

# GaAs/GaAlAs 量子井戸細線からの発光の過渡特性

三好正毅\*, 永田 公, 青柳克信,  
瀬川勇三郎, 難波 進, 佐野直克\*\*

## Transient Characteristics of the Luminescence from GaAs/GaAlAs Quantum Well Wires

Tadaki MIYOSHI, Koh NAGATA, Yoshinobu AOYAGI, Yusaburo SEGAWA,  
Susumu NAMBA, and Naokatsu SANO

Transient characteristics of the luminescence from single- and multi-quantum-well wires have been measured at 20 K. Decrease in the luminescence decay time is observed. The peak shift in the luminescence spectrum is observed for various widths of wires; a narrow wire shows a large shift. These results confirm the quantum confinement effect in these wires.

### 1. はじめに

半導体の性質は、次元を低下させることによって変化する。準1次元構造(量子井戸細線)中の電子は、細線に垂直な方向に量子化される。Petroff ほか<sup>1)</sup>は、GaAs/GaAlAs 量子井戸を、リソグラフィーによって加工し、量子井戸細線を作製した。彼らは、細線化による発光スペクトルの変化を見いだした。しかしながら、加工によって欠陥が生じ、この欠陥によってスペクトルが変化したという可能性も考えられる。

ここでは、1次元閉じ込め効果を確認するために、量子井戸細線からの発光の過渡特性を測定したので報告する。

### 2. 実験方法

量子井戸細線は、GaAs/GaAlAs 単一量子井戸(SQW)および多重量子井戸(MQW)を、電子ビームリソグラフィーと異方性エッチングによって加工、作製した。

GaAs/Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>As 量子井戸は、(100)方向の半絶縁性 GaAs 基板の上に、分子線エピタキシーによって成長させた。Fig. 1 に量子井戸の構造を示す。MQW は、厚さ 10 nm の GaAs の井戸層 50 層から成る。障壁層

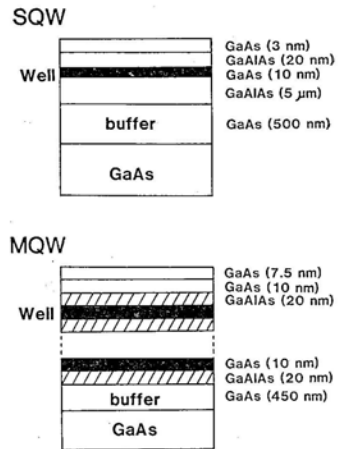


Fig. 1 Structure of a single-quantum well (SQW) and a multi-quantum well (MQW) used in this experiment.

は 20 nm の Ga<sub>0.7</sub>Al<sub>0.3</sub>As である。Fig. 2 に量子井戸細線作製過程を示す。電子ビームリソグラフィーは、レジスト(東ソー αM-CMS (R))の説明書に従って行った。レジストの露光は、パターン発生器とビームブランピング制御器が付いた走査電子顕微鏡(明石製作所 ISI-DS130S (SQW の場合), または日本電子 JSM-NSF (MQW の場合))を用いて行った。加速電圧は 20 kV (SQW の場合)または 50 kV (MQW の場合)であり、ビーム電流は約 0.5 nA、ビームの線速度は約 6

\* レーザー分子加工研究グループ流動研究員(山口大学工業短期大学部)

\*\* 関西学院大学理学部

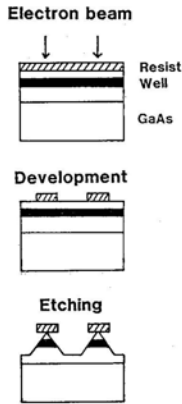


Fig. 2 Fabrication process of a quantum-well wire.

mm/s である。細線加工領域は約  $0.2 \times 0.3$  mm, 現像後のレジストマスクは線幅が約  $1 \mu\text{m}$ , 長さが  $0.3$  mm, 線間間隙が約  $1 \mu\text{m}$  である。細線の方向はウェハの  $\langle 011 \rangle$  方向に平行である。レジストマスクした面を, エチレングリコール:リン酸:過酸化水素=4:1:1 の液でエッチングした。エッチング時間は, SQW の場合が12秒, MQW の場合が30秒である。異方性エッチングを行うことにより, 細線の幅はマスクの幅よりも狭くなる。細線試料は, 温度可変クライオスタット (大阪酸素クライオミニ) にとり付け, 温度 20 K で測定した。発光スペクトル測定は, 励起源に He-Ne レーザー (NEC GLG2034,  $\lambda=632.8$  nm) を用いて行った。レーザービームは, 試料面にはほぼ垂直な方向から入射し, 石英レンズで直径約  $0.2$  mm に集光した。レーザーの光パワーは約  $1$  mW である。発光は, 試料面に垂直な方向から観測し, 二つのガラスレンズで,  $50$  cm 分光器 (リッズ応用光学 MC-50 L) の入射スリットに集光した。発光スペクトルは, マルチチャンネル測光システム (Tracor Northern TN-1710) で測定した。発光の過渡特性は, 励起源として CW モード同期 Kr レーザー (Spectra Physics 171:  $\lambda=647.1$  nm, パルス幅=200 ps) を用いて, シンクロスキャン・ストリークカメラ (浜松ホトニクス C1587) で測定した。

### 3. 実験結果と考察

Fig. 3 に MQW と MQWW (多重量子井戸細線) の発光スペクトルを示す。細線においては, 主ピークが高エネルギー側にシフトし, 新しいピークが出現する。この結果は, Petroff ほか<sup>1)</sup>の結果に似ている。彼らは, この新しいピークを MQWW によるものと考えた。彼

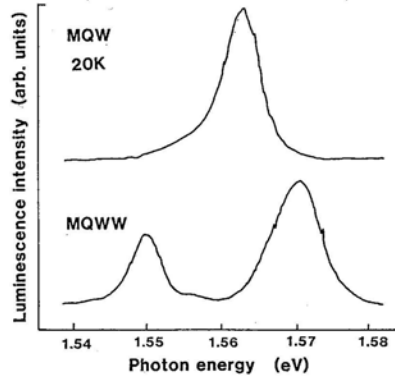


Fig. 3 Photoluminescence spectra of a multi-quantum well (MQW) and a multi-quantum-well wire (MQWW).

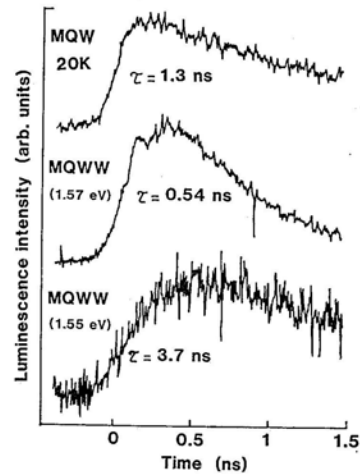


Fig. 4 Transient characteristics of the luminescence from MQW and MQWW.

らの考えが正しいかどうかを調べるために, 発光の過渡特性を測定した。Fig. 4 に測定結果を示す。MQW のピークの減衰時間と比較して, MQWW 試料の主ピークの減衰時間は長く, 新しいピークの減衰時間は長い。MQWW においては, 閉じ込め効果によって, 発光減衰時間が短くなるのが期待されるから, 主ピークが MQWW に関係したものと考えられ, 新しいピークは, 加工によって生じた欠陥に関係していると考えられる。

主ピークは, MQWW 中の励起子の放射再結合に起因すると報告されている<sup>2)</sup>。細線からの発光のピークシフトは, イオン注入による増速拡散によって作製した GaAs/GaAlAs SQWW (単一量子井戸細線) において見いだされている<sup>3)</sup>。マスクの幅が狭いと, ピークはよ

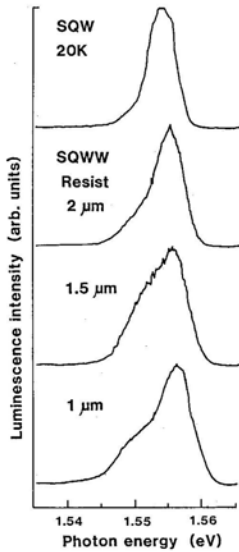


Fig. 5 Photoluminescence spectra of a single-quantum Well (SQW) and a single-quantum-well wire (SQWW) with various widths of a resist mask.

り高エネルギー側にシフトする。しかし、ピークシフトは、部分的には、マスク下での相互拡散によって井戸中に存在する Al に起因している。そこで、SQWW における発光ピークシフトと線幅との関係を、エッチングによって作製した試料について調べた。この場合には、井戸中に Al は存在しない。

Fig. 5 に種々のレジストマスク幅の SQWW と SQW の発光スペクトルを示す。狭いマスクの SQWW は大きいシフトを示す。このことは、閉じ込め効果を確認する。

Fig. 2 に示すように、細線の幅はマスクの幅よりも狭い。さらに、細線表面には空乏層が存在するため、実効的な線幅は、実際の線幅よりも狭くなると考えられる。このため、比較的広いマスクの場合でも閉じ込め効果が観測されると考えられる。

SQW と SQWW についても発光の過渡特性を測定し、SQWW において、減衰時間の減少を見いだした。この結果は、閉じ込め効果を確認する。

#### 4. まとめ

GaAs/GaAlAs 量子井戸細線の発光を測定し、MQWW 試料において新しいピークを見いだした。しかし、このピークの減衰時間は、MQW の発光の減衰時間よりも長いので、細線に起因するものではないと考えられる。発光の主ピークは高エネルギー側にシフトし、減衰時間が短くなる。この結果は、主ピークが細線に起因するものであることを示している。また、線幅の狭い細線は大きいシフトを示す。これらの結果は、細線における閉じ込め効果を確認する。

#### 参考文献

- 1) Petroff, P. M., Gossard, A. C., Logan, R. A., and Wiegmann, W.: *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 635 (1982).
- 2) Kash, K., Scherer, A., Worlock, J. M., Craighead, H. G., and Tamargo, M. C.: *ibid.*, **49**, 1043 (1986).
- 3) Cibert, J., Petroff, P. M., Dolan, G. J., Pearton, S. J., Gossard, A. C., and English, J. H.: *ibid.*, p. 1275.