

# 1550nm 帯光集積回路に向けたイオン注入による量子ドット組成混晶化の実験的・数値解析的検討

## Theoretical and Experimental Analysis on Ion-Implantation-Induced Quantum Dot Intermixing for 1550 nm-Band Photonic Integrated Circuits

情通機構<sup>1</sup>, 早大理工<sup>2</sup>, 早大 GCS 機構<sup>3</sup>

○松本敦<sup>1</sup>, 赤石陽太<sup>2</sup>, 伊澤昌平<sup>2</sup>, 松島裕一<sup>3</sup>, 宇高勝之<sup>2</sup>

NICT<sup>1</sup>, Waseda Univ.<sup>2,3</sup>, °A. Matsumoto<sup>1</sup>, Y. Akashi<sup>2</sup>, S. Isawa<sup>2</sup>, Y. Matsushima<sup>3</sup>, and K. Utaka<sup>2</sup>

E-mail: a-matsumoto@nict.go.jp

**研究背景** 近年、特にモバイルやデータセンタ等の中短距離通信トラフィックの増加が顕著である。そのため Si photonics に基づいた光集積回路による小型・高速・大容量なトランシーバや、LSI と光集積回路を集積したデバイスなどが多数報告され、低コストで大容量通信可能なネットワークに向けた研究がされている[1]。一方、これまで我々は、高性能光デバイスを実現するための材料・ナノ構造として期待される量子ドット (QD: Quantum Dot) に注目し、イオン注入を用いた QD 組成混晶化 (QDI: Quantum dot intermixing) 技術により[2]、再成長不要な QD モノリシック光集積回路を作製し、基礎的な特性を示してきた[3]。しかしながら、未だにその物理的な検討は不十分であった。本稿では、QDI を実施した QD ウェハの発光特性や電子状態を実験・数値解析により検討し、QDI により発光波長を大きくシフト出来るだけでなく、発光効率を向上させる特性も有する点を見出したので報告する。

**実験・解析結果** InAs QD/InGaAlAs ペアを 30 層積層した活性層と、p-, n-InAlAs クラッド層、p+-InGaAs コンタクト層から成るウェハを作製し、Ar をイオン注入した後、RTA (Rapid thermal annealing) により QDI を生じさせた。このサンプルの PL 発光ピーク波長のシフトを測定した。イオン注入の加速電圧を 120 keV、ドーズ量を  $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  とした。その温度依存性を図 1 に示す。図 2 には InAlGaAs 埋込み層の各組成比において QDI により拡散した元素の拡散長と波長シフト量の解析結果を示す。この数値解析では、拡散方程式に基づく各元素の拡散、結晶構造や歪み、ピエゾ効果等を考慮したバンド構造や電子・ホール波関数の波動関数・基底準位エネルギー等を計算した。図 1 から RTA 温度 680 °C で 120 nm 以上の大きな波長シフトが得られることがわかる。これは図 2 によると拡散長  $L_d = 5 \text{ nm}$  程度に相当する。図 2 に示した通り、Ga, In 組成が小さい方がより波長シフト量が大きく、3%の組成の違いが約 13%の波長シフト量の増加に繋がった。これは QD と埋込み層の各元素の濃度差に起因するものと推察される。次に、 $L_d = 5 \text{ nm}$  の元素の拡散が生じた QDI 前後の場合における QD 内の基底準位の電子波動関数の解析結果を示す。QDI 未実施の QD 構造では電子の波動関数が [2-33] に偏って分布している。これは InP(311)B 基板を使用しピエゾ効果が生じていることに起因していると考えられるが、一方 QDI を実施した QD 内では波動関数の偏りが緩和された結果となった。これは電子・ホールの遷移確率の改善と発光効率の向上を示唆すると考えられ、InP(311)B 基板を用いた QDI 光デバイスの大きな特徴である。

**まとめ** QDI を行った QD 成長ウェハの発光特性や電子状態を実験・数値解析を用いて検討し、QDI により発光波長を大きくシフト出来るだけでなく、発光効率を向上させる特性も有することを示した。

**謝辞** 本研究の一部は、総務省の「電波資源拡大のための研究開発」、科学技術振興機構 CREST (JPMJCR17N2)、日本学術振興会科研費基盤 A (JP17H01277) の一環として実施された。

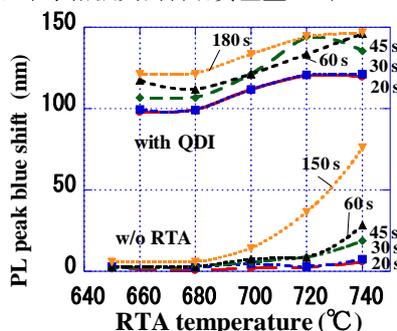


Fig.1 Experimental results of PL peak blue shift dependent on RTA temperature.

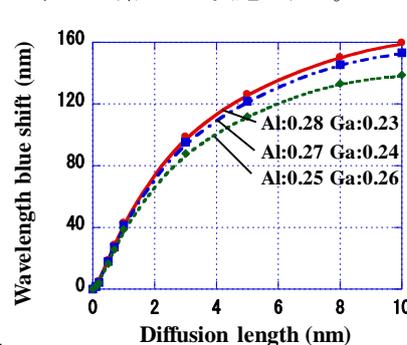


Fig.2 Numerical results of wavelength shift by QDI.

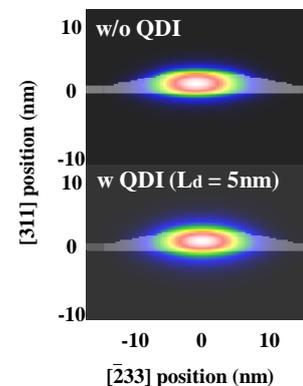


Fig.3 Wavefunctions before and after QDI process.

### 参考文献

- [1] T. Shi, et al., Proc. OFC2018, M3F.4 (2018).
- [2] A. Matsumoto et al., Proc. CLEO2016, SM4R.5 (2016).
- [3] S. Matsui, et al., Proc. CSW2016., MoP-IPRM-028 (2016).