

MBE 技術の向上による量子ドットレーザの進化

Evolution of Quantum Dot Lasers through Improvements of MBE Technology

東大ナノ量子機構¹, (株)QD レーザ², 東大生産研³○西 研一^{1,2}, 影山 健生^{1,2}, 武政 敬三^{1,2}, 菅原 充^{1,2}, 荒川 泰彦^{1,3}Nano Quine, Univ. of Tokyo¹, QD Laser, Inc.², IIS, Univ. of Tokyo³,○K. Nishi^{1,2}, T. Kageyama², K. Takemasa², M. Sugawara^{1,2}, and Y. Arakawa^{1,3}

E-mail: kennishi@iis.u-tokyo.ac.jp

キャリアの三次元的な閉じ込め効果により優れた特性が実現される量子ドット (QD) レーザは、1982 年に日本から提案され[1]、物理的な解析[2]や、自己形成的な結晶成長手法[3]により、優れた特性が実現されるようになった。ここでは、分子線エピタキシー (MBE) 技術の向上により可能となった QD レーザの進化について、特性改善と商用レベルの実用化を含めて紹介する。

図 1 に、利得増加を目指した QD の進展を示す。高均一でもドット数の少ない場合や高密度でも均一性に課題のある場合では実用レベルの利得の達成は困難であった。ここで MBE 技術の向上により密度および均一性の向上がなされ、GaAs 上の InAs QD において、PL 半値幅 35meV 程度で、かつ密度も向上された多層構造が 2004 年頃の実現され、優れたデバイス特性が確認されるレベルに達した (Phase1)。2008 年頃には MBE 成長条件・シーケンスのさらなる改善により、面内密度 $6 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$ 程度で 5~8 層の多層化が可能となり、利得の向上が得られ (Phase2)、QD レーザの実用レベルでの大きな特性改善が示された[4,5]。信頼性も確保され、商用レベルでの MBE 技術確立を通し[6]、通信波長域の QD レーザは量産段階に達している[7]。さらに、QD 埋め込み中の In 拡散を抑制し、高密度・多層を保持しつつ PL 半値幅 25meV 程度の均一性が得られ、室温で 60cm^{-1} のピーク利得によって、図 2 に示す QD レーザの 220°C 連続動作を実証した (Phase3) [8]。

今後は、MBE 技術進展による発光波長域の拡大や、さらなる均一性の改善が望まれる。またシリコン上 QD レーザ[9]等による、光インターコネクト等のアプリへの展開も大きく期待される。

[謝辞]本研究の一部は文部科学省振興調整費において実施した。

References

[1] Y. Arakawa, and H. Sakaki, APL⁴⁰, 939 (1982). [2] M. Sugawara, et al., PRB⁶¹, 7595 (2000). [3] L. Goldstein, et al., APL⁴⁷, 1099 (1985). [4] Y. Tanaka, et al., OFC'09, OWJ1. [5] K. Takada, et al., OFC'10, OThK2. [6] T. Kageyama, et al., MBE 2012, MoP-64: 影山他、2012 秋応物. [7] <http://www.qdlaser.com/> [8] T. Kageyama, et al., Photonics West 2012, 8277-11: 西 他 2011 秋応物. [9] K. Tanabe, et al., OPTICS EXPRESS 20, B315 (2012).

QDs	Uniform QDs	Conventional QDs (Phase 1)	High-Density QDs (Phase 2)	High-Density and Uniform QDs (Phase 3)
QD Density	Low	Mid	High	High
Inhomogeneous broadening	Narrow (< 25 meV)	Mid (~35 meV)	Mid (~35 meV)	Narrow (~25 meV)
Gain curve				
Gain@8 layers		25-30 cm^{-1}	40-50 cm^{-1}	50-60 cm^{-1}

Figure 1 Evolution of InAs quantum dots on GaAs for higher optical gain.

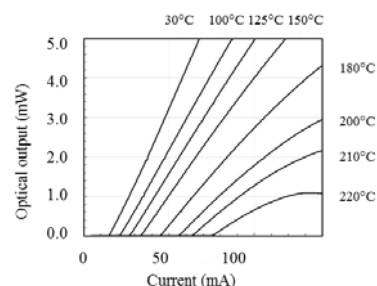


Figure 2 High-temperature cw operation of a QD laser with high-optical gain.