AlGaN 量子井戸における励起子分子結合エネルギーの井戸幅依存性

Well width dependence of biexciton binding energy in AlGaN-based quantum wells

山口大院・理工 [1]，三重大院・工 [2]
福野智規 [1]　中村豪仁 [1]　和泉平 [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]
T. Fukuno,[1] K. Nakamura,[1] T. Izumi,[1] S. Kurai,[1] H. Miyake,[2] K. Hiramatsu,[2] and Y. Yamada[1]
E-mail: yamada@yamaguchi-u.ac.jp

前回までに我々は、AlGaN 系量子井戸構造を対象とした PL および PLE 測定を行い、量子井戸内に形成される 2 次元系励起子分子の結合エネルギーを定量的に評価してきた。混晶量子井戸層の Al 組成比が 60 %、膜厚が 2 nm の量子井戸構造における励起子分子結合エネルギーは 136 meV に達することを明らかにし、励起子分子の結合エネルギー増大に対する局在効果と量子閉じ込め効果を分離して定量評価した[1]。また、室温よりも高温領域（300～750 K）における PL および PLE 測定を行い、励起子分子が 750 K においても安定に存在することを明らかにした。さらに、温度上昇に伴い、励起子分子発光線の低エネルギー側に複数の発光線が観測され、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報告した[2]。今回我々は、AlGaN 混晶量子井戸層の膜厚を変化させた一連の量子井戸構造を対象とした PL および PLE 測定を行い、励起子分子の結合エネルギーを定量的に評価したので、その測定結果の詳細について報告する。

測定に用いた試料は、MOVPE 法により c 面サファイア基板上に AlN バッファ層を介して成長された $Al_{0.60}Ga_{0.40}N/Al_{0.70}Ga_{0.30}N$ 多重量子井戸構造である。PL 測定には励起光源として Ar-F エキシマレーザ（193 nm）を用いた。PLE 測定には励起光源として Xe-Cl エキシマレーザ励起色素レーザの第 2 高調波を用いた。

図 1 に示したのは、井戸層および障壁層の膜厚がそれぞれ 1.5 nm および 3.0 nm の量子井戸構造からの室温における PL スペクトルと PLE スペクトルである。図中の PL スペクトル（実線）は、励起エネルギーが 5.198 eV、励起パワー密度が 440 kW/cm^2 のときに得られたものであり、発光線 X は局在励起子発光、発光線 M は局在励起子分子発光によるものである。一方、図中の PLE スペクトルは局在励起子分子の発光線 M に対するものであり、その励起パワー密度依存性を示している（I_0=220 kW/cm^2）。発光線 M の PLE スペクトルには励起子共鳴 E_X に加えて励起子分子の 2 光子共鳴 E_{TPA} が明瞭に観測されている。また、励起パワー密度の増大に伴い、励起子共鳴 E_X に対する励起子分子の 2 光子共鳴 E_{TPA} の相対強度が増大していることがわかる。励起子共鳴 E_X と励起子分子の 2 光子共鳴 E_{TPA} とのエネルギー間隔は 73 meV であり、この量子井戸試料における励起子分子の結合エネルギーは 146 meV と導出される。従って、井戸層幅が 2.0 nm から 1.5 nm へ減少したことにより、励起子分子の結合エネルギーが 136 meV から 146 meV に増大したことがわかる。発光線 M の低エネルギー側に現れる発光線 P_{XM} に関しては、その PLE スペクトルにおいて発光線 M と同様に励起子分子の 2 光子共鳴 E_{TPA} が観測されること、また、発光線 X とのエネルギー間隔が励起子分子結合エネルギーに一致していることから、励起子ー励起子分子間の非弾性散乱による発光であると考えられる。

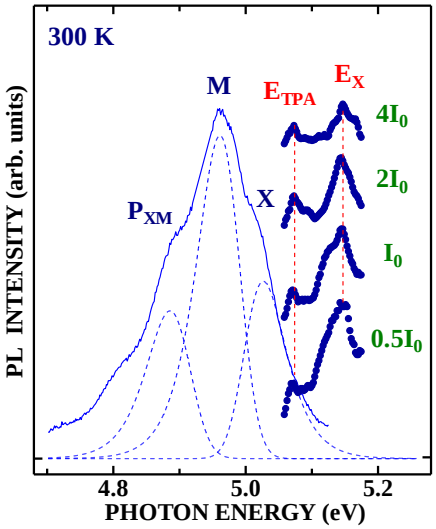

図 1. AlGaN 量子井戸構造（井戸層幅 1.5 nm, 障壁層幅 3.0 nm）の室温における PL スペクトルと PLE スペクトル.

本研究の一部は、JSPS 科研費 25420289 の助成を受けて行われたものである。

[1] Y. Hayakawa et al., Appl. Phys. Express 7, 122101 (2014).
[2] 早川他、第 61 回応用物理学会春季学術講演会（2014）, 20a-E13-8.

© 2015年 応用物理学会