

研究課題別 事後評価結果

1. 研究課題名： ネオシリコンによるナノメカ・情報エレクトロニクス

2. 研究代表者： 小田 俊理(東京工業大学 量子ナノエレクトロニクス研究センター 教授)

3. 研究内容および成果：

トップダウン微細加工とボトムアップ技術の両面からアプローチするネオシリコン技術(シリコンナノドット構造の制御技術)と MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術を融合させて、将来のナノメカ・情報エレクトロニクスに向けての新しい展開を図ることを目的とした。中間評価後は特にナノメカニカル素子を想定した原理検証に焦点を絞った。

3-1 ネオシリコン構造制御技術

本研究の基盤をなすネオシリコン構造制御に関して、ナノシリコンドットの粒径の目標値(5nm)を達成するとともに、ナノシリコン結晶の置換サイトに不純物を導入して電氣的に活性化させることに成功した。次いで、ナノドットの 2 次元集積配列構造の形成過程に LB 膜法(Langmuir-Blodgett)を適用し、1cm四方の 2 次元構造形成を実現した。デバイス設計の自由度を増やすためにナノシリコンワイヤの形成を行い、直径 10nm のナノワイヤ形成および形成機構の解明に成功した。形成された 1 次元構造および 2 次元構造のナノシリコンの電子輸送測定において、単電子トンネル現象を観察した。

3-2 ナノメカニカルデバイス

ナノメカニカル素子、即ちネオシリコンを内包する可動浮遊ゲート NEMS(Nano Electro Mechanical Systems)を用いたメモリデバイスの動作を明確にするために、素子をナノ化することによるスケーリング特性をシミュレーションした。その結果、100nm までの縮小スケーリングに対して、電流オン・オフ比を 10^5 に保ちながら、動作電圧は 2.8V、スイッチング時間は 4ns、消費エネルギーは 0.23fJ となることが判明した。かつ、他の不揮発性メモリと比較して著しく低消費エネルギーであり、メモリ保持時間も 100 年レベルの長期保存が期待できることを示した。

NEMS 技術と単電子トランジスタ(SET)技術を融合して、SET のチャネルをサスペンデッド構造とした NEMSET 素子を考案した。量子ドットを 2 個有する NEMSET では、それぞれの量子ドットに隣接する 2 個の制御ゲートに印加する電圧を掃引することで、結合 2 重量子ドットの電荷安定状態を反映したトンネル電流パターンを観測した。さらに、NEMSET ロジックデバイスのシミュレーションにより、可動ゲート SET 構造を提案し、集積化ニューラルネットワークデバイスやパターン認識応用に有望であることを示した。

3-3 ネオシリコンの応用

ネオシリコンを用いた ULSI チップ間弾道電子線インターコネクション素子のプロトタイプ試作と原理検証に関する研究では、ネオシリコンに特有な弾道電子放出は、真空中だけでなく、大気中、

液体中でも起こることを見いだした。ネオシリコンの薄膜トランジスタ応用の研究として、厚さ 5nm という極薄酸化膜をチャネル材料とする薄膜トランジスタを完全自己整合プロセスで作製し、1.5V の電池で動作することを実証した。また、極薄シリコンを直接電極に接続する方式により、シリコン ナノ構造に直接キャリアを注入することのできる平面・シリコン発光ダイオードを提案し、赤外領域での電流注入発光を観測することに成功した。極薄シリコンにおいて理論的にも実験的にも光学利得が存在する事が判明し、シリコンフォトニクス分野における光と電子の融合を促す基本素子として有望である。

4. 事後評価結果

4-1 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

期間中の外部発表、特許等の実績を示す。

発表論文:(邦文) 0 件/(英文) 114 件

口頭発表:(国内) 113 件/(海外) 151 件

特許出願:(国内) 5 件/(外国) 2 件

(原著論文、国内外での学会発表が積極的になされていると共に、学会発表でポスター賞や講演奨励賞を多数受賞している。)

独自に開発した量子現象発現素材(ネオシリコン)をベースに新たな展開を計った発展研究であり、多くの研究成果を上げているが、やや総花的な印象を受ける。その中で次のような特筆すべき具体的な研究成果がある。1) ネオシリコンの分散溶液の開発と、それをを用いた LB 膜法を活用した広い領域(10 mm × 10 mm)を持つ 2 次元集積ナノ構造の創製、2) MEMS 技術との組み合わせによる新原理シリコン・ナノメカニカルメモリの提案とそのシミュレーションによる検証、3) 2) で提案した「ナノメカニカルメモリデバイス」の擬似デバイス構造の試作、4) ネオシリコンから放出される弾道電子の大気または溶液中への放出とその効果の実証、等の優れた成果を生んでいる。

ただ、研究提案で注目された実用化へ向けた「ナノメカニカルメモリデバイス」の動作確認が出来なかったことは残念である。

4-2 成果の科学技術への貢献

シリコンナノドットの 2 次元配列手法の確立、シリコンを用いたナノメカニカルデバイスに関する理解の前進、ネオシリコン構造を利用した弾道電子放出等電子放出とその応用技術、シリコン超薄膜におけるフォノンバンドギャップの発生の発見、およびシリコン超薄膜発光素子で光増幅を観測したこと等は、ナノシリコン分野における科学技術の進展に大きく貢献した。

しかしながら、実用化の検討をするための基本材料をいくつか揃えたままで、材料はシリコンであるものの低コスト製造のイメージを描くには至っていない。実用化研究に踏み切るにはさらなる研究成果が必要である。

4-3 その他特記事項(受賞等)

ケンブリッジ大学やサザンプトン大学との国際連携を通じて将来グローバルな視野に立って国際的に活躍できる若手人材が育成されたことは高く評価される。