18p-A27-9

バイオテンプレート極限加工 GaAs 量子ディスクにおける ピコ秒キャリア捕捉ダイナミクス

Picosecond Dynamics of Carrier Capture in GaAs Quantum Disks Fabricated by Using Bio-template and Ultimate Top-down Etching 北大院情報科学¹,東北大 WPI-AIMR²,東北大流体研³, JST-CREST⁴

[°]木場 隆之^{1,4}, 肥後 昭男², 田村 洋典³, トーマス セドリック^{3,4}, 寒川 誠二^{2,3,4}, 村山 明宏^{1,4}

Grad. School of IST, Hokkaido Univ.¹, WPI-AIMR Tohoku Univ.², IFS, Tohoku Univ.³, JST-CREST⁴

^oT. Kiba^{1,4}, A. Higo², Y. Tamura^{3,4}, C. Thomas^{3,4}, S. Samukawa^{2,3,4}, and A. Murayama^{1,4}

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

【序】III-V 族化合物半導体を用いた量子ドットレーザは、低消費電力化や温度安定動作といった利点 があり、注目され広く研究されている。レーザへの応用において、バリア中に生成したキャリアの量子ドット への捕捉、発光(発振)準位までのエネルギー緩和は、速やかに効率的に行われる必要がある。そして、 これらのキャリア捕捉とエネルギー緩和ダイナミクスは、レーザの発振閾値といった発振性能に大きな影 響を及ぼすため、重要である。我々の研究グループでは、従来の自己組織化(S-K 成長モード)を利用し た量子ドットの作製技術とは異なる、バイオテンプレートと低損傷中性粒子ビームエッチングを組み合わ せて、直径 20 nm 以下の GaAs のナノディスク(ND)からなる量子ドット配列をトップダウン加工で作製し、 強い発光を観測している[1-2]。本手法で作製された ND は、ディスク上の高い対称性を持ち Wetting Layer が存在しないという点において、従来のS-K 成長による自己組織化量子ドットとは異なる特徴を有し ている。今回は、挟線幅のフォトルミネッセンス(PL)が確認された高均一な GaAs ND について、時間分解 PL 分光によりピコ秒領域におけるキャリア捕捉・緩和ダイナミクスを観測し、トップダウン加工 ND の量子ド ットレーザへの応用可能性について検討した。

【実験】 有機金属気相成長法により成長した 2 層の GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As 量子井戸の表面に鉄内包タン パク質(PEG 修飾フェリチン)を配列させ、その鉄コアをバイオテンプレートとした中性粒子ビームエッチン グにより、平均直径 15 nm、ディスク密度 5×10¹⁰ cm⁻²の GaAs ND を作製した。その後 AlGaAs の埋め込 み再成長を行った。フェムト秒チタンサファイアレーザ (波長 728 nm)によりサンプルを励起し、その PL を ストリークカメラで時間分解検出した。

【結果・考察】8 nm 厚 GaAs ND の PL スペクトルは励起パワーの増大とともに高エネルギー側へ広がってゆく。これは ND の量子準位の状態密度離散化に伴い、基底準位並びに励起準位にフィリングが起き

ていることを示している。PL 減衰特性のレート方程式解 析から得られた、励起準位から基底準位へのエネルギー 緩和時定数の励起パワー依存性をFig.1に示す。励起パ ワー70 W/cm²以下の領域では、緩和時定数は約 40 ps で一定であるのに対し、励起パワー70 W/cm²を超えると 緩和時定数は減少に転じる。これらの変化は基底状態・ 励起状態におけるフィリングの強さの変化と対応している。 このことから、励起状態における多励起子生成に伴う Auger 散乱過程により、エネルギー緩和が加速されたと 結論される。これら時間分解 PL のレート方程式解析結果 と、量子準位計算の結果を合わせて、キャリア捕捉過程 における励起状態の役割とそのダイナミクスに関して議 論する。

T. Kaizu *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 113108 (2012).
Y. Tamura *et al.*, *Nanotechnology* **24**, 285301 (2013).



Fig.1 Time constant of carrier relaxation from the excited- to ground-state as a function of excitation-power density. These values are obtained from the rate-equation analysis of PL time-profiles.