

量子化機能素子ラボ

(Quantum Functional Devices Lab.)

研究項目：量子化機能構成基礎技術の研究

研究期間：平成3年度～12年度

1. 研究の背景

量子化機能素子の研究開発は、次世代産業基盤技術研究開発制度の元で平成3年4月より10年間のプロジェクトとしてスタートした。途中、制度変更により、産業科学技術研究開発制度の中で運営されるようになり現在に至っている。本プロジェクトのスタート時点では、0.5ミクロンルールDRAMが市場に出ており、更なる微細化、高集積化に向けた努力が半導体企業を中心に進められていた。しかしながら、100nmゲート長以下でのMOSトランジスタの動作マージン確保の問題、製造技術上の不安が顕在化しており、これらの問題をブレークスルーするために、100nm以下の構造において発現する量子現象を積極的に利用した電子素子の基盤研究を行うために、本プロジェクトが策定され実施された。平成3年3月までの10年間に実施された「超格子素子の研究開発」は、MBE、MOCVDなどによるヘテロ構造の結晶成長技術を中核にした微細構造素子の研究開発であるが、共鳴トンネル素子やパーミアブルベーストランジスタなどをピークル素子として位置付け、それらの動作実現あるいは性能向上を目指して研究開発が行われており、本プロジェクトの前身となる研究開発である。

2. 研究の経過と現状

量子化機能素子プロジェクトの体制は、当所に加え、新機能素子研究開発協会(素子協)を介して委託企業8社(スタート当初は6社、第2期より2社が参加)が参加し、77K以上での動作、集積化が可能という2点を大きな目標として研究開発を進め、現在最終年度を迎えている。当所では、先行的共通基盤技術の研究開発をモットーに研究を行ってきており、それゆえ、上記の2条件に拘泥することなく、当分野の基盤的知見となる

テーマに選定し研究を進めてきた。第1期(平成3年4月～平成7年3月)では、ナノメータ電子線露光技術、STM酸化技術、MOCVD、MBEによる選択結晶成長技術などのナノメータ構造作製基礎技術を中心に研究を進め、SiO₂薄膜への電子ビーム描画による解像度5nmの実現、チタン薄膜のSTM酸化によるトンネル接合特性、V溝やリッジ構造への量子細線の選択成長技術と界面評価などにおいて顕著な成果が得られた。第2期(平成7年4月～平成10年3月)では、第1期に開発した構造作製技術を基礎に、STM酸化法によるプレーナ型MIM系単電子トランジスタの作製と室温での基本動作確認の成功、SiO₂薄膜電子線レジストを用いたリフトオフプロセスの開発とMIMトンネル接合列でのクーロン閉塞現象の観測、電子線誘起堆積によるMIM系単電子トランジスタの作製と230Kでのクーロン振動確認、MOCVD選択成長における1原子層毎の成長の自己停止現象の発見、Siナノ細線MOSトランジスタでのクーロン振動の室温での観測などの成果が得られた。第3期(平成10年4月～平成13年3月)では、素子の高性能化と実用化への可能性の提示を目標として研究を進めており、MIM系単電子メモリ機能の室温での動作実証、化合物系量子細線トランジスタの作製と高ピーク・バレー比の負性抵抗特性の観測および高周波素子としての可能性の検討などを実施中である。また、ナノ構造電子素子のin situでの評価技術として、当所で開発された走査型マックスウェル顕微鏡に着目し、その有効性についての検討も行っている。これと同時に、プロジェクトの全期間を通じて、各種関連委員会においてプロジェクト推進に関する協力を行うとともに、素子協との共同研究、委託企業との直接的な共同研究、技術指導なども多数行っており、まさに当所が中核となり、本プロジェクトを推進してきた。また、大学関係とは、ナノメータ電子線加工プロセス、STM酸化による単電子作製・評価技術、量子化機能素

子のシミュレーション技術などに関して共同研究も行ってきた。工業所有権として、電子線ナノメータ加工技術関連、結晶成長技術関連、微粒子作製技術関連の内容の合計9件の特許が出願されている。本プロジェクトをきっかけとして、シリコン超微粒子の研究は、融合研での原子操作プロジェクトに引き継がれ実施されており、また、新技術開発事業団の戦略基礎研究として、「原子層制御量子ナノ構造のコヒーレント量子効果」のテーマ名で採択され実施されている。

3. 期待される波及効果

本プロジェクトで得られた成果は、電子デバイスの多機能化、低消費電力動作、高速動作など今後の個人向け情報端末の高機能化、あるいは家庭用双方向端末などデジタル化の進むコンシューマーエレクトロニクス産業において、有益な知見、技術を提供していくものと期待される。

4. 今後の研究展開の方向

本プロジェクトでは、委託分を含め多くの顕著な成果が得られており、基盤技術研究開発としては、十分にその責務を果たしているものと考えられる。今後は、このような体制で続行するよりも、得られた個々の成果を基盤として、エレクトロニクスやナノテクノロジーなどの領域あるいは関連センターで、より産業への貢献ができる形で研究開発を展開していくことが必要と考えられる。

当該研究担当者等

ラボ構成員(総数27名)

職員(26名) 坂本統徳、古室昌徳*、杉山佳延、中川 格、小島 猛、板谷太郎、菅谷武芳、王 学論、鈴木英一、石井賢一、前田辰郎、関川敏弘、金丸正剛、松本和彦、小倉睦郎、松川 貴、松畑洋文、坂本邦博、三木一司、安藤 淳、岡山重夫、和田敏美、廣島 洋、原市 聡、伊藤順司(電子デバイス部)、横山 浩(超分子部)

職員以外(1名) 金 成珍(NEDOフェロー)

*ラボリーダー