教施設協会
株式会社 科学新聞社

た。なお室外冷却送水装置一式とそれを配置する室外の場所が必要である。装置室のスペースは60m²程度必要である。また装置室には空調をとりつける。

6.4.4 X線取扱の上での注意

X線回折装置使用に際しては、主として電離放射線障害防止規則に基づく以下のような手続きが必要である。

- 1) X線装置の使用する管理区域（0.3mSv/週になる恐れのある区域）を設け、これを表示、X線作業従事者およびX線作業主任者から許可を得たもの以外の人をたちいらせてはならない。
- 2) X線装置を使用する管理区域ごとに、X線作業主任者を選任する。
- 3) X線作業従事者は放射線防護具（防X線カバー、衝立て、防X線眼鏡、まえかけ）を使用する。
- 4) X線作業従事者は特殊作業健康診断を6ヶ月に一度受ける。
- 5) X線作業従事者はフィルムバッチを所定の位置につける（男：胸部、女：腹部）。

またX線の管理については、放射線障害防止管理規定により、線量当量限度が定められている。また装置の設置には人事院規則による手続きが必要である。

6.5 走査プローブ顕微鏡（STM、AFMなど）

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 長谷川 修司

6.5.1 表面科学と走査プローブ顕微鏡

表面科学とは、固体や液体などの表面に関する研究分野であり、固体・液体の内部では見られない特異な現象・物性を研究する物理・化学・生物・応用物理・工学などの広い範囲にまたがっている。日本では、例えば金属の表面処理（めっき、陽極酸化、化成処理、塗装、熔射など）の分野は表面技術協会がカバーし、粉体の表面現象（歯磨き粉化粧品、比表面積測定、帯電、焼結など）は粉体工学会と粉体粉末冶金学会が、液体の表面現象（洗剤、LB膜、凝集剤など）は日本化学会（コロイド界面分科会）が主に担当し、触媒の表面現象は日本化学会と触媒学会、電極の表面とその触媒特性に関しては電気化学会が、半導体の表面現象や薄膜の物理的現象などは応用物理学会（薄膜表面分科会）がカバーしている。更に固体と固体の界面現象である摩擦、摩耗、潤滑は日本トライボロジー学会と日本油化学会がカバーしている。これらの物理的基礎の研究は日本物理学会（表面界面分科会）が担当し、さらに、これら表面科学全体を網羅的にカバーしているのが日本表面科学会である。

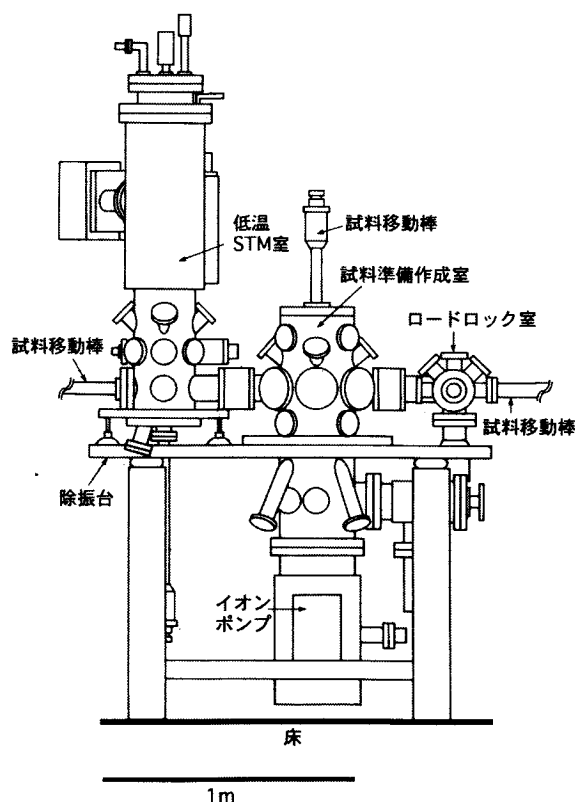
このような広範で盛んな研究活動の原動力は、触媒や半導体産業などへの寄与はもちろんのこと、基礎科学として興味ある研究対象を表面科学の分野が絶えず提供してきたという事実にある。特に、最近の実験技術の進歩によって、表面での現象や物性を原子や分子一個一個のレベルで解析できるようになり、「ナノサイエンス」および「ナノテクノロジー」の研究へとつながり始め、表面科学の研究をますます加速させる推進力となっている。

6.5.2 走査トンネル顕微鏡

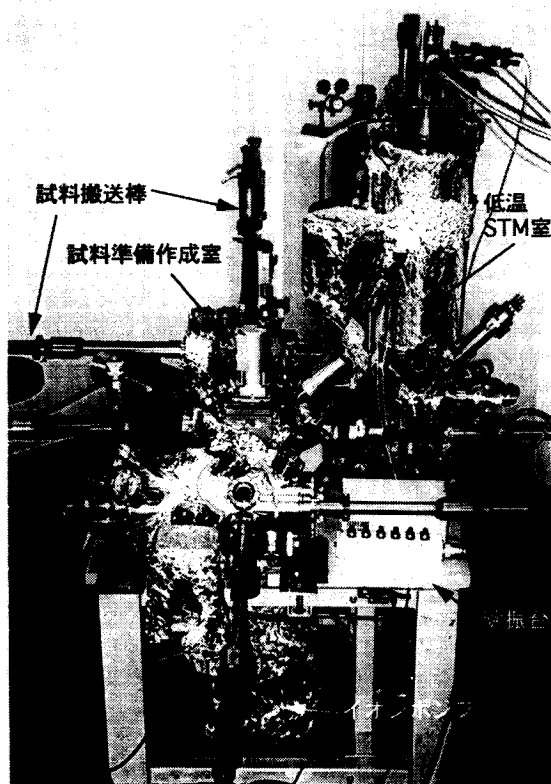
このような研究活動の中心的役割を演じる実験手法は、走査トンネル顕微鏡（Scanning Tunneling Microscope, STM）や原子間力顕微鏡（Atomic Force Microscope, AFM）に代表される、いわゆる走査プローブ顕微鏡（Scanning Probe Microscope, SPM）法である。この手法では、鋭く尖らせた針状のプローブ（探針）を試料物体の表面に極めて接近させ、そのプローブと試料

との間の相互作用を利用して、試料の局所的な物性を測定する。さらにそのプローブを試料表面に沿って走査することによって、測定された物性値の2次元な「地図」をつくることができる。たとえば、STMでは、プローブと試料との間に流れるトンネル電流を検出し、AFMではプローブと試料との間に働く微弱な力を検出して、試料の凹凸や電子状態などを測定する。SPMの最大の長は、これらの測定が原子・分子一個一個を見分けられる程の極めて高い位置分解能で行なえることである。通常のSTM装置では、試料表面平行方向に、分解能0.02nm程度を保持して1ミクロン四方程度の範囲でプローブを走査し、表面垂直方向の凹凸を0.01nm程度の分解能で検出する。この極めて高い分解能によって、試料表面上に吸着している一個一個の原子や分子をはっきりと映し出すことができるのである。さらに最近では、SPMのプローブを用いて、狙った原子・分子一個を「摘まみ上げ」て、それを所望の位置に並べることも可能となり、極限的な人工微細構造構築のツールとしても利用され始めている。

(図6)に典型的なSTM装置の概略図、(写真6)にその装置の写真を示す。試料表面上の原子や分子一個一個を見分けるほどの高分解能観察が可能なので、逆に原子や分子一個程度の極めて微量な汚染も問題になる。そのような汚染を避けるため、この装置のように超高真空中で動作するSTM装置が多い。普通STM観察を行う真空チャンバーは、試料表面を調整・準備する真空チャンバーと別になっており、その間で真空トンネルを介して試料を搬送する機構となっている。また、プローブや試料を大気中から導入するためのロードロックチャンバーを備えた装置も多い。全ての真空チャンバーや真空ポンプは空気バネ式の除振台の上に設置されており、総重量が約600kg、設置床面積がおおよそ3m×3mとなっている。この真空チャンバーの他に制御電源系がラック2本に収められている。観察時の試料・プローブ温度は室温の場合が多いが、この装置のように、液体窒素や液体ヘリウムなどの寒剤タンクを備えた装置で低温観察が可能となっている場



6図6 超高真空低温型STM装置の概略図



6写真6 超高真空低温型STM装置

合も多い。室温以上の高温観察は、試料に直接通電してジュール熱で加熱したり、傍熱ヒータで加熱したりする。このようにして、通常、試料温度が5Kから1000Kの範囲で測定可能となっている。

6.5.3 実験室の付帯設備など

設置実験室には、ロータリーポンプの排気ダクトや液体ヘリウムの排ガス回収管、取得した画像データなどの転送に必要なインターネット端子などが備えられている。また、この設置実験室は建物の地階に位置し、建物床の振動が極力少ない場所を選んで設置されている。さらには、室内の壁・床・天井には吸音材が張られており、音響周波数の振動も極力抑えている。室内の空調は静寂で、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の精度で気温を一定に保っている

SPMの原子分解能の観測を達成するためには、(1) 外界から伝わる擾乱振動の除去、(2) 電磁ノイズの除去、(3) 温度の安定性、(4) 試料表面とプローブを清浄に保つためのクリーンな環境、など特殊な実験環境が必須である。

(1) **除振と防音**：プローブと試料表面の間隔を0.1nmかそれより高い精度で一定に保つ必要があるため、床からの振動や声や音による空気の振動がプローブに伝わってしまうと、SPM動作が乱されてしまう。床振動の影響を除くには、空気バネによって振動の伝搬を低減した「除振台」の上に装置全体を載せ、さらに、プローブと試料近傍の走査ユニットを装置内部でバネ吊りなどによって振動除去している装置が多い。除振台および装置の総重量を500kgから1t程度にし、高周波振動に対する耐性を上げる。設置床の振動は、変位 $2\mu\text{m}$ 以下、加速度0.2gal以下程度が望ましい。周辺にロータリーポンプやクライオポンプなど、振動や音を発するものが動作していると、それによる振動を拾う場合がある。設置室の床・壁・天井には、吸音材などを使用して音響周波数の振動の低減をはかる。

(2) **電磁ノイズ対策**：通常のSTM観察では、 $1\text{G}\Omega$ 以上の高い入力インピーダンスの測定となるので、電磁ノイズに対する細心の注意が必要である。制御系の電源ラインにノイズフィルターを入れたり、バッテリー駆動にしたりする場合もある。アースは一点アースの原則を守り、第1種アースが望ましい。また、可能ならば、遮蔽率90dB程度以上（1GHz以下）の遮蔽率の電気磁気遮蔽ボックス（ルーム）に装置と制御系を収めると非常に効果的である。

(3) **温度制御**：通常の金属の熱膨張係数から計算すると、温度が 1°C 変化しただけで、通常の実験装置では $1\mu\text{m}$ 程度の伸び縮みがおこり、プローブと試料との相対位置の「熱ドリフト」の原因となる。そのため、観察中にはプローブ・試料付近を極めて高い安定度で一定温度に維持する必要がある。実験室の気温は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 程度の安定度が必要で、急激な気温変化は禁物である。空調器の振動やリレースイッチの開閉がノイズの原因となることがあるので注意を要する。試料・プローブ温度を低温に冷却して観測する場合、液体窒素や液体ヘリウムなどの寒剤が用いられるが、それらの排ガス回収管などの設備が必要である。

(4) **クリーンな環境**：試料表面やプローブ先端が汚染されると再現性の乏しい観測とならざるをえない。そのため、大気圧で動作するSPM装置でも、乾燥空気や不活性ガスを充填したボックスに収めて動作させる場合が多い。真空中動作のSPM装置でも、炭化水素系の残留ガスを極力抑えたクリーンな真空排気系を採用することが望ましい。また、クリーンルームが必ずしも必要というわけではないが、真空チャンバーなどを開けて作業をする場合に備え、清浄な環境が必要である。