

GaAs/Ga_{0.6}Al_{0.4}As 量子井戸での励起子

ダイナミクスの電界効果

三好正毅*, 青柳克信, 山田 篤**,
瀬川勇三郎, 難波 進, 佐野直克***

Effect of Electric Field on Dynamics of Excitons in GaAs/Ga_{0.6}Al_{0.4}As Multi-Quantum-Well Structure

Tadaki MIYOSHI, Yoshinobu AOYAGI, Atsushi YAMADA, Yusaburo SEGAWA,
Susumu NAMBA, and Naokatsu SANO

The decay time of luminescence from a multi-quantum well has been measured at 20 K by using a CW mode-locked dye laser and a synchroscan-streak camera. The decay time is found to increase when an electric field is applied. The increase is considered to be attributable to the field-induced carrier separation. The present results are compared with those reported by other researchers.

1. はじめに

多重量子井戸の光学的性質の電界効果の研究は、物理的および実用的見地（超高速発光素子、光変調器等）から重要である。Mendez ほか¹⁾は、温度 6 K において多重量子井戸の井戸層に垂直に電界を印加すると、井戸に閉じ込められた励起子からの発光の強度が低下することを見いだした。彼らは、この低下は電界による電子と正孔の空間的分離に起因すると考えた。このような分離が起こると電子-正孔間の空間的重なりが減少し、励起子の寿命が増加すると予想される。励起子寿命の電界効果は Kash ほか²⁾によって実験的に研究されたが、電界による寿命の増加は観測されなかった。

ここでは、多重量子井戸における発光の減衰時間について報告する。電界を印加すると、減衰時間が増加するのを観測した。観測波長を固定した場合の電界効果についてはすでに報告したので³⁾、ここでは、電界効果の観測波長依存性について述べる。

2. 実験方法

試料は、分子線エピタキシー法によってドナー密度約

* 山口大学工業短期大学部

** 東洋大学工学部

*** 関西学院大学理学部

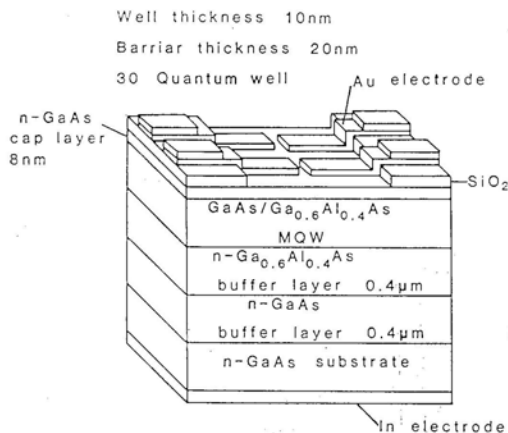


Fig. 1 Structure of the sample used in the experiment.

10^{18} cm^{-3} の GaAs 基板上に作製した。Fig. 1 に試料の構造を示す。MQW (多重量子井戸) は厚さ 10 nm の GaAs 井戸層と 20 nm の Ga_{0.6}Al_{0.4}As 障壁層とを交互に 30 層成長させたものである。Fig. 1 のバッファ層とキャップ層はドナー (Si) 密度約 10^{17} cm^{-3} の n 形であり、井戸層とバリア層には不純物をドーピングしていない。電界は Au ショットキー障壁によって印加した。電流-電圧特性は整流性を示し、降伏電圧は温度 300 K および 20 K において約 -10 V であった。測定は 20 K に

おいて行った。

励起源として CW モードロック Kr レーザー励起のモードロック色素レーザー (波長=746.8 nm, パルス持続時間=20 ps, くりかえし=82 MHz) を用いた。レーザー光は直径約 1 mm のスポットに集光して試料に照射した。レーザー光のピークパワー密度は約 100 W/cm² である。試料からの発光は 50 cm 分光器で分光し、シンクロスキャンストリークカメラで測定した。

3. 実験結果と検討

Fig. 2 に発光スペクトルを示す。量子井戸構造においては自由励起子発光が支配的になるので⁴⁾, この発光バンドは GaAs 量子井戸中の励起子の再結合に起因すると考えられる。電界を印加しないとき (実線, V=0 V) のピーク波長は 793 nm であるが, 電界を印加すると (点線, V=-8V), ピーク波長は長波長側にシフトする。また, ピーク強度が低下する。この結果は Mendez ほか¹⁾ の結果と定性的に一致する。

Fig. 3 に発光減衰時間の観測波長依存性を, 印加電圧をパラメータとして示した。V=0V における発光減衰時間は, 長波長側で長くなる。励起子の寿命は短波長側では励起子の再結合だけで決まるが, 長波長側では励起子の再結合のほかに界面不均一による局在準位を介するバンド内緩和にもよるので, 長波長側で発光減衰時間が長くなると考えられる⁵⁾。すなわち, 量子井戸界面が均一でなく場所によって変動していると, 井戸幅が場所によって変化する。すると, 量子井戸におけるエネルギー準位が空間的に変動し, 局在的エネルギー準位が生じ

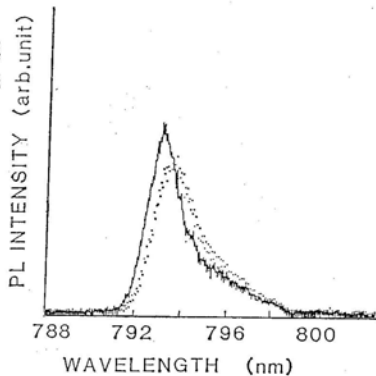


Fig. 2 Time-integrated photoluminescence spectra at 20 K for a multi-quantum-well structure under CW mode-locked dye laser ($\lambda = 746.8$ nm) excitation. Solid curve represents the spectrum for external voltage $V=0$ V and dotted curve that for $V=-8$ V.

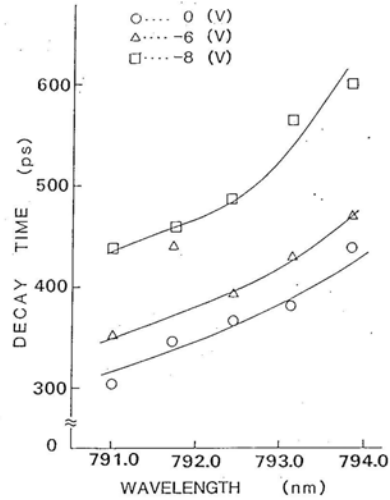


Fig. 3 Decay time of luminescence as a function of observed wavelength for various external voltages.

る。励起子がこれらの準位を通して緩和してから発光するのが長波長側の発光であるので, このバンド内緩和に要する時間だけ発光減衰時間が長くなる。電界を印加すると発光減衰時間が長くなる。この結果は Mendez ほか¹⁾ による電界誘起電子-正孔分離モデルで説明できる。また, 電界による発光減衰時間の変化は長波長側で大きくなる。これは, 上記バンド内緩和において, 井戸幅の変動によって生じる局所的エネルギー準位が電界の影響を受けるので長波長側で電界の影響が大きくなると考えられる。

最近, Pollard ほか⁶⁾ は GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As 単一量子井戸において電界印加による発光減衰時間の増大を観測した。また, Yamanishi ほか⁷⁾ も GaAs/Ga_{0.3}Al_{0.7}As 単一量子井戸において電界印加による担体寿命の増大を観測した。これらの結果はわれわれの結果と定性的に一致する。

一方, Kash ほか⁸⁾ は GaAs/Ga_{0.65}Al_{0.35}As 多重量子井戸において電界印加による発光減衰時間の減少を観測した。この減少はトンネル効果によって電子・正孔が井戸層から流出し, 井戸層内の電子・正孔密度が減少することよるとして説明されている。彼らは厚さ 3 nm の井戸層と 10 nm の障壁層の試料を用いたのでトンネル効果が支配的になったが, われわれは 10 nm の井戸層と 20 nm の障壁層の試料を用いたのでトンネル効果よりも電子-正孔分離効果が優勢であると考えられる。井戸幅が厚くなると電子-正孔分離効果が大きくなることは,

井戸幅 5~20 nm の範囲で実験的に観測されている⁹⁾。

4. ま と め

多重量子井戸において、電界印加による発光減衰時間の増大を観測した。この結果は電界誘起電子-正孔分離モデルで説明できる。

参 照 文 献

- 1) Mendez, E. E., Bastard, G., Chang, L. L., and Esaki, L.: *Phys. Rev.*, **B26**, 7101 (1982).
- 2) Kash, J. A., Mendez, E. E., and Morkoç, H.: *Appl. Phys. Lett.*, **46**, 173 (1985).
- 3) Miyoshi, T., Aoyagi, Y., Yamada, A., Segawa, Y., Namba, S., and Sano, N.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **25**, 504 (1986).
- 4) Weisbuch, C., Miller, R. C., Dingle, R., Gossard, A. C., and Wiegmann, W.: *Solid State Commun.*, **37**, 219 (1981).
- 5) 山田 篤, 青柳克信, 瀬川勇三郎, 難波 進, 増山 昭夫: レーザー科学研究, No. 7, p. 121 (1985).
- 6) Pollard, H. J., Schultheis, L., Kuhl, J., Göbel, E. O., and Tu, C. W.: *Phys. Rev. Lett.*, **55**, 2610 (1985).
- 7) Yamanishi, M., Usami, Y., Kan, Y., and Suemune, I.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, **24**, L586 (1985).