

## 走査型プローブ顕微鏡による薄膜表面の測定及び加工に関する研究

|       |                                                                                                                 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| メタデータ | 言語: ja<br>出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科<br>公開日: 2008-04-11<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 岩田, 太<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/10297/1527">http://hdl.handle.net/10297/1527</a>                                 |

|           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 氏名・(本籍)   | 岩 田 太 (静岡県)                    |
| 学 位 の 種 類 | 博 士 (工 学)                      |
| 学 位 記 番 号 | 工博乙第 84 号                      |
| 学位授与の日付   | 平成 10 年 6 月 22 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    | 走査型プローブ顕微鏡による薄膜表面の測定及び加工に関する研究 |

|        |       |     |     |     |         |
|--------|-------|-----|-----|-----|---------|
| 論文審査委員 | (委員長) |     |     |     |         |
|        | 教 授   | 藤 安 | 洋   | 教 授 | 佐々木 彰   |
|        | 教 授   | 久 保 | 高 啓 | 助教授 | 石 川 賢 司 |
|        | 教 授   | 石 井 | 仁   |     |         |

## 論 文 内 容 の 要 旨

走査型トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡は原子レベルの分解能を有しており、固体表面の構造観察に使用されている。これらの顕微鏡は探針(プローブ)を走査することから、走査型プローブ顕微鏡と呼ばれており、真空中、大気中、溶液中等の計測環境において、広い分野の表面研究に利用されている。薄膜研究の分野においても、膜成長や物質吸着などの表面構造の観察に走査型プローブ顕微鏡が使用されるようになってきた。しかしながら、走査型プローブ顕微鏡の通常使用法は表面形状を観察するのみである。そのため、複雑な薄膜表面形状の観察において物理量も同時に測定可能な多機能化が望まれている。

本論文では走査型プローブ顕微鏡の測定方法を多機能化することにより、薄膜表面のトンネルバリアハイト、ストレス及び物質吸着量を測定する方法、並びに薄膜表面を超微細に加工する方法について論じ、本研究の有用性を述べた。

第1章では、本研究の背景と目的、及び本論文の構成について述べた。

第2章では、高精度・高安定な走査型プローブ顕微鏡の製作について説明した。音響や振動、温度変化など周囲からの雑音の影響を受けず、走査型プローブ顕微鏡が安定に動作するようにユニットの材料選択や構造設計の工夫について述べた。また、電子回路の低雑音化や防振技術について示した。製作した走査型プローブ顕微鏡を使用し、グラファイト原子像や光ディスク表面像の観察を行なった。

第3章では、ステアリン酸薄膜表面におけるトンネルバリアハイトの測定について述べた。一般的

にバリアハイトの値は物質の仕事関数に依存する物理量であり、物理化学的な表面物性の違いにより変化する。従って、バリアハイト像を用いると、表面物性の違いを観察できる。走査型トンネル顕微鏡の探針を微小に縦振動させた時のトンネル電流振幅値からバリアハイトを測定可能である。ステアリン酸薄膜のバリアハイト値の測定結果から、微細な結晶表面構造を鮮明に観察した。また、基板上のステップ近傍やクラスタ境界部分においてステアリン酸が結晶成長することを明らかにした。

第4章では、薄膜のストレスを測定する方法について述べた。走査型プローブ顕微鏡による表面形状の測定において、探針と試料表面との間に斥力や摩擦のような力学的な相互作用が働き、その結果、試料内にストレスが発生する。このストレスを測定し、探針が試料に作用する力学的影響を考察した。薄膜試料のストレス測定方法として水晶マイクロバランス法を用いた。水晶振動子上に薄膜が作製され、その薄膜内にストレスが発生すると共振周波数の変化が生じる。よってこの周波数変化を検出することにより、薄膜内のストレスを測定できる。Au蒸着膜のストレス測定において薄膜表面のクラスタ境界領域に強いストレスが発生することを示している。更に、大気中の測定において、探針と試料表面との間に汚染層が介在し、これがストレス発生に影響を与えることを示した。

第5章では、薄膜表面によるガス吸着及び電析過程における物質吸着量の測定について述べた。走査型プローブ顕微鏡により、薄膜表面における物質の吸着過程の表面形状変化をその場観察可能である。一方、水晶マイクロバランス法を用いて、物質吸着過程における薄膜質量変化をナノグラムオーダーで測定できる。そこで、走査型プローブ顕微鏡と水晶マイクロバランス法との複合化によって、薄膜の形状変化と質量変化の同時測定を可能にした。ガス中ではAg表面上の $\text{NH}_3$ 吸着過程を、電界溶液中ではPt表面上のAg電析過程を観察し、水晶マイクロバランス法により測定した物質吸着量が走査型プローブ顕微鏡画像から見積もった計算値とよく一致することを示した。

第6章では、薄膜表面の微細加工法について述べた。走査型プローブ顕微鏡は、薄膜表面の測定のみでなく、微細加工への応用にも利用されている。走査型プローブ顕微鏡の超微細加工に関する研究において、高密度メモリやデバイス製造技術への応用が期待されている。しかし、最も代表的な加工法である探針によるスクラッチでも金属やプラスチック表面を深く加工できない。そこで被加工面を微小に横振動させ、探針によりスクラッチする加工法を提案した。Al表面において、従来のスクラッチ加工法と比べ、低荷重で数倍深く加工できることを示した。また、従来のスクラッチ法では表面隆起が生じ、加工が困難であったポリスチレン表面においても、優れた加工効率を有することを示した。

第7章では、本論文の研究成果を総括した。

## 論文審査結果の要旨

走査型プローブ顕微鏡を使用した固体表面の構造観察が原子レベルの分解能で行なわれている。走査型プローブ顕微鏡の通常測定においては試料表面での原子配列等が主として観察されている。しかし複雑な構造を有する薄膜表面観測には種々の物理量も同時に測定可能な走査型プローブ顕微鏡の多機能化が望まれている。

本論文では、走査型プローブ顕微鏡の多機能化を目的とし、薄膜表面のトンネルバリアハイト、ストレス及び物質吸着量を測定する方法、並びに薄膜表面を超微細に加工する方法について論じ、本研究の有用性を述べている。本論文は全7章からなる。

第1章では、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、高精度・高安定な走査型プローブ顕微鏡の製作について述べている。すなわち固有周波数24kHzのユニット及び数pAのトンネル電流検出可能な回路によりグラファイト原子像の観測を行ない、作製した装置の性能を評価している。

第3章では、ステアリン酸薄膜表面におけるトンネルバリアハイトの測定について述べている。バリアハイトの値は物質の仕事関数に依存し、表面物性の違いにより変化する。ステアリン酸薄膜のバリアハイト値の測定結果から、導電性基板に対し、ステアリン酸薄膜が相対的に0.8eV高いことが測定され、同時に微細な結晶表面構造を鮮明に観測したことを述べている。

第4章では、薄膜のストレスを測定する方法について述べている。走査型プローブ顕微鏡による表面形状の測定において、探針と試料表面との間に力学的な相互作用が働き、試料内にストレスが発生する。これを水晶マイクロバランス法により測定した結果、Au蒸着膜において表面形状のクラスタ境界領域に強いストレスが発生していることを示している。

第5章では、薄膜表面におけるガス吸着や電析過程による薄膜質量変化の測定について述べている。これを水晶マイクロバランス法により測定し、この方法と走査型プローブ顕微鏡との複合化によって、薄膜の質量と形状の同時測定を可能にした。薄膜表面において、物質吸着量がナノグラムオーダーで測定され、表面形状から見積もられた値と一致することを示している。

第6章では、薄膜表面の微細加工について述べている。被加工面を5MHzで横振動させ、探針によりスクラッチする加工法を提案し、Alとポリスチレン表面において深さ方向で1nmの加工精度を有することを示している。

第7章では、研究全体について総括している。

以上のように、本研究の成果は、走査型プローブ顕微鏡の多機能化により、薄膜表面のトンネルバリアハイトやストレス、物質吸着量の測定、及び極微細な加工を行なった点で工学的に高く評価でき、博士(工学)の学位を授与するにふさわしいと認定する。