



Title	シリコン表面における原子ステップの挙動に関する研究
Author(s)	須藤, 孝一
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3155359">https://doi.org/10.11501/3155359</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	須藤孝一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第14605号
学位授与年月日	平成11年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	シリコン表面における原子ステップの挙動に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 岩崎 裕
	(副査) 教授 笠井 秀明 教授 川上 則雄 助教授 小松 雅治 講師 斎藤 誠慈

### 論文内容の要旨

本論文は、結晶表面における原子ステップの挙動の理解を目的としており、超高真空走査型トンネル顕微鏡(STM)によりシリコン表面上の原子ステップを観察し、これらの実験結果を原子ステップを単位とした熱力学・統計力学理論に基づいて解析した結果をまとめたものである。

第1章では、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、本研究の基礎となる結晶表面および結晶表面上の原子ステップに関する熱力学・統計力学理論について概説している。

第3章では、solid-on-solid モデルと呼ばれる微視的な表面モデルのモンテカルロシミュレーションを行い、微斜面における表面の高さ相関関数および原子ステップの揺らぎの熱力学的な性質について述べている。

第4章では、Si (113) 微斜面において原子ステップ間の引力的な相互作用によって起こるファセッティングについて、STMを用いて実験的に調べている。微斜面は、傾斜方位と傾斜角によって指定されるが、Si (113) 微斜面のファセッティング温度が傾斜角だけでなく傾斜方位にも依存することを見出している。また、ファセッティング過程でのSi (113) テラス幅の時間発展に関する知見について述べている。

第5章では、Si (113) 表面においてファセッティング温度近傍で共存する1原子層から4原子層の高さの原子ステップについてSTM像からステップ相関関数を測定し、原子ステップの高さと原子ステップの曲げに対する固さであるステップスティフネスとの関係を調べている。その結果、ファセッティング温度近傍ではステップスティフネスがステップの高さに比例していることを見出している。また、テラス・ステップ・キンクモデルに基づいた理論的考察を行い、実験結果についての定性的な説明を提案している。

第6章では、Si (113) 表面のSTM像から原子ステップに生じたキンクの長さの分布を求め、ボルツマン統計に従った解析によってキンクハミルトニアンの評価を行っている。Si (113) 表面の原子ステップではキンクの形成に要するエネルギーは単純にキンクの長さに比例しておらず、比例関係が成立している場合と比べ長いキンクのエネルギーが大きくなっていることを見出している。

第7章では、本研究で得られた研究成果をまとめ、今後の展望について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

量子デバイス等の次世代デバイスの実現に向けて、ナノメートルスケールの構造を結晶表面に精度良く形成する技術が重要となっている。ナノメートルスケールの構造形成技術を確立するうえで、結晶表面上の原子ステップの配列や揺らぎを制御する技術が重要な役割を果たし、原子ステップの挙動に関する知見を得ることの意義は大きい。本研究は、走査型トンネル顕微鏡（STM）による観察、および熱力学・統計力学に基づいた解析によってシリコン表面上の原子ステップの挙動を詳細に調べ、それをモデル計算により定性的に説明することに成功している。本研究の成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 微視的な表面モデルを用いてモンテカルロシミュレーションを行い、表面形状や原子ステップ形状の揺らぎの性質を明らかにしている。この結果は表面形状を粗視化した原子ステップを単位とした表面モデルからの結果と良く一致しており、原子ステップの挙動に着目した実験データの解析の有効性を示している。
- (2) Si (113) 微斜面で起こるファセッティングを STM を用いて観察し、ファセッティング温度が微斜面の傾斜方向に依存して変化することを明らかにしている。さらに、ファセッティングの過程で (113) テラスの平均的な幅が時間のべき乗に従って時間発展し、その指数がおよそ  $1/6$  であることを明らかにしている。
- (3) Si (113) 表面上で共存する 1 原子層から 4 原子層の原子ステップについて、STM 像からステップ相關関数を測定し、原子ステップの曲げに対する固さがステップの高さに比例することをはじめて明らかにしている。さらに、ステップ間の引力的相互作用を考慮したテラス・ステップ・シンクモデルに基づいた考察により、この実験結果が、原子ステップ同士が弱く結合しているファセッティング温度近傍での振る舞いであることを解明している。
- (4) Si (113) 表面上の原子ステップにおいて形成されるシンクの長さの分布を STM 像より測定し、統計解析によってシンクハミルトニアンに関する情報を抽出することに成功している。

以上のように、本論文はシリコン表面上の原子ステップの熱力学的性質を実験的・理論的に調べたものであり、これまで未知であったシリコン表面上の原子ステップの挙動に関して多くの基礎的な知見を与えており、応用物理学、特に半導体工学の発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。