

研究種目： 特定領域研究

研究期間： 2006年度～2009年度

課題番号： 18063007

研究課題名（和文） ナノ構造誘起物性の制御と新機能シリコンデバイス

研究課題名（英文） Control of Nanostructure-induced Physical Properties and Its Applications to Functional Silicon Devices

研究代表者

越田 信義 (Koshida Nobuyoshi)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授

研究者番号： 50143631

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学・電子デバイス・機器工学

キーワード： 電子デバイス・集積回路

1. 研究計画の概要

量子サイズナノ結晶シリコンにおいて生じる特異な光電子物性を探索し、その制御と特性向上を通じて素子化に発展させる。対象とする主な物性と研究課題を以下に示す。

(1) 可視発光

PL発光特性の高効率化・高安定化と波長制御を実現し、得られたPL発光試料について、偏光メモリや光増幅能を明らかにする。また、その結果をEL素子の開発に生かす。

(2) 弾道電子効果

弾道輸送機構の解析とデバイス化に重点を置き、ナノドット構造の弾道走行効果を動特性などにより検証する。とともに、真空、気体、溶液に弾道素子の概念設計を行う。

(3) 超音波放出

について、特性向上とデバイス化の基礎検討を行う。それぞれの主要

2. 研究の進捗状況

(1) 発光特性

導入した高圧水蒸気アノール(HWA)の条件制御により、PL発光波長を赤色だけでなく青色帯にまで制御した。発光特性を温度依存性、励起強度依存性、励起光の偏光メモリ性などの点からくわしく解析し、赤色と青色の発光起源の違いを明らかにした。また、表面修飾処理により多層膜DBRミラー装荷光共振器の長期安定性を飛躍的に改善した。発光と関連してナノシリコンダイオードの光導電特性を測定し、バンドギャップワイドニングによる可視域感度を確認した。

(2) 弾道電子放出

真空中応用では、並列EB露光への適用を試み、約30nm幅のパターン形成を実現した。

また、エミッタを微細アレイ化した素子で超高感度撮像への応用可能性を確認した。また気体中ではXe分子の直接励起・緩和により、電離放電なしで真空紫外光が可能であることを示した。さらに溶液中では、純水、酸性、アルカリ性、生理食塩水に対象を広げ、溶液の種類によらず、電子放出時には素子表面で水素のみが発生し、pHや水素溶容量の制御への利用可能性を明らかにした。

(3) 音響機能

デジタル駆動方式を導入し、スピーカーとしての広帯域化と高効率化が同時に達成できることを実証した。また同一素子から音と光を放出する機能集積の動作を確認した。さらに、アレイ化素子の位相制御駆動によって、音波の指向性・集束性を変化できることを示した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

(1) 発光特性

従来困難であった青色発光の高効率化と安定化を実現するとともに、発光機構の特異性を示した。表面終端の重要性を発展的に検証でき点は、当初計画以上の成果である。

(2) 弾道電子放出

ナノシリコンに特有の弾道電子生成・放出効果の特長を生かし、真空中応用をはじめ、動作媒質を大気圧気体、さらには溶液にも広げた。従来は全く考えられなかった可能性を実証した点で予期以上の進展をみた。

(3) 超音波放出

提案方式の特質を最も効果的に生かすうるデジタル駆動の適合性を確認できた。こ

のデバイスに適した応用の方向を定めるに至った点で達成度は高い。

4. 今後の研究の推進方策

青色発光の機構解明、量子効率の向上、E L素子などのフォトにクス応用への展開、光増幅の本格検討、が次段階の主題として残る。それらの全てに共通して対応しうる方策として、ナノシリコン内のエネルギー伝達効果を活用する可能性に焦点をしばって実験的検討を行う。

弾道電子放出については真空・気体・溶液での動作研究をさらに進め、新規現象を探索する。同時に応用の基礎をさらに固めるため弾道電子の生成機構を理論的に解析し、特性向上と安定化に生かす。

熱誘起超音波放出の高効率化と広帯域化をデジタル駆動方式によってさらに追求する。並行して、集積型センサ、高機能化MEMS、音響環境制御などの開発を連携研究によって進める。

また上記課題全体の基盤となるプロセス技術についても、表面・界面終端の完全化に向けてアニール技術の確立をめざす。そのさい、光・電子・音響機能を増強する方向で、それぞれに適したプロセス条件を見いだす。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

<全て査読あり>

- ① M. Ghulinyan, B. Gelloz, T. Ohta, L. Pavese, D.J. Lockwood, and N. Koshida, Stabilized porous silicon optical superlattices with controlled surface passivation, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 061113-115 (2008).
- ② D. Sakai, C. Oshima, T. Ohta, and N. Koshida, Specific spectral features in electron emission from nanocrystalline poly-silicon quasi-ballistic cold cathode detected by an angle-resolved high resolution analyzer, *J. Vac. Sci. Technol. B* **26** (5), 1782-1786 (2008).
- ③ A. Kojima, H. Ohyi, N. Koshida, Sub-30 nm Parallel EB Lithography using Nano-Si Planar Ballistic Electron Emitter, *J. Vac. Sci. Technol. B* **26**(6), 2053-2057 (2008).
Sci. Technol. B **26**, 711-715 (2008).
- ④ T. Ohta, B. Gelloz, and N. Koshida, Characteristics of nanosilicon ballistic cold cathode in liquids as an active electrode, *J. Vac. Sci. Technol. B* **26**, 716-719 (2008).
- ⑤ Y. Hirano, S. Yamazaki, and N. Koshida, Improved photoconduction effects of nanometer-sized Si dot multilayers, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 3095-3098 (2008).
- ⑥ B. Gelloz, M. Sugawara and N. Koshida, Acoustic Wave manipulation by phased operation of two-dimensionally arrayed nanocrystalline silicon ultrasonic emitters, *Jpn. J. Appl. Phys.* **47**, 3123-3126 (2008).

[学会発表] (計 16 件)

- ① T. Ichihara, T. Hatai, and N. Koshida, Direct Excitation of Xenon by Ballistic Electrons Emitted from Nanocrystalline Silicon Planar Cathode and Vacuum-Ultraviolet Light Emission, *Int. Display Workshop* (Niigata, Dec., 2008).
- ② N. Koshida, A. Asami, and B. Gelloz, Development of efficient broadband digital acoustic device based on nanocrystalline silicon ultrasound emitter, *IEDM 2008 Technical Digest*, pp. 659-662.
- ③ N. Koshida and B. Gelloz, Photonic, electronic, and acoustic devices based on nanocrystalline silicon (Invited), *ECS Meet. Abstr. ECS* **802**, 2148 (2008).
- ④ B. Gelloz, R. Mentek and N. Koshida, Specific blue light emission from nanocrystalline porous Si, treated by high-pressure water vapor annealing, *Ext. Abst. 2008 Int. Conf. Solid State Devices and Mater.*, pp. 956-957.
- ⑤ B. Gelloz, T. Shibata and N. Koshida, Sound emission from nanocrystalline silicon device under operation of electroluminescence, *Ext. Abst. 2008 Int. Conf. Solid State Devices and Mater.*, pp. 1104-1105.

[図書] (計 1 件)

- ① N. Koshida (Ed.), *Device Applications of Silicon Nanocrystals and Nanostructures* (Springer, New York, 2009) 348 p.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: シリコン系青色発光材料の製造方法及びシリコン系青色発光材料

発明者: 越田信義、B. Gelloz

権利者: 東京農工大学

種類: 特許

番号: 特願 2008-223583

出願年月日: 2008年9月1日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

- ① T. Ichihara, T. Hatai and N. Koshida, *Int. Display Workshop 2008, Best Paper Award* (Dec., 2008).