



## 南任 真史

プロフィール：1966年東京都生まれ。95年東京大学大学院工学系研究科超伝導工学専攻修了。工学博士。92年日本学術振興会特別研究員、95年IBMアルマデン研究所客員研究員を経て、97年より理化学研究所表面化学研究室研究員。

# 金属原子による低次元微細構造の形成と発現する物性の制御

### 要旨

金属の構造を原子スケールで低次元化すると、電荷やスピンの密度波、スピン・電荷分離、コンダクタンスの量子化、バンドの平坦化による強磁性など、従来の三次元結晶の金属では観られない様々な現象の発現が知られている。こうした現象の理論的研究は進んでいるが、その観察例はそれ程多くはない。本研究では、原子スケールの低次元微細構造を色々な金属元素について自由に創り出す技術を確認し、人工的に形成した構造の物性を精密かつ系統的に観測することを目的とした。低次元系に特有の物理現象について理解を深め、最終的にはその構造の制御により発現する物性を制御することを目標とした。

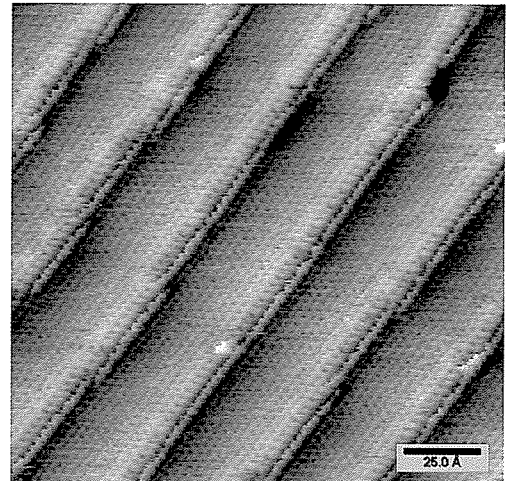
### 金属一次元構造の形成とその電子状態の観測

金属の低次元構造として、本研究では一次元構造にターゲットを絞り、まず、その形成法の確立を目指した。固体の清浄表面のポテンシャルを周期的に変化させ、そこに金属を微量蒸着し、拡散させ、ポテンシャルミニマムでトラップさせることにより、平行に並んだ一次元構造を形成することが可能である。固体表面のステップサイトは、吸着種にとってポテンシャルミニマムを与える。ごく僅か結晶軸方向から角度をずらして切断・研磨して結晶面を出すことにより、ある間隔ではほぼ平行にステップの走る表面構造を得ることが出来る。

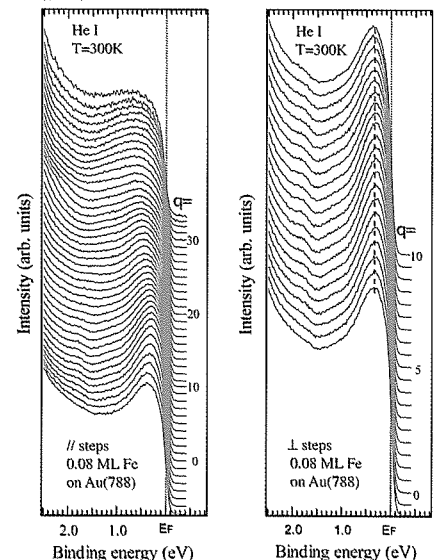
用いる基板としてはまず、形成した構造に一次元金属の性質を持たせるために、非金属のペロブスカイト型酸化物SrTiO<sub>3</sub>を用いることにした。表面を単原子層ステップのみが存在するレベルまで平坦化し、微傾斜研磨基板において上述のような表面構造が得られた。MBEを用いて金属を微量蒸着しAFM/FFMを用いて観察した結果、金属がマクロには一次元構造を形成することが確認された。しかし、表面のSTM観察を行った結果、SrTiO<sub>3</sub>の(001)面はその清浄化の条件により様々な超構造をとり、しかも非常に狭い領域に複数の異なる超構造が現れるため、原子レベルでは表面は均一にならず本研究の目的には適さないことが判った。この超構造は表面に吸着しているSr原子によって形成されていると考えられる。そこで、複酸化物ではなくルチル型構造をとるTiO<sub>2</sub>を基板に用いることにした。(110)表面において比較的均一な表面構造が得られ、現在、上述の目的達成に近づきつつある。

基板に金属を用いた場合でも、s電子系の下地の上にd電子を持つ遷移金属を並べれば、磁性に絡んで面白い現象が起こる可能性がある。Auを基板に用いてFe原子で一次元構造を形成する実験を行った。Au(111)面の微傾斜面であるAu(455)面の表面を清浄化すると、単原子層ステップが平行にかつ等間隔に走る表面が得られる。この上にFeを微量蒸着した結果、目的としていた幅が原子1~2個程度の一次元構造が形成された(図1)。一次元構造の幅は蒸着量を制御することにより、自由にコントロール出来る。この構造の電子状態を調べるために、角度分解型光電子分光測定を行った。ステップと平行な方向に測定したスペクトルに現れたFeの3dバンドのピークは分散を示すのに対し、ステップと垂直方向に測定したスペクトルではまったく分散を示さないことがわかった(図2)。このことは、Auのステップに配列しているFeの電子状態が、非常に強い一次元性を有していることを直接示している。この場合、Au(111)面にはもともと二次元的な電子状態を持つ表面単位があり、これを平行に走るステップが壁となってその間に電子を閉じ込めている。このためAu(455)面ではAuの6s電子が準一次元電子系を形成しており、その上に配列したFeの3d電子も基板との相互作用によって低次元性を奪われなかったものと考えられる。これは、金属基板の上に並べた異種金属の低次元構造が低次元金属としての性質を示す興味深い例であり、形成した構造

(図1)



(図2)



の磁気的特性や、Fe以外のものを配列した場合の電子状態などを解明すべく実験を進めている。

### 極低温強磁場印可型超高真空STM装置の開発

本研究では形成した金属の低次元構造を直接観察するための、STM装置の製作を含めて研究を進めている(図3)。この装置は、室温から0.3Kの温度範囲で、最大8Tまでの磁場を印加して、 $10^{-11}$ Torrの超高真空中での観察を可能にするもので、ハードウェア・ソフトウェア・エレクトロニクス全てを自作する方針で装置の開発を行ってきた。この装置では個々の原子のスピンを直接観察することを大きな目標としている。超伝導金属をSTMの探針に用いてこれに磁場を印加し、超伝導に特有な電子状態とゼーマン分裂の効果を組み合わせることでスピン偏極源とする。極低温での測定が可能にする高いエネルギー分解能と、100%のスピン偏極率から高い測定感度が期待出来る。現在、装置はほぼ完成し、低温での動作の確認やノイズの低減を行い、修正や改良を加えているところである。

(図3)

