

氏 名	くろ かわ しゅう 黒 川 修
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3650 号
学位授与の日付	平 成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	走査トンネル顕微鏡による金属・半導体表面のトンネル障壁に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 酒 井 明 教 授 長 村 光 造 教 授 松 重 和 美

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は走査トンネル顕微鏡（以下 STM）を用いて金属・半導体表面における電子のトンネル障壁高さ（バリアハイト、以下 BH）を原子レベルの空間分解能で研究した結果をまとめたものであり、8章からなっている。

第1章は序論であり、STMとその表面研究への応用の特徴について概説するとともに、論文全体の目的と構成が述べられている。

第2章ではBHの本質とその探針—試料間距離およびバイアス電圧に対する依存性、並びに探針汚染に対する敏感性が論じられ、特に探針—試料間の相互作用がBHに与える影響が詳述されている。また、吸着原子と下地との間に起きる電荷移動と誘起双極子の向きに応じて、BHが局所的に増減する機構が説明されている。更に表面の起伏がBHに見かけの空間変化を与えることを示し、その大きさを評価する表式を導出することに成功している。

第3章の前半では超高真空STM装置およびSTM—BH測定回路の仕様と特徴が紹介され、後半ではBHイメージングの具体的な実施方法と注意点が述べられている。接合距離変調型のBHイメージングでは、探針とスキャナー電極の容量結合によって変調信号がトンネル電流に廻りこみ、BHに大きな系統誤差を与える。本研究はこの容量結合の問題が探針の適切な静電遮蔽によって解決できることを明らかにし、BHイメージングにおける静電遮蔽の重要性和有効性を実証している。

第4章ではSi(111)7×7酸素吸着面におけるBHイメージングの実験結果が述べられ、STM像で暗点に見える酸素吸着サイトと輝点のサイトの何れにおいても、BHが増加することが見出されている。この結果は、表面から電気陰性度の高い酸素原子への電荷移動によって説明され、酸素吸着による仕事関数の上昇とも合致している。また酸化の進度が異なるサイトではBHの増加量も異なることが明らかにされている。

第5章では、Si(001)2×1表面およびGe(001)2×1表面を取り上げ、Si(001)清浄表面ではC型欠陥サイトの中心でBHが低下していることを見出して、この欠陥サイトで何らかの電荷移動が起きていることを示唆している。またBH変化の大きさから、C型欠陥の酸化したサイトと未反応サイトを識別することに成功している。一方Ge(001)酸素吸着面では、吸着酸素原子は表面原子よりも上方に位置しており、酸素吸着サイトでBHは増加しているとの結論を得ている。いくつかの吸着サイトで観測されたBHの減少は、探針汚染が原因であると推定されている。また酸素吸着Ge(001)表面を加熱すると、100 nmに及ぶ長い直線状のダイマー空孔列が形成されることを見出している。

第6章では、KおよびCsを吸着させたSi(111)7×7表面のBHイメージングの実験結果を論述し、KおよびCs吸着サイトでBHが減少していることを明らかにしている。この結果は電気陰性度の低いアルカリ原子から表面への電荷移動によって説明され、特にK吸着サイトでは実験結果から妥当な大きさの電荷移動量が得られている。しかしBH変化のバイアス依存性を説明するためには、吸着表面のバンド構造を考慮する必要があることを指摘している。またトンネル分光の結果を基に、K吸着Si(111)表面で従来報告されていた異常な非占有状態STM像は、探針の汚染による効果であることが明らかにされている。

第7章では、Au(111)再構成表面のミスフィット転位において、転位芯の不均一な歪に伴う電荷移動のためにBHが転位線のところで局所的に低下することを指摘し、BHイメージングを用いて、予想通りBHが転位線で局所的に低下していることを実証している。さらにBHの低下量が理論値とおよその一致を示すことを明らかにしている。またトンネル分光やBHのバイアス電圧依存性の測定から、BHイメージングにおける探針状態の変化の有無を判断できることが例証されている。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、金属および半導体表面における電子のトンネル障壁高さ（バリアハイト、以下BH）の空間分布、特に化学吸着や表面欠陥によって誘起される局所的なBHの変化を、走査トンネル顕微鏡（STM）を用いて原子スケールで解明した研究の成果をまとめたものであり、得られた成果の概要は以下のとおりである。

1. BHの空間分布を観察するSTM-BHイメージング法では、探針とスキャナー電極間の容量結合がBHに大きな系統誤差を与えることを指摘し、探針の適切な静電遮蔽によってこの問題を解決してBHイメージングにおける静電遮蔽の重要性を実証した。

2. Si(111)表面に酸素・カリウム(K)・セシウム(Cs)を微量吸着させた表面について、個々の吸着サイトにおけるBHの増減を原子分解能で観察し、酸素の吸着サイトではBHが増加し、K・Csの吸着サイトでは逆にBHが低下することを明らかにした。また、吸着原子とSi原子の間の電荷移動を考えることによってBHの実験結果に対する説明を与え、特にK吸着系では、実験結果から妥当な大きさの電荷移動量が得られることを示した。

3. Ge(001)表面の主要な酸素吸着サイトではBHが増加することを見出し、妥当な吸着構造として、吸着酸素原子が表面原子よりも上方に位置している原子配置を提案した。

4. 金の(111)再構成表面のミスフィット転位では、転位芯での電荷移動のためにBHが転位線のところで局所的に低下することを指摘し、BHイメージングによって、実際にBHが転位線で局所的に低下していることを実験により実証した。

5. 探針への表面原子の付着がBHの測定値に与える影響について詳細な検討を行ない、特に従来報告されていたK吸着Si(111)表面の異常なSTM像が、探針への原子付着による効果であることを明らかにした。

以上要するに、本論文は表面のトンネル障壁とその原子スケールの局所変化に関して新規且つ詳細な知見を与えるものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また平成14年1月28日、論文内容とそれに関連した試問を行なった結果、合格と認めた。