

研究課題別 中間評価結果

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. 研究概要

本研究は、これまでに得られたネオシリコン構造制御・機能制御・素子応用技術を更に発展・融合させて、ネオシリコンによるナノメカ・情報エレクトロニクスの新分野展開を図ることを目的とする。具体的な研究目標として、以下の3項目を設定した。

- 1) シリコンナノドット配列技術、ボトムアップ&トップダウン融合技術を含むネオシリコン集積化技術の確立。
- 2) ネオシリコン集積構造を伝導層とする素子の伝導メカニズム解析とエレクトロメカニカル動作原理探索およびネオシリコン NEMS 融合デバイスの動作実証。
- 3) 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。

現在までの成果は次の通りである。

- ①ネオシリコン構造の作製に向けた研究を推進する中で、粒径を制御した気相合成ナノ結晶シリコン(nc-Si)ドットの分散液の作製法を見出し、さらに、ラングミュア・プロジェクト(LB)膜法を応用することで、ナノ結晶シリコンドットの2次元高密度配列構造の作製に成功した。
- ②nc-Siドットダイオード構造の電気特性評価では、30-200 Kの広い温度範囲で $\sigma \propto \exp(-(T_0/T)^{1/2})$ の依存性が観測され、最近接ドット間のホッピング・パーコレーション伝導が起こっていることを見出した。
- ③マルチドットナノ細線を有するデバイスに関する研究においては、室温でクーロン階段の観測に成功した。
- ④ネオシリコンにおけるナノフォノン-電子相互作用の理論研究では、厳密計算で得られたナノ構造でのフォノン状態がバルクフォノンとは異なることを示し、移動度の違いの予測に成功した。
- ⑤ナノエレクトロメカニカルシステム(NEMS)を利用した、高速書き込み消去可能な不揮発性NEMSメモリデバイスの動作実証に向けた研究を推進する中で、nc-Siドットを内包したフローティングゲート(FG)の作製に成功し、さらに、電圧印加による機械的動作を観測した。
- ⑥力学的解析、静電界解析にデバイスのドリフト拡散解析の3つの要素を組み合わせた連成解析技術を立ち上げることでNEMSメモリ動作シミュレーションを実現し、スイッチング電圧を15V程度にまで下げられることを見出した。
- ⑦ポーラスシリコンを対象に、nc-Siにおける弾道電子生成・放出機構の解析および発光の高効率・高安定化に有効なアニール技術を開発し、これにより常圧気体および空気中の電子源動作、

可視発光、電子線インターコネクション等の素子化への見通しが得られた。

⑧ネオシリコンの新しい応用可能性である電子線検出デバイスの性能をシミュレーションにより明らかにし、試作チップの正常動作を確認した。

⑨ネオシリコンを用いたフレキシブルデバイスへの応用を目指し、従来から研究してきたnc-Si粒子に加えて、金ナノ粒子の2次元人工格子を用いた素子の電気測定を行い、構造欠陥に起因して電流・電圧特性が非線形になることを見出した。

⑩既存のシリコンプロセスを使って100nmスケールのシリコンナノワイヤを作製し溶液中に分散可能なことを実証し、今後のデバイス化に向けて大きく前進した。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

LB膜法によるネオシリコンの2次元集積化、ナノブリッジ化等の成果が上げられている。nc-Siの集積化については、nc-Siが10nm以下の均一なサイズで配列する2次元高密度配列構造の作製に成功しており、興味深い成果であると同時に、マイクロエレクトロニクスへのネオシリコンの応用が期待される。

また、バリスティック電子放出実験が大気圧で成功している点は評価出来る。さらに、NEMS(ナノエレクトロメカニカル)メモリ素子の実現に向けて、3次元有限要素法解析をベースとしたデバイス性能の予測を行っており、この結果を基盤として、これまでの研究成果やネオシリコンの特徴を吟味することによって新たな研究成果の創出がされる。しかし、デバイスへのnc-Siの応用という段階には至っていない。不揮発メモリ等の応用に関しても、実験的に不完全かつメカニズムが不明確である。さらに、メモリとして使用するにはサイズが大きいという問題もある。

4-2. 研究成果の現状と今後の見込み

ネオシリコンという独自に開発した材料を用いた物性研究は、表面を化学修飾したnc-SiドットにLB膜法を用いることによる2次元集積化、ネオシリコンフレキシブルトランジスタの試作、NEMSメモリ素子の試作等新しい展開があり、興味深い研究である。しかし、研究計画がネオシリコンのデバイス化にこだわりすぎているようにも見受けられるため、集積化ネオシリコンの基礎物性の測定により、この新物質の特性を明確にしてからデバイス設計をしたほうが良いと思われる。

4-3. 総合的評価

LB膜法によるネオシリコンの2次元集積化、ナノブリッジ化等のファブリケーション(微細加工)技術においてある程度の成果が得られているが、デバイス化するための制御された構造の作製には至っていない。“メカニカル物理”と“半導体ナノエレクトロニクス”を融合させようとする本研究の目標は野心的、魅力的であるが、デバイス化への見通しは立っていない。今後に向けて、得られた成果の応用へ向けた研究計画が多数予定されているが、研究計画の絞り込みを行い、着実に成果が積み上げられるよう全体の活動をまとめていく必要がある。