

論文内容の要旨

博士論文題目 「オージェ電子分光法による元素分析機能付き

走査型トンネル顕微鏡の開発」

氏 名 宮武 優

(論文内容の要旨)

本論文は、走査型トンネル顕微鏡 (STM) 装置内で、STM の走査探針から放出される電界放出電子を励起線源としてオージェ電子分光を行う、元素分析機能付き走査トンネル顕微鏡の開発に関する研究である。STM は、非常に高い空間分解能で表面観察を可能とする顕微鏡であるが、STM を用いた直接的な元素分析装置はこれまで開発されていなかった。STM による表面観察において、表面を構成する元素を STM 装置で簡便に知ることは材料開発や物性研究において高い要求がある。

STM では、バイアス電圧を印加した試料表面と走査探針を 1nm 近くまで接近させたときに流れるトンネル電流に基づいて表面形状を観察する。この時、トンネル電流には表面を構成する物質の浅い準位の電子状態が反映される。この浅い電子準位は原子間の結合によって生じるもので、元素は同じでも化合物の種類によって変動するため、トンネル電流により直接的に元素を同定することはできない。元素種の同定には結合の影響を受けない内殻の電子の情報を得る必要がある。その方法のひとつとして、内殻電子を励起するだけ十分高いエネルギーを持った電子を照射し、そのとき試料から放出されるオージェ電子のエネルギーを測定し、元素分析を行うオージェ電子分光法がある。本研究の目的は、このオージェ電子分光に必要となる高いエネルギーの電子源として STM 探針を用い、オージェ電子分光を STM 装置自身で可能にすることである。

本研究では、まず LEED-Augur 型 (半球型) の分析器を備えた STM 装置を試作し、それを用いて上記概念に基づくオージェ電子分光に関する研究を行った。

STM 探針からオージェ電子分光に十分なエネルギーを持った電界放出電子を得るためには、それだけ大きな負の電圧を探針に印加する必要がある。その結果、試料から放出されるオージェ電子が探針によって形成される電界によって試料側へ押し戻され、正確なエネルギーで電子を検出することができず、オージェ電子分光に基づいた元素分析を行うことができないことが明らかになった。そこで電界を完全に排除し、なおかつ十分なエネルギーを持った電界放出電子を放出する特殊な探針を開発した。これにより、探針から放出された電界放出電子により、電界のない条件でオージェ電子分光を精度良く行うことが初めて可能になり、STM 装置内での元素分析が可能な装置を実現できた。将来、元素分析の空間分解能を 100nm 程度に高くして元素マッピングを可能にするレンズ電極を組み込んだ特殊探針の設計が計算により求められた。

(論文審査結果の要旨)

走査型トンネル顕微鏡 (STM) に代表される走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は、非常に高い空間分解能で表面観察を可能とする顕微鏡であり、プローブと試料間のさまざまな相互作用に基づいて、試料表面の物性計測を可能とした機能的な SPM が開発されてきた。しかし、SPM には元素識別能力がないため、見ている領域の元素分析を行うことは不可能であった。SPM で観察している表面の元素を同定することは、表面物性研究や工学的応用研究において非常に重要であり、必要とされている。本博士論文は、STM 装置で元素分析を可能とする新しい装置を開発することを目的としたものである。具体的には、走査型トンネル顕微鏡 (STM) 装置内で、STM の走査探針から放出される電界放出電子を励起線源としてオージェ電子分光を行う、元素分析機能付き走査型トンネル顕微鏡の開発を目指し、以下のような優れた技術的成果を得た。

LEED-Augер 型 (半球型) の分析器を備えた STM 装置を試作し、それを用いたオージェ電子分光の実験と、その軌道計算シミュレーションを行った。STM 探針からオージェ電子分光に十分なエネルギーを持った電界放出電子を得るためには、それだけ大きな負の電圧を探針に印加する必要があるが、その結果、試料から放出されるオージェ電子が探針によって形成される電界によって試料側へ押し戻され、正確なエネルギーで電子を検出することができず、オージェ電子分光に基づいた元素分析を行うことができないことが明らかになった。つまり、これまで他の研究者が失敗していた原因がこの電界であることを明らかにし、電界を完全に排除し、なおかつ十分なエネルギーを持った電子を放出する特殊な探針の開発が必要であることがわかった。そこで、軌道計算に基づき、シールド電極を備えた特殊探針を作成し、試料近傍の探針による電場の形成を排除することに成功した。このシールド電極を備えた特殊探針と円筒鏡型電子分光器を用い、システムを超高真空装置に接続することにより、原子像を確認した Si (111) 表面に対するオージェ電子分光において、明確な Si のオージェシグナルを精度良く得ることに成功した。

以上のように、本論文は従来不可能であった STM 装置内での元素分析を初めて可能にしたものである。小型装置で原子像観察から元素分析までできる強力な分析器の実現を可能にしたものであり、基礎科学における解析にとって極めて有意義であるのみならず、工学的に非常に広い応用分野を切り開いた価値の高いものである。よって審査員一同は、本論文が博士 (工学) の学位論文として価値のあるものと認め、審査結果を合格とした。