

AlGaIn 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 Droop 現象の解析

Analysis of efficiency droop phenomena in AlGaIn-based multiple quantum wells using rate equation based on radiative and nonradiative recombination of excitons

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. Ajmal 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. Ajmal 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、InGaIn 系 LED 構造[1,2]および AlGaIn 系多重量子井戸構造[3]において励起子の輻射・非輻射再結合過程に基づくレート方程式モデルを用い、弱励起下における内部量子効率の励起パワー密度依存性の解析を行ってきた。今回、励起子レート方程式モデルを拡張し、AlGaIn 系 MQW 構造における強励起下での効率 Droop 現象の解析を試みたので報告する。

図 1 に AlGaIn 系 MQW 構造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、効率 Droop 現象を考慮した励起子レート方程式モデルを用いたフィッティング解析の結果である。このモデルでは、励起子の密度 n および非輻射再結合中心(NRC)に捕獲された励起子の密度 N の時間変化を

$$\frac{dn}{dt} = G - W_r n - W_{tr}(D - N) - W_{dr} n^m$$

$$\frac{dN}{dt} = W_{tr}(D - N)n - W_{nr}N$$

と表している。ここで、 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 への捕獲レートであり、効率 Droop 現象は、励起子密度の m 乗に比例すると仮定している。これらの方程式を定常状態において解くと、内部量子効率は積分発光強度の関数として $\eta_{int} = 1/[1 + \alpha/(I_{PL} + \beta) + \gamma I_{PL}^{m-1}]$ と表すことができる。ここで、 $\alpha = kW_{nr}D$ 、 $\beta = kW_r W_{nr}/W_{tr}$ 、 $\gamma = W_{dr}/(k^{m-2}W_r^m)$ であり、 k は定数である。

図 1 に示すように、測定した全ての温度において拡張した励起子レート方程式モデルによって測定領域全体で内部量子効率の励起パワー密度依存性を再現できていることが分かる。このことは、室温においても AlGaIn 系 MQW の発光機構に励起子の再結合過程が関与していること示唆しているものと考えられる。また、この解析に基づいて低温における内部量子効率の最大値は 99% と定量することが出来た。

図 2 は、励起子レート方程式モデルによる解析によって得られたパラメータ m の温度依存性を示している。パラメータ m は温度上昇にともない、1.74 から 1.55 まで減少していることが分かる。効率 Droop 現象の起源としてキャリアのオーグジュ再結合を仮定した場合、 m は 1.5 で一定となる。このことは、AlGaIn 系 MQW の効率 Droop 現象は、単純なキャリアのオーグジュ再結合過程では説明できないことを示している。

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] 室谷他, 第 60 回応用物理学会秋季学術講演会 19p-E310-10.

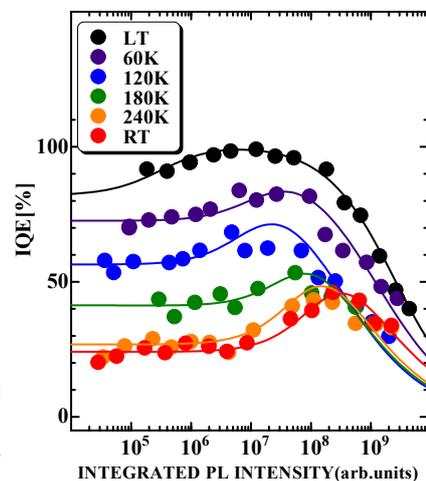


Fig. 1. Temperature dependence of IQE as a function of integrated PL intensity. The solid lines indicate the results of fits using the exciton rate-equation model.

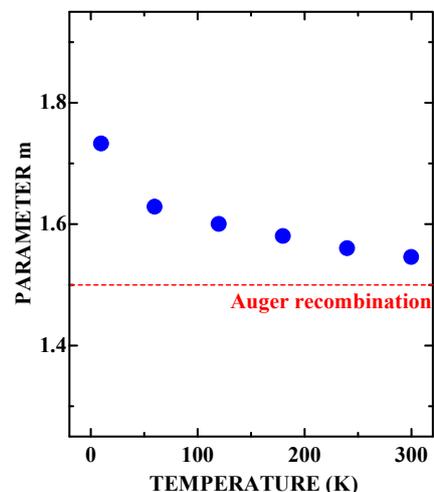


Fig. 2. Temperature dependence of parameter m obtained by the fits using the exciton rate-equation model.