

# 可変ストライプ長法による InGaAs 量子ドットの モード利得測定の間層膜厚依存性

## Interlayer thickness dependence of modal gain of InGaAs Quantum dots by variable stripe length method

北大院情報科学 ○高山 純一, 大竹 章久, 樋浦 諭志, 村山 明宏

IST, Hokkaido Univ. ○J. Takayama, A. Ohtake, S. Hiura and A. Murayama

E-mail: takayama@ist.hokudai.ac.jp

半導体量子ドットを光学活性層に用いたレーザーは、電子の状態密度が完全に離散化しているためモードホッピングのない高温安定動作が可能であり、冷却素子を必要としない低消費電力でレーザーとして期待されている<sup>[1]</sup>。また、量子ドットは0次元構造のため電子と正孔の状態密度が空間的に強く重なり、高い発光再結合確率を持つ。しかし、量子ドットはその形状的特性のため状態密度が極度に制限され、光学活性層として高いモード利得を得るためには高密度化が必要不可欠である。そこで、本研究では積層方向の量子ドット層間膜厚を制御した試料を作製し、量子ドット間の電子波動関数の結合によるモード利得への影響について研究した。

量子ドット試料は、分子線エピタキシー法により作製した。試料構造と可変ストライプ長法(VSLM)の模式図を Fig.1 に示す。量子ドット層間膜厚  $d$  を 40, 10 nm と変えることで、積層方向における量子ドット間の電子波動関数結合の強さを制御した。量子ドットの面内密度は成長条件の調整により、面内での電子波動関数結合を無視できる  $1.7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  とした。試料のモード利得は、VSLM を用いて測定した。測定条件は、励起光源として波長 532 nm のナノ秒パルスレーザーを使用し、パルスエネルギー密度を  $0.7\text{--}4.0 \text{ mJ/cm}^2$  の範囲で変化させた。Fig.2(a) に VSLM によって得られた増幅自然放出光 (ASE) 強度のストライプ長  $L$  依存性を、Fig.2(b,c) に ASE スペクトルを示す。ASE 強度は  $L$  に対して初めは非線形的な増加を示し、その後線形飽和に転ずる。モード利得  $g_{\text{mod}}$  は、この非線形的な増加に対して  $I_{\text{ASE}} = \frac{A}{g_{\text{mod}}} (e^{g_{\text{mod}} L} - 1)$  から<sup>[2]</sup>、 $d=40 \text{ nm}$  のとき  $1.40 \text{ eV}$  において  $84 \text{ cm}^{-1}$ 、 $d=10 \text{ nm}$  のとき  $1.45 \text{ eV}$  において  $165 \text{ cm}^{-1}$  と求めることができた。モード利得値は、量子ドット層間膜厚  $d$  により大きく変化し、また高いモード利得値が得られる発光エネルギーも変化した。量子ドット間において電子的結合がある  $d=10 \text{ nm}$  では、量子ドットの励起状態において多数の結合準位が形成され実効的な状態密度が増加していると考えられる。これらの結果をもとに、電子波動関数の結合がモード利得に与える影響について議論する。

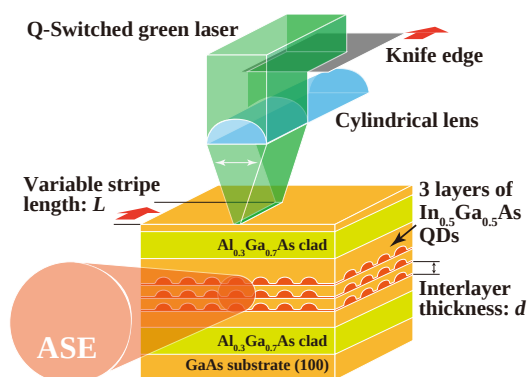


Fig. 1: Schematic diagram of VSLM

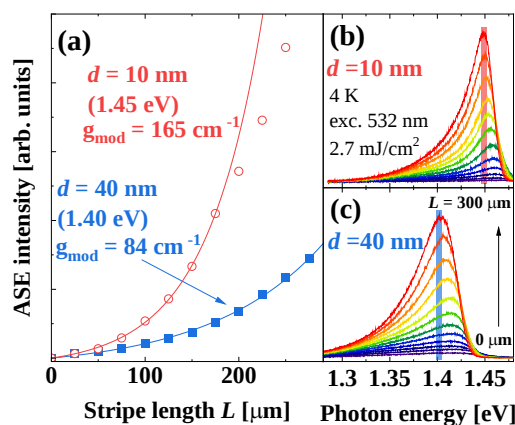


Fig. 2: Stripe length dependence of ASE intensity (a) and spectra (b, c)

### References:

- [1] M. Sugawara et al., Nat. Photonics **3**, 30 (2009).
- [2] S. Yakunin et al., Nat. Commun. **6**, 8056 (2015).