

# AlGa<sub>N</sub>系 UV-A 多重量子井戸構造における 内部量子効率と励起子の輻射再結合ダイナミクスの励起強度依存性 Excitation density dependence of internal quantum efficiency and recombination dynamics of excitons in AlGa<sub>N</sub>-based UV-A multiple quantum wells

徳山高専<sup>1</sup> 山口大院・創成科学<sup>2</sup> 理研<sup>3</sup>

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

NIT, Tokuyama Coll.<sup>1</sup> Yamaguchi Univ.<sup>2</sup> RIKEN<sup>3</sup>

○H. Murotani,<sup>1</sup> H. Miyoshi,<sup>2</sup> R. Takeda,<sup>2</sup> H. Nakao,<sup>2</sup> S. Kurai,<sup>2</sup> M. Ajmal Khan,<sup>3</sup> N. Maeda,<sup>3</sup> M. Jo,<sup>3</sup>  
H. Hirayama,<sup>3</sup> and Y. Yamada<sup>2</sup>

E-mail: murotani@tokuyama.ac.jp

これまでに我々は、AlGa<sub>N</sub>系 UV-B 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、その結果と輻射再結合ダイナミクス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、AlGa<sub>N</sub>系 UV-A 多重量子井戸構造において、励起子レート方程式モデルによる内部量子効率の励起パワー密度依存性の解析結果と、輻射再結合ダイナミクスの温度依存性および励起エネルギ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と輻射および非輻射再結合レートの励起密度依存性について考察したので報告する。

内部量子効率は、PL 強度の温度および励起パワー密度依存性から評価し、励起子レート方程式モデル[2,3]を用いてその励起パワー密度依存性を解析した。励起子レート方程式モデルでは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、 $D$ は非輻射再結合中心(NRC)の密度、 $W_{\text{nr}}$ 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、 $W_{\text{tr}}$ 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 $\alpha/\beta = W_{\text{tr}}D/W_r$ の温度依存性を示している。 $\alpha/\beta$ は温度上昇に伴い増大していることが分かる。これは、 $W_{\text{tr}}$ の増大と $W_r$ の減少を反映したものと考えられる。

次に、輻射再結合寿命 $\tau_R$ および非輻射再結合寿命 $\tau_{NR}$ の温度依存性を導出し、 $\tau_{NR}$ 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 $\tau_{NR}$ は、 $\tau_{NR}^{-1} = A\sqrt{T} \exp(-T_0/T)$ と表される。 $A\sqrt{T}$ 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 $A\sqrt{T}\tau_R$ の温度依存性を示している。 $A\sqrt{T}\tau_R$ は $\alpha/\beta$ とほぼ一致していることが分かる。 $A\sqrt{T}\tau_R$ と $\alpha/\beta$ 同一の物理量を示しているため、この結果はAlGa<sub>N</sub>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示すものである。

また、 $A\sqrt{T}\tau_R$ 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、主に励起キャリア密度の増大に伴う $\tau_R$ の減少を反映したものと考えられる。 $\tau_R$ の温度依存性には、励起子の非局在化の影響を反映しているため、 $\tau_R$ の減少は励起キャリア密度の増大に伴い、励起子の非局在化が抑制されることを示していると考えられる。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16H06428, JP16H04335, JP20K04585 の援助を受けて行われたものである。

[1] 室谷他, 第 80 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).

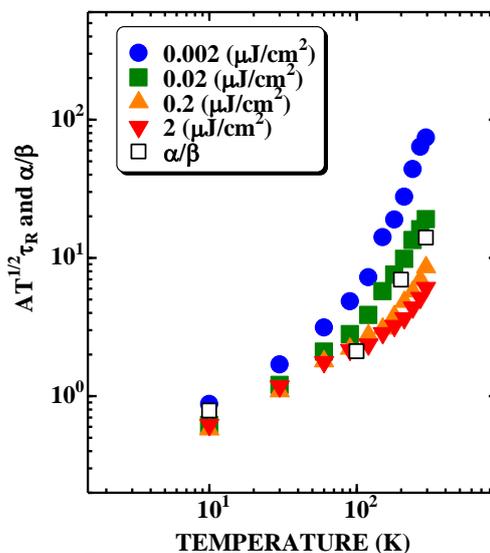


Fig. 1. Temperature dependence of  $\alpha/\beta$  and  $A\sqrt{T}\tau_R$  taken from the AlGa<sub>N</sub>-based UV-A MQW.