

InGaN 混晶薄膜からの励起子分子発光

Biexciton luminescence from InGaN ternary alloy epitaxial layers

山口大院・創成科学¹, 徳山高専²

梅澤恭平¹ 小林英治¹ 倉井聡¹ 室谷英彰² 山田陽一¹

Yamaguchi Univ.¹, NIT, Tokuyama College²

K. Umezawa¹, E. Kobayashi¹, S. Kurai¹, H. Murotani², and Y. Yamada¹

E-mail: yamada@yamaguchi-u.ac.jp

これまでに我々は、混晶組成比の異なる 5 種類の高 Ga 組成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜 ($x=0.02\sim0.09$) を対象とした発光および吸収分光測定を行い、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶不均一系に特有の性質を明らかにした。主な特性を挙げると、バンド端の発光スペクトルには本質的な 2 つの発光成分が存在すること、2 つの発光成分の間で発光に寄与するキャリアの相互移動が生じていること、発光と吸収のエネルギー差で定義されるストークスシフトに温度依存性がみられないことなどである[1]。また、近接場光学顕微分光 (SNOM) 測定により、エネルギー的に分離したバンド端の 2 つの発光成分が空間的にも分離していることを明らかにした。相対強度の強い高エネルギー側の発光成分は数百 nm 程度の大きさの島状に分布しており、相対強度の弱い低エネルギー側の発光成分はドット状 (直径 ~ 80 nm) に分布していることを明らかにした[2]。高エネルギー側の発光成分に関しては、高空間分解能下 (~ 30 nm) での測定により、励起子分子による発光も観測された。今回我々は、高 Ga 組成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜における励起子分子に関して、その結合エネルギーに対する局在効果を高 Ga 組成 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜の場合と比較して考察したので報告する。

測定に用いた試料は、加工サファイア基板上に膜厚 5 μm の GaN バッファ層を介して成長された膜厚約 90 nm の $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜 ($x=0.02\sim0.09$) である。通常のマクロスコピックな発光分光測定では、発光半値全幅の不均一拡がりの影響により、励起子と励起子分子の発光線を分離して観測することは困難であったが、空間分解能 30 nm の SNOM 測定によりその分離が可能となった。励起子と励起子分子の発光線のエネルギー間隔 ΔE は $x=0.05$ の混晶薄膜において $\Delta E=15.5$ meV であった。この値は GaN の励起子分子結合エネルギー ($B_M=5.6$ meV) の約 3 倍であり、高 Ga 組成 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜の場合[3,4]と同様に、混晶不均一系における励起子分子の局在化がその結合エネルギーの大幅な増大を引き起こしているものと考えられる。また、高 Ga 組成 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜の場合、 $x=0.057$ の混晶薄膜において $\Delta E=10.6$ meV であった[3]。この実験結果は、高 Ga 組成領域では $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜よりも $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜の方が励起子分子の結合エネルギーが大きいことを示唆している。図 1 に示したのは、高 Ga 組成領域における励起子と励起子分子の発光線のエネルギー間隔 ΔE の混晶組成比依存性である。左側に $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜 ($x=0.019, 0.038, 0.057, 0.077, \text{ and } 0.092$)、右側に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜 ($x=0.03, 0.05, \text{ and } 0.09$) の値を示している。また、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜に関しては発光励起分光測定により導出した励起子分子の結合エネルギー B_M の値も示している。 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜では、混晶組成比 x の増加とともに ΔE および B_M の値がほぼ線形に増大しているのに対して、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 混晶薄膜では、混晶組成比 x の増加とともに ΔE の値が急激に増大し、その増大傾向が飽和していることがわかる。これらの混晶組成比依存性は両混晶に対するアロイブロードニングの計算結果と良く一致した傾向であることがわかった。

【謝辞】本研究の一部は、JSPS 科研費 16H06428 の助成を受けて行われた。

[1] C. Sasaki et al., J. Appl. Phys. **93**, 1642 (2003). [2] Y. Yamada et al., Phys. Rev. B **80**, 195202 (2009). [3] Y. Yamada et al., Appl. Phys. Lett. **84**, 2082 (2004). [4] Y. Yamada et al., Phys. Rev. B **70**, 195210 (2004).

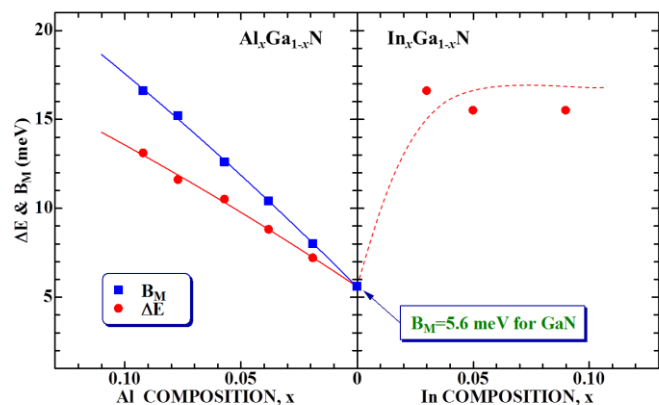


図 1. 高 Ga 組成領域における励起子と励起子分子の発光線のエネルギー間隔 ΔE の混晶組成比依存性。