

## 研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 超高密度・超微細ナノドット形成とナノ物性評価技術

2. 研究代表者名: 市川 昌和 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

### 3. 研究概要

本研究では、研究代表者が見出した極薄 Si 酸化膜を用いたナノドット形成技術を基礎にして、Si 光素子実現のための材料プロセス技術の開発とそれに必要なナノ構造材料の物性評価技術の開発を目的としている。これまでに、(1)Ge ナノドット超格子の作成とフォトルミネッセンス(PL)スペクトルの測定、(2)鉄シリサイド( $\text{FeSi}_2$ )のナノドットの積層構造の作成と PL スペクトルの測定、(3)Ge ナノドットの走査トンネル顕微鏡(STM)による操作、(4)個々の Ge ナノドットの電子状態の走査トンネル分光法(STS)、光電子分光法と、STM-光吸収分光法による測定(5)Ge ナノドット間の伝導特性の測定、(6)断面透過電子顕微鏡(TEM)によるナノドット結晶構造の観察、走査透過電子顕微鏡(STEM)による Si 薄膜中の Ge ナノドットの観察と、TEM による Ge ナノドット成長過程のその場観察、を行った。

### 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、ナノドット形成技術と、評価技術を担当する東京大学(3グループ)と名古屋大学の計4グループで構成されている。Ge および  $\text{FeSi}_2$  ナノドットの形成と、フォトルミネッセンス(PL)評価、および、ナノドットの光・電子物性、伝導特性、結晶構造や原子スケールでの成長過程などの評価・観測は、当初の計画通り進んでいる。

Ge ドットについては、ドット1個の測定によって量子サイズ効果が現れることを確認し、さらに急速熱アニール法により、ナノドット構造を乱すことなく欠陥を除去し、PL 強度を大きく改善できることを見つけるなど、今後に期待できる成果を得ている。 $\text{FeSi}_2$  については、歪み緩和することなしにドット成長することを確認している。今後、チーム内の連携をさらに強化して当初の目標のエレクトロルミネッセンス(EL)発光を実現することを期待する。

#### 4 - 2. 研究成果の現状と今後の見込

Ge ナノドット形成技術と、強い PL と量子サイズ効果の観測や、STS による物性評価、STM - 光吸収分光法の開発、ナノメートルスケールの伝導特性の測定、STEM 解析法の高度化などの評価技術は高いレベルの成果が出ている。これまで行われていたストランスキー・クラスタノフ(SK)成長法では得られなかった 2nm の微細ナノドットを形成し、バンドギャップのサイズ依存性を観測して量子サイズ効果を確認したこと、また、歪み緩和することなしに  $\text{FeSi}_2$  ナノドットを成長できたことは発光材料の開発に向けて、今後に期待できる成果である。

ナノドットの物性評価結果をナノドット形成にフィードバックすることにより、さらに高品質のナノドットと、EL 発光の実現が期待できる。

#### 4 - 3 . 今後の研究に向けて

評価技術関連では、準備段階をクリアしており、STM プローブを駆使したナノ構造素子の光・電子物性、構造評価技術として新規な成果が期待できる。その評価技術による成果をナノドット形成技術の最適化に反映するとともに、現在改善を進めているアニール法などとも組み合わせて、ナノドットの特性向上が見込め、EL 発光も可能と思われる。

#### 4 - 4 . 戦略目標に向けての展望

従来の SK 成長法で得られる 20nm 径よりも遙かに小さく、かつ高密度( $>10^{12}/\text{cm}^2$ )の Ge ナノドット形成を実現しており、今後 Si 系ナノドット発光素子が実現できれば、Si 電子素子と Si 発光素子を融合したシリコンフォトニクスへの展望が開け、インパクトは大きい。また、ナノドット特有の新規な物性、用途の発現も期待される。

#### 4 - 5 . 総合評価

微細、高密度ナノドット超格子の形成技術と STM や TEM/STEM を用いたナノドットの光、電子物性および原子スケールの構造、界面評価技術に関する研究は高い水準にある。また、発光強度の改善の見込みも得ており、今後のドット形成実験加速による EL 発光の早期実現を期待している。

ナノドットの物性について新たな知見が得られており、今後、シリコンフォトニクス分野に貢献できる技術的な展開に期待する。