

AlGaIn 系多重量子井戸構造における 励起子の輻射・非輻射再結合レートの励起強度依存性

Excitation density dependence of radiative and nonradiative recombination rates of
excitons in AlGaIn multiple quantum wells

山口大院・創成科学¹ 徳山高専² 理研³

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

Yamaguchi Univ.¹ NIT, Tokuyama Coll.² RIKEN³

H. Miyoshi,¹ R. Takeda,¹ H. Nakao,¹ S. Kurai,¹ ○H. Murotani,² M. Ajmal Khan,³ N. Maeda,³ M. Jo,³
H. Hirayama,³ and Y. Yamada¹

E-mail: murotani@tokuyama.ac.jp

これまでに我々は、AlGaIn 系多重量子井戸構造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によって内部量子効率の励起パワー密度依存性を解析し、その結果と輻射・非輻射再結合寿命の温度依存性を解析した結果が定量的に一致することを示した[1]。今回、AlGaIn 系多重量子井戸構造において、励起エネルギー密度を変化させた場合の輻射・非輻射再結合寿命の温度依存性を解析した結果と、励起子レート方程式モデルによって内部量子効率の励起パワー密度依存性を解析した結果を比較し、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。

内部量子効率の励起パワー密度依存性は、PL 強度の温度依存性および励起パワー密度依存性から導出し、励起子レート方程式モデル[2,3]を用いて解析した。励起子レート方程式モデルにおいて、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、 $\alpha = kW_{\text{nr}}D$ 、 $\beta = kW_{\text{r}}W_{\text{nr}}/W_{\text{tr}}$ であり、 D は非輻射再結合中心(NRC)の密度、 W_{nr} は NRC における非輻射再結合レート、 W_{r} は輻射再結合レート、 W_{tr} は NRC への捕獲レート、 k は定数である。図 1 の□は励起子レート方程式モデルから導出した $\alpha/\beta = W_{\text{tr}}D/W_{\text{r}}$ の温度依存性を示している。

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[4]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、 $\tau_{\text{NR}}^{-1} = A\sqrt{T} \exp(-T_0/T)$ 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 1 の●は励起エネルギー密度 0.002, 0.02, 0.2, 2 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ における $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ の温度依存性を示している。 $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ の値は、励起エネルギー密度の増大に伴い減少していることが分かる。これは、励起キャリア密度の増大に伴う NRC の充填によって NRC の実効的な密度が減少することを反映したものと考えられる。

図1に示すように、励起子レート方程式モデルによる解析から得られた α/β の値は 0.002 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ における $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ の値とほぼ一致している。 α/β と $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ はいずれも $W_{\text{tr}}D/W_{\text{r}}$ で表される同一の物理量を示しているが、 $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ の値が NRC の充填によって減少することを考えると、 α/β の値は NRC が充填されていない弱励起下での $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ の値と一致するものと考えられる。したがって、この結果は AlGaIn 系量子井戸構造における励起子レート方程式モデルの妥当性を裏付けるものであると考えられる。

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] 室谷他, 第 60 回応用物理学会秋季学術講演会 19p-E310-10. [2] H. Murotani and Y. Yamada, Jpn. J. Appl. Phys. **58**, 011003 (2019). [3] H. Murotani et al., Jpn. J. Appl. Phys. **58**, SCCB02 (2019). [4] A. A. Yamaguchi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **39**, 2402 (2000).

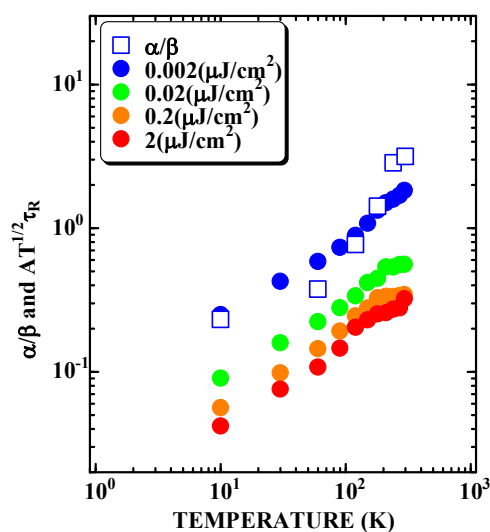


Fig. 1. Temperature dependence of α/β and $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ taken from the AlGaIn UVB MQW. The values of $A\sqrt{T}\tau_{\text{R}}$ were taken under excitation energy density of 0.002, 0.02, 0.2, and 2 $\mu\text{J}/\text{cm}^2$.