ドレスト光子フォノン援用アニールで作製された GaP LED のための２準位２状態モデルの導入

The introduction of two-level two-state model for GaP LED fabricated by dressed-photon-phonon assisted annealing

東大院工，°金　俊亨，川添　忠，大津　元一

Univ. of Tokyo , °JunHyoung Kim, Tadashi Kawazoe, Motoichi Ohtsu

E-mail: kimjh@nanophotonics.t.u-tokyo.ac.jp

GaP は間接遷移型半導体であるが、その問題を克服し、2.26eV(=546nm)であるバンドギャップを有効に活用した発光が得られれば、多くの応用が期待できる材料である。これに対し我々はドレスト光子フォノン(DPP)援用アニールの手法を GaP pn接合に適用することで発光素子の実現に成功している[1]。

DPP 援用アニールの原理は、図１の２準位２状態系[2]を用いて説明することができる。状態 B は DPP 準位を介した発光を可能とするドーパント原子の空間分布を持つ構造、状態 A はそれ以外の構造とする。V_g、V_{ex} は基底準位と励起準位において、構造が変化するために乗り越えるべき障壁高さを表す。DPP 援用アニールにおいては外部から光を照射しながら、電流を注入する。つまり励起準位に電子を注入する上、電子に影響を与える２つの外場が存在する。よって DPP 援用アニール中に V_{ex} は変化する。今回我々は実験を通じ基底状態では V_g=0.61eV 以上[3]であるが、励起状態では V_{ex} =0.48eV と低くなっており、室温に近い温度でも構造が変わり得ることを見出した。このモデルを適用すると、DPP 援用アニール中に局所構造が DPP 発生に適した構造（状態 B）を取ると励起準位からすぐに誘導放出により基底準位に戻る。基底準位では障壁 V_g が高いので、状態 B での構造は DPP 援用アニールの環境の下で変化し難い。逆に状態 A では励起準位の寿命が長いので、A→B への状態遷移の確率が高くなる。よって DPP 援用アニールによって状態 B が増えることになり、発光も強くなって行く。

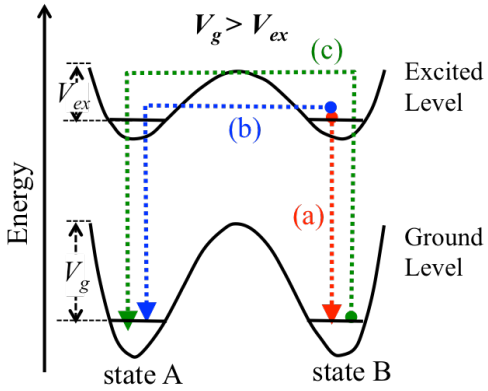

Fig. 1 Potential curves in two-level system model

このモデルによる考察は DPP 援用アニールの最適条件の存在にも適用できる。DPP 援用アニール中には図１の状態 A を状態 B に変換させることが重要であるが、状態 B を維持させることも重要である。(b)最適条件より電子の数が過剰であれば状態 B においてもすぐに励起準位に行けず、状態 A への遷移確率が高くなる。(c)光子過剰の場合には状態 B の基底準位にある電子を励起準位に上げてしまい、同じく状態 A への遷移確率が高くなる。(a)つまり電子数と光子数が 1:1 の時に誘導放出の確率が最大になり、DPP 援用アニールは最適な効果をもたらす。これは[4]の結果をよく説明する。

[1] J. H. Kim et al., Advances in Optical Technologies (2014).

[2] R. Jankowiak et al., J. Phys. Chem. **89**, 4569 (1985).

[3] A. Höglund et al., Phys. Rev. B **77**, 113201 (2008).

[4] 金他、第 62 回応用物理学講演会、11p-A12-13

© 2015年 応用物理学会