

究極的シリコン系発光デバイスの研究開発

R&D of ultimate light emitting devices
based on group IV materials

研究代表者 丸泉琢也 東京都市大学
T. Maruizumi Tokyo City University

研究分担者 徐学俊 野平博司 澤野憲太郎 白木靖寛
X. Xu H. Nohira K. Sawano Y. Shiraki
東京都市大学 Tokyo City University

研究期間 平成24年度～平成26年度



究極的シリコン系発光デバイスの研究開発

シリコンフォトニクス研究で喫緊の課題となっているシリコン系室温高効率発光デバイスの開発を目指し、Ge量子ドット、高ドーピング歪みGeなどのシリコン系材料を微小共振器と組み合わせ、材料・プロセス・デバイスの各観点から研究開発を推進した。

表 研究プロジェクト計画線表

研究項目	研究年次		
	平成24年	平成25年	平成26年
量子ドット/PhC PhC: Photonic Crystal	☆ Ge量子ドットサイズ均一化と PhC共振器デバイス作製・評価	☆ L3-type PhC等の構造最適化	レーザ発振(室温)の実証 究極的シリコン系デバイス
MQW/μDisk MQW: Multi quantum well MBE: Molecular Beam Epitaxy	☆ MBEによるMQW積層構造最適化 ☆ (μDisk⇔バス型導波路) 結合解析 と最適設計	材料選択 (MQW/s-Ge)	
s-Ge/μDisk S-Ge: strained-Germanium	☆ MBEによるs-Ge積層構造最適化 並びに高ドーピングの達成	☆ μDisk+(MQW/ s-Ge)構造作製 構造最適化	



研究開発の主要成果の概要

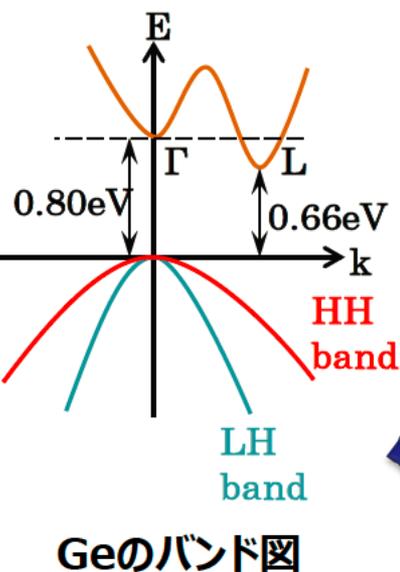
- 1) シリコン系発光材料の研究開発では、MBE二段階（低温・高温）成長法とSOD（Spin on Dopant）法の組み合わせにより、ピーク波長 $1.695\mu\text{m}$ で、化合物半導体に匹敵する 5300cm^{-1} もの高ピーク利得を持ち、利得帯域も 300nm と極めて広い特性を示す歪みGeOS（Ge on Silicon）基板の開発に成功した。
- 2) 1) で開発のGeOS基板を用い、より高い光閉じ込め効果が期待できる歪みGeOI（Ge on Insulator）基板を世界に先駆けて開発し、SODプロセスによるP高濃度ドーピング、CMP（Chemical and Mechanical Polishing）法による表面平坦化と大面積化を達成した。
- 3) Ge-QDを発光源材料とする導波路結合 μDisk 型電流注入室温発光デバイスの発光スペクトルでは高Q値2800を観測した。より精密な計測が可能となる透過率測定から、発光波長 $1.537\mu\text{m}$ の発光は、研究開発目標のQ値に迫るQ値5100を持つことが判明した。
- 4) 1) の材料を用いた μDisk 型デバイスの評価では、バンドギャップを超える短波長域にフアブリペロ共振ピークを観測する事ができ、レーザ発振の前段階となる光学的ブリーチングを観測する事が出来た。
- 5) 新規構造デバイスとして、フレキシブルな歪み印加が可能となる両持ち梁構造（ビーム）、クロスブリッジ構造デバイスを試作し、SiGe/Ge-QDを発光材料として用いたビーム構造デバイスでは、従来比3桁以上の発光強度増大を達成した。



Geへの歪み印加と高ドーピングによる発光特性改善

引張り歪み

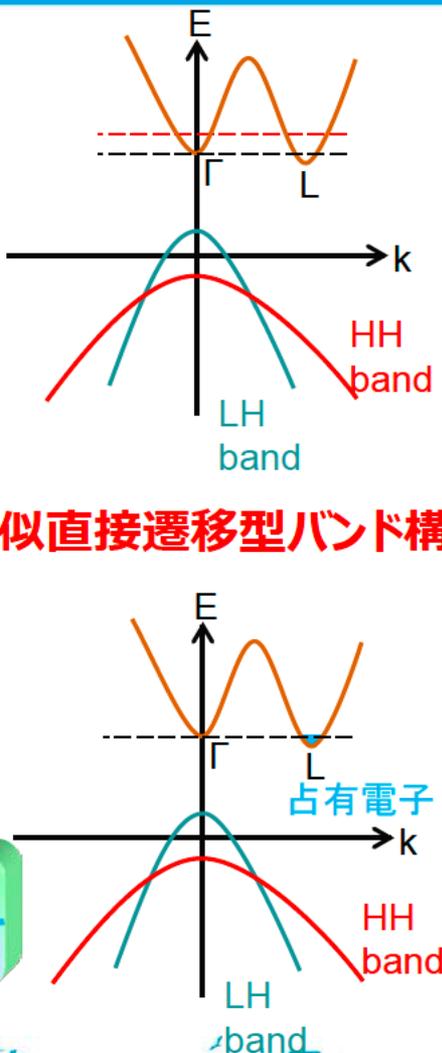
MBE二段階成長



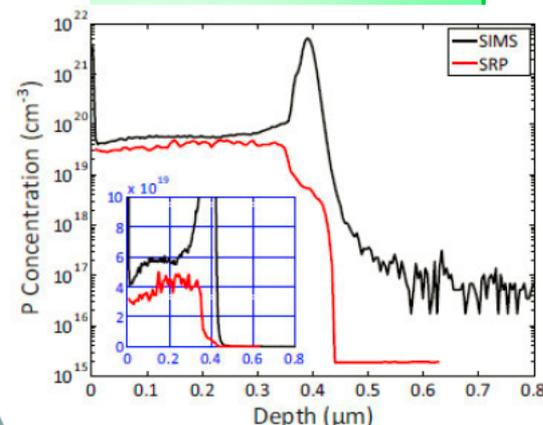
疑似直接遷移型バンド構造

N型ドーピング

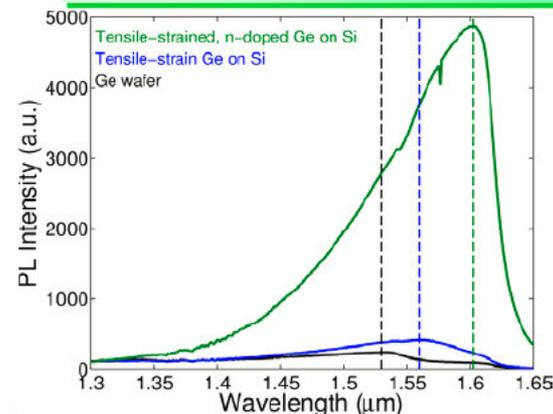
SODプロセス



濃度: $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

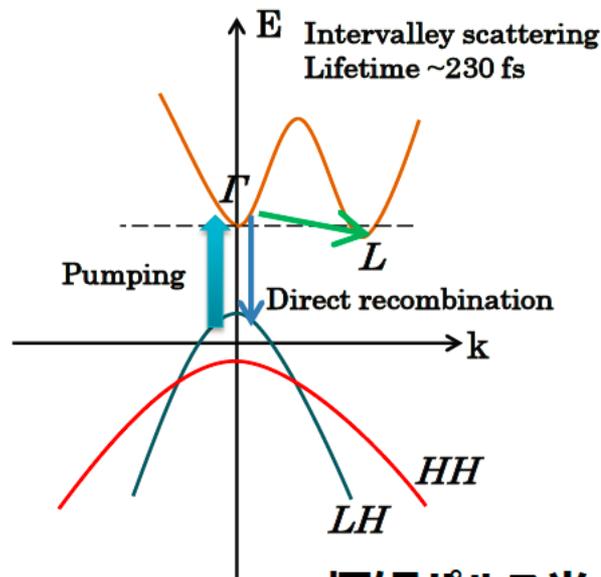


一桁以上の発光強度増大

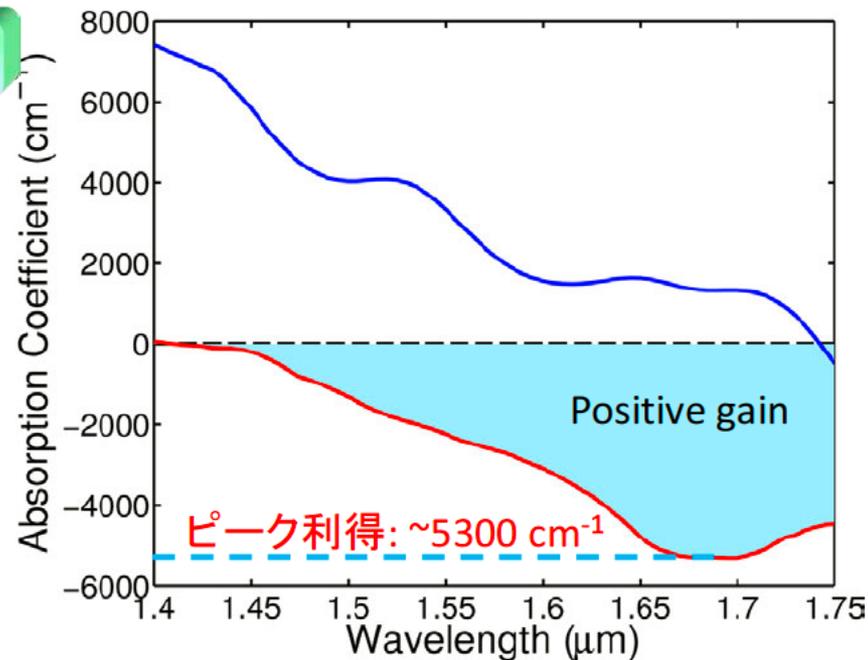
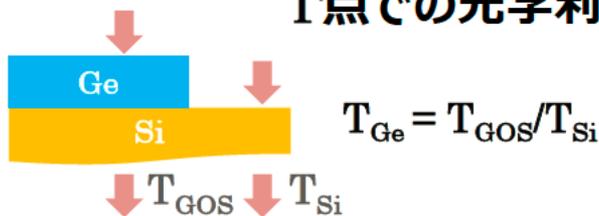


N型高ドーパ歪みGeOS基板の光学利得

フェムト秒レーザーを用いた光学利得の測定



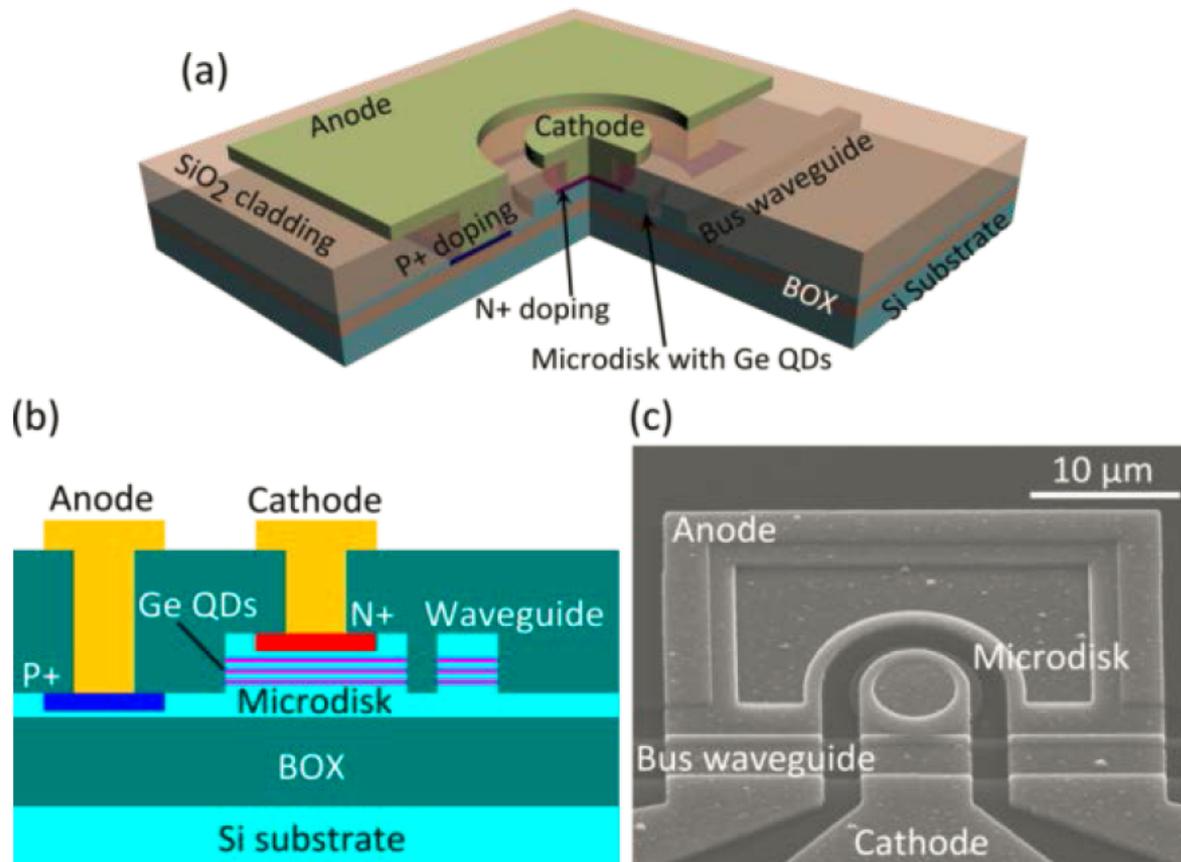
極短パルス光 (<80fs) により
 Γ 点での光学利得測定が可能



世界最高の光学利得
(MIT報告値の4倍)

Applied Physics Express Vol.8 No.9
pp092101(4頁)にて発表済.

Ge-QD利用の導波路結合μDisk型 電流注入室温発光デバイスの開発

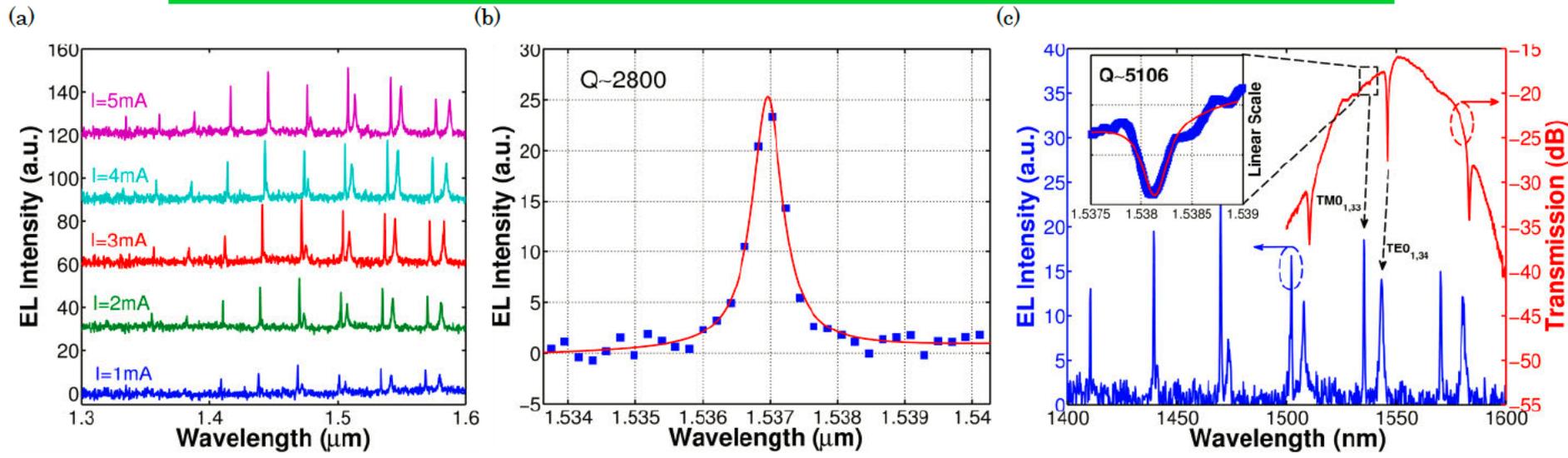


(a) 3次元構造モデル、(b)断面構造モデル、(c)実デバイスSEM像



Ge-QDを利用した導波路結合 μ Disk型発光デバイスの室温電流注入近赤外発光特性

目標Q値にせまるQ値5100を持つ発光デバイスを開発

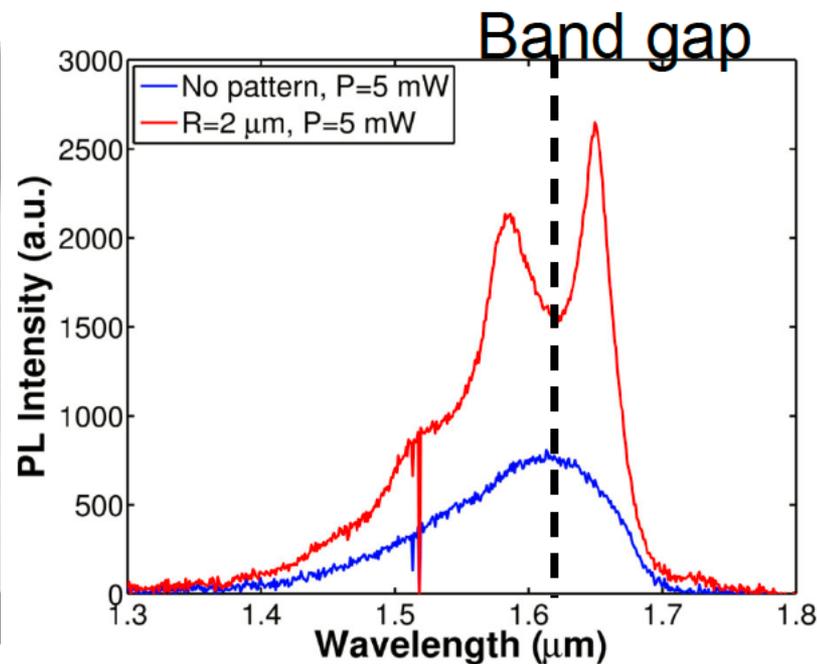
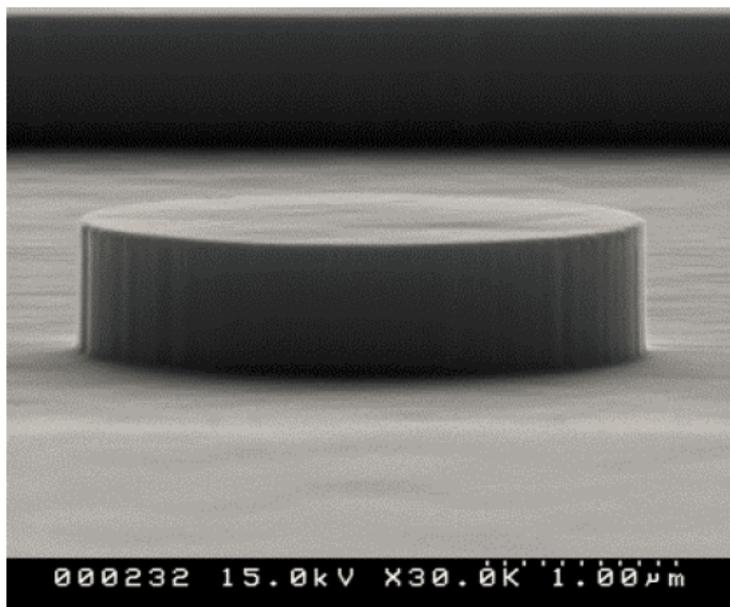


(a) 注入電流値による発光特性の変化、(b) $1.537\mu\text{m}$ ピークの拡大図 ($I=2\text{mA}$)、(c) ELスペクトルと透過率測定結果の比較

Optics Express, Vol.22 No.4 pp3902-3910 にて発表済

近赤外レーザーデバイス実現への取り組み

N型高ドープ歪みGeOS基板を用いた μ Diskデバイス



バンドギャップ超のエネルギー領域に、Optical bleachingの証左となる発光ピークを観測



研究開発成果のまとめ、展開、波及効果創出

研究成果のまとめ

1. 高ドーピングGeOS基板で、世界最高の光学利得を達成
2. 同基板を用いた μ Diskデバイスでレーザ発振の前段階となる、Optical Bleachingを観測
3. 導波路結合 μ Disk型電流注入発光デバイスで、プロジェクト目標に迫るQ値5100を達成

今後の展開等

1. N型高ドーピングGeOS基板を用いたレーザデバイスの早期開発とその低閾値化
2. Optomechanical素子など新機能素子探索

