

# CCD 分光器を利用した偏光分光法による GaAs/AlGaAs 量子井戸の広帯域な電子 g 因子の評価

菅田悠<sup>A</sup>、谷垣昇吾<sup>A</sup>、伊藤哲<sup>B</sup>、市田正夫<sup>A</sup>、安藤弘明<sup>A</sup>

<sup>A</sup> 甲南大学大学院自然科学研究科

<sup>B</sup> 静岡大学若手グローバル研究リーダー育成拠点

## Measurements of electron g-factor in GaAs/AlGaAs Quantum-Well by polarization spectroscopy using a CCD spectrometer

H.Sugata<sup>A</sup>, S.Tanigaki<sup>A</sup>, T.Ito<sup>B</sup>, M.Ichida<sup>A</sup>, H.Ando<sup>A</sup>

<sup>A</sup> Graduate school of Natural Science, Konan University

<sup>B</sup> Division of Global Research Leaders, Shizuoka University

Hanle effect measurements have been conducted using a CCD spectrometer to evaluate the electron g-factor in GaAs/AlGaAs quantum wells (QWs). Since the CCD spectrometer can detect photoluminescence (PL) signal in a wide wavelength range, it is possible to simultaneously evaluate electron g-factor values in various QWs with different well thickness. In the experiment it was found that the change of degree of polarization in PL signal inducted by external magnetic field is larger in a QW having thicker well. Assuming the spin relaxation time is almost the same independent of the well thickness, these experimental results reflect the dependence of the electron g-factor on the well thickness. Hanle effect measurements using a CCD spectrometer offers an efficient way to grasp the trend in the dependence of electron g-factor on quantum confinement.

### 1. はじめに

Hanle 効果は、円偏光で励起した試料からのフォトルミネッセンス(PL)の偏光度が印加磁場によって変化する現象であるが、これは試料中の電子スピンの磁気モーメントを持つことに起因する[1]。半導体に光を照射すると電子が価電子帯から伝導帯へと励起されるが、その電子スピンは励起光の偏光状態と密接な関係がある。半導体に円偏光を照射した場合、励起された電子のス

ピンは一方に偏った状態、すなわちスピン偏極を起す。電子が正孔と再結合すると電子スピンに対応した円偏光が放出される。試料に磁場を印加すると、光励起された電子のスピンは歳差運動を行なうため、印加磁場の大きさにより発光の偏光が変化する(Hanle 効果)ことになる。

電子スピンにおいて磁気モーメントは重要な特性である。電子スピンの磁気モーメントの大きさは、スピン角運動量と磁気モ



### 3. 実験結果と考察

図 3 は印加磁場 0T の場合の PL スペクトルである。複数のピークが見られるが、これは井戸幅の異なる量子井戸からの発光、または GaAs バッファ層からの発光である。それぞれの量子井戸からの発光は十分に分離され観測されている。

図 4 は PL の偏光強度の差( $I_R - I_L$ )である。0T では全ての発光帯においてスピンの偏極が見られるが、磁場の印加にともなって、より大きな井戸幅の  $I_R - I_L$  が減少していく。井戸幅 10nm, 15nm の  $I_R - I_L$  は 0.3T でほぼ 0 となり、同様に 6nm は 1.0T, 4nm は 1.5T で 0 となった。この変化の原因を明らかにするため、 $I_R - I_L$  を波長 760nm~825nm で積分した。その結果を図 5 に示す。磁場強度の増加とともに  $I_R - I_L$  が減少するが、これは電子スピン歳差運動の Larmor 周波数が増加することに起因する。すなわち Larmor 周波数が高いほど電子スピンの向きが速く変化するため、電子の上向きと下向きのスピン偏極が平均化され、 $I_R - I_L$  は 0 に近づく。

Larmor 周波数  $f$  は印加磁場  $B$  に比例し

$$f(B) = \frac{\mu_B}{\hbar} gB$$

という関係がある。ここで  $\mu_B$  はボーア磁子、 $g$  は電子  $g$  因子である。 $g$  は比例係数であるから、電子  $g$  因子が大きいほど Larmor 周波数が高くなる。すなわち、実験において磁場  $B$  を 0T から増加させた時、 $I_R - I_L$  は電子  $g$  因子が大きい量子井戸の発光から減少していくことになる。

図 6 は各量子井戸における偏光強度の差 ( $I_R - I_L$ ) の磁場依存性であるが、磁場が増加するに従って幅が広い量子井戸から順に  $I_R - I_L$  が減少していることが分かる。スピン

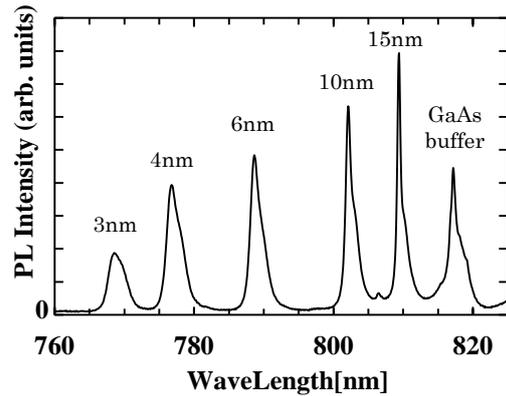


図 3 GaAs/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 量子井戸からの PL スペクトル

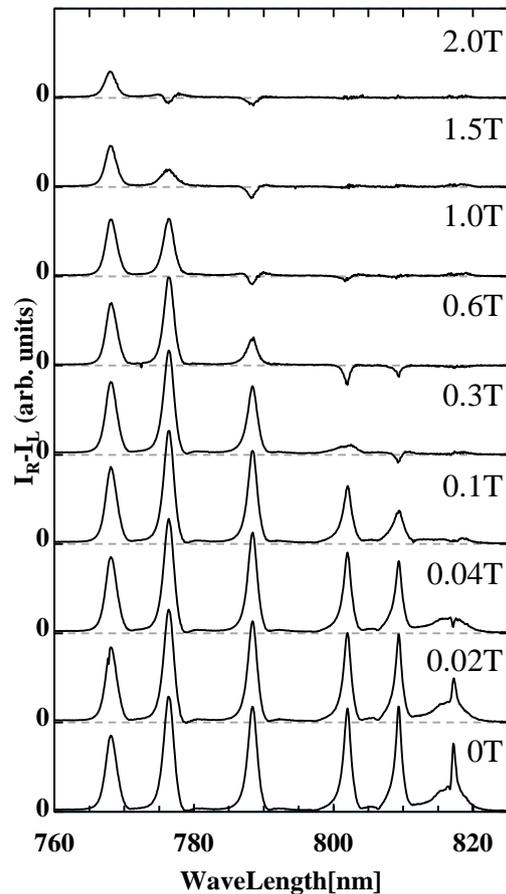


図 4 PL 偏光強度の差 ( $I_R - I_L$ )。印加磁場 0T~2T における磁場依存性。

緩和時間は量子井戸の幅によらず一定であると仮定すると、この結果は電子  $g$  因子の

井戸幅依存性が反映されていると考えられる。すなわち、幅が広い量子井戸の電子  $g$  因子は大きく、井戸幅が狭くなるとともに電子  $g$  因子は減少することがわかる。図 7 はこれまでに我々のグループがストリークカメラを用いて PL の時間分解測定により求めた電子  $g$  因子の井戸幅依存性を示す。井戸幅が大きいほど電子  $g$  因子が増大するという傾向は今回の実験結果と一致していることがわかる[3,4]。

#### 4. まとめ

CCD 分光器を用いて、試料からの偏光分解 PL 測定系を構築し、GaAs/AlGaAs 量子井戸の電子  $g$  因子を評価した。これにより、量子井戸における電子  $g$  因子の井戸幅依存性についての知見が得られることを明らかにした。

今回構築した測定系は CCD 分光器を用いることにより広い波長範囲で PL スペクトルを測定できるため、異なる井戸幅における複数の量子井戸の電子  $g$  因子を同時に測定することが可能となる。簡便な測定系で電子  $g$  因子の構造依存性の傾向を把握するには有効な手段である。

#### 参考文献

- [1] S.V.Andreev *et al*, Phys. Rev. B **80**, 113301 (2009)
- [2] F.Meier, *et al*, *Optical Orientation* (North-Holland, Amsterdam, 1984)
- [3] T.Ito, *et al*, J Lumin **128**, 865-867 (2008)
- [4] T.Ito, *et al*, Phys. stat. sol. (c) **3**, No.10, 3496-3499 (2006)

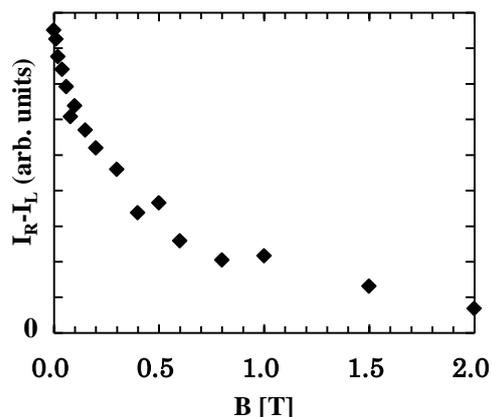


図 5 PL 偏光強度の差( $I_R - I_L$ )を波長 760~825nm で積分した磁場依存性。

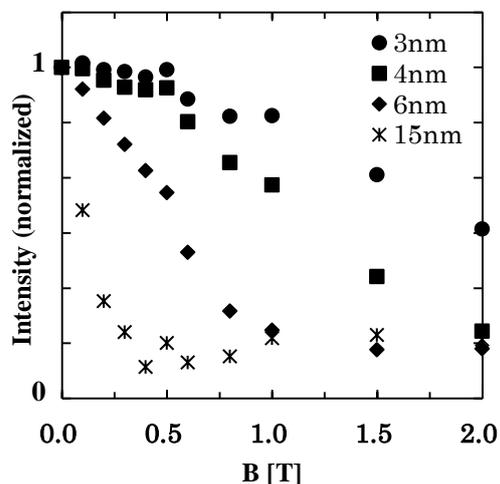


図 6 PL 偏光強度の差( $I_R - I_L$ )の井戸幅依存性

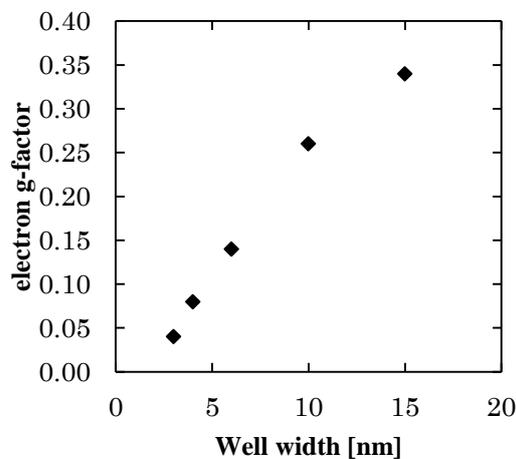


図 7 各量子井戸の電子  $g$  因子