

## ZnO 変調ドープ量子井戸における励起子発光・反射の偏光特性

牧野哲征 (東北大 WPI 材料機構)

近年、試料作製技術の進展により酸化物においても変調ドープ単一量子井戸の作成が可能になってきた。今回我々は ScAlMgO<sub>4</sub> 基板上にレーザーMBE 成長した ZnO/Mg<sub>x</sub>Zn<sub>1-x</sub>O (x=0.12) 量子井戸 (井戸幅  $L_w=5$  nm) の磁気発光スペクトルを測定したので、その結果を報告する。

c 軸配向成長した量子井戸の場合、格子定数の不整合とウルツ鉱型という低い対称性のために内部電界効果が観測される。薄い障壁層を有する多重量子井戸の場合と比べて、障壁層を厚くした単一量子井戸においては、その「幾何学的因子」により内部電界効果がより大きく発現することが指摘された。低温フォトルミネセンス法にて、励起子発光のピークエネルギーの井戸幅依存性を求めたので結果を報告する。

試料はレーザーMBE 法により作製し、発光スペクトルの井戸幅依存性は図 1 のようになった。図 2 はピークのエネルギーを井戸幅の関数としてまとめたものである。井戸幅(3.4 nm)以上での発光エネルギーはバルクの励起子エネルギー (図 2 中横破線) よりも低エネルギー側になるため、エネルギーの井戸幅依存性は量子サイズ効果だけでは説明されず、内部電界の存在による量子閉じ込めシュタルク効果もあわせて考えなければい

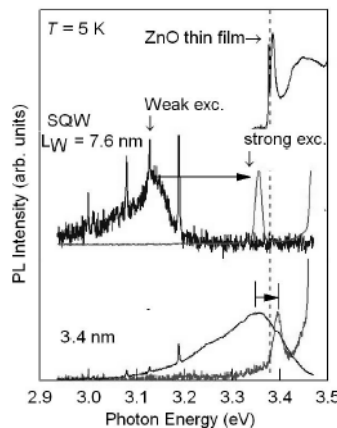


図 1: 弱励起と強励起時における ZnO 未添加量子井戸の低温発光スペクトル

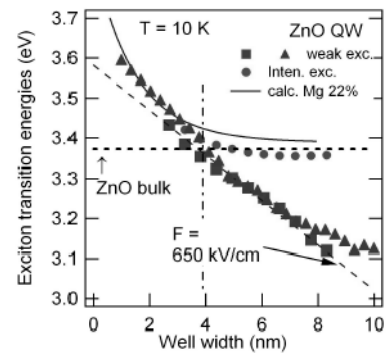


図 2: ZnO 未添加量子井戸における発光エネルギーの井戸幅依存性

けない。ピークエネルギーシフトより当該量子井戸における内部電界強度は 650kV/cm と求められた。

また、電子ドーピングの影響を検討するため、障壁層に  $5 \times 10^{10} \text{cm}^{-2}$  のドナーを添加した。試料の構造は図 3 に表した通りである。量子井戸層からデルタ・ドープ層までの距離 (図 4 中  $\Delta$ ) を 6 nm に定めたときのゼロ磁場低温発光スペクトルにおいては未添加量子井戸に比べて発光帯が高エネルギー側にシフトした。このブルーシフトの様子を図 4 に示すが、これは内部電界の遮へいによると解釈される<sup>1</sup>。磁場印加条件下 ( $B \leq 50$  T) での発光の円偏光特性を図 5 に示す。発光エネルギーは磁場印加によりシフトしなかったが、強度の円 2 色性が観測された。これらの結果から発光の起源として (中性) 励起子だけでなく荷電励起子<sup>2</sup> もしくは 2 次元電子ガスの輻射再結合の寄与もあると考えた。磁場 6 テスラの条件において同物質における偏光反射を測定したところ、中性の励起子の

寄与だけでは説明できない信号が得られ、磁気発光スペクトルにおいて荷電励起子の輻射再結合に対応する発光帯が存在することと整合する結果となった。

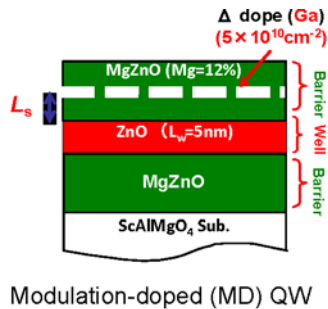


図 3 ZnO 変調ドーピング量子井戸構造を模式的に表したものである

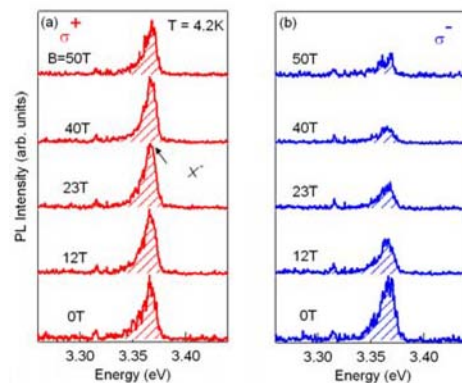


図 4 変調ドーピング ZnO/Mg<sub>0.12</sub>Zn<sub>0.88</sub>O 単一量子井戸における磁場を量子井戸面に垂直に B=0–50 T の範囲で印加した場合の円偏光および磁気発光スペクトルの磁場依存性。なお、障壁層内ドーピング層から井戸までの距離は、6 nm であった。左右円偏光の結果をそれぞれ示す。

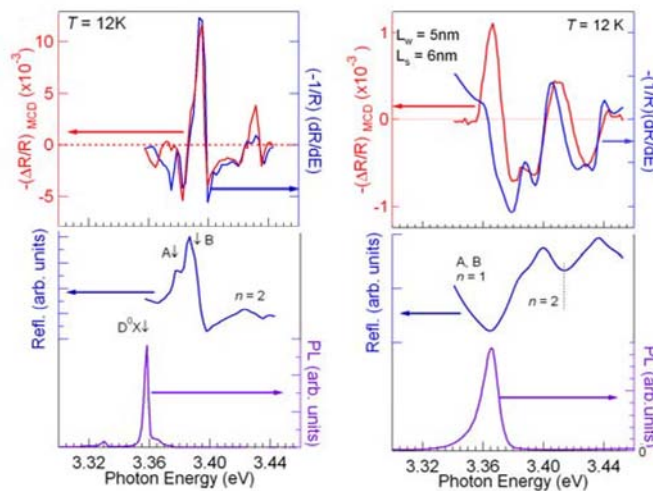


図 5 (a) 磁場を 6 テスラ印加した条件における磁気円 2 色性および微分反射スペクトル。デルタドーピング層から井戸までの距離は 6 nm であり、測定温度は T=12 K であった。(b) バルクの単結晶における同種データの比較結果を示す。

### 参考文献

[1] T. Makino *et al*, Phys. Rev. B (2009), **80**, 155333