16p-A8-11

## 量子ドットレーザ高速動作への SCH/バリア層厚の影響 Effect of SCH/Barrier Layer Thickness on High-speed Modulation in Quantum Dot Lasers

東大ナノ量子機構<sup>1</sup>,東大生産研<sup>2</sup>,(株)富士通研究所<sup>3</sup>,(株)QD レーザ<sup>4</sup> 安岡奈美<sup>1</sup>,石田 充<sup>3</sup>,山口正臣<sup>3</sup>,江川 満<sup>3</sup>,山本 剛之<sup>3</sup>,西 研一<sup>1</sup>,菅原 充<sup>4</sup>,荒川泰彦<sup>1-2</sup> NanoQuine, Univ. of Tokyo<sup>1</sup>, IIS, Univ. of Tokyo<sup>2</sup>, Fujitsu Laboratories Ltd.<sup>3</sup>, QD Laser, Inc.<sup>4</sup> N. Yasuoka<sup>1</sup>, M. Ishida<sup>3</sup>, M. Yamaguchi<sup>3</sup>, M. Ekawa<sup>3</sup>, T. Yamamoto<sup>3</sup>, K. Nishi<sup>1</sup>, M. Sugawara<sup>4</sup>, and Y. Arakawa<sup>1-2</sup>

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

【はじめに】温度安定性に優れるGaAs基板上波長1.3 µm帯InAs量子ドットレーザ(QD-LD)[1,2]の変 調帯域増大に向けて、我々はこれまでに量子ドットの高密度化と積層数増大により最大モード利得を 増大し、25 Gbps直接変調動作を実証してきた[3]。また、積層数の異なる素子の解析より、QD-LDの変 調帯域を制限するK因子はキャリアトランスポートにも依存することを示しモデル化してきた[4,5]。 QD-LDの変調帯域を制限するK因子は、

$$\frac{K}{4\pi^2} = \tau_P + \frac{\tau_0}{(1-P)} + \frac{(L_{P-N}/2)^2}{2D} = \tau_P + \tau_{0eff.} + \tau_{trans.} \qquad (1)$$

で与えられ、第1項は光子寿命 $\tau_p$ 、第2項は基底準位での平均占有確率Pと捕獲緩和時間 $\tau_o$ から決まる有効捕獲緩和時間 $\tau_{ceff}$ 、第3項はp-nクラッド層間距離 $L_{PN}$ と有効拡散定数Dで決まるキャリア拡散トランスポート時間 $\tau_{rans}$ である。しかしながら、従来の解析では、量子ドット層の層数とSCH/バリア層の厚さで決まる $L_{PN}$ を同時に変化させていたためSCH/バリア層の影響を切り分けることができなかった。そこで今回、量子ドットの層数とバリア層の厚さを同一にし、バリア層と同じ材料であるGaAs-SCH層の厚さのみを変化させたQD-LDの特性を比較することでSCH/バリア層厚のK因子への影響を調べたので報告する。

【素子構造および素子特性】図1の挿入図に、比較した2つの活性層(Sample A, B)の構造を示す。量子 ドット部分は共に厚さ40 nmのGaAsバリア層を中間層に用いた6層積層構造で、その両側にあるGaAs-SCH 層の厚さを変化させてクラッド層間距離 $L_{PA}$ を、Sample Aは278 nm、Sample Bは328 nm とした。作製 したレーザはリッジ導波路型ファブリ・ペローレーザである。2つの活性層は、光閉じ込め係数がほぼ 同じで最大モード利得も共に39 cm<sup>-1</sup>であったため量子ドット部分の光学特性は同等と扱え、SCH層のみ の影響を評価できる。小信号変調特性の測定は、素子長Lと端面反射率Rを変化させた複数の素子で行 った。その中で最大の-3 dB遮断周波数f<sub>3dB</sub>が得られた素子の小信号変調特性を図1(a), (b)に示す。-3 dB 遮断周波数は電流上昇とともに高くなり、Sample Aで10.8 GHz、Sample Bで10.0 GHzが得られた。 【考察】図2は、素子長と端面反射率が異なる複数の素子の小信号応答フィッティングから導出した (K/4 $\pi^2$ - $\tau_{r}$ )を縦軸に、モード利得としきい値電流密度の関係から導出した1/(1-P)を横軸にプロットし たもので、直線近似式の傾きおよび切片から捕獲緩和時間 $\tau_{cff}$ も短く高速変調動作に適してい ることが分かった。SCH層とバリア層は同じGaAs材料であることから、SCH/バリア層を薄くしてGaAs層 でのキャリア溜りを減少させることが有効捕獲緩和時間の短縮に有効であると考えられる。 【謝辞】本研究は文部科学省イノベーションシステム整備事業の支援により遂行された。





Fig. 2. Analyses of K-factors to extract  $\tau_0$  and  $\tau_{trans.}$ .

Table 1. The evaluated components of the K-factor.

	$ au_{0{\it eff.}}$	${ au}_{\scriptscriptstyle trans.}$
Sample A:	4.5 ps	1.5 ps
Sample B:	5.8 ps	2.5 ps

Fig. 1. Small-signal modulation characteristics. The insets show schematic diagrams of the two QD active layer structures.

【参考文献】 [1] Y. Arakawa and H. Sakaki, APL 40 (1982) 939. [2] K. Otsubo et al., JJAP43 (2004) L1124. [3] Y. Tanaka et al., CLEO (2010) CTuZ1. [4] 石田充ら 2010年秋季応物, 17a-H-2. [5] 石田充ら 2011年秋季応物, 1a-ZL-6.