

審査の結果の要旨

氏名 勝井 秀一

本論文は、「二波長光照射走査トンネル顕微鏡による InAs 細線の光吸収特性の局所的評価」と題し、光照射下で走査トンネル顕微鏡(STM)を動作させることにより実現される光吸収特性の新しい評価手法の開拓と、その手法による InAs 細線構造の局所的評価を行った結果について述べたものであり、全 7 章から成っている。

第 1 章は「序論」であり、本研究の背景を解説している。半導体デバイスの高性能化を支えているデバイスサイズの微細化に伴って、そのような微細構造の性能を局所的に評価し、更なる高性能化に向けたフィードバックを行うための手法として走査プローブ顕微鏡が重要な役割を果たすことを述べている。その中で、特に、光照射 STM が半導体ナノ構造の光学的特性を評価するための手法として発展してきたことについて言及するとともに、これまでの手法で生じる問題を解決するために新たな手法が必要であることを述べている。また、本論文の構成を述べている。

第 2 章は「光照射走査トンネル顕微鏡」と題し、一般的な STM の動作原理について述べた後、光照射 STM の原理を述べている。光照射 STM では、光照射下でのスペクトル観測やパルス光を用いての時間分解測定などの研究がおこなわれているが、本研究で用いているような照射光強度を時間的に変調してその変調周波数に同期する光誘起電流(PIC)信号を検出し、さらにそれをマッピングする手法は、ナノ構造の光吸収特性をその空間分布を含めて理解するために適した手法であることに言及した上で、内蔵電界が生じている半導体構造に対して変調光を照射する際には、PIC 信号には(i)生成されたフォトキャリアのトンネル電流、(ii)容量性電流、(iii)表面光起電力、の三種類の成分が寄与していることを述べている。

第 3 章は「二波長光照射 STM」と題し、本論文での被測定試料として用いた InAs 細線構造について述べた後、変調光を照射した際に内蔵電界が存在することによって生じる問題を指摘し、それを解決するために新たに提案した二波長光照射 STM の原理を説明した上で、この手法により得られる PIC 信号の結果について示している。内蔵電界が生じている GaAs 上に成長した InAs 細線試料における局所的な光吸収特性を明らかにすることが本論文の主たる目的であるが、そのような試料に変調光を照射した場合、上記の成分(ii), (iii)は主に下地の GaAs 中において発生する成分であるため、観測される PIC 信号から InAs 細線の光吸収特性を直接評価することは困難であることを指摘している。その上で、

内蔵電界を抑制することに着目して提案した方法が本測定手法であり、具体的には、重畳した連続照射光によって生じるフォトキャリアにより内蔵電界を打ち消し、その状態を保ったまま変調光を照射することによって、観測される PIC 信号から内蔵電界の影響を取り除くことが可能となることを述べている。さらに、二波長光照射 STM 観測において得られる STM 電流の時間波形、および、PIC 信号の強度とその位相を、連続光を照射しない条件下にて得られた結果と比較することで、本手法で得られる PIC 信号は、下地の影響を受けずに、InAs 細線の光吸収によって生成された電子が直接寄与したトンネル電流をその主たる成分としていることを明らかにして、本手法の有効性を示している。

第 4 章は「PIC 信号の直線偏光依存性」と題し、InAs 細線構造における光吸収特性の異方性を、変調照射光の直線偏光方向に対する PIC 信号の依存性を通じて議論している。InAs 細線においては、強い形状異方性と量子閉じ込め効果に起因する光吸収特性の異方性が発現することが期待されるが、実際、平均幅 50 nm と 25 nm の InAs 細線に対する PIC 信号の照射光直線偏光依存性を観測した結果、50 nm 幅の細線では依存性がほとんど観測されなかった一方で、25 nm 幅の細線では偏光方向が細線に平行な場合にのみ明瞭な PIC 信号が観測されるといった異方性が観測されたことから、後者の細線においては、横方向閉じ込め効果により光吸収特性に異方性が現れていることを明らかにした。

第 5 章は「PIC 信号のフォトンエネルギー依存性」と題し、PIC 信号の照射光フォトンエネルギー依存性から光吸収スペクトルを議論できることを指摘した上で、平均幅 50 nm の細線における PIC 信号スペクトルを観測した結果について述べている。得られたスペクトルには量子井戸構造に特有のステップ構造が現れており、前章で述べた直線偏光依存性の測定結果と併せて考えると、50 nm 幅の InAs 細線は、横方向閉じ込め効果が弱く、高さ方向のみに閉じ込め効果が働く量子井戸として振る舞うことを明らかにしている。

第 6 章は「結論」であり、本論文全体の研究成果をまとめて要約するとともに意義を述べている。

第 7 章は「今後の展開」であり、25 nm 幅の InAs 細線に対する PIC 信号のフォトンエネルギー依存性を観測することの意義や、PIC 信号の面内分布観察を通じてフォトキャリアの試料内拡散を議論できる可能性があることなどを述べている。

以上これを要するに、本論文は、内蔵電界の影響を排除しながら半導体ナノ構造の光吸収特性を評価できる二波長光照射 STM を提案するとともに、実際に同手法を利用して InAs 細線における光吸収特性の直線偏光依存性やフォトンエネルギー依存性を局所的に評価することによって、同構造固有の振る舞いを明らかにしたものであり、電子工学上、寄与するところが少なくない。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。