

超高真空STMによる金属ナノ構造体の創製と量子効果測定



超高真空場ステーション
藤田 大介

ナノメートルスケールの世界では量子力学的な効果が顕著になり、このスケールの構造(ナノ構造)特有の新しい物性が観察される可能性があります。ナノ構造においては、サイズ効果、単一電子効果、電子波の干渉効果などに起因する様々な現象が存在するため、画期的な量子デバイスとしての応用が期待されています。ナノ構造体を創製・解析する手段としては原子の突起を有する走査トンネル顕微鏡(STM)が必要であり、表面の清浄性を長時間保つためには超高真空環境が必要となります。当研究所では 10^{-10} Pa以下の超高真空環境において動作するSTMを用いてナノ構造体を人工的に創製し、ナノ領域におけるメゾスコピックな物性や量子効果の発現に関する研究を行ってきました。現在までに得られた成果のいくつかを以下に紹介します。

図1は金属ナノクラスターを清浄なSi(111)再構成表面上に創製した例です。チップと表面の間に印加する電圧パルス条件を最適化することにより、純金のチップ先端から金原子をSi表面に電界誘起移送することができました。これにより原子レベルで清浄度が確認された表面上の任意の位置に金のナノドット(点状のナノ構造体)を創製することに世界で初めて成功しました。電圧パルス法はナノドットを創製することにおいて優れていますが、ドット同士を連結するのは不得手です。この欠点を克服するために、新たにZ軸ビエゾに対してパルス電圧を印加しナノ領域の点接触を形成させることによって安定にナノドットを付着させる手法(Zパルス法)を開発しました。これにより互いに連結した金のナノドット列(ナノワイヤ)

を創製することが可能となりました。これらナノスケールのドット及びワイヤからなる構造体を表面上に配置することにより、電子一個を単位として駆動可能な単一電子素子を創製することも可能となります。現在、ナノデバイスを原子レベルで清浄な表面上に創製し、かつその電気特性を測定するための超高真空一貫システムを開発しております。

次にSTMにより量子効果を測定した例を紹介します。我々は、2次元性の強い表面状態を有する固体表面を低温でSTM観察することにより、フェルミ面近傍の2次元自由電子波の引き起こす干渉効果を可視化することに成功しました。図2はこのような2次元フリーデル振動を金の(111)再構成表面上で観測したものです。単原子層のステップ近傍において顕著な振動構造が見えます。我々はこのSTM像を2次元フーリエ変換処理することにより逆格子空間における金の2次元フェルミ面を抽出することに初めて成功しました。この手法はこれまで不可能であった孤立したナノ構造体におけるフェルミ面の解析手段となりうる点で画期的なものです。

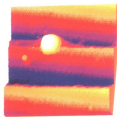


図1 原子レベルで清浄なSiの表面上に電圧パルス法により創製した金のナノドット

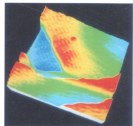


図2 金の(111)再構成表面上の2次元自由電子波の干渉による状態密度の振動