19p-C5-6

混晶局在系における励起子多体効果

Many-body effects of excitons in semiconductor alloys

山口大院・理工　　山田 陽一
Yamaguchi Univ.　Yoichi Yamada
E-mail: yamada@yamaguchi-u.ac.jp

物質中の素励起状態のひとつである励起子は、電子と正孔がクーロン力で結合した状態であり、ワイドギャップ半導体では室温においても安定に存在する。そのため、励起子の再結合過程は発光デバイスの内部量子効率を決定する重要な物理機構となっている。ワイドギャップ半導体を対象とした励起子光物性の研究は、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（Excitonics）**”の観点から高効率発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 $Al_xGa_{1-x}N$ 混晶半導体およびその量子井戸構造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。

【励起子分子結合エネルギーに対する局在効果と量子閉じ込め効果】

$Al_xGa_{1-x}N$ 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して説明される。図 1 に示したのは $Al_xGa_{1-x}N$ 混晶薄膜と $Al_{0.6}Ga_{0.4}N/Al_{0.7}Ga_{0.3}N$ 量子井戸構造における励起子分子の結合エネルギー（B_M）である。$Al_xGa_{1-x}N$ 混晶薄膜における励起子分子の結合エネルギーには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。この結合エネルギーに見られる bowing は、alloy broadening の傾向とほぼ一致しており、励起子分子の局在に起因した現象であることが支持される。一方、$Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 量子井戸構造における励起子分子の結合エネルギーは 136 meV に達しており、この値は量子井戸層とほぼ同じ混晶組成比を有する混晶薄膜における励起子分子結合エネルギー（56 meV at x=0.61）の約 2.4 倍である。この増大は励起子分子に対する量子閉じ込め効果を反映したものである。

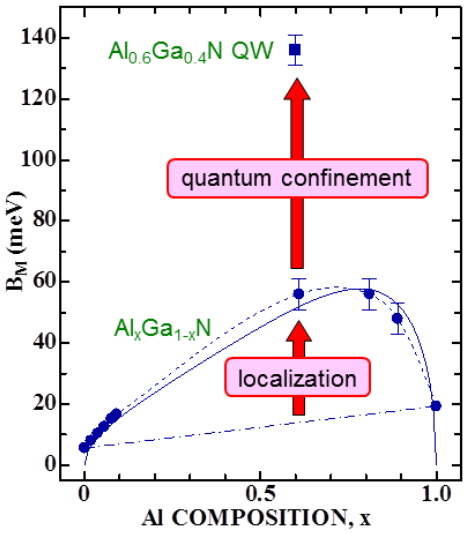


図 1. AlGaN 混晶薄膜と量子井戸構造における励起子分子結合エネルギー.

【励起子、励起子分子間の非弾性散乱】

これまでに我々は、$Al_xGa_{1-x}N$ 混晶薄膜（x=0.61）の室温における PL および PLE 測定を行い、励起子（X）および励起子分子（M）の発光線に加えて、2 つの励起子分子間の非弾性散乱による発光（P_M）が観測されたことを報告した[1]。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に加えて励起子分子の 2 光子共鳴が観測された。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した。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。そこで、最近我々は、室温以上の高温領域における PL および PLE 測定を行い、高密度励起子系の挙動に関する解析を進めている。前回は、$Al_{0.6}Ga_{0.4}N$ 量子井戸構造の高温領域（300 ~750 K）における PL 測定の結果について報告した。温度上昇に伴い、M 線の低エネルギー側に複数の発光線が現れ、それらの起源として 2 つの励起子分子間、2 つの励起子間、励起子と励起子分子間の非弾性散乱の可能性が考えられることを示した。今回は、高温領域における PLE 測定の結果も踏まえて、温度上昇に伴い顕在化する発光線の起源について考察する。

[1] Y. Furutani et al. Appl. Phys. Express **5**, 072401 (2012).

© 2014 年　応用物理学会