

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名： カーボンナノ材料を用いた量子ナノデバイスプロセスの開発

2. 研究代表者名： 石橋 幸治（理化学研究所石橋極微デバイス工学研究室 主任研究員）

3. 研究概要

本研究は、新機能ナノデバイスの基本構造として量子ドットに注目し、カーボンナノチューブ (CNT) を用いたデバイス機能の実証およびデバイスプロセスの開発を目指している。これまでに、離散準位の観測、電子殻構造の観測、ゼーマン分裂の観測、2電子間相互作用など、世界で初めて明確な人工原子的振る舞いの直接観測に成功した。さらに CNT を用いた単電子トランジスタ、単電子インバータ、単電子 XOR(排他的論理和演算) デバイスを作製しその動作を実証した。また、CNT と GaAs/AlGaAs のハイブリッド化を初めて提案し、新しいデバイス応用の可能性を示した。

4. 中間評価結果

4-1. 研究進捗状況と今後の見込

本研究チームは、デバイスプロセスの開発と機能の実証を目指す理化学研究所と、デバイス開発に必要なナノカーボン材料の成長技術の開発を目指す、共同研究グループである長岡技術科学大学、東京工業大学の3グループから構成されている。CNT を用いた人工原子の1電子準位のゼーマン分裂の観測はスピン量子ビットの実現に結びつく成果であり、さらには、各種の単電子デバイスやテラヘルツ検出器の提案と実証をするなど、全体的には、計画通りあるいはそれ以上の進歩が見られる。しかし、共同研究グループのカーボンナノチューブの配列制御およびフラーレン電子重合によるナノカーボン創製などについては、一層の努力と工夫が望まれる。

今後は、単電子デバイスの室温動作に向けて一層の努力と、共同研究グループとの連携強化により、当初の目標を達成できることを期待する。

4-2. 研究成果の現状と今後の見込

CNT 人工原子の挙動の実証、CNT による明瞭な単電子デバイスやテラヘルツ検出器の実証は注目すべき科学的成果といえる。これらは優れた1次元物質としての CNT の特徴をよく生かした成果である。

今後は、スピン制御、テラヘルツ波領域の超高感度電磁波検出器への応用に向けたデバイス機能の探索、実証と CNT 成長プロセスの制御性向上、CNT 単電子デバイスの高温動作達成などの技術の確立に期待する。

4-3. 今後の研究に向けて

CNT の人工原子的振る舞いや CNT 量子ドットによるテラヘルツ波の観測などは CNT 成長技

術の改良によって実現したものである。今後、本間チームとのさらに一層の協力関係を進めることにより、CNT 成長プロセスの制御技術を進展させ、量子ビット素子、単電子素子の機能実証が進展することを期待する。CNT 単電子デバイスの高温動作を妨げている原因がトンネル障壁低さであることを解明したので、電極材料の探索を進め、実用化に必要な高温動作を達成することを期待する。

4－4. 戦略目標に向けての展望

基礎研究として優れた科学的成果が出ており、ゼーマン分裂の観測、テラヘルツ波の検出などナノデバイスとしての CNT の可能性に期待を持たせる結果が出始めている。戦略目標達成のためには、CNT 成長プロセスの制御性向上や CNT 単電子デバイスの高温動作など実用に向けての壁をブレイクスルーする事が重要である。

4－5. 総合評価

ナノデバイス作製に必要な高品質 CNT の成長技術の探索、SET デバイスの回路、機能の実証と、量子デバイスの提案とデバイス原理の探索という3つの課題について研究しており、それぞれに期待できる成果を得ている。スピン量子ビット、テラヘルツ検出などの量子ナノデバイスの機能の実証がさらに進むことを期待する。共同研究グループについては今後、インパクトのある成果が出るような進め方を工夫することが重要であると思われる。また、CNT 成長プロセスの制御性向上については、本間チームとの一層の協力関係を進めることが重要であると思われる。