

先端材料物性学講座 先端材料物性学分野

STM による材料表面の原子レベル評価

(1) Au (111) 炭素吸着表面の STM 観察

金属表面上での炭素原子の挙動はグラフェン（単層グラファイト）やカーボンナノチューブ（CNT）の生成過程に密接に関連していることから近年多くの研究が進められている。従来、グラフェンや CNT の生成には Ni や Co といった金属が使用されてきた。これらは比較的炭素と強い結合を作る金属である。ところが、最近 Au, Ag, Cu といった炭素と強い結合を作らない金属においても CNT が生成することが見出された。このようなことから、さまざまな金属上に炭素吸着をした表面の構造を調べる研究に着手した。手始めとして本年は Au (111) 表面へ炭素吸着を行い、STM（走査トンネル顕微鏡）観察を行った。STM 観察の結果、いくつかの異なるサイトが観察されることが明らかになった。このうち最も特徴的なサイトは直径約 0.5 nm の“俵型”をしたサイトである。STS（走査トンネル分光）の結果、このサイトはこれまでに報告されている C36 フラーレン/Au (111) の電子状態と類似した電子状態を持っていることが明らかになった。現在このサイトの生成過程・条件に関して慎重に研究を進めている。

(2) SOI 基板を用いたナノギャップ作成の試み

ナノメートル以下の間隙を持った接合は、単分子デバイスの研究の舞台であり、このことから将来的には実用的にも重要性が増す構造であると考えられる。本研究では SPM（走査プローブ顕微鏡）で観察可能なナノギャップの作成を試みている。SPM が使用できれば、接合の局所的な電子状態さらには電流を流した状態での局所的な電圧降下（電子散乱）など、有用な情報が得られると考えられる。しかしながら SPM 観察のためには基本的に原子レベルに近い平坦な表面が必要である。このようなことから本研究では SOI（silicon on Insulator）基板を用いて、ナノギャップを作成することを試みている。我々の構造では SOI 基板の BOX 層（酸化膜層）がギャップの右と左を分ける絶縁層となる。シリコンを使用することで、比較的簡単に原子レベルの近い平坦な表面を得ることができる。ギャップ間隔を狭める方法としては比較的低温での Ge 蒸着による酸化膜上でのアイランド成長を利用する。現在、ギャップ部において 10 nm 程度の距離での局所的な電圧降下を観察することに成功しており、より良く定義された構造の作成の方法を模索している。

原子・分子サイズ接点の研究

(1) 単原子コンダクタンスに対する水素の影響

2つの電極が1個の原子あるいは1本の原子列で連結された単原子接点は化学的に活性であり、気体分子を吸着しやすいとされている。従来の実験ではガス雰囲気中で単原子接点を形成する手法が用いられており、接点形

成の際にガス原子（分子）が接点に取り込まれて純金属の単原子接点よりも低いコンダクタンスの接点が形成されることが明らかにされている。今回我々はガス雰囲気中で接点を形成するのではなく、予め単原子接点を作成してからガスを導入して、接点とガス原子との相互作用によりコンダクタンスがどのように変化するかを調べる実験を行った。接点金属は Au、導入ガスは水素であり、液体ヘリウム温度で Au 単原子接点（コンダクタンスは $1G_0$ 、 G_0 はコンダクタンスの量子単位）を作成・保持しておいてから水素を導入し、コンダクタンスの時間変化を観測した。従来のように水素雰囲気中で Au 単原子接点を作成すると、水素が接点に取り込まれてコンダクタンスは $1G_0$ から $0.5G_0$ 以下に低下する。ところが Au 単原子接点を作成してから水素を導入するとコンダクタンスは数倍に上昇し、その後低下して最終的に接点は破断した。コンダクタンスの上昇幅にはばらつきがあるが、コンダクタンスの上昇とその後の接点破断は再現して数多く観測された。コンダクタンスの上昇は全く予想外の現象であり、興味深い機構が寄与している可能性もある。このため現在も原因究明のための研究を継続して行っている。

(2) Au 合金単原子接点の破断電圧

平成19年度に Au および Cu 単原子接点の破断電圧測定を行ったのに引き続き、20年度に AuAg 合金の単原子接点の破断電圧測定を行った。実験方法等は Au の場合と同様であり、実験環境は室温・超高真空中である。17at%Ag, 31at%Ag, 55at%Ag, 73at%Ag の4種類の AuAg 合金試料について測定を行い、31at%Ag, 55at%Ag の試料では破断電圧分布が2つのピークを示すことが見出された。1V 付近のピークは Au 単原子接点の平均破断電圧に、0.5~0.6V 付近のピークは Ag 単原子接点のそれにほぼ一致していることから、2つのピークはそれぞれ接点原子が Au または Ag であるときの破断電圧に対応していると考えられる。この実験結果は合金単原子接点の破断電圧が接点原子の種類に依存して局所的に決定されることを示唆している。

(3) ジチオアミド分子架橋のコンダクタンス

首都大学東京の杉浦健一先生との共同実験として、同先生から試料を提供いただいたテレフタルジチオアミド分子を Au 電極間に架橋してコンダクタンス測定を行った。この分子は Au 電極に対してアミノ基とチオール基の2つの結合部位を有するため、高コンダクタンスが期待される分子である。測定では $0.003 - 0.005G_0$ 程度のコンダクタンスが観測されている。この値は結合部位だけが異なるベンゼンジメタンチオール分子のコンダクタンスより約1桁高く、ジチオアミド基が Au 電極に対して有効な結合部位であることを示している。

教授 酒井 明
准教授 黒川 修