

# 半導体量子井戸構造の光励起ルミネッセンス特性

本村 麻子, 今井 元

日本女子大学理学研究科 数理・物性構造科学専攻

(2006年11月3日受理)

**要 旨** 量子井戸構造の半導体は電子の状態が二次元的になっている。ここではフォトルミネッセンス法を利用し、励起光源の偏波方向を変化させ、観測される発光スペクトルから量子井戸内での電子の振る舞いや励起機構について調べた。励起光の入射角度が大きくなるにつれて、TM 波の発光スペクトルのピーク値は長波長側へずれていき、量子準位とバンドギャップの差が見られた。これらの関係より量子井戸内での遷移には励起光による偏波方向の依存性があると考えられる。

**キーワード**：量子井戸，フォトルミネッセンス，化合物半導体

## 1. はじめに

近年、われわれの生活の周りでは様々な場面で半導体を用いたデバイスが使用され、機能の向上などに必要不可欠のものとなっている。今日主流の半導体であるシリコンは、主に集積回路などに使用されている。その一方で光通信や光情報処理といった光エレクトロニクスの分野では化合物半導体が主として利用されている。大容量化、高速化の要請と共にデバイスの特性向上が不可欠となり、量子効果を利用したナノ構造の導入が検討されている。電子を微細領域に閉じ込め、電子の動きを制限することにより、高効率にエネルギーを変換することができる。これらの量子ナノ構造を用いたデバイスの研究が数多くあり、様々な特性の改善がなされる中、励起光の偏波依存性について検討されていない。本研究では化合物半導体を用いた量子井戸構造の半導体から発光スペクトルを観測し、量子井戸内の電子の振る舞いを調べ、井戸内での電子のダイナミクスについて検討する。

## 2. 原 理

バンドギャップの狭い InGaAs 単結晶膜をそれよりもバンドギャップの大きい InP または InGaAsP 単結晶膜で両側から挟んだ構造を考える。InGaAs 中の電子および

正孔は、エネルギー状態の高い InP (または InGaAsP) の伝導帯または価電子帯に移動することはできず、InGaAs 中に閉じ込められる。この接合において、InP (または InGaAsP) 層が十分に厚く、挟まれた InGaAs 層が極めて薄くなる (電子のド・ブロイ波長以下  $\lambda = 1.22$  [nm] 程度) と、量子効果が現れ、井戸層内の電子のエネルギー状態は離散的な状態になる。このような構造を量子井戸構造と呼ぶ。量子井戸構造では電子の状態が二次元的になっている。この特性から励起光の偏波の方向を変化させることによって励起される電子状態が異なり、発光スペクトルに何らかの影響があるのではないかと考えた。TE 波ではバルクの電子状態に寄与すると考え、励起光の照射角度を変化させても発光スペクトルに変化が見られないと推測される。一方 TM 波の場合には半導体試料に対する励起光の照射角度を大きくするにつれて、バルクの電子状態から量子準位を励起し、発光スペクトルの変化があると考え、発光スペクトルの変化について調べた。

## 3. 測定方法

### 3-1. フォトルミネッセンス法

発光スペクトルを観測する方法として、光を励起源として用いたフォトルミネッセンス法を利用した。励起光源には波長  $1.06 \mu\text{m}$  の YAG レーザーを用いた。この波長では InP 層 (バンドギャップ  $0.98 \mu\text{m}$ ) を励起できな

Contribution No.: MP 06-2

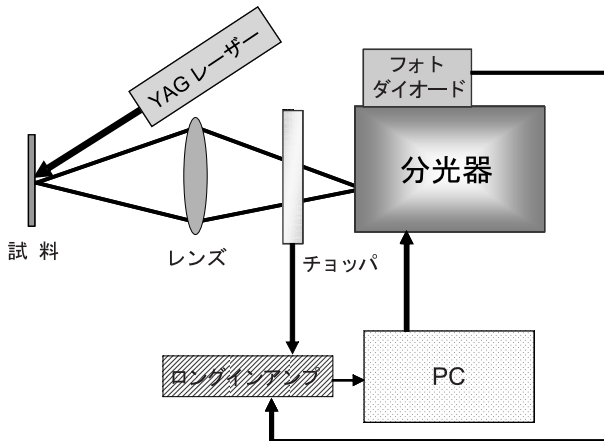


図 1. フォトルミネッセンスの測定系

いために、有効に量子井戸層を励起できる。フォトダイオードには PbS（波長 $\sim 1.8\mu\text{m}$ まで測定可能）を用いた。分光には回折格子型分光器を用いた。測定系を図 1 に示す。

### 3-2. 励起光源の偏波方向

光の偏波方向は、垂直成分と水平成分に分けられる。励起光源の入射角度と偏波方向をそれぞれ変化させ、発光スペクトルを観測した。

### 3-3. サンプルの形状

今回使用したサンプルの形状は以下の表 1 にまとめた。量子井戸層の構造は InP と InGaAs の積層構造になっている。

表 1. サンプルの構造

試 料	LA814	LA818
InP 層	10nm	10nm
InGaAs 層	15nm	7nm
InP 層	10nm	10nm
周 期	20	20

## 4. 結 果

### 4-1. 試料 LA814

励起光源の強度が 1 W のときの入射角度とそれぞれの偏波でのピーク波長の関係は次のグラフ（図 2, 3, 表 2）のようになった。

バンドギャップと第一準位の差を $\Delta E$ とすると、解析値から $\Delta E=0.022\text{eV}$ となった。グラフから TE 波を照射したときは、励起光の入射角度を変化させてもピーク値がほぼ一定なのに対して、TM 波では入射角度が大き

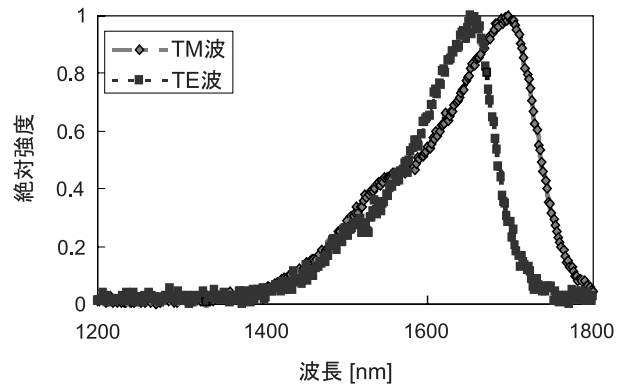


図 2. 観測したスペクトルの様子（試料：LA814）

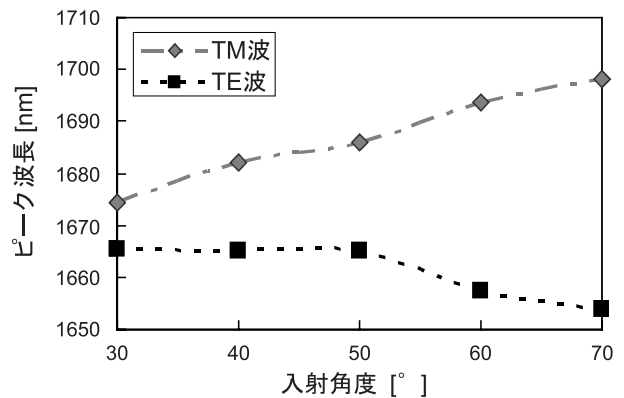


図 3. 励起光入射角度と発光スペクトルのピーク波長の関係

表 2. LA814 の発光スペクトルのピーク値

角 度 [°]	TM 波 [nm]	TE 波 [nm]
30	1674.25	1665.5
40	1682	1665
50	1693.5	1665
60	1693.5	1657.25
70	1698.25	1654

くなるにつれて、ピーク波長が長波長側へシフトしていった。励起光源の入射角度が 70 度のときの TM 波を照射したときの発光スペクトルのピーク波長は 1698.25 nm、TE 波を照射したときの発光スペクトルのピーク波長は 1654 nm となり、このときの差をエネルギーとして換算すると、0.02 eV となった。

### 4-2. 試料 LA818

励起光源の強度が 1 W のときの入射角度とそれぞれの偏波でのピーク波長の関係は次のグラフ（図 4, 5, 表 3）のようになった。

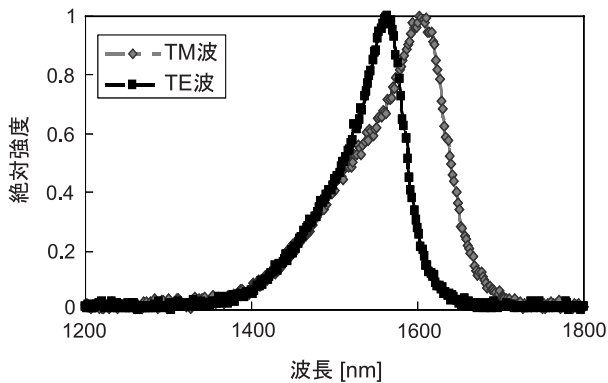


図 4. 観測したスペクトルの様子 (試料: LA818)

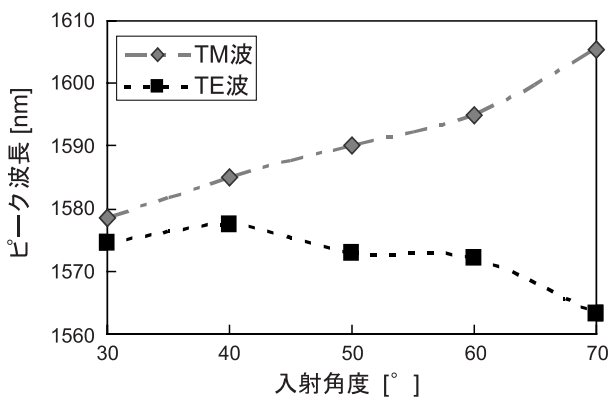


図 5. 励起光入射角度と発光スペクトルのピーク波長の関係

表 3. LA818の発光スペクトルのピーク値

角 度 [°]	TM 波 [nm]	TE 波 [nm]
30	1578.5	1574.5
40	1585	1577.5
50	1590	1573
60	1595	1572
70	1605.5	1563.33

バンドギャップと第一準位の差 $\Delta E$ は解析値から、 $\Delta E = 0.033\text{eV}$ となった。グラフからわかるように、こちらの試料でも励起光の入射角度が大きくなるにつれて、TM波を照射したときのピーク波長が長波長側へシフトしていった。励起光源の入射角度が70度のときのTM波を照射したときの発光スペクトルのピーク波長は1605.5 nm、TE波を照射したときの発光スペクトルのピーク波長は1563.33 nmとなり、このときの差をエネルギーとして換算すると、0.021 eVとなった。

また、それぞれの試料での発光スペクトルの偏波依存性は見られなかった。

## 5. 考 察

InGaAsにInPを整合したときのバンドギャップは $E_g = 0.77\text{eV}$ となる。それぞれの試料の結果から、励起光源の照射角度が70度のときのTM波のピーク値は試料LA814で0.73 eV、LA818で0.77 eVとなった。このことから、予測とは反対にTM波で励起光の入射角度が大きくなるにつれて量子準位からバルクの状態を観測し、TE波では量子準位を観測していることがわかる。このことから量子井戸内で励起された電子の緩和過程の影響があると考えられる。緩和過程には縦緩和時間と横緩和時間があり、それぞれでの緩和時間は異なる。量子井戸内の電子の状態と緩和過程の異なりが、発光スペクトルに影響をもたらしていると考えられる。今後これらの過程を理論的に検討していく。

## 6. ま と め

それぞれの試料での結果から、励起光の入射角度が0度のときは発光スペクトルのピーク値が変化しないのに対し、励起光の入射角度が大きくなるほど、量子準位とバンドギャップの差が見られることがわかった。TE波では角度変化による発光スペクトルのピーク値に変化が見られなかったのに対し、TM波では励起光源の入射角度が大きくなるにつれて、発光スペクトルのピーク値は長波長側へシフトしていった。これらのことから、量子井戸内での電子の緩和過程には励起光の偏波方向の依存性があると考えられる。

## 謝 辞

本研究を行うにあたりご協力を賜った東京大学先端技術センター荒川泰彦教授、(株)富士通研究所の皆様にご心より感謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) T. Akiyama, M. Ekawa, M. Sugawara, H. Sudo, K. Kawaguchi, A. Kuramata, H. Ebe, K. Morito, H. Inai, and Y. Arakawa: *Optical Fiber Communication Conference Post-deadline Papers* p.12 (2004).
- 2) Otsubo, K., Hatori, N., Ishida, M., Okumura, S., Akiyama, T., Nakata, Y., Ebe Y., Sugawara, M., and Arakawa, Y.: *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.43, No.8B, L1124-L1126 (2004).
- 3) Ishida, M., Hatori, N., Akiyama, T., Otsubo, K., Nakata, Y., Ebe, H., Sugawara, M. and Arakawa, Y.: *Appl. Phys. Lett.* **85**, 4145 (2004).
- 4) 小長井 誠: 半導体物性. 培風館, 東京 (1992).
- 5) 生駒俊明, 生駒英明: 化合物半導体の基礎物性入門. 培風館, 東京 (1991).
- 6) 半導体ハンドブック編集委員会編: 半導体ハンドブック

(第二版). オーム社, 東京 (1977).

- 7) 塩谷繁雄/他編: 光物性ハンドブック. 朝倉書店, 東京 (1984)

---

## Photo Luminescence Characteristics of Semiconductor Quantum Well Structure

Asako Motomura and Hajime Imai

The Graduate School of Science, Division of Mathematical and Material Structure Science,  
Japan Women's University

(Received November 3, 2006)

**Abstract:** We have observed the photoluminescence (PL) spectra of InGaAsP/InP quantum well structures. PL spectra peak movements for TE or TM mode excitation are observed by changing the incident angle of the excitation light.