27a-A4-2

混晶局在系における高密度励起子の光物性

Optical properties of dense excitons in semiconductor alloys

山口大院・理工 [1]，三重大院・工 [2]
古谷佑二郎 [1]　中尾文哉 [1]　倉井聡 [1]　三宅秀人 [2]　平松和政 [2]　○山田陽一 [1]
Yamaguchi Univ.[1] and Mie Univ.[2]
Y. Furutani,[1] F. Nakao,[1] S. Kurai,[1] H. Miyake,[2] K. Hiramatsu,[2] and °Y. Yamada[1]
E-mail: yamada@yamaguchi-u.ac.jp

ワイドギャップ半導体は本来的に大きな励起子効果を有するため、その光学遷移過程には励起子の関与した現象が顕著に観測される。励起子分子や励起子－励起子間の非弾性散乱等により特徴付けられる高密度励起子系の輻射再結合過程は、光学利得の生成機構との関わりからも注目される。ワイドギャップ半導体を対象とした励起子系光物性の研究は、励起子の次元性、局在化、多体効果等の基礎物性評価に留まらず、“励起子工学（Exciton Engineering）”の観点から高効率光デバイスへの応用が期待される。本講演では、半導体材料の中でも最も大きな励起子効果を有する $Al_xGa_{1-x}N$ 混晶半導体における高密度励起子系の光物性に関して、主に以下の 2 つのトピックに焦点を絞り、その実験的研究について報告する。

【局在励起子分子の結合エネルギー】$Al_xGa_{1-x}N$ 混晶半導体の励起子は、非常に大きな結合エネルギーを有しており（25 ~ 57 meV）、そのボーア半径は小さい（3.1 ~ 1.5 nm）。励起子の空間的拡がりが小さい混晶系では、いわゆる“alloy broadening 効果”が顕著に現れ、励起子はポテンシャル揺らぎの中で強く局在の影響を受ける。励起子分子も同様に強く局在の影響を受けるが、励起子分子の局在化はその結合エネルギーの増大に結び付く。これは励起子分子を構成する 2 つの励起子間の相対運動が局在化により抑制されるためであると考えられる。図 1 に示したのは $Al_xGa_{1-x}N$ 混晶半導体における励起子分子結合エネルギー（B_M）の混晶組成比依存性である。$Al_xGa_{1-x}N$ 混晶における励起子分子の結合エネルギーには、GaN の値（B_M=5.6 meV at x=0）と AlN の値（B_M=19.3 meV at x=1）との間での線形補間が成り立たず、その混晶組成比依存性には非常に大きな“bowing”が存在していることがわかる。また、励起子分子結合エネルギーの最大値は B_M=56 meV（at x=0.61~0.81）に達し、この値は室温における熱エネルギーの約 2 倍に相当する。

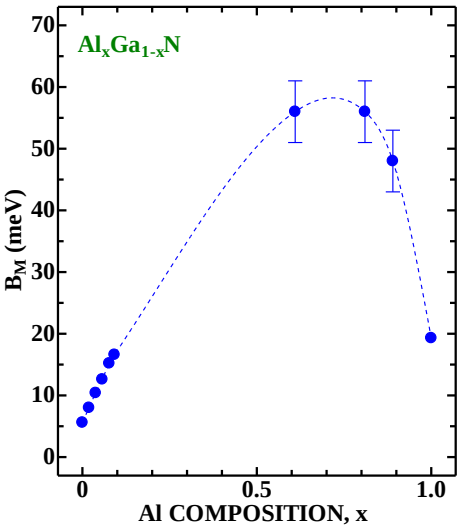

図 1. $Al_xGa_{1-x}N$ 混晶半導体における励起子分子の結合エネルギー.

【励起子分子間の非弾性散乱】図 2 に示したのは混晶薄膜（x=0.61）の室温における PL, PLE スペクトルである。励起子および励起子分子の発光線（X および M）の低エネルギー側に現れる発光線（P_M）は、励起子分子－励起子分子間の非弾性散乱によるものと考えられる。この P_M 線の PLE スペクトルには、M 線と同様に励起子共鳴（E_X）に加えて励起子分子の 2 光子共鳴（E_{TPA}）が観測されている。また、低温から室温までの温度上昇に伴い、X, M 線に対する P_M 線の相対強度は増大する。この増大は、温度上昇に伴う励起子分子の熱的な非局在化に起因して、励起子分子間の散乱確率が向上したことを反映したものであると考えられる。

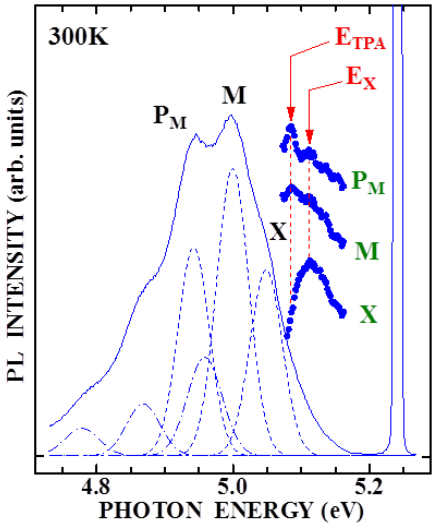

図 2. $Al_{0.61}Ga_{0.39}N$ 混晶薄膜の室温における PL, PLE スペクトル.

[1] Y. Furutani et al., Appl. Phys. Express **5**, 072401(2012).
[2] R. Kittaka et al., Appl. Phys. Lett. **98**, 081907 (2011).

© 2013 年　応用物理学会