

Title	Study of Thin Epitaxial Multilayer Structures by Scanning Tunneling Microscope
Author(s)	加藤, 隆志
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/39435
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	加藤隆志
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 1 2 2 6 1 号
学位授与年月日	平成 8 年 2 月 2 2 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	Study of Thin Epitaxial Multilayer Structures by Scanning Tunneling Microscope (走査型トンネル顕微鏡による薄膜結晶多層構造の研究)
論文審査委員	(主査) 教授 西田 良男 (副査) 教授 冷水 佐壽 教授 中島 尚男 助教授 小林 融弘

論文内容の要旨

半導体分野では、結晶成長技術の進歩に伴い原子レベルで成長層を制御することが可能になっており、ヘテロ半導体多層薄膜の膜厚を電子波長程度に制御した量子井戸構造や不純物を制御したドーピング超格子構造などが実現されている。これらの構造においては、従来のバルク結晶には存在しない光学的あるいは電気的性質が得られるため、その性質を利用した高機能半導体デバイスが開発され、製品化が進められている。これら原子レベルで制御された薄膜多層構造の評価手段としては従来、透過型電子顕微鏡が唯一であったが試料作製が難しいこと、最表面層の評価が困難であることなどの問題点があった。

本論文は、走査型トンネル顕微鏡（STM）により半導体薄膜多層構造の大気中と超高真空中での評価技術の確立および観測されたSTM像の解釈について研究を行ったものである。

第一章では、本論文の研究目的と背景について述べる。

第二章では、STMの原理と半導体薄膜多層構造をSTMで観察する際の問題点と解決方法について述べる。また、STM制御方法や半導体清浄表面のSTM像を観察するための超高真空中STM装置の研究に関して述べる。超高真空装置、2段バネによる除振機構、2軸インチワームの開発による超高真空中での試料劈開、エピ層への探針位置決め、探針試料間の粗微動アプローチの機構、及び清浄な探針の製作方法について述べる。

第三章では、大気圧中での薄膜多層構造の劈開断面のSTM観察について述べる。初めて、大気圧中でGaInAs/InP多重量子井戸（MQW）構造に対応した周期的な凹凸を示すSTM像を観察した。このSTM像の凹凸は幾何学的な原因によるものではなく、GaInAs層とInP層の仕事関数の違いにより生じていることを明らかにした。見かけ上のバリアの高さが数meVと異常に低いことから探針や試料表面に汚染層が存在することや、凹凸の大きさが大気中の相対湿度の影響を受けることを見いだした。GaAs/AlAs MQW構造についてもSTM像が得られたが、GaInAs/InP MQWに比べて、STM像が測定中に急激に不鮮明になっていく。これは、Alが酸素を吸着し易いためと考えられる。

n-GaAs/p-GaAs薄膜多層構造のSTM観察時に探針の高さを一定にしてトンネル電流像を測定し、n層とp層に対応した像を観察した。トンネル電流対バイアス電圧特性の測定により試料表面でのバンドの曲がりや空乏層と考

えられるpn境界領域の存在を観測した。

第四章では、超高真空中でのGaInAs/InP MQW構造の劈開断面のSTM観測について述べる。MQW構造に対応した周期的な凹凸のSTM像を観測した。各層と像の凹凸の位置関係は大気中でのSTM像と同様であった。ノンドープMQW構造と高n型ドープMQW構造のSTM像の比較により、凹凸の形状がMQWのポテンシャルの形を反映していることを明らかにした。MQW構造の凹凸像に重畳して表面のV族原子（満ちた表面準位）の像が得られた。MQW構造のバンド構造を考えたトンネル電流の計算を行い、MQW構造の凹凸の大きさがバイアス電流に依存することを説明した。また、広がり抵抗を考えたモデルが実験データと定量的に合うことを示した。

以上の結果、大気圧中においてもSTMによるMQW構造の測定が可能であることを示し、MQW構造のSTM像が幾何学的な凹凸が原因でないことを明らかにした。また、np交互にドープした薄膜多層構造のトンネル電流像の測定を行いnおよびp領域の区別がつくことを示した。超高真空用の2軸動作STMを開発し超高真空中でMQW構造を原子スケールで観測した。MQW構造の凹凸像について計算を行い実験結果との定量的な議論を行った。

論文審査の結果の要旨

分子線薄膜結晶成長法の進歩により、半導体の分野ではヘテロ半導体薄膜を積層した多重量子井戸（MQW）構造や不純物のドーピングを制御した超格子構造が製作され、機能の探求が進められている。膜厚が電子の波長程度になると量子効果が現れ、新しい特性の探求と同時に薄膜の評価が重要になる。本論文は後者を扱っている。薄膜多層構造の原子スケールでの観測は、従来透過型電子顕微鏡が唯一の手段であり、独立な観測方法が求められている。この論文では、半導体薄膜多層構造の新しい評価方法を開発する目的で、走査型トンネル顕微鏡（STM）を使い、空気中および超高真空中で多層膜構造の劈開面を観測する装置を製作した。この装置を用いてSTM像を観測し、トンネル電流の解析から多層膜構造の電子状態の情報を得る方法を確認した。MQWの劈開面のSTM像の観測はIBMが一年早く報告したが、バンド構造に基づく像の解釈は著者らが最初である。

論文は4章よりなる。第1章では、本論文の研究目的と背景を説明している。第2章では、STMの原理と半導体多層膜構造の劈開断面を観測する装置の製作について述べている。第3章では、大気中で観測したSTM像を解析している。GaInAs/InP MQW構造のSTM像は、幾何学的な凹凸ではなく仕事関数の違いによることを示した。また、空気中では、吸着によりSTM像が時間的に変化することを見いだした。n-GaAs/p-GaAsの薄膜多層構造では、トンネルスペクトルからn層、p層、pn境界層が識別できることを示した。第4章では、超高真空中でGaInAs/InP MQW構造を観測し、STM像が不純物ドーピングやバイアス電流に依存することを詳細に調べた。これらのトンネル電流の特徴は、バンド構造とフェルミ準位を考慮したモデルを用いて定量的に説明できることを示した。

以上のように、本論文は多層膜劈開面を調べる走査型トンネル顕微鏡を製作し、半導体薄膜多層構造の評価方法を示してSTM像の物理的解釈を行った。多層膜の製作と評価法の確立、さらに量子機能デバイスの開発は三位一体の関係にあり、本論文は薄膜多層構造の研究に多大な貢献をしたと認められ、博士（工学）として価値ある論文と判定する。