

GA 担当教員 研究等紹介①



九州大学
大学院総合理工学研究院・教授
副プログラムコーディネーター

水野 清義

固体表面の構造を原子レベルで解明

固体表面はバラエティに富んだ構造が現れる場として興味深く、ナノサイエンス・ナノテクノロジーの進展と共にその重要度が増してきています。我々の研究室では、固体表面における原子・分子の構造を原子レベルの分解能で解析・観察することにより、その多様性を明らかにし、さらには新しい物性(電子状態や磁性など)の発現へと導くことを目標としています。また、表面ナノ構造の作製、電子状態や構造解明のための新しい測定手法の開発も行っています。

一例として図1にシリコンカーバイド(SiC)表面上の酸化シリコン膜を示します。SiC結晶をある方向に沿って切断すると、図1(a)のように真空に接する表面が現れます。結晶の切断に伴って、固体内部では結合していた「手」が切れて、「未結合手(ダングリングボンド)」が生じます。シリコンと炭素は固体内部で4本の結合手を持っていて、お互いに結合を作っていますが、表面では真空側にのびた手が余ってしまい不安定です。デバイス開発にとっては、この表面に欠陥の少ない酸化シリコン膜を形成させることが重要です。図1(b)は清浄化した表面に酸化シリコン膜が形成した場合で、比較的安定な構造ですが、まだ未結合手が残っています。そこで、我々のグループでは清浄化したSiC表面に窒素を導入し、図1(c)のような酸化シリコン膜を形成させることに成功しました。途中で3配位の窒素原子が入ったことにより、未結合手がゼロとなり、大気中に取り出しても安定な表面構造ができあがりました。

表面の構造解析には低エネルギーの電子線を用いています。X線と同様に電子線も結晶格子と同程度の波長を持つため、回折現象を利用して結晶表面の構造解析を行うことができます。特に、低エネルギーの電子線は散乱断面積が大きく表面数原子層までしか侵入しないため、表面の構造解析に最適です。図2(a)、(b)はSiC上に形成した酸化シリコン膜の低速電子回折(LEED)パターンです。試料表面は一度大気中に取り出してから真空装置に入れて、なんの処理もせず鮮明な回折パターンが得られており、酸化シリコン膜がとても安定であることを示しています。さらに、電子線のエネルギーを変えながらスポット強度変化を測定し、計算と比較することにより、単位格子中の原子の座標を0.01nm程度の精度で決定できます。図2(c)は実験と計算の比較で、図1(c)はこのようにして決定した構造モデルです。

表面の原子を直接観察する手法として、電界イオン顕微鏡(FIM)と走査トンネル顕微鏡(STM)も用いています。FIMを用いると、

STMのプロブや電界放出電子源に使用される先鋭化したタングステン針先の原子配列を観察できます。図3(a)は電界蒸発によって清浄化したタングステン針のFIM像です。ここへ酸素ガスを導入すると、酸化タングステン膜が針先周辺部に形成し、電界によって爆発的な脱離を繰り返して(b)、(c)、(d)、(e)と尖っていくことがわかりました。最終的には(e)のように先端に1個のタングステン原子が吸着した構造にすることができます。(f)はそのボールモデルです。もともと(a)の状態では先端が半球状で曲率半径10nmでしたが、先鋭化後(e)の状態では曲率半径は3nmまで小さくなり(g)のように先端が円錐状に尖っています。先鋭化した針は微小領域のプロブや電子線源として利用できます。現在、この針からの電子線を用いた高分解能LEED装置の開発を進めています。

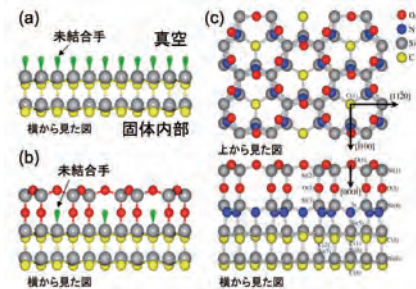


図1. (a)SiC(0001)切断面、(b)酸化シリコン膜の表面、(c)酸化シリコン膜の表面構造モデル。

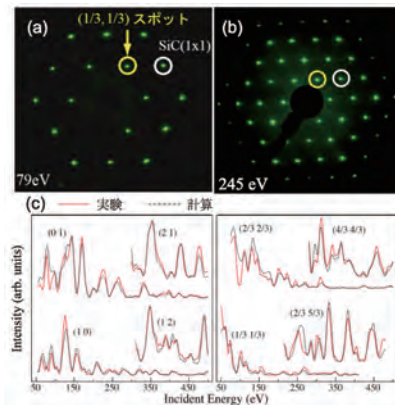


図2. (a)、(b)酸化シリコン膜のLEEDパターン、(c)スポット強度変化の比較。

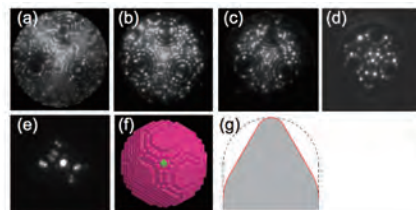


図3. (a)-(e)タングステン針先のFIM像。酸素導入により先鋭化。(f)先鋭化後の針先のボール模型。(g)針先のモデル(側面図)。