

キーワード：走査型プローブ顕微鏡、STM、AFM、表面、薄膜

概要

近年、ナノテクノロジーは、広範な分野で、次世代の産業や社会に大きな影響を与える基礎技術であるとして重要領域の一つに指定され、その技術が次世代の糧になるだろうと予想され、研究が開始されています。そのナノテクノロジー技術の進展に必要な装置として走査型プローブ顕微鏡(Scanning Probe Microscope : SPM)があります。これは走査型トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscope : STM)、原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope : AFM)、磁気力顕微鏡(Magnetic Force Microscope : MFM)など十数種類の類似顕微鏡の総称として用いられています。これらの装置はいずれも探針(プローブ)を物質にnm(ナノメートル: 10^{-9} m)オーダで近づけたとき探針と物質間に発生する相互作用(トンネル電流、原子間力、磁気力など)を検出するもので、原子・分子観察、表面の構造、表面原子配列、磁区の観察などナノメートルオーダでの微細構造を直接観察できる強力な分析機器です。最近ではこれらの顕微鏡を用いて原子・分子を加工する手段としての利用が盛んに検討されています。

ここでは当所に設置されているSTMとAFMを用いて薄膜表面を観察した2、3の例について示します。

走査型トンネル顕微鏡(STM)

STMはIBMエューリッヒのBinnigとRohrerらによって1982年に開発された顕微鏡です。金属(タングステンまたは白金-イリジウム合金)の探針を導電性の試料にnmオーダまで近づけて数mVφ数Vの電圧を印加すると、試料と探針間にnAオーダのトンネル電流が流れます。その探針を一定の高さにして圧電素子により走査すると、表面の局所的な凹凸に対応してトンネル電流値の大小が生じます。また、測定されるトンネル電流値を一定になるように探針を制御して走査すると、試料表面の凹凸に対応して探針が

上下し、その値が表示されます。得られたデータを表示すると、いずれも表面倦状に対応した情報が得られます。Binningらにより最初に得られた像はシリコン(Si)表面の7x7再配列構造(表面の構造がバルクの構造に比べ7等分した位置に電子回折スポットが現れたことからこのように呼ばれている)でSi原子の配列を直接観察したものと大変有名です。図1は当所のSTM((株)ユニソク製)で観察したSi(111)表面の7x7再配列構造です。

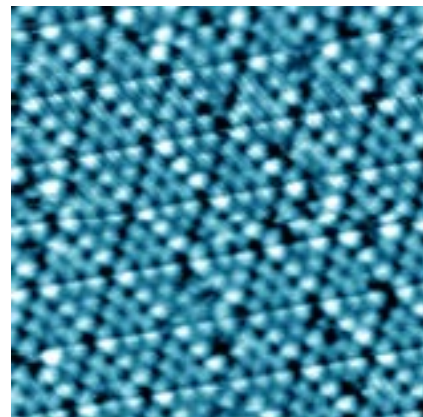


図1 Si(111)表面の7x7再配列構造

STMによりSi原子の規則的な配列を直接観察できることが分かります。表面がバルクと違う構造を示すのは表面エネルギーを最小とするために原子間で再構成を行うためです。しかしながら、これらの測定は超高真空中($\sim 10^{-8}$ Pa)でSi清浄表面を形成した後でないとい観察できません。大気中に放置した状態の実表面は吸着不純物(汚れ、吸着ガスなど)や表面変質層(酸化膜層、非晶質層)で覆われており導電性不良となりやすいため、一般的にSTM測定には清浄な試料表面を使用します。薄膜はめがね、レンズをはじめセンサや電子デバイスなど今日あらゆる所に使用されています。このような薄膜表面の構造評価は一般的に走査型電子顕微鏡(SEM)で

行っていますが、結晶粒界の詳細な形状や表面の微細な構造はSTMを使用すれば簡単に観察することが可能です。図2はイオンビームスパッタ法で作製した厚さ4nmのPd薄膜表面のSTM像を示します。

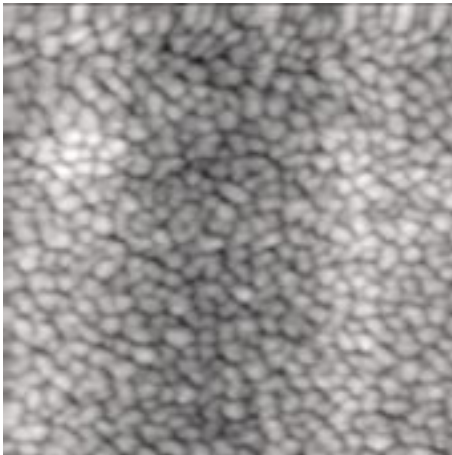


図2 Pd薄膜のSTM像(200nm×200nm)

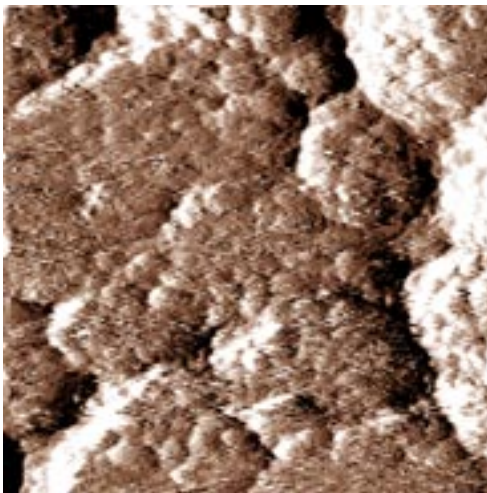


図3 窒化銅薄膜のSTM像(119nm×119nm)

図2から10nm程度のPdの結晶粒が互いに接触し、島状膜とはならず均一な薄膜を形成していることが分かります。この膜の抵抗率(2.7×10^{-4} cm)から均一な膜であることを裏付けています。図3は窒化銅薄膜の表面STM像を示します。図から30～60nmの大きさの結晶が観察できるとともに、その結晶粒内にも0.7nmの大きさの微細な構造が観察できます。

走査型原子間力顕微鏡(AFM)

AFMは探針先端と試料表面との間に働く原子間力をカンチレバー(微小な板バネ)の変位から測定し、探針を表面に沿って走査することにより表面の像を形成します。近接する二つの物体間には必ず力が作用するため、AFMは試料に対する制約が原理的にありません。そのためSTMでは測定できなかった絶縁物の表面も観察できます。試料表面の構造を高分解能に観察するためには、カンチレバーの特性(先端形状、共振周波数など)が非常に重要で、SiやSi₃N₄製のカンチレバーが使われています。微小変位の検出にはカンチレバー背面で反射されるレーザー光の角度変化からカンチレバーの変位を検出する光てこ方式が多く採用されています。図4は当所のAFM(OMICRON社製)で測定した透明導電膜として使われているITO(Indium Tin Oxide)薄膜のAFM像を示します。同方向にそろった結晶粒の集合体により表面が区分されている様子が認められます。

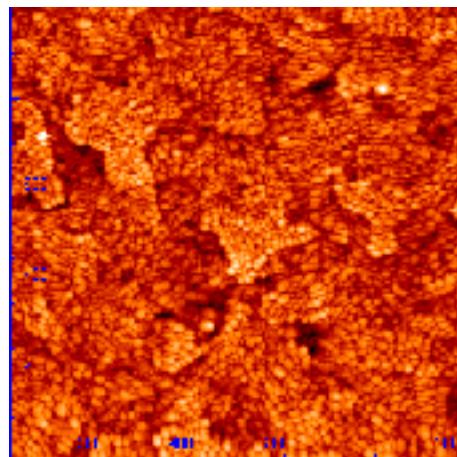


図4 ITO薄膜のAFM像(1000nm×1000nm)

走査型原子間力顕微鏡

以上のように、走査型プローブ顕微鏡は表面の微細な構造を観察するための有用な装置です。今後ナノテクノロジー技術には欠かすことのできない装置であり、当研究所ではこの装置により迅速な研究・開発を支援します。