



Title	Scanning tunneling microscopy study of Si nano pn structures
Author(s)	福留, 秀暢
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/41482
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。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名	福留秀暢
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 14755 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 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	Scanning tunneling microscopy study of Si nano <i>pn</i> structures (シリコン・ナノ <i>pn</i> 構造の走査型トンネル顕微鏡による研究)
論文審査委員	(主査) 教授 中島 尚男 (副査) 教授 冷水 佐壽 教授 張 紀久男

論文内容の要旨

昨今の半導体素子作製技術の目覚ましい発達の結果、大規模集積回路に用いる半導体素子はナノスケールにまで微細化されつつある。しかし、作製された構造の空間的・電気的評価に用いられてきた従来の技術では、その分解能の限界によりナノスケールにまで微細化された構造の評価が不可能である。そこで超大規模集積回路の作製に向けて、作製されたナノスケールの半導体構造が設計通りに作製されているかを空間的・電気的に評価する手法の確立が望まれている。走査型トンネル顕微鏡/分光 (STM/STS) は原子分解能で表面の電子状態を測定する技術なので前述のような目的に有益であると考えられる。

本研究では、STM/STS を用いて半導体微細構造の局所的な伝導型とキャリア密度、及びその空間的な変化を微視的に視覚化できることを示した。試料としては、具体的に、ショートチャンネル MOS 素子に用いるのと同じようなシリコン *pn* 構造を用いて測定を行った。また、平衡状態にとどまらず動作中の半導体微細構造の電気的特性の評価にも STM/STS が有用であることを示した。

第一段階として、シリコン試料内部の伝導型とキャリア密度を評価するには、水素終端された表面を通して測定すればよいことを示した。第二段階として、STM/STS を用いてナノスケール *pn* 接合を視覚化することで、伝導型の空間的な変化を微視的に評価できることを示した。第三段階として、STM/STS で *p* 型領域と *n* 型領域にとどまらず空乏化領域を視覚化できることを示した。第四段階として、試料作製時の熱処理時間を変えた幾つかの試料について STM/STS 測定することで、熱処理が伝導型とキャリア密度、及びその空間的な変化に及ぼす影響を明らかにできることを示した。最後に、ナノスケール *pn* 接合に印加した外部電圧の効果を STM/STS 測定により評価できることを示した。

以上の結果から、半導体微細素子を空間的・電気的に評価する技術として、STM/STS は非常に有望であると結論づけられた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、超大規模集積回路の作製に向けて、従来の技術ではその分解能の限界により評価が不可能であったナノ

スケールの半導体構造について、走査型トンネル顕微鏡/分光 (STM/STS) を用いることでその構造が設計通りに作製されているかを空間的・電氣的に評価できるという実験的研究の成果をまとめたものである。

具体的には、STM/STS を用いて半導体微細構造の局所的な伝導型とキャリア密度、及びその空間的な変化を微視的に視覚化できることを示している。試料として、ショートチャンネル MOS 素子に用いるのと同じようなシリコン pn 構造を用いて測定を行っている。また、平衡状態にとどまらず動作中の半導体微細構造の電氣的特性の評価にも STM/STS が有用であることを示している。

第一段階として、シリコン試料内部の伝導型とキャリア密度を評価するには、水素終端された表面を通して測定すればよいことを X 線光電子分光と STM/STS を用いて示している。水素終端された表面を通して STM/STS で得た電流電圧特性が、試料内部の伝導型とキャリア密度を反映した金属 (探針) - 絶縁体 (真空ギャップ) - 半導体構造 (MIS 構造) モデルで解釈できることを示している。第二段階として、STM/STS を用いてナノスケール pn 接合を視覚化することで、伝導型の空間的な変化を微視的に評価できることを示している。第三段階として、STM/STS で p 型領域と n 型領域にとどまらず空乏化領域を視覚化できることを示している。ナノスケール pn 接合を観察した STM 像は測定バイアスに強く依存していることが示され、その由来を MIS 構造モデルで解釈できることが示されている。第四段階として、試料作製時の熱処理時間を変えた幾つかの試料について STM/STS 測定することで、熱処理が伝導型とキャリア密度、及びその空間的な変化に及ぼす影響を明らかにできることを示している。最後に、ナノスケール pn 接合に印加した外部電圧の効果を STM/STS 測定により評価できることを示している。

以上の結果から、半導体微細素子を空間的・電氣的に評価する技術として、STM/STS は非常に有望であると結論づけている。このような半導体微細構造を空間的・電氣的に評価する技術は、半導体素子の開発・設計、特に日進月歩で進歩する超大規模集積回路の分野で早急なる確立が望まれており、定性的にそれを実現した前述の実験的研究成果は半導体微細構造の物性の研究に大きく貢献するものである。よって、本論文は博士 (理学) 論文として、充分価値あるものと認める。