

# 主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	宮本 聡
主論文題目： Self-Organization and Single-Electron Operation of Group-IV Semiconductor Quantum Dot Structures (IV 族半導体量子ドット構造の自己組織化および単電子動作に関する研究)				
(内容の要旨) 電子産業の発展を支えるシリコン(Si)半導体デバイスに量子効果を利用して新たな機能を付加する研究が進んでいる。特に Si 基板上に良質な量子ドットを形成し、そこに特異の物理現象を見出せば、それらを活用した量子情報処理や単一電子転送デバイスなどが実現できると期待される。この様な背景において、本研究では Si 基板上に Ge 量子ドットが形成される過程における自己組織化現象と、完成した Ge 量子ドット構造で見出される特徴的な量子効果を検証した。また Si 単一元素のみから構成される単電子デバイスを形成し、Si 量子ドットからの単電子放出に対する熱揺らぎの影響と確率的効果を明らかにした。 具体的には第一章で背景を述べ、続く第二章において Stranski-Krastanov 機構による Ge 量子ドットの成長過程を解明した実験を示す。分子線エピタキシーを用いて Si 基板上に Ge を堆積し、Si と Ge の原子拡散を伴う表面形状の変化を原子間力顕微鏡で観測し、臨界核の形成に必要な原子数を見積もった。また量子ドット内部の組成と歪みを特定の Ge 同位体を指標としたラマン分光測定により見積もり、量子ドット・濡れ層・基板の間の Si および Ge 原子の輸送現象を成長時間軸上で定量的に評価した。 第三章では Ge 量子ドットを 20 周期重ねた超格子構造を作製し、温度 2 K において測定されたフォトルミネッセンスの強度とエネルギーが磁場に対して振動する実験結果を示す。この振動現象は、量子ドット外周に局在化した電子波の位相が磁場により変調を受ける Aharonov-Bohm 効果によることを明らかにした。 第四章では一個ずつの電子をラチェット転送できる Si 単電子デバイスを用いた実験を示す。温度 16 K 付近において 1 つ目、2 つ目、3 つ目の電子が順次放出される過程を調べた。単電子放出時間は量子ドット中に捕獲された電子数に依存し、その機構が熱励起により支配されていることを明らかにした。また単電子放出の精度を見積もることから、高精度放出に最適な動作点を決定した。 第五章では Si 量子ドットから単電子が放出される際に越えるポテンシャル障壁を周期的に変調させた実験を示す。ここでは変調の周期と電子放出時間が同程度になるときに単電子放出が促進されることを見出した。これは確率共鳴に由来する共鳴放出現象を単電子系で初めて観測したことに相当し、時間的に揺らぎのある単電子放出が周期的変調に同期できることを示した。 最後にまとめと展望を述べる。 量子ドット構造の作製において高制御性と高生産性を両立させるためには自己組織化現象の解明が必要不可欠である。またナノ構造で顕在化する量子現象や揺らぎの影響を理解することも、シリコン量子情報処理の実現に向けて不可欠である。よって本研究で見出された物理現象を将来のナノデバイス動作の設計に反映させることが重要だと考える。				