

AlGa_N系多重量子井戸構造における 励起子レート方程式モデルによる効率曲線の解析 (2)

Analysis of efficiency curves in AlGa_N-based multiple quantum wells using rate equation based on radiative and nonradiative recombination of excitons (2)

徳山高専¹ 山口大院・創成科学² 理研³

○室谷英彰¹ 三好博之² 武田椋平² 中生拓希² 倉井聡² M. A. Khan³ 前田哲利³ 定昌史³
平山秀樹³ 山田陽一²

NIT, Tokuyama Coll.¹ Yamaguchi Univ.² RIKEN³

○H. Murotani,¹ H. Miyoshi,² R. Takeda,² H. Nakao,² S. Kurai,² M. A. Khan,³ N. Maeda,³ M. Jo,³
H. Hirayama,³ and Y. Yamada²

E-mail: murotani@tokuyama.ac.jp

これまでに我々は、InGa_N系LED構造において内部量子効率の励起密度依存性を評価し、励起子の輻射・非輻射再結合過程に基づくレート方程式モデルを用いた解析を行って、その有用性を示してきた[1,2]。今回、発光効率の異なる2種類のAlGa_N系多重量子井戸[Sample A ($\eta_{\text{int}} = 54\%$) および Sample B ($\eta_{\text{int}} = 17\%$)]構造において、同様の解析を行い、その結果と時間分解発光分光測定の結果を比較することにより、励起子レート方程式モデルの妥当性を検討したので報告する。

図1は、発光効率の高い試料(Sample A)における効率曲線の温度依存性を示している。図中の実線は、励起子レート方程式モデル[1,2]を用いたフィッティング解析の結果である。このモデルにおいて、内部量子効率は積分発光強度の関数として $\eta_{\text{int}} = 1/[1 + \alpha/(I_{\text{PL}} + \beta)]$ と表される。ここで、 $\alpha = kW_{\text{nr}}D$ 、 $\beta = kW_rW_{\text{nr}}/W_{\text{tr}}$ であり、 D はNRCの密度、 W_{nr} はNRCにおける非輻射再結合レート、 W_r は励起子の輻射再結合レート、 W_{tr} はNRCへの捕獲レート、 k は定数である。

次に、時間分解発光分光測定によって輻射再結合寿命 τ_R および非輻射再結合寿命 τ_{NR} の温度依存性を導出し、 τ_{NR} の温度依存性を励起子の非局在化に基づく非輻射再結合モデル[3]によって解析した。このモデルにおいて非輻射再結合寿命は、 $\tau_{NR}^{-1} = A\sqrt{T} \exp(-T_0/T)$ と表され、 $A\sqrt{T}$ はNRCの捕獲断面積、NRCの密度、励起子の熱速度の積で表されるパラメータであり、 T_0 は励起子の局在の度合いを表すパラメータである。

図2はSample Aにおける α/β と $A\sqrt{T}\tau_R$ の温度依存性を示している。 α/β と $A\sqrt{T}\tau_R$ の値は全ての温度領域でほぼ一致していることが分かる。 α/β と $A\sqrt{T}\tau_R$ はいずれも $W_{\text{tr}}D/W_r$ で表される同一の物理量を示しているため、この結果はAlGa_N系量子井戸構造において励起子レート方程式モデルを用いることの妥当性を示している。

図3は、Sample AとSample Bにおいて(a) α/β と(b) $A\sqrt{T}\tau_R$ の温度依存性を比較した結果を示している。全ての温度領域において α/β と $A\sqrt{T}\tau_R$ の値はともにSample Bの方がSample Aよりも大きいことが分かる。また、これらのパラメータの温度依存性の形状に顕著な差はなく、輻射再結合寿命 τ_R の値にも差がなかったことから、Sample AとSample Bの内部量子効率の違いはNRCの密度の差を反映したものと考えられる。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16H06428, JP16H04335 の援助を受けて行われたものである。

[1] H. Murotani and Y. Yamada, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, 011003 (2019). [2] H. Murotani et al., Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SCCB02 (2019). [3] A. A. Yamaguchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **39**, 2402 (2000).

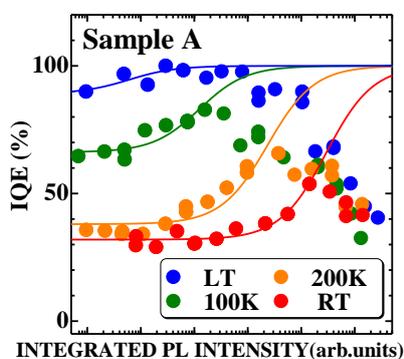


Fig. 1. Temperature dependence of IQE as a function of integrated PL intensity taken from Sample A.

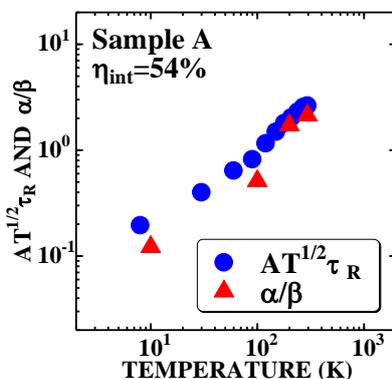


Fig. 2. Temperature dependence of α/β and $A\sqrt{T}\tau_R$ taken from Sample A.

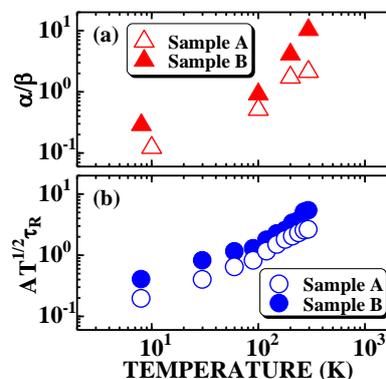


Fig. 3. Temperature dependence of (a) α/β and (b) $A\sqrt{T}\tau_R$ taken from Sample A and Sample B.