

GaInP/AlGaInP 系 THz 帯量子カスケードレーザ

GaInP/AlGaInP material system for high-temperature THz-QCL operation

情報通信研究機構 安田 浩朗

NICT, Hiroaki Yasuda

E-mail: yasuda@nict.go.jp

THz 帯量子カスケードレーザ (THz-QCL) の最高動作温度は 200K 程度にとどまり、動作温度の向上が課題である。高温時の反転分布減少は熱励起 LO フォノン散乱が原因とされる。その抑制のため LO フォノンエネルギー E_{LO} の大きい半導体材料系を用いることが考えられる。一方、材料系の変更により LO フォノンと電子との相互作用に起因するレーザ準位のブロードニング (E_{LO}/ϵ_p に依存。ここで $\epsilon_p^{-1} \equiv (\text{高周波比誘電率 } \epsilon_\infty)^{-1} - (\text{静電比誘電率 } \epsilon_s)^{-1}$) が大きくなると、利得が大幅に減少する。さらに成長膜厚を制御するには新材料系の電子の有効質量が小さいことが望ましい。これらの観点から $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}/\text{Al}_x\text{Ga}_{0.51-x}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 半導体材料系の導入を提案する。この系は GaAs に格子整合し、 $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ での電子の有効質量は $0.088m_0$ である。 $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ウェルには GaAs の E_{LO} ($=36 \text{ meV}$) よりエネルギーの高い 2 つの LO フォノンモード (GaP-like の 47.2 meV , InP-like の 44.8 meV) が存在し、 E_{LO}/ϵ_p は GaAs の 2 倍にとどまる。

今回、この材料系の THz-QCL 構造を設計し、非平衡グリーン関数法により利得を計算した。計算において $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 層での LO フォノン・電子間相互作用の自己エネルギー $\Sigma_{LO(\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P})}$ を $0.51\Sigma_{LO(\text{GaP-like})} + 0.49\Sigma_{LO(\text{InP-like})}$ とした。ここで $\Sigma_{LO(\text{GaP-like})}$, $\Sigma_{LO(\text{InP-like})}$ はそれぞれ GaP-like, InP-like の同様の自己エネルギーでフレーリッヒ・ハミルトニアンを用いた。図 1(a) は、1 周期が 3 ウェルよりなる THz-QCL の利得の計算結果を示す。伝導帯不連続を 160 meV 、電子密度を 1 周期あたり $3.0 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ とした。250K でも利得が得られるもののブロードニングにより利得が大幅に減少する。ブロードニングの影響を抑えるため 2 ウェル構造にすると図 1(b) のように 300K でも利得が得られた。このように GaInP/AlGaInP 材料系を導入して THz-QCL の動作温度の向上を期待できる。

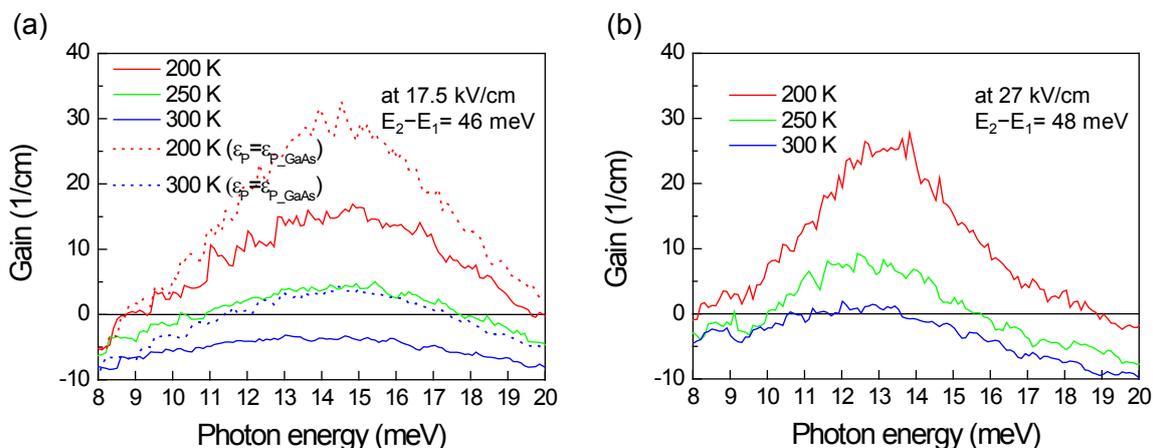


図 1: 非平衡グリーン関数法で計算した利得。(a) 3 ウェル構造 (4.0/7.9/1.7/6.2/3.4/13.0 nm)、(b) 2 ウェル構造 (3.4/11.9/2.8/7.3 nm)。太字 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.31}\text{In}_{0.49}\text{P}$ バリア、細字 $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ウェル。