

【基盤研究(S)】

理工系 (工学)



研究課題名 Si-Ge 系スーパーアトム構造のセルフアライン集積による光・電子物性制御

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

みやざき せいいち
宮崎 誠一

研究課題番号： 15H05762 研究者番号： 70190759

研究分野： 電子・電気材料工学

キーワード： 薄膜・量子構造

【研究の背景・目的】

Si-Ge系スーパーアトム(コア/シェル量子ドット)において発光強度を飛躍的に高めるための価電子制御手法を確立し、これを高密度・規則配列した三次元自己整合集積構造を形成することで、電流注入型レーザへ応用可能な高濃度キャリア注入と高効率キャリア再結合を実現できるSi系エレクトロルミネッセンス材料を創成することを目的とする。具体的には、歪、不純物元素を導入したコア/シェル量子ドットにおいて、電子状態、キャリア再結合ダイナミクスを精査し、直接遷移型への価電子状態変調による高輝度発光への指針を得る。さらに、極薄シリコン酸化膜上に二次元規則配列したドット上に自己整合的にドットを積層(縦積み)させて3次元自己集積構造を形成することで、ドットサイズの均一化とドット間トンネル結合の強化を行い、キャリア注入効率の増加と発光波長の狭帯化を実現し、高効率発光素子の開発を目指す。

【研究の方法】

本研究では、申請者らのSi系量子ドットの自己組織化形成に関する実績・経験を踏まえて、コア/シェル構造、歪、不純物元素を導入することで直接遷移型に価電子制御したSi-Ge系スーパーアトムを自己整合的に高密度・規則配列した三次元集積構造を形成する(図1)。

間接遷移型半導体であるSiやGeでは、ナノ構造化することで擬似直接遷移型となるので発光効率を大幅に向上させることができる。特に間接バンドギャップと直接バンドギャップのエネルギー差が小さく、その差が伸張歪によりさらに縮小するGeでは、直接遷移型への価電子変調が期待されることから、本研究ではGe量子ドットにおいて発光再結合効率の飛躍的な向上を目指す。しかし、これらの材料が直接SiO₂に埋め込まれた量子ドットでは、ドット/SiO₂界面に非発光再結合中心となる欠陥の生成が懸念されるので、SiO₂との界面制御技術が確立されたSiを殻(シェル)とするコア/シェル量子ドット構造を形成する。本研究で提案するSi-Ge系スーパーアトム(コア/シェル量子ドット)の自己整合集積構造においては、発光波長スペクトルが狭くなり、特定波長の発光強度が増大することで、誘導放射・光増幅に有利になると期待できる。また、ドットが基板垂直方向に自己整合的に積層しているためランダムに積層した場合と比べドット間のキャリアトンネル確率が增大する。さらに、シェルまたはコアに不

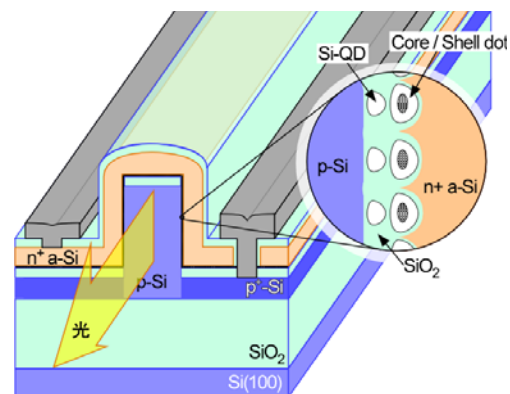


図1 一次元連結Si系ドット構造を活用した高効率エレクトロルミネッセンスデバイスの構造図。

純物(PまたはB)をデルタドーピングすることによりキャリア注入効率を向上させることができる。

【期待される成果と意義】

本研究は、価電子制御によりキャリア発光再結合効率を向上させたコア/シェル量子ドットを三次元規則配列するとともに、電流注入方向に自己整合的に積層したドットへデルタドーピングすることでキャリア注入の高効率化と再結合速度の増大を両立させて、高効率・高輝度で発光するシリコン系EL材料を新たに創出する。本研究の推進によって得られる成果は、シリコンULSIプロセスとの整合性が高く、シリコン・フォトンクスにおいて実現が極めて困難であると考えられていた電流注入型シリコン系レーザの開発に繋がると期待できる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- K. Makihara, K. Kondo, M. Ikeda, A. Ohta and S. Miyazaki, Photoluminescence Study of Si Quantum Dots with Ge Core, ECS Trans., Vol. 64, No. 6, 2014, pp. 365-370.
- K. Makihara, H. Deki, M. Ikeda and S. Miyazaki, Electroluminescence from One-dimensionally Self-Aligned Si-based Quantum Dots with High Areal Dot Density, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 51, No. 4, 2012, 04DG08 (5 pages).

【研究期間と研究経費】

平成27年度-30年度 152,300千円

【ホームページ等】

<http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/miyazakilab/>