顕微フォトルミネッセンス法による

GaAs/AlGaAs 量子井戸の局在励起子 g 因子の評価

宮原美保^A、志智亘^B、伊藤哲^{B,C}、市田正夫^{A,B}、後藤英樹^D、鎌田秀彦^D、安藤弘明^{A,B} ^A甲南大学大学院自然科学研究科

B甲南大学量子テクノロジー研究所

^c静岡大学若手グローバル研究リーダー育成拠点

PNTT 物性科学基礎研究所

Measurements of Localized Exciton g-factor in GaAs /AlGaAs QW using Micro Photoluminescence Spectroscopy

M.Miyahara^A,W. Shichi^B,T .Ito^{B,C}, M.Ichida^{A,B},H.Gotoh^D,H. Kamada,^DH. Ando^{A,B}

^AGraduate school of Natural Science, Konan University

^BQuantum Nano-Technology Laboratory, Konan University

^CDivision of Global Research Leaders, Shizuoka University

^DNTT Basic Research Laboratories, NTT Corpotation

We reported on measurements of Zeeman splitting of the localized heavy-hole exciton in GaAs/AlGaAs Quantum Well (QW) using micro photoluminescence (PL) spectroscopy. The PL measurements were conducted with a closed-cycle He-gas cryostat under a high magnetic field in Faraday configuration. The g-factor value of the localized exciton in GaAs/AlGaAs QW with well width of 2.8 nm assessed from the measured Zeeman splitting of the PL lines was 1.4. This result means the exciton g-factor is predominantly determined by that of the heavy holes.

1 はじめに

量子井戸や量子ドットなどの、半導体ナ ノ構造における励起子のg因子については、 励起子を構成する電子や正孔の磁場特性の 量子閉じ込め効果に関する知見を得ること が出来るため、多くの研究がなされている [1]。GaAs/AlGaAs量子井戸における励起 子g因子は、磁場を印加した際のゼーマン 分裂エネルギーから求めることが出来るが、 ゼーマン分裂エネルギー量は量子井戸から の発光スペクトル幅に比べて非常に小さく、 これを実際に観測することは非常に困難で ある。一方、量子井戸中の局在した励起子 からの発光スペクトル幅は狭く、ゼーマン 分裂による発光スペクトルの変化を明瞭に 観測することが出来る。しかしながら、量 子井戸中の局在励起子は空間的に広く分布 している。そのため、一つの局在励起子か らの発光を観測するには、顕微フォトルミ ネッセンス(PL)法による極めて高い空間分 解能が必要となる。

顕微PL法では、測定範囲を1µm程度

までしぼりこみ、狭い範囲を測定する。測 定の際、試料を極低温まで冷却するために 通常使用される液体ヘリウム型クライオス タットは、振動が小さいという利点がある が、取扱いが難しい。一方、ヘリウムガス 循環型クライオスタットは、安全かつ簡単 に扱えるという利点があるが、冷却時に10 μm 程度の振動が起こるため、それ以下の 微小な空間での測定が困難である。通常、 顕微 PL 法で測定を行う場合、微細加工技 術を駆使して試料にメサ構造を作り、対象 となる箇所以外を削除する方法や、試料上 に小さな穴の開いたマスクをつける方法な どで試料上の微小空間を選び、測定をおこ なうが、これらは試料の準備が煩雑である ことや、試料にダメージを与えてしまうと いう問題がある。

本研究では、冷却時におこる振動の影響 を抑えるような光学系を考案し、ヘリウム ガス循環型クライオスタットを用いた簡便 でかつ、試料にダメージを与えることのな い顕微 P L 系を構築し、量子井戸における 局在励起子の g 因子の評価を行った。

2 試料と測定方法

実験では、井戸幅が 2.8nm の GaAs /Al_{0.3}Ga_{0.7}As 量子井戸をもちいた。図1は GaAs /Al_{0.3}Ga_{0.7}As 量子井戸の模式図である。 量子井戸の境界面の面内方向には一原子層 程度の凹凸が出来ており、この部分に励起子 が局在している[2]。

ゼーマン分裂エネルギー量 ΔE と印加磁場 B との間には次のような関係式がある。

$$\Delta E = g_{exc} \mu_B B \tag{1}$$

 g_{exc} は励起子のg因子、 μ_{B} はボーア磁子で







ある[1]。本実験では局在励起子のゼーマン 分裂エネルギー量を測定する事で局在励起 子g因子を求める。

図2に今回構築した測定系を示す。励起 光源には He-Ne レーザー(波長 633 nm)を 用いた。励起光強度は 30W/cm²である。励 起光は 1/4 波長板で右回り円偏光に変換し た後、クライオスタットで 4Kまで冷却し た試料に照射した。このことにより、スピ ン偏極した電子をもつ励起子を作ることが 出来る。通常ではクライオスタットの外側 に置かれるレンズを、クライオスタット内 の試料台に試料と共に取り付ける。これに より、試料とレンズは一体となって振動す る。図2のように、試料とレンズ1の距離

をレンズ1の焦点距離にあわせると、試料 から出てくるPLは平行となり、続いてレ ンズ2に入射したPLはレンズ2の焦点で 結像する。試料とレンズ1は一体となって 振動するので、試料上の特定の範囲を測定 することが可能となり、振動による影響を 抑えることが出来る。試料上の空間分解能 を上げるためにレンズ2の焦点に集光した 像を、ファイバーに入射させた。像の倍率 は 50 倍程度であるので、コア径が 50 µm のファイバーを使用することで、試料上の 直径1μm程度の範囲を切り取り、観測す ることが出来る。測定では、図2のように 1/4 波長板と偏光板を使い、PLを円偏光分 解して観測した。測定はファラデー配置で 行い、試料には、0Tから 10Tまで磁場を 印加し、さらに極性(±)をかえて測定し た。

3 測定結果と考察

図3はゼロ磁場における井戸幅が2.8nm の量子井戸からのPLスペクトルである。 幾つかの鋭いピークが見られる。これらの 鋭いピークは局在励起子からの発光であり、 半値幅は100µeV以下である。一つ一つの 局在励起子発光が見られることから、今回 構築した測定系は、過去の報告と比較する ことにより、およそ1.5µmの孔の空いたマ スクを使用して顕微PL測定を行った時と 同程度の空間分解能を持つと考えられる[2]。

図4に図3の・のピーク付近でのPLス ペクトルの磁場依存性を示す。(a)(b)はPL の各円偏光成分(I+,I·)である。各円偏光成 分には発光強度に差があることがわかる。 これは円偏光によって、スピン偏極した電 子から構成される励起子が生成されている



ことを反映している。磁場強度が強くなる につれて、反磁性シフトとゼーマン分裂を 反映して、全体に発光スペクトルが高エネ ルギー側にシフトする様子が見られる。

図5は図4の発光スペクトルにおけるピ ークエネルギーに対する磁場強度依存性で ある。I+とI:で磁場強度依存性が異なってい

るが、これは局在励起子のゼーマン分裂に 起因している。図6は図5の各円偏光成分 のエネルギー差すなわちゼーマン分裂エネ ルギー量を磁場に対してプロットしたもの である。励起子のゼーマン分裂エネルギー 量と磁場強度には式(1)のような関係が あるので、グラフの傾きから励起子 g 因子 を求めることができる。今回測定した局在 励起子のg因子の大きさは 1.4 であった。 また、数 meV 異なる発光エネルギーを持つ 局在励起子についても同様の測定をおこな ったが、g因子の大きさは同程度であり、 再現性を示す結果となった。理論計算の結 果から、この量子井戸における電子 g 因子 は 0.1 程度である[3]。また、励起子の g 因 子には次のような近似式が成り立っている $[4]_{-}$

 $g_{exc} = g_e + g_h \tag{2}$

ge は電子の g 因子、**g**_h は正孔の g 因子であ る。したがって、局在励起子の g 因子はこ の量子井戸の励起子 g 因子の値と近いと仮 定すると、励起子の g 因子はほぼ正孔の g 因子で決まると考えられる。

4 まとめ

ヘリウムガス循環型クライオスタットを 用いて、磁場中での簡便な顕微フォトルミ ネッセンス系を構築し、量子井戸中の局在 励起子g因子の評価を行った。これにより、 井戸幅2.8nmのGaAs/Alo.3Gao.7As量子井 戸中の局在励起子のg因子大きさは約1.4 であるとわかった。

今回測定を行った井戸幅においては、実 験結果と理論計算により、量子井戸におけ る励起子g因子は正孔のg因子が支配的で あると予想される。今後は正孔のg因子の







磁場強度依存性

理論解析についても行いたい。

参考文献

[1] M. J. Snelling, *et al.*, Phys. Rew. B.45, 3922 (1992)

[2] D. Gammon, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **76**, 3005 (1996)

[3] W. Shichi, *et al.*, Jpn. J. Appl. Rhys.48,063002 (2009)

[4] M. J. Snelling, *et al.*, Phys. Rew. B. 45, 3922 (1992)

[5] D. Gammon, *et al.*, Phys, Rev, Lett, 86, 5176 (2001)