

高均一 GaAs 量子ナノディスクにおけるピコ秒キャリアダイナミクス

Picosecond Carrier Dynamics in Highly Uniform GaAs Quantum Nanodisks

北大院情報科学¹, 東北大流体研², 東北大 WPI-AIMR³, JST-CREST⁴○木場 隆之^{1,4}, 田中 亨¹, 田村 洋典^{2,4}, 肥後 昭男³, 寒川 誠二^{2,3,4}, 村山 明宏^{1,4}Grad. School of IST, Hokkaido Univ.¹, IFS, Tohoku Univ.², WPI-AIMR Tohoku Univ.³, JST-CREST⁴○T. Kiba^{1,4}, T. Tanaka¹, Y. Tamura^{2,4}, A. Higo³, 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の高密度集積化は、太陽電池の高効率化やレーザの低消費電力化を図る上で重要な技術であり、広く研究されている。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り、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、直径 20 nm 以下の Si や 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 [1-3]。本手法で作製された ND は、形状が等方的であり、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おり、光励起キャリアのダイナミクスに対する影響に興味をもたれる。今回は、狭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 分光を行い、ピコ〜ナノ秒の時間領域におけるキャリアダイナミクスと量子効果の影響について研究した。

【実験】有機金属気相成長法により成長した 4 nm, 8 nm 厚の 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 $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 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の第 2 高調波 (波長 400 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】 Fig.1 に 8 nm 厚の GaAs ND について、6 K で測定した PL スペクトルの励起パワー依存性を示す。低パワー (0.2 mW) での PL スペクトルは 767 nm にピークを持ち左右対称の形状をしているが、パワーの増大とともに PL スペクトルは高エネルギー側に広がってゆく。このことから、パワーの増大とともに ND の高励起準位からの発光成分が含まれていることが示唆される。Fig.2 に、GaAs ND の基底準位 (1.61 eV) に対応した PL 減衰特性の励起パワー依存性を示す。0.2 mW 励起では、立ち上がり成分 (70 ps) は含むものの、その後単一指数関数的に減衰している。一方 2 mW, 20 mW 励起では、光励起後 400 ps 程度まで PL 強度の減衰が始まらず、その後減衰を始めており、基底準位に対するフィリングが生じている事を示している。PL 減衰特性の励起パワーや温度依存性について、バリアからのキャリア注入と ND における量子準位のフィリング効果を含めたレート方程式解析を行い、GaAs ND におけるキャリアダイナミクスを明らかにする。

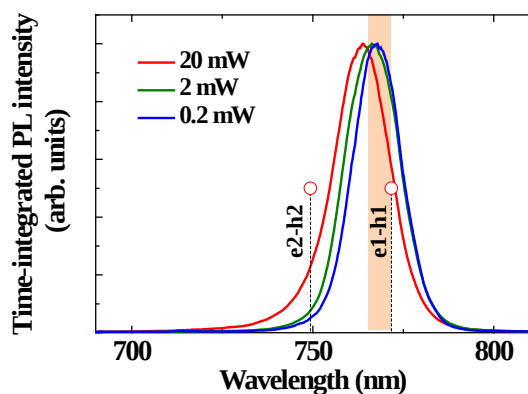
[1] T. Kiba *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **100**, 053117 (2012).[2] T. Kaizu *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 113108 (2012).[3] Y. Tamura *et al.*, *Nanotechnology* **24**, 285301 (2013).

Fig. 1 Excitation-power dependence of time-integrated PL spectrum of 8 nm GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As NDs at 6 K. Red circles indicate three dimensional calculations of interband-transition energies for 8 nm-thick, 15 nm-diameter GaAs ND.

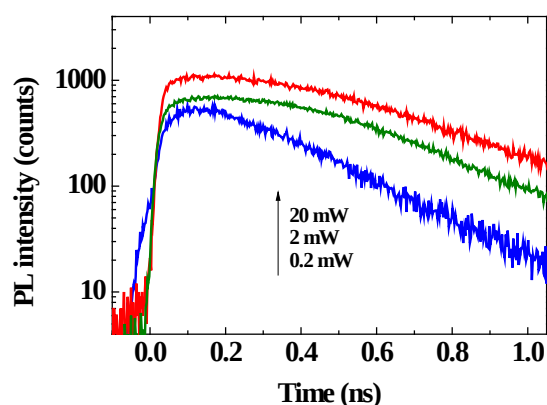


Fig. 2 PL time-profiles of GaAs NDs with the spectral window of 767-773 nm (shaded area in Fig.1) as a function of excitation power