

GaN, AlN, ZnO における励起子の非熱平衡解析

Nonthermal-Equilibrium Analysis of Exciton in GaN, AlN, and ZnO

千葉大院工 °大木 健輔, 野町 健太郎, 西川 智秀, 馬 蓓, 森田 健, 石谷 善博

Chiba Univ., °Kensuke Oki, Kentaro Nomachi, Tomohide Nishikawa, Bei Ma, Ken Morita, and

Yoshihiro Ishitani

E-mail: okiken@chiba-u.jp

GaN, AlN, ZnO 等では励起子の束縛エネルギーが室温と同程度以上に高く、励起子によるレーザーデバイス等への応用が期待されている。GaN のレーザーデバイスでは 150K 以上で励起子による発振がなくなることが観測されている[1]が、その詳細なメカニズムは明らかになっていない。種々のデバイスの開発のためには、励起子や自由キャリア等の各状態のダイナミクスを記述する理論体系が必要である。我々は、主量子数 n が 5 までの励起子と自由キャリアの各状態の間の遷移確率を理論的に計算し、それらの準位の密度の温度依存性等を明らかにする理論モデル(PXR モデル)を構築した[2]。このモデルでは、電子、励起子、格子の温度が異なる非熱平衡状態を解析することが可能であり、GaN において格子温度上昇が励起子解離を促進することが示されている。

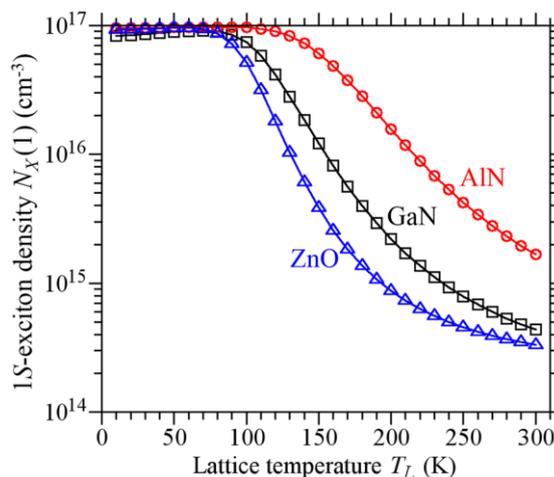
本研究では、GaN, AlN, ZnO について、未だ十分に明らかでない非熱平衡特性の理論解析を PXR モデルにより行った。各材料の励起子束縛エネルギー及び LO フォノンエネルギー E_{LO} を Table I に示す。1S 励起子密度 $N_X(1)$ の格子温度 T_L 依存性を Fig. 1 に示す。ここで、電子温度と励起子温度は 10K であり、総励起密度は $\sum_n N_X(n) + N_e = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ($N_X(n)$ は励起子密度、 N_e は自由電子密度)である。ZnO の励起子束縛エネルギーが AlN よりも高いにもかかわらず、ZnO の $N_X(1)$ はより大きく減少している。この理由としては、ZnO の方が E_{LO} が低く、それ故フォノン占有数

$1/[\exp(E_{LO}/k_B T_L)-1]$ (k_B はボルツマン定数)の値が大きくなり、LO フォノン吸収による 1S 励起子の解離・励起レートが高くなるからである。この結果より、非熱平衡的に高い温度のフォノンが励起子安定性を低下させ、その度合いは材料の励起子束縛エネルギーだけでは予想できないことが示唆された。

[1] S. Bidnyk, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **74**, 1 (1999).[2] K. Oki, *et al.*, Phys. Rev. B **96**, 205204 (2017).

Table I. Parameters of the materials (unit: meV).

	GaN	AlN	ZnO
Exciton binding energy	27	57	60
LO phonon energy E_{LO} (at Γ point)	91	111	69

Fig. 1. Dependence of $N_X(1)$ on T_L in steady state.