

VIII - 2 半導体物性グループ

教授 舛本 泰章  
 助教授 野村晋太郎  
 助手 鈴木 隆司  
 助手 池沢 道男  
 助手 冨本 慎一  
 助手 阪東 一毅  
 助手 山本 貴一  
 助手 安坂 幸師

ベンチャービジネスラボラトリー研究員 陳 曄 (Chen, Ye)

外国人研究者 Pal, Bipul

外国人研究員 (ベンチャービジネスラボラトリー) Ignatiev, Ivan V.

外国人研究者 (日本学術振興会) Kalevich, V.

大学院生 (12名)

【1】半導体におけるフェムト秒、ピコ秒時間分解分光 (池沢道男、舛本泰章)

〈光ヘテロダイン検出による半導体量子ドットからの高感度 FWM 信号検出; GaAs 量子ドットおよび InGaAs 量子ドット〉 (池沢道男、舛本泰章)

量子情報処理を実現するための一つの候補として、半導体量子ドットに閉じ込められた励起子が提案されていることもあって、半導体量子点における励起子コヒーレンスに興味を持たれ現在広く研究されている。励起子コヒーレンス研究に有用である時間分解四光波混合 (Four-wave mixing, FWM) 実験を、数密度が低く信号の微弱な自己形成量子点試料についても可能にするための高感度ヘテロダイン検出システムを構築して、単層の量子ドットの FWM 信号検出を達成している。このシステムを用いて、いくつかの興味深い現象が観測されている。

歪み誘起 GaAs 量子ドットにおいては励起子分子の束縛エネルギーの大きさを反映した量子ビートが観測されたが、その周期が外部磁場によってほとんど変化しない事が明らかになった。これは、GaAs 量子井戸にナノメートルサイズの局所的歪みを加える事で 0 次元的な閉じこめ領域

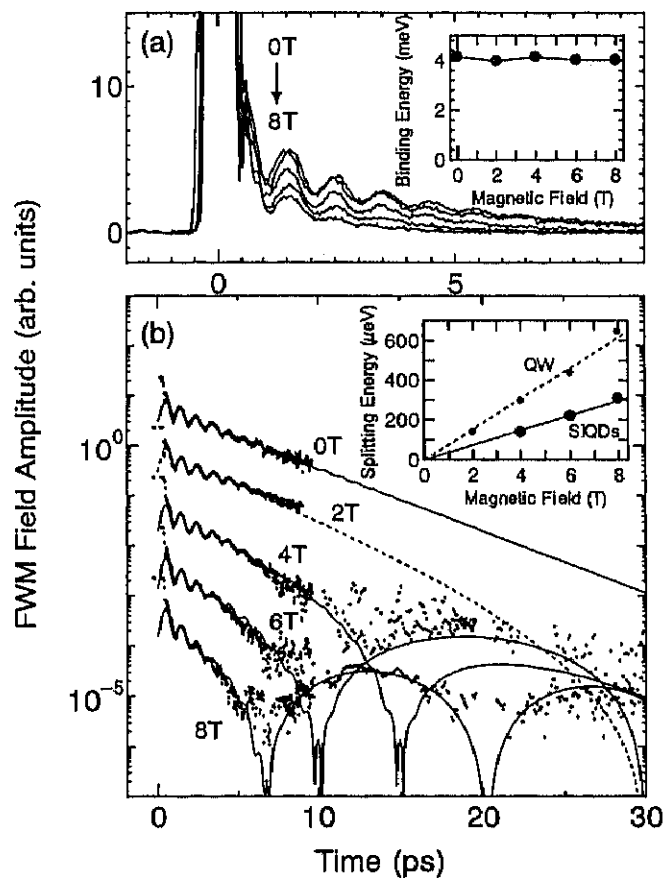


図1

を作った特殊な量子点である。歪みによって量子井戸面内に作られる閉じこめポテンシャルは放物面でよく近似され、理論的にも扱いやすい。同じ試料内に、量子井戸と量子ドットが共存するという事情から、2次元系と0次元系の励起子分子の束縛エネルギーを直接比較する事が出来、ビート周期の比から、量子ドット中では量子井戸に比べて1.5倍の束縛エネルギーを持つ事が分かった。図(a)の拡大図に示されているように、磁場を試料の成長方向に対して垂直に印可した場合、8Tまでの磁場に対してビート周波数はほとんど変化していないことがわかる。トロント大学のNair博士との共同研究によって、放物面状ポテンシャルに閉じ込められた励起子分子の束縛エネルギーの理論計算を行なった結果、それがほとんど磁場に依存しないことが明らかになり、実験データと良い一致を示した。また図(b)に示すように、前述の励起子分子による量子ビートの他にも、もっと時間の遅い領域で、周期が磁場に依存するビートが観測された。これは周波数の磁場依存性がリニアである事から、磁場中でゼーマン分裂した励起子による量子ビートと解釈され、その磁場に対する傾きから励起子のg因子が評価できた。g因子は図(b)の挿入図に示すように、井戸と量子ドットでは大きく異なる事が分かる。求められたg因子の値は、別の実験手法で求めたg因子の値とも良く一致した。

その後、観測波長域を近赤外領域に広げて、InGaAs量子ドットを用いた実験を開始した。研究の目的としては、ドット間の距離を近づけて、ドット間に何らかの相互作用が起こった場合に、位相緩和にどのような影響が現れるかを研究し、隣り合う2つの量子ドットを用いた量子ゲートの実現に向けた基礎データとするためである。特に、InGaAs量子ドットでは、基板としてGaAs(311)Bと呼ばれる高指数面を使うと、ドットが2次的に配列する事が知られており、隣のドットと物理的に繋がってしまうことなくドット間の距離を近づけられるという利点がある。現在のところ、中程度の面密度のInGaAs量子ドットにおいて、信号強度が光照射に対して敏感に変化する現象が観測されており、荷電励起子の非線形光学過程についても、新たな知見が得られる可能性がある。

<電場下のInP量子ドットにおけるフォトンエコー> (舩本泰章、須藤史敬、池沢道男、内山智香子<sup>A</sup>、相原正樹<sup>B</sup> <sup>A</sup>山梨大学医学工学総合研究部、<sup>B</sup>奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科)

InP量子ドットに電気バイアスを加えドープされた電子数を制御することができる。また、中性化したInP量子ドットにさらに電場を加えると、InP量子ドット中の光励起された電子・正孔対のうち、正孔が障壁層をトンネル過程で透過し、発光強度が減少する現象が観測されている。電場下でInP量子ドットのヘテロダイン検出フォトンエコーの測定を行い、電子が2個ドープされた状態から1個ドープされた状態を経て中性の状態になる際、信号が2桁増加することを見出した。この振舞は電子が2個ドープされたときにはパウリブロックにより、量子ドット中に光励起双極子ができずフォトンエコーが出ず、電子が1個ドープされたときには、イオン化励起子(トリオン)ができるがフォトンエコーが発生せず、量子ドットが中性になると光励起双極子ができてフォトンエコーが発生するとして理解できる。電場をかけて量子ドットから正孔が障壁層をトンネル過程で透過すると、図2に示すようにフォトンエコーは双極子の減衰を反映して急激に減衰の様子が見出された。フォトンエコーの時間波形はトンネル過程のnon-Markov的振舞を反映して非指数関数的減衰をしめす。non-Markov理論を用いてフォトンエコーの時間減衰をフィットすると、実験データと大変良い一致をみた。

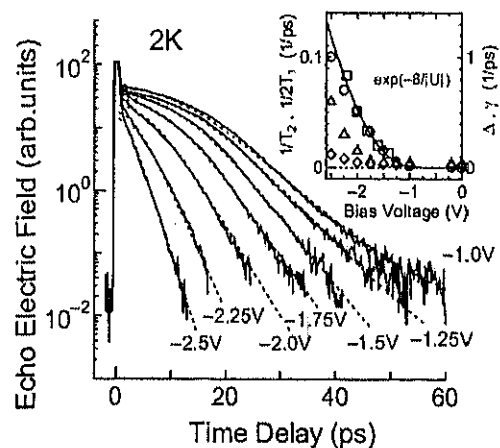


図2 電場下のInP量子ドットのフォトンエコー信号。負の電圧印可に伴い正孔のトンネル過程により減衰が速くなる。

<フェムト秒時間分解発光測定系の構築> (富本慎一、黒川篤、舛本泰章)

半導体量子ドット中の電子や正孔のエネルギー緩和は、離散的なエネルギー準位を反映してバルク半導体でのそれとは質的に異なるものになると考えられている。フォノンボトルネック効果による遅い緩和を支持する実験報告がある一方で、サブピコ秒程度の速い緩和の存在を示す報告もあり、量子ドットの表面や近傍の欠陥準位を経由した緩和や、強励起時はキャリア間散乱がその機構として提案されている。本研究ではそのようなエネルギー緩和と、量子ドットにおけるスピン緩和のダイナミクスを調べるため、フェムト秒領域の時間分解発光測定系の構築を行った (図3)。

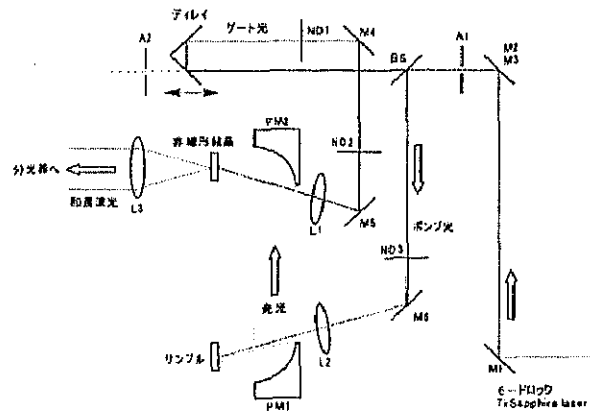


図3 アップコンバージョン法によるフェムト秒時間分解発光測定系

アップ・コンバージョン法に基づくこの測定系はモードロックチタンサファイアレーザ

ー又はその再生増幅器を光源とし、時間分解能は現在約 150 fs である。この方法は高い時間分解能に加えて赤外発光に対して高感度であるという特長を持つ。これを生かして InAs、InGaAs 量子ドットにおける発光測定、発光の円偏光度の時間分解測定によるスピン緩和の観察に取り組む予定である。

【2】半導体量子ドットのスピン光物性 (舛本泰章、池沢道男)

半導体のスピン系の長時間にわたる偏極は、量子情報処理に有望と考えられ注目されている。量子ドットは、この中に電子が空間的に閉じ込められるので、バルク半導体中の電子スピンの主要な緩和機構である D'yakonov-Perel' 機構が電子の局在性のため凍結し、スピン緩和が制約を受けるため、長いスピン緩和時間を持つと期待され、理論的にはミリ秒程度かそれより長い時間のスピン緩和時間が予測されている。量子情報処理には、光で制御できるので量子通信との整合性が良い III-V 族半導体量子ドット中の長いスピン緩和時間を持つ電子スピンの最も有用であろう。

<半導体量子点におけるスピン緩和に関する研究> (菅野敦史、舛本泰章)

単層半導体量子点中の電子スピンの研究は時間分解発光測定によって行われているが、より直接的なスピン緩和の測定が可能な共鳴状態下における測定はその信号強度の弱さからほとんど行われていない。本研究では世界最高レベルの感度を持つ時間分解カー回転測定系を構築し、単層半導体量子点中の電子スピンのダイナミクスを共鳴条件下で測定した。

歪み誘起 GaAs 量子点において、初めて共鳴条件下での電子スピンの Larmor 歳差運動を観測した。10 K における量子点中の電子スピン寿命は 90 ps 程度であり、量子井戸の場合(30 ps)と比べ長い。これは次元低下によりスピン緩和が抑制されたと考えられる。また電子の寿命に比べ十分短く、電子スピンの電子-正孔交換相互作用 (Bir-Aronov-Pikus モデル) などによるスピン緩和過程が働いている。光生成による電子・正孔対が量子点中に閉じこめられるため、このスピン緩和過程が増強されスピン寿命が電子寿命に比べ短くなったと考えられる。InP 半導体量子点でも同様にキャリアスピンのカー回転信号が観測された。g 因子の解析から電子ではなく正孔のスピンであると考えられ、InP 量子点が帯電 (電子が 1 個余分に存在) しているため電子スピンによるカー回転信号が打ち消され正孔のスピンが観測されたと考えられる。

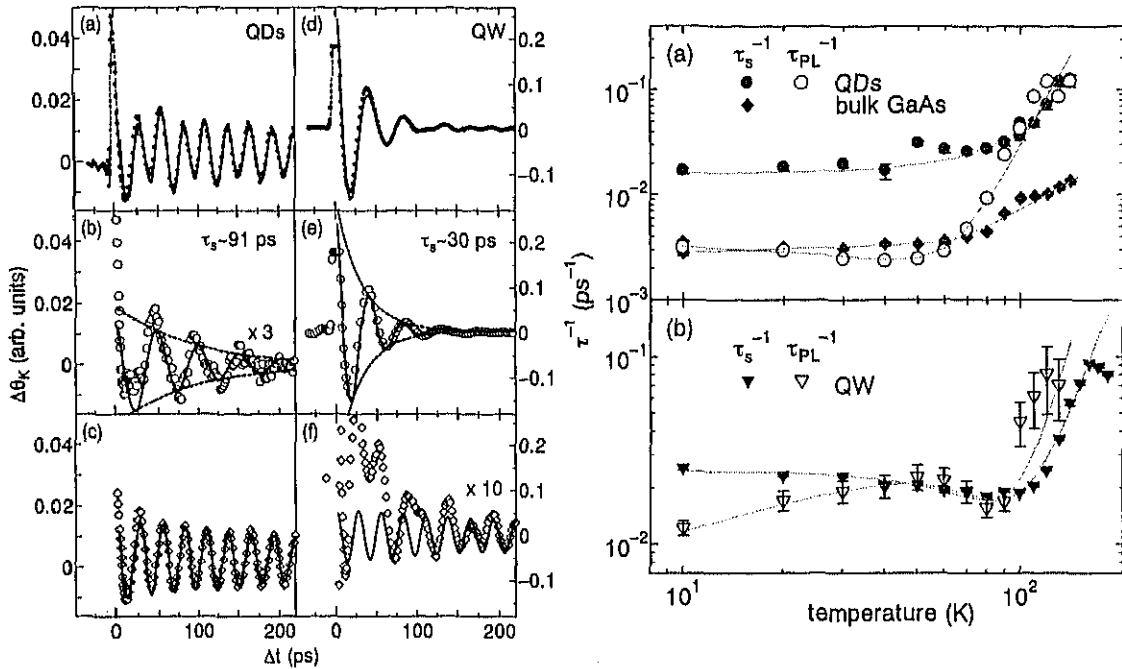


図4 (左図) 歪み誘起量子点における量子点(b)および量子井戸(e)による横磁場 6 T 下での時間分解一回転の信号。実験データ ((a), (c)) より基板成分 ((c), (f)) を分離して得た。(右図) 歪み誘起量子点におけるスピン寿命および電子寿命の温度変化。量子点のスピン寿命(●)は電子寿命(o)よりも十分短いことがわかる。

<半導体量子ドットのスピンダイナミクス> (池沢道男, Bipul Pal, 舛本泰章, Ivan V. Ignatiev<sup>AB</sup>, Sergey Yu. Verbin<sup>AB</sup> <sup>A</sup>筑波大 VBL, <sup>B</sup>St.-Petersburg State 大)

光生成電子のように発光寿命により時間の制約を受けない、電子を1個ドーブされた InP 量子ドットにおいて、この電子のスピン偏極がサブミリ秒の寿命をもつことを見いだした。試料は MBE 法で GaAs(100)面上に InGaP バッファ層を積層し、その上に自己生成した InP 量子ドットである。この試料を 10 K でピコ秒チタン・サファイアレーザー光を用いて、量子ドットのみを円偏光を用いて準共鳴励起しフォトルミネッセンスを調べた。ファラデー配置で 8T まで縦磁場を加え、後方散乱配置でフォトルミネッセンスを集め、偏光フォトルミネッセンススペクトル、時間分解偏光フォトルミネッセンスを系統的に研究した。時間分解にはストリークカメラまたは AOM (音響光学素子) を用いて切り出したパルス列ブロックを用いた発光ポンプ・プローブ法を用いた。核スピンのゆらぎによる効果を避けるため 0.1T の縦磁場をかけ、InP 量子ドットの発光帯を円偏光で準共鳴励起すると、励起光エネルギーからストークスシフトが小さなエネルギー領域では正の円偏光度をもつ発光が観測されるが、ストークスシフトが大きいエネルギー領域では、負の円偏光度をもつ発光となる[図 5(a)挿入図]。負の円偏光度が観測されるエネルギー領域で発光の時間変化をストリークカメラを用いて調べると、この円偏光度は光励起直後の正から時間が経つと負に移行し、発光がなくなる約 1ns まで一定の負の円偏光度が続くことが観測された[図 5(a), 5(b)]。時間が経って一定値に漸近する負の円偏光度 ANCP を試料に加える電気バイアスの関数として調べると約 0.1 V で最大となり、-0.1 V から離れると負の円偏光度が消失すること[図 5(b) 挿入図]、この 0.1 V 付近の狭い電気バイアス領域で trionic 量子ビートが観測されることから、電子が InP 量子ドット中に 1 個ドーブされると、負の円偏光度が最大となることがわかる。負の円偏光度の起源は、図 5(a) InP 量子ドットを円偏光を用いて準共鳴励起したルミネッセンススペクトル (挿入図) と、ルミネッセンスの時間トレース。(b)円偏光度の時間トレースと、負の円偏光度の励起強度依存性 (左挿入図) および電気バイアス依存性 (右挿入図)。電子・正孔のエネルギー緩和に伴うスピンフリップによると考えてい

る。

パルス列 (12 ns 間隔) の間隔より長い時間スケールのスピンの緩和時間を測定するためパルス列から AOM を用いて切り出したパルス列ブロックを用いた発光ポンプ・プローブ法を用いた (プローブ光強度はポンプ光強度より 1 桁弱い)。AOM を用いてマイクロ秒スケールで任意に時間差を設定して測定すると、互いに同じ円偏光で励起した場合(CO)と互いに逆の円偏光で励起した場合(CR)に、負の円偏光度をもつ発光強度を比較して差し引くと、数百マイクロ秒の緩和時間を持ちながら緩和していくことが明らかになった。負の円偏光度は温度や磁場に依存し、磁場の増加、温度の上昇とともに緩和時間が短くなっていく。

まとめると、1 つの電子をドープされた InP 量子中の電子スピンは、サブミリ秒の程度のスピン偏極時間を持ち、n ドープ InAs 量子ドット中の電子スピンの 15 ns との報告、n ドープ GaAs 量子井戸中の電子スピンの 150 ns との報告や n ドープ GaAs 中の電子スピンの 1.4  $\mu$ s の報告を 2-4 桁もしのぐ電子スピンの極めて長い緩和時間を出したことになる。

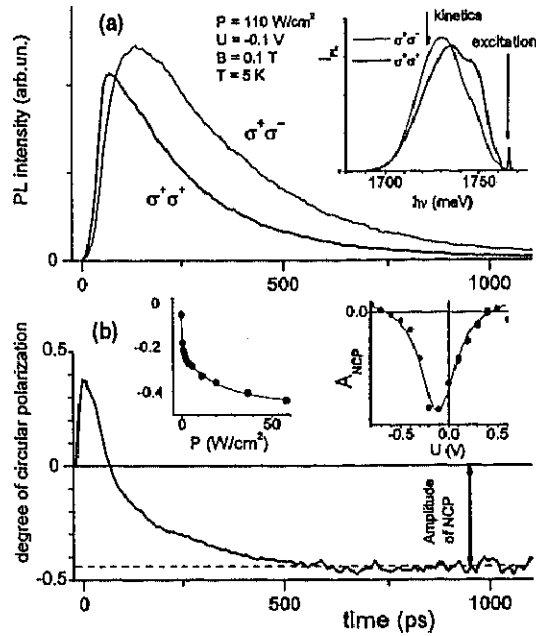


図5 (a) InP 量子ドットを円偏光を用いて準共鳴励起したルミネッセンススペクトル (挿入図) と、ルミネッセンスの時間トレース。(b)円偏光度の時間トレースと、負の円偏光度の励起強度依存性 (左挿入図) および電気バイアス依存性 (右挿入図)。

<半導体量子ドット中の核スピンによる電子スピン緩和> (V. Kalevich<sup>A</sup>, 舛本泰章<sup>A</sup>, A.F. Ioffe 物理工学研究所)

正孔をドープされた量子ドットでは、ドープされた正孔と光励起された正孔はスピンの向きが反平行になるので、発光の偏光は電子のスピンの向きを直接反映することとなる。本研究では p-InAs/GaAs 量子ドットにおける光励起電子のスピンダイナミクスを時間分解偏光発光分光法により研究した。試料は Be を  $\delta$  ドープされた 10 層の自己形成 InAs/GaAs 量子ドットで、面密度  $4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  に生成された量子ドットは平均として正孔を 1~2 個がドープされている。励起光は CW またはピコ秒 Ti:サファイアレーザーでぬれ層の重い励起子の低エネルギー側の裾を準共鳴励起し、量子ドットからの発光を右円偏光  $\Gamma^+$  と左円偏光  $\Gamma^-$  に分けて各々を時間を分けて 1 つの赤外光電子増倍管で受光して円偏光度  $(\Gamma^+ - \Gamma^-) / (\Gamma^+ + \Gamma^-)$  を求めた。円偏光度の時間トレースを計測するには、円偏光発光の時間変化を S1 タイプのストリークカメラで計測して求めた。

図 6 は InAs 量子ドットの発光スペクトル(a)、磁場  $B_z = 0 \text{ T}$  および  $B_z = 100 \text{ mT}$  のもとでの円偏光度スペクトル(b)、および最低量子準位に電子を 1 個、正孔を 2 個含むときのスピン配置(c)である。この図から判ることは、円偏光度は、電子スピンの向きが担っており、円偏光度は p-InAs 量子ドットでは

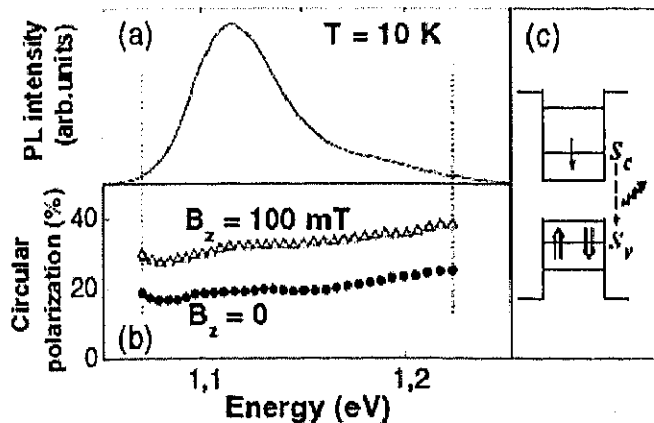


図6

10%を超え、わずか 100 mT の磁場印加により円偏光度は 10%程上昇することである。図 7 の右上図は左右円偏光成分の時間変化を直接示し、図 7 は円偏光度の時間変化を示す。励起後 40%あった円偏光度は 800 ps で 12%に減少し、その後発光が観測される時間では一定値を示す。

これらの電子スピンの時間変化は核スピンによる電子スピンの緩和を求めた Merkulov の表式

$$\langle S(t) \rangle = \frac{S_0}{3} \left\{ 1 + 2 \left[ 1 - 2 \left( \frac{t}{2T_\Delta} \right)^2 \right] \exp \left[ - \left( \frac{t}{2T_\Delta} \right)^2 \right] \right\}, \quad (1)$$

によって記述できる。ここで  $S_0$  はスピンの初期値、 $T_\Delta = \hbar / (g_e \mu_B \Delta_B)$  はランダムに分布した核スピンによる超微細相互作用により磁場である。核スピンによる超微細相互作用により電子に働く磁場を  $W(B_N) = \exp[-(B_N)^2 / \Delta_B^2]$  というガウス分布で記述すると、(1)式で表わされる電子スピンの時間特性は、時間の初期に、電子スピンの初期値の 1/3 に  $T_\Delta$  の時間で減衰し、その後は初期値の 1/3 という一定値に保たれる。図 7 に見られるように、初期値 40%であった円偏光度は 800 ps でその 1/3、およそ 12%に減少し、その後は

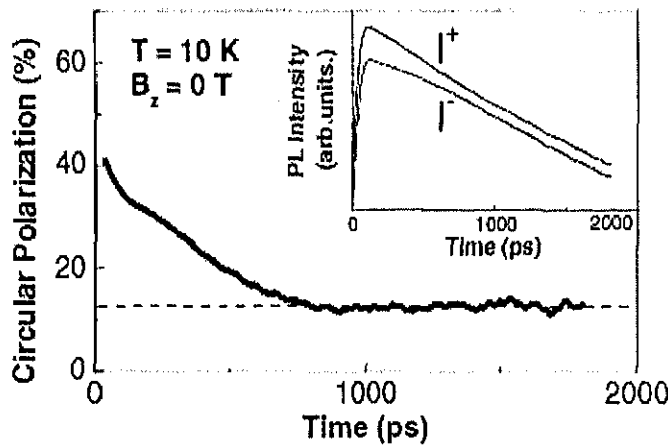


図 7

一定値となっており、図 7 の円偏光度の時間変化は Merkulov の表式をほぼ完全に支持している。核の超微細相互作用による磁場に比べて強い電子スピンは外部磁場の方向を向き、核の超微細相互作用による磁場は電子スピンの才差運動の周期をわずかに変調することとなる。外部磁場  $B_z = 0$  のときには 500 ps の緩和時間であった円偏光度の減衰は、 $B_z = 100\text{mT}$  のときには、緩和時間が一気に伸びて 4000 ps になり、 $B_z = 400\text{mT}$  のときには、円偏光度の時間トレースは  $B_z = 100\text{mT}$  のときとほとんど変わらず、円偏光度の値のみがわずかに増加す

る。このわずかな円偏光度の値の増加は、量子ドットが初めに電子を捕獲され、量子ドット中でエネルギー緩和する過程でスピン緩和するとして理解できる。

### 【3】新しいナノ構造の探求 (阪東一毅、安坂幸師、舛本泰章)

< (チオフェン/フェニレン) コオリゴマー単結晶の自然放射増幅光と光励起レーザー発振 > (阪東一毅, 中村俊輝, 舛本泰章, 小林俊介<sup>A</sup>, 佐々木史雄<sup>A</sup>, 堀田収<sup>B</sup> 産総研光技術<sup>A</sup>, 京工繊大繊維<sup>B</sup>)

近年、 $\pi$ 電子共役系化合物は有機電界発光(EL)素子などの発光デバイスへの応用や、その優れた電気的特性より有機薄膜 FET への応用が期待されている。特に新規に合成された (チオフェン/フェニレン) コオリゴマー [2,5-Bis(4-biphenyl)oligothiophenes (BPnT)] は室温において非常に高い発光量子効率を有するうえ、強パルス光励起を行うことにより自然放射増幅光(ASE)を発生することが報告されており、有機半導体レーザーなどへの応用が期待できる。良質な結晶性のために結晶自身が光導波路として働いている可能性があり、結晶自身が自己共振器を形成しレーザー発振することも十分期待できる。これまで、ASE は室温において観測されていたが、その詳細な物性を明らかにするために低温下での BPnT ( $n=1-4$ ) 単結晶の ASE を初めて観測した。さらに結晶端に結晶面が現れている高品質な BP1T 結晶において室温で同様の実験を行うことでレーザー発振の発現を確認できた。

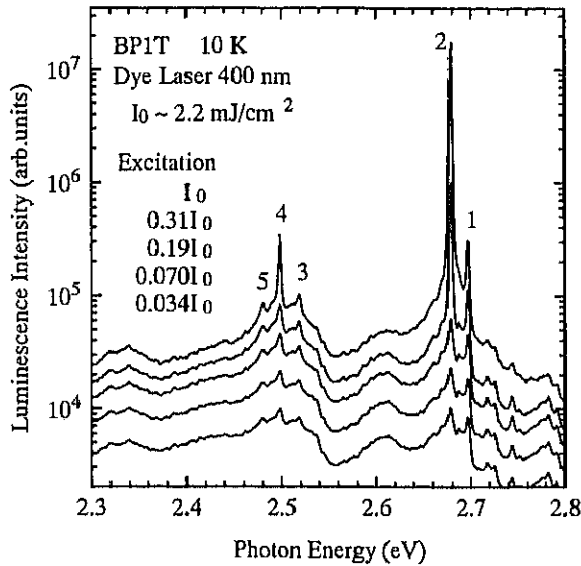


図8 BP1T単結晶の発光スペクトルの励起強度依存性。縦軸は対数スケールとしてとっている。

し合わせで、 $2A_1, A_1+B_1, 2B_1$ で表される。励起強度の増加とともにそれらの分子振動による鋭いピークは線幅が変化することなく、急激に増大した。特に2.7eV付近に見られる2本のピーク1,2は極めて強い非線形増大を示した。これにより室温で観測されていた狭線化をとまなうASEは特定の分子振動モードで発現していたことが明らかになった。さらに、結合したチオフェンの数が異なるBP $n$ T( $n=2-4$ )単結晶においても同様の実験を行った。図9がその3種類のBP $n$ T単結晶の弱励起下と強励起下での発光スペクトルである。低温下での発光スペクトルはBP1T単結晶の場合と同様、分子振動による細かいピークが観測され、強励起時にはすべての試料において特定の発光ピークにおける顕著な非線形増大が見られ、分子振

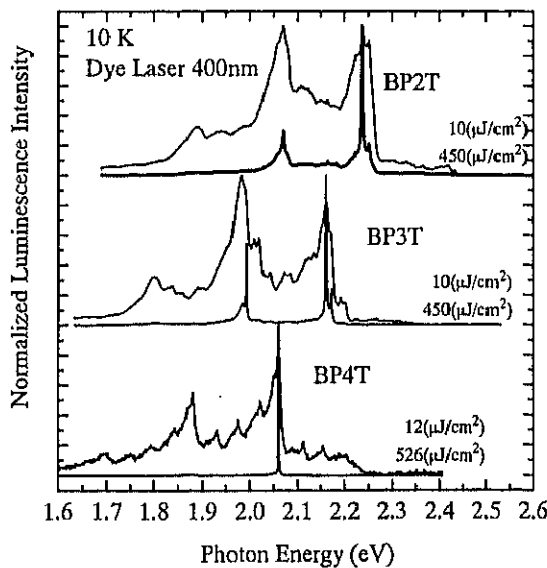


図9 BP $n$ T( $n=2-4$ )単結晶の弱励起下及び強励起下での発光スペクトル。

BP $n$ T単結晶は気相成長法によって作成された。ASEの観測において、BP $n$ T単結晶は10Kに冷却され、エキシマレーザー励起色素レーザー(400nm)によってパルス光励起された。BP1T結晶において、室温では発光スペクトルの0-1及び0-2遷移のブロードな発光帯が励起強度の増加とともに狭線化していき、ピーク強度が非線形増大していくことが報告されている。一方、BP1T結晶を10Kに冷却した場合、図8のスペクトルに見られるように、分子振動による数本の鋭い発光ピーク1-5が観測された。これらの分子振動モードはピーク1が $1450\text{cm}^{-1}$ の $A_1$ 対称性によるものであり、ピーク2は $1600\text{cm}^{-1}$ の $B_1$ 対称性によるものである。またピーク3,4,5はそれぞれの振動モードの足

し合わせで、 $2A_1, A_1+B_1, 2B_1$ で表される。励起強度の増加とともにそれらの分子振動による鋭いピークは線幅が変化することなく、急激に増大した。特に2.7eV付近に見られる2本のピーク1,2は極めて強い非線形増大を示した。これにより室温で観測されていた狭線化をとまなうASEは特定の分子振動モードで発現していたことが明らかになった。さらに、結合したチオフェンの数が異なるBP $n$ T( $n=2-4$ )単結晶においても同様の実験を行った。図9がその3種類のBP $n$ T単結晶の弱励起下と強励起下での発光スペクトルである。低温下での発光スペクトルはBP1T単結晶の場合と同様、分子振動による細かいピークが観測され、強励起時にはすべての試料において特定の発光ピークにおける顕著な非線形増大が見られ、分子振

動モードによるASEの発現が明瞭に観測された。

さらにBP1T単結晶において、結晶端が結晶面を構成している高品質な結晶を選び、室温強励起下での発光スペクトルを測定した。図10はその発光スペクトルを示している。通常、室温強励起下では上述したように、分子振動モードを起源とした幅広い発光帯が励起強度の増加とともに狭線化するASEが発現するが、この結晶では、ASEと同様の発光強度の非線形増大を示しながら、図10上に示したスペクトルのように狭線化の代わりに線幅が狭くスパイク状の周期構造(間隔 $1.3\text{meV}$ )を持つ発光ピークに成長していった。結晶は場所によって結晶幅が異なるが、励起場所を変えることで下に示したスペクトルのような、さらに異なる周期( $2.6\text{meV}$ )のピークも観測できた。これは結晶端面が共振器

として働きレーザー発振を生じたものであり、結晶中を誘導放射光が導波路的に進行し、共振器縦モードを形成した結果であると考えられる。

<(チオフェン/フェニレン)コオリゴマー単結晶の光学スペクトル> (中村俊輝, 阪東一毅, 舛本泰章, 小林俊介<sup>A</sup>, 佐々木史雄<sup>A</sup>, 堀田収<sup>B</sup>, 産総研光技術<sup>A</sup>, 京工繊大繊維<sup>B</sup>)

p 電子共役系化合物の発光特性や電気特性は、それぞれ有機電界発光素子や有機薄膜 FET への応用を期待されている。本研究で用いた(チオフェン/フェニレン)コオリゴマー[BP<sub>n</sub>T(*n*=1-4)]結晶は優れた発光、電気特性を示す新規な化合物群である。特に BP1T 結晶では室温での ASE や誘導ラマン散乱の同波長帯域における発現が報告されている。

BP<sub>n</sub>T 結晶は粉末結晶を新たに気相成長法によって再成長させた。得られた BP<sub>n</sub>T 結晶を銅基板上に配置し、低温における光学スペクトルの測定を行った。図 11 は低温での BP<sub>n</sub>T 結晶の吸収スペクトルを発光スペクトルと共に示している。BP<sub>n</sub>T(*n*=2-4)結晶

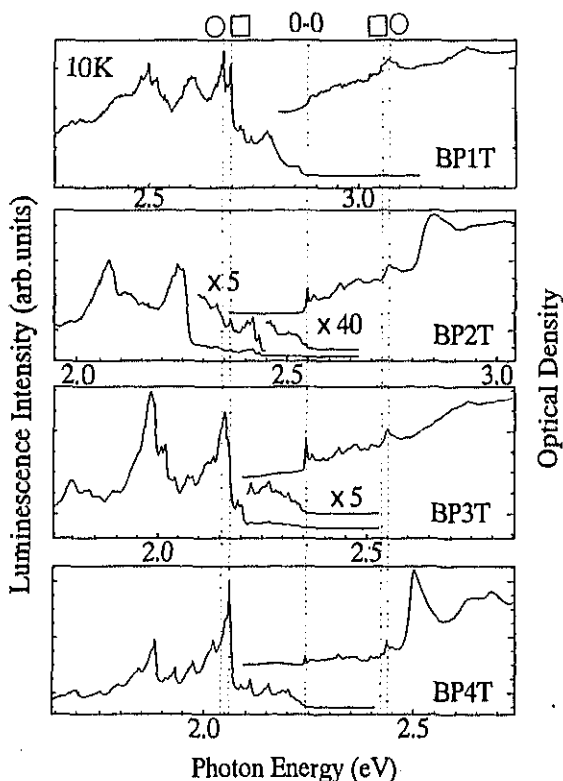


図 11 BP<sub>n</sub>T 単結晶の低温下における発光・吸収スペクトル。破線の位置は 0-0 遷移に対応する位置とそれから分子振動エネルギー(□,○)だけ離れた位置を示す。

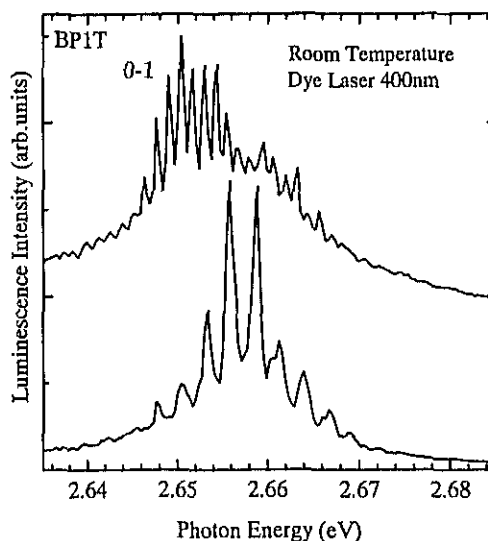


図 10 BP1T 単結晶の室温での光励起レーザー発振スペクトル。それぞれ上下のスペクトルは異なる結晶幅の位置でストライプ励起した場合のスペクトル。

からは先鋭な吸収端を観測することができる。これらは発光の最も高エネルギー側に存在する小さな発光ピークのエネルギー位置と一致した為、全て 0-0 遷移が観測されていると考えられる。対照的に BP1T 結晶では吸収端に明瞭なピークが現れない。また、発光及び吸収スペクトルに一致する構造がないことから 0-0 遷移が観測されず、禁制遷移となっていることが考えられる。図の破線(0-0)は全てのスペクトルの 0-0 遷移上を結んでいる。BP1T 結晶に関しては 0-0 遷移を特定の位置に想定して示した。これを起点として両側の破線は $\sim 1450\text{cm}^{-1}$  (□)、 $\sim 1600\text{cm}^{-1}$  (○)の間隔で引かれている。これはすでに報告されている BP1T コオリゴマーの  $A_1$ ,  $B_1$  対称性を起源とするラマンラインのシフト量にほぼ一致させたものである。全ての結晶の発光スペクトルにおいて○, □の位置に明瞭に構造を観測することができる。したがって、これらはラマンラインと同じ起源による分子振動のモードが観測されていると考えられる。さらに



BPnT( $n=2-4$ )結晶の吸収スペクトルは他の部分においてもスペクトル形状がよく一致しており、詳細な分子振動のモードが観測できていると考えられる。

〈複合型顕微鏡法による単層カーボンナノチューブの電気伝導特性解析〉 (安坂幸師)

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)では、伝導電子の後方散乱がなくなり、コンダクタンスは $2G_0$  ( $G_0=2e^2/h$ )になることが理論より示唆されている。本研究では、透過電子顕微鏡内で孤立SWCNTを作製し、その場でSWCNTの両端に電圧を印加し、電気伝導特性を系統的に調べた。図12にSWCNTの電子顕微鏡像の一例を示す。右側Aと左側Bの領域は、それぞれチップ表面のグラファイト層である。SWCNTは、グラファイト層Bだけに接合している。

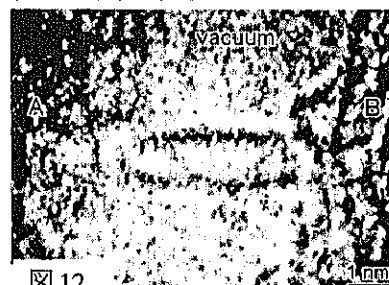


図12

接合していないSWCNTの先端は、閉殻構造になっている。この先端をピエゾ駆動により、もう一方のグラファイト層Aに接触させて、コンダクタンスを測定した。その結果、本研究で作製したSWCNTのコンダクタンスは、理論から予想されたそれよりも5分の1から10分の1程度小さいことが明らかになった。さらに、直径の異なる2本のSWCNTが接合している場合、そのコンダクタンスは接合部の長さの3乗に反比例して減少することが示唆された。

【4】半導体ナノメートル構造の光物性 (野村晋太郎)

〈ゲート付き非ドープ量子井戸構造における分数量子効果の光学検出〉 (佐藤大輔, 野村晋太郎, 高柳英明<sup>A</sup>, 平山祥郎<sup>A</sup> <sup>A</sup>NTT 物性科学基礎研究所) [21]

バックゲート付き非ドープ量子井戸試料はドーパントイオンによる散乱がないため電子移動度を高く保ちつつバックゲート電圧により  $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$  台の極低電子密度領域から電子密度を制御可能であるという、分数量子ホール領域での荷電励起子状態を調べるために適した特徴をもつ試料である。図13(a)に示すように  $V_B$  により電子密度が変調され分数量子占有率において発光エネルギーに異常が見られることを示した。図13(b)の発光スペクトルには3つの発光ピークが見られ、占有率  $1/3$  をはさんで遷移エネルギーの離散的変化と発光強度の相対比の変化が見られることを示した。

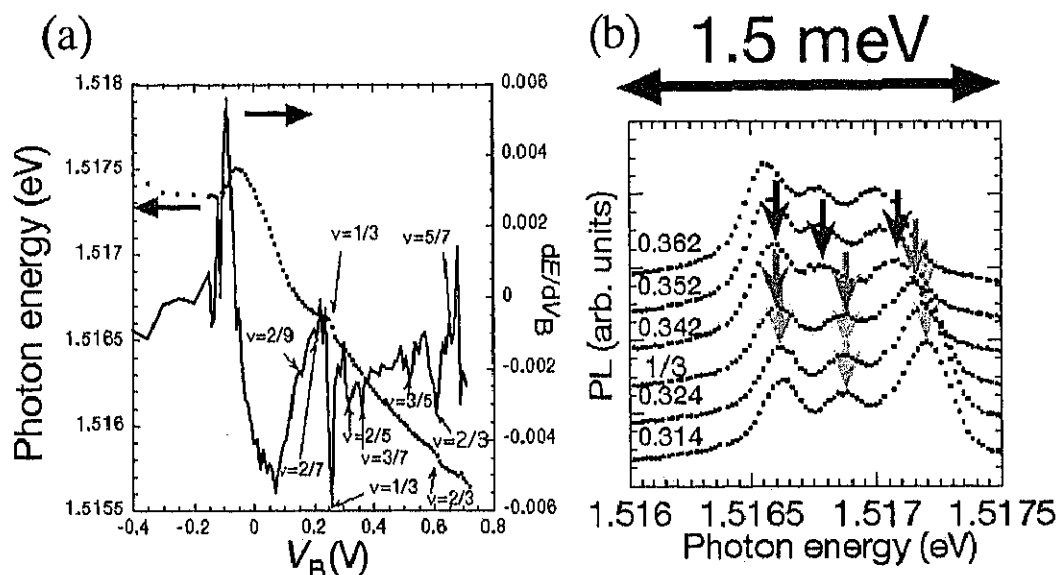


図13 (a) 5 Tにおける発光エネルギーおよびその  $V_B$  についての一次微分のバイアス電圧依存性。(b)  $\nu=1/3$  近傍の発光スペクトル

<表面ゲートと裏面ゲートを用いた量子井戸における電子状態制御> (佐藤大輔、野村晋太郎、高柳英明<sup>A</sup>、平山祥郎<sup>A</sup> <sup>A</sup>NTT 物性科学基礎研究所) [15]

Be-デルタドープ量子井戸構造に裏面電極と表面電極を形成した試料の発光スペクトルの測定を行った。この試料は、量子井戸内の電子密度とポテンシャルを独立に変えることができる試料である。井戸内の電子密度とポテンシャルを広い範囲でコントロール可能であることを示した。

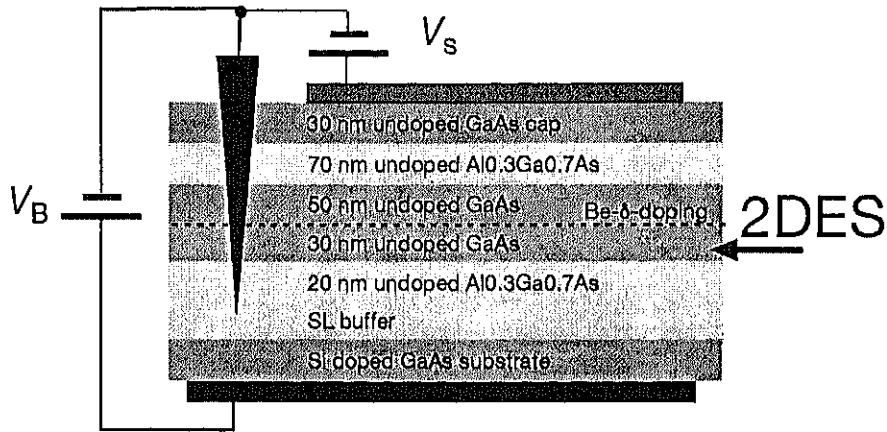


図 14 表面ゲートと裏面ゲートを用いた量子井戸。裏面電極と表面ゲート電極、表面オーミック電極の間にバイアス電圧を印加して量子井戸内の電子密度とポテンシャルを独立に制御する。

<自己組織化ナノ多孔質体を利用したナノ粒子、ナノカプセルの作製> (伊藤宙陸、野村晋太郎) [申請特許 2]

我々はポーラス構造の鋳型基板表面の微細孔に微粒子材料を「押圧」する (図 15(a)) という新たに開発した手法を用いて、サイズ、配置のそろった微粒子を 1 プロセスで生成することに成功した。この押圧プロセスはこれまでの微粒子生成法と比較すると独特な手法で、粉碎などのブレイクダウン法に近いものであるが微粒子の形状や粒径が制御されていて形成される最小粒径は現時点で 25nm 以下と小さい。またこのプロセスは物理的な切断により微粒子化されると考えられるため、微粒子材料の曝される環境が安定していて材料の適応範囲が非常に広い。今回鋳型基板として自己組織化ポーラスアルミナを使用した。その基板表面に 20nm 厚の Au 薄膜を載せポリスチレン片で押圧することにより図 15(b) に示すような粒径約 50nm の Au 微粒子の規則配列が得られた。

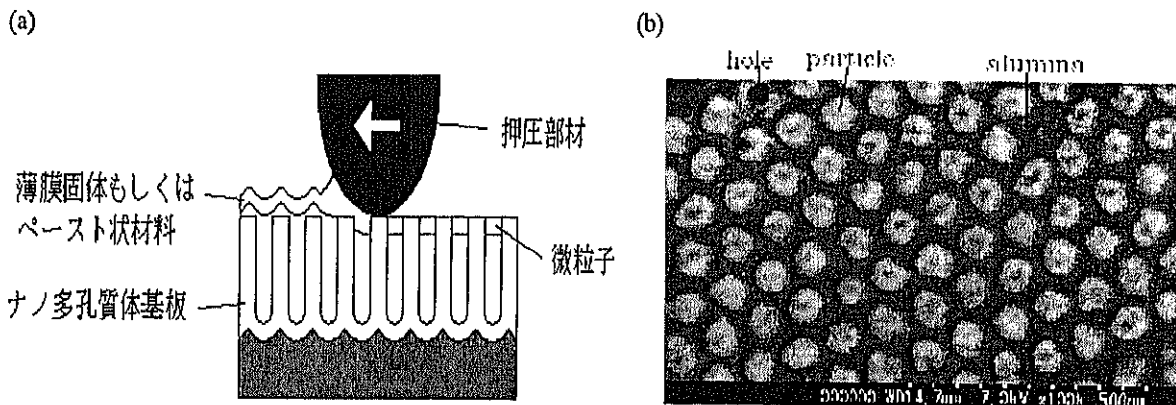


図 15 (a) 押し圧法の概略図

<MOVPE 選択成長 GaAs 量子細線カゴメ格子の磁場下発光測定> (野村晋太郎, 高柳英明<sup>A</sup>, 赤崎達志<sup>A</sup>, 福井孝志<sup>B</sup> <sup>A</sup>NTT 物性科学基礎研究所, <sup>B</sup>北海道大学)

カゴメ格子中の電子系において、白石等によって強磁性の発現等の特異な現象の発現が予想されている。その実験的検証の一貫として、北大の福井氏らによって作製された選択成長有機金属気相成長法(SA-MOVPE)による GaAs 量子細線カゴメ格子の発光測定を磁場下で行った。垂直磁場が 0-3 T における発光ピークのエネルギーシフトから、量子細線の閉じ込めに起因する振る舞いが観測された。さらに、0-0.2 T の低磁場領域における発光強度に磁場に対する振動構造が見られた。この振動の要因として、カゴメ格子の周期構造を反映した電子状態によることが考えられ、検証を続けている。

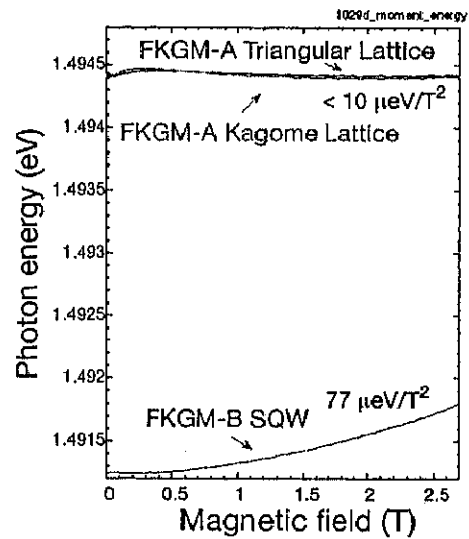


図 16

<表面ゲート制御の量子ドット状態の発光分光> (野村晋太郎, 齋木敏治<sup>A,B</sup>, 松田一成<sup>C</sup>, 青柳克信<sup>D</sup> <sup>A</sup>神奈川科学技術アカデミー, <sup>B</sup>慶応義塾大学, <sup>C</sup>京都大学, <sup>D</sup>東京工業大学) [14,19,20,22]

Be-デルタドープ層を有する Si ドープ n 型ヘテロ構造にナノメートルスケールの表面ゲートを作製することによる正方格子量子ドット超格子構造の発光分光を引き続き進めている。磁場中において、量子ドット端状態が発光ピークに現れること、および、空間分解発光測定により、量子ドット中電子系の広がりポテンシャルで制御可能であることが示された。

<InAs/InGaAs 量子井戸の磁場下発光測定> (津村公平, 野村晋太郎, 新田淳作<sup>A</sup> <sup>A</sup>当時 NTT 物性科学基礎研究所・現東北大学)

ヘリウム温度において最大 5 T の磁場下での中赤外領域発光測定が可能とする測定系を立ち上げた。一例として、InAs/InGaAs 量子井戸の磁場下発光測定を行い、反磁性シフトと g 値の大きさを測定した。

【5】 高エネルギー電子線とフォトニック結晶との相互作用による光放射現象の観測 (山本貴一) [16]

(山本貴一<sup>A</sup>, 榊原竜一<sup>B</sup>, 矢野聡<sup>A</sup>, 瀬川勇三郎<sup>A,B</sup>, 柴田行男<sup>C</sup>, 伊師君弘<sup>C</sup>, 蔦谷勉<sup>C</sup>, 大坂俊明<sup>C</sup>, 原高志<sup>D</sup>, 近藤泰洋<sup>D</sup>, 宮寄博司<sup>D</sup>, 日出富士雄<sup>E</sup>, 松山正佳<sup>E</sup>, 山口修一<sup>F</sup>, 大高一雄<sup>G</sup> 理研 PDC<sup>A</sup>, 東北大理<sup>B</sup>, 東北大多元研<sup>C</sup>, 東北大工<sup>D</sup>, 東北大核理研<sup>E</sup>, 千葉大工<sup>F</sup>, 千葉大先進科学<sup>G</sup>)

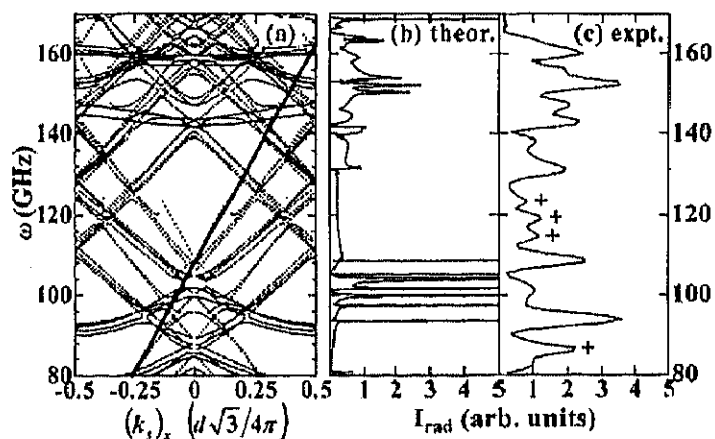


図 17 理論計算 (b) および実験 (c) により求められた放射光のスペクトル。(a) は実験で用いたフォトニック結晶のフォトニックバンド構造。

フォトニック結晶の表面近くを電子が等速度直線運動する際にフォトニックバ

ンドモードが励起されることによって光が放出される現象を実験により調べた。フォトニック結晶として使用している三角格子状に並んだ球の2次元アレイの材料を、今回はSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>球から、それよりも誘電率の小さいテフロン球に代えることにした。テフロン球を用いた試料ではフォトニックバンド同士がSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>球のものに比べてk空間で疎に分布するため、フォトニックバンド構造を反映して放出される光のスペクトル構造がより単純になり、理論計算との対応がより明瞭になることが期待できる。

テフロン球を用いたフォトニック結晶試料上を電子線(150MeV)が通過したときに放出された光のスペクトルとフォトニックバンド計算に基づく理論計算により得られたスペクトルを図 17(c)及び 17(b)にそれぞれ示す。実験では理論計算により予想されるエネルギー位置にほぼ一致する箇所に放出光強度のピークが見られる。このことはこれらの放出光ピークがフォトニックバンドモードを励起することによって生じたものであることを裏付けている。

#### <論文>

1. Y. Masumoto, F. Suto, M. Ikezawa, C. Uchiyama and M. Aihara: "Tunneling-induced dephasing in InP quantum dots", *Physica E* **26**, 413 (2005); Program and Book of Abstracts of Quantum Dots 2004, p.134 (Banff, 2004).
2. M. Ikezawa, Y. Masumoto and H.-W. Ren: "Observation of biexcitonic quantum beat in strain-induced GaAs quantum dots", *Physica E* **26**, 149 (2005); Program and Book of Abstracts of Quantum Dots 2004, p.160 (Banff, 2004).
3. Y. Chen, T. Okuno, Y. Masumoto, Y. Terai, S. Kuroda and K. Takita: "Spin relaxation in CdTe/ZnTe quantum dots", Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 148 (Flagstaff, 2004).
4. M. Ikezawa, Y. Masumoto and H.-W. Ren: "Direct comparison of biexciton binding energy in a quantum well and quantum dots", Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 233 (Flagstaff, 2004).
5. W. Maruyama, Y. Masumoto and H.-W. Ren: "Observation of the light-hole quantum dots in a strained GaAs quantum well", Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 234 (Flagstaff, 2004).
6. Y. Masumoto, F. Suto and M. Ikezawa: "Tunneling induced dephasing and Pauli blocking in InP quantum dots", Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 236 (Flagstaff, 2004).
7. S.Yu. Verbin, I.V. Ignatiev, I.Ya. Gerlovin and Y. Masumoto: "Optical orientation of electron and nuclear spins in negatively charged InP QDs", Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 309 (Flagstaff, 2004).
8. K. Bando, T. Sawabe, K. Asaka and Y. Masumoto: "Direct observation of excitonic lasing from single ZnO nanobelts at room temperature", Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 363 (Flagstaff, 2004).
9. H. Udono, I Kikuma, T. Okuno, Y. Masumoto and H. Tajima: "Indirect optical absorption of single crystalline  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>", *Appl. Phys. Lett.* **85**, 1937 (2004).
10. V.K. Kalevich, I.A. Merkulov, A.Yu. Shiryaev, K.V. Kavokin, M. Ikezawa, T. Okuno, P.N. Brunkov, A.E. Zhukov, V.M. Ustinov and Y. Masumoto: "Optical spin polarization in double charged InAs self-assembled quantum dots", *physica status solidi (a)* **202**, 387 (2005); 4th Int. Conf. Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures (St. Petersburg, 2004).
11. H. Udono, I. Kikuma, T. Okuno, Y. Masumoto, H. Tajima and S. Komuro: "Optical properties of  $\beta$ -FeSi<sub>2</sub> single crystals grown from solutions", *Thin Solid Films* **461**, 182 (2004).
12. Y. Chen, T. Okuno, Y. Masumoto, Y. Terai, S. Kuroda and K. Takita: "Spin relaxation in CdTe quantum dots", *Phys. Rev. B* **71**, 033314 (2005).
13. P.-F. Braun, X. Marie, L. Lombez, B. Urbaszek, T. Amand, P. Renucci, V.K. Kalevich, K.V. Kavokin, O. Krebs,

- P. Voisin and Y. Masumoto: "Direct Observation of the Electron Spin Relaxation Induced by Nuclei in Quantum Dots", *Phys. Rev. Lett.* 94, 116601 (2005).
14. S. Nomura, and Y. Aoyagi, "Optical probing of spin polarization of electrons in quantum dot edge channels", *Phys. Rev. Lett.* 93 No. 9 096803-1-4 (2004).
  15. M. Yamaguchi, S. Nomura, D. Sato, T. Akazaki, H. Tamura, H. Takayanagi, "Photoluminescence measurements in Be-d-doped back-gated quantum well", *Surf. Science*, 583 (1) 94-99 (2005).
  16. K. Yamamoto, R. Sakakibara, S. Yano, Y. Segawa, Y. Shibata, K. Ishi, T. Ohsaka, T. Hara, Y. Kondo, H. Miyazaki, F. Hinode, T. Matsuyama, S. Yamaguti, and K. Ohtaka, "Observation of Millimeter-Wave Radiation Generated by the Interaction between an Electron Beam and a Photonic Crystal" *Phys. Rev. E* 69, 045601(R)-1-4 (2004).
  17. M. Ohtani, T. Makino, K. Yamamoto, Y. Segawa, T. Fukumura, H. Sakurada, J. Nishimura, H. Koinuma, M. Kawasaki, "High-throughput characterization of linear and nonlinear optical properties in composition-spread (Sr,Ca)<sub>2</sub>CuO<sub>3</sub> thin-films" *Applied Surface Science* 223, 133-137 (2004).
  18. T. Kondo, S. Yamaguti, M. Hangyo, K. Yamamoto, Y. Segawa, and K. Ohtaka "Refractive index dependence of the transmission properties for a photonic crystal array of dielectric spheres" *Phys. Rev. B* 70, 235113-1-6 (2004).
  19. K. Matsuda, T. Saiki, S. Nomura, and Y. Aoyagi, "Local density of states mapping of a field-induced quantum dot by near-field photoluminescence microscopy", *Appl. Phys. Lett.* (in press).
  20. S. Nomura, "Detecting spin polarization of electrons in quantum dot edge channels by photoluminescence", *Proceedings of the International Symposium on Mesoscopic Superconductivity and Spintronics*, (World Scientific Publishing) (in press).
  21. S. Nomura, M. Yamaguchi, D. Sato, T. Akazaki, H. Tamura, H. Takayanagi, T. Saku, and Y. Hirayama, "Negatively charged excitons in a back-gated undoped heterostructure", *Proceedings of the 27 th International Conference on Physics of Semiconductors*, (Springer-Verlag) (in press).
  22. S. Nomura and Y. Aoyagi, "Optical detection of spin polarization of electrons in quantum dot edge channels", *Proceedings of the 27 th International Conference on Physics of Semiconductors*, (Springer-Verlag) (in press).

#### <紀要等>

1. 大原直人, 近藤泰洋, 清水俊明, 宮崎博司, 柴田行男, 伊師君弘, 薦谷勉, 日出富士雄, 瀬川勇三郎, 山本貴一, 堀内典明, 渡辺良祐, 大高一雄, 山口修一 "フォトリック結晶からのスミス・パーセル放射と未解明放射の観測" *核理研研究報告* 第37巻 71-76 (2004).

#### <国際会議>

1. Y. Masumoto, F. Suto, M. Ikezawa, C. Uchiyama and M. Aihara: "Tunneling-induced dephasing in InP quantum dots", *Physica E* 26, 413 (2005); *Program and Book of Abstracts of Quantum Dots 2004*, p.134 (Banff, 2004).
2. M. Ikezawa, Y. Masumoto and H.-W. Ren: "Observation of biexcitonic quantum beat in strain-induced GaAs quantum dots", *Physica E* 26, 149 (2005); *Program and Book of Abstracts of Quantum Dots 2004*, p.160 (Banff, 2004).
3. Y. Chen, T. Okuno, Y. Masumoto, Y. Terai, S. Kuroda and K. Takita: "Spin relaxation in CdTe/ZnTe quantum dots", *Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors*, p. 148 (Flagstaff, 2004).
4. M. Ikezawa, Y. Masumoto and H.-W. Ren: "Direct comparison of biexciton binding energy in a quantum well and quantum dots", *Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors*, p. 233 (Flagstaff, 2004).
5. W. Maruyama, Y. Masumoto and H.-W. Ren: "Observation of the light-hole quantum dots in a strained GaAs

- quantum well”, Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 234 (Flagstaff, 2004).
6. Y. Masumoto, F. Suto and M. Ikezawa: “Tunneling induced dephasing and Pauli blocking in InP quantum dots”, Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 236 (Flagstaff, 2004).
  7. S. Yu. Verbin, I.V. Ignatiev, I.Ya. Gerlovin and Y. Masumoto: “Optical orientation of electron and nuclear spins in negatively charged InP QDs”, Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 309 (Flagstaff, 2004).
  8. K. Bando, T. Sawabe, K. Asaka and Y. Masumoto: “Direct observation of excitonic lasing from single ZnO nanobelts at room temperature”, Program of 27th Int. Conf. Physics of Semiconductors, p. 363 (Flagstaff, 2004).
  9. V.K. Kalevich, I.A. Merkulov, A.Yu. Shiryayev, K.V. Kavokin, M. Ikezawa, T. Okuno, P.N. Brunkov, A.E. Zhukov, V.M. Ustinov and Y. Masumoto: “Optical spin polarization in double charged InAs self-assembled quantum dots”, *physica status solidi (a)* **202**, 387 (2005); 4th Int. Conf. Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures (St. Petersburg, 2004).
  10. S. Nomura, M. Yamaguchi, D. Sato, T. Akazaki, H. Tamura, H. Takayanagi, Y. Hirayama, "Photoluminescence spectroscopy of a dilute electron system in a back-gated undoped quantum well", International Conference on Nanoelectronics, Nanostructures and Carrier Interactions 2005 (30 Jan. - 1 Feb. 2005, Atsugi).
  11. K. Tsumura, S. Nomura, T. Akazaki, J. Nitta, "Infrared magneto-photoluminescence spectroscopy of an InAs-inserted-channel InGaAs/InAlAs heterostructure", International Conference on Nanoelectronics, Nanostructures and Carrier Interactions 2005 (30 Jan. - 1 Feb. 2005, Atsugi).
  12. H. Takayanagi, M. Yamaguchi, T. Akazaki, H. Tamura, and S. Nomura, "Control and detection of electron and hole states in double-gated quantum wells", 2005 RCIQE International Seminar for 21st Century COE Program: "Quantum Nanoelectronics for Membrane-Media-Based Information Technologies (III)" (8-10 Feb. 2005, Sapporo).
  13. M. Yamaguchi, H. Takayanagi, S. Nomura, T. Akazaki and H. Tamura, "Control and Detection of Electron and Hole States in Double-Gated Quantum Wells", the 11th Advanced Heterostructure Workshop, (5-10 Dec. 2004, Kohala Coast).
  14. S. Nomura, M. Yamaguchi, D. Sato, T. Akazaki, H. Tamura, H. Takayanagi, T. Saku, and Y. Hirayama, "Optical investigation of the electrons in gated quantum wells and quantum-dot arrays", the 11th Advanced Heterostructure Workshop, (5-10 Dec. 2004, Kohala Coast).
  15. K. Yamamoto and S. Nomura, "Analysis of the optical response of a square-wave metal grating by using the exact eigenmodes", the 2nd International Tsukuba-Symposium on Nano-Science, (24-28 Nov, 2004, Tsukuba).
  16. S. Nomura, M. Yamaguchi, D. Sato, T. Akazaki, H. Tamura, H. Takayanagi, T. Saku, and Y. Hirayama, "Charged excitons in a dilute electron gas induced by a back gate bias", the 2nd International Tsukuba-Symposium on Nano-Science, (24-28 Nov, 2004, Tsukuba).
  17. S. Nomura, M. Yamaguchi, D. Sato, T. Akazaki, H. Tamura, H. Takayanagi, T. Saku, and Y. Hirayama, "Negatively charged excitons in a back-gated undoped heterostructure", the 27th International Conference on Physics of Semiconductors (ICPS27), (26-30 July, 2004, Flagstaff).
  18. S. Nomura and Y. Aoyagi, "Optical detection of spin polarization of electrons in quantum dot edge channels", the 27th International Conference on Physics of Semiconductors (ICPS27), (26-30 July, 2004, Flagstaff).
  19. T. Iitaka, S. Nomura, and H. Tanaka, "Chebyshev Polynomials, Time-evolution Methods and Random Vectors for Studying Quantum Systems", International Conference on Statistical physics of quantum systems, (17-20 July, 2004, Sendai).

<学位論文>

数理工学物質科学研究科物質創成先端科学専攻博士論文

菅野敦史：“Study of Spin Dynamics in III-V Quantum Dots by Time Resolved Kerr Rotation”

数理工学物質科学研究科物質創成先端科学専攻修士論文

榎本雄介：“電場中の InP/InGaP 量子ドットの光スペクトル”

伊藤宙陸：“自己組織化ナノホールアレーのナノ構造体への応用”

佐藤大輔：“ダブルゲートによって制御された GaAs 量子井戸の光学特性”

理工学研究科理工学専攻修士論文

水落清：“単一 InP 量子ドットの光スペクトル”

<講演>

1. 丸山理、舛本泰章：“歪誘起 GaAs 量子ドットの円偏光時間分解発光” 日本物理学会（2005 年 9 月）
2. Ye Chen、奥野剛史、舛本泰章、寺井慶和、黒田眞司、瀧田宏樹：“CdTe 量子ドットにおけるスピン緩和” 日本物理学会（2005 年 9 月）
3. 池沢道男、舛本泰章：“磁場下における歪誘起 GaAs 量子ドットのフォトンエコー” 日本物理学会（2005 年 9 月）
4. 須藤史敬、池沢道男、舛本泰章、内山智香子、相原正樹：“InP 量子ドットにおけるトンネリングに起因した位相緩和” 日本物理学会（2005 年 9 月）
5. 坂東弘之、高橋了、伊藤靖浩、岡本紘、奥野剛史、舛本泰章：“InGaAs バルク薄膜の光吸収飽和特性の加圧効果” 応用物理学会（2004 年 9 月）
6. 菅野敦史、舛本泰章：“半導体ナノ構造の光誘起カー回転Ⅱ” 日本物理学会（2005 年 3 月）
7. 舛本泰章：“半導体量子ドットのスピンドイナミクス” 日本物理学会（2005 年 3 月）
8. 阪東一毅、中村俊輝、舛本泰章、小林俊介、佐々木史雄、堀田収：“(チオフェン/フェニレン) コオリゴマー結晶の光励起レーザー発振” 応用物理学会（2005 年 3 月）
9. 高橋了、坂東弘之、松本俊夫、奥野剛史、舛本泰章：“III-V 族化合物半導体における 2 光子吸収特性” 応用物理学会（2005 年 3 月）
10. 野村晋太郎、半導体ナノ構造中電子状態の光学検出」豊田工業大学先端フォトンテクノロジー研究センター第 6 回シンポジウム、名古屋市、2005 年 3 月。
11. 野村晋太郎、山口真澄、佐藤大輔、宮越賢治、赤崎達志、田村浩之、高柳英明、平山祥郎、分数量子ホール領域におけるバックゲート付き量子井戸中荷電励起子、日本物理学会年次大会、野田市、2005 年 3 月。
12. 津村公平、野村晋太郎、赤崎達志、新田淳作、InAs 挿入 In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As/In<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>As ヘテロ構造の磁場中赤外発光スペクトル、日本物理学会年次大会、野田市、2005 年 3 月。
13. 宮越賢治、山口真澄、野村晋太郎、田村浩之、赤崎達志、高柳英明、励起子の量子シーソー効果-発光測定、日本物理学会年次大会、野田市、2005 年 3 月。
14. 田村浩之、山口真澄、野村晋太郎、宮越賢治、赤崎達志、高柳英明、励起子の量子シーソー効果-理論、日本物理学会年次大会、野田市、2005 年 3 月。
15. 伊藤宙陸、野村晋太郎、自己組織化ナノ多孔質体を利用したナノ粒子、ナノカプセルの作製、応用物理学関係連合講演会、2005 年 3 月

16. 山口真澄、野村晋太郎、赤崎達志、田村浩之、高柳英明、P.Mohan、本久順一、福井孝志、MOVPE 選択成長 GaAs カゴメ格子からの発光の磁場依存性、応用物理学関係連合講演会、2005 年 3 月
17. 野村晋太郎、「量子ドット超格子の光新機能探索」、平成 16 年度・東北大電気通信研究所プロジェクト研究会「ナノ成長場制御による構造と機能」仙台市、2004 年 11 月。
18. 野村晋太郎、山口真澄、佐藤大輔、赤崎達志、田村浩之、高柳英明、佐久規、平山祥郎、バックゲート付き量子井戸中荷電励起子、日本物理学会秋季大会、青森市、2004 年 9 月。
19. 山口真澄、野村晋太郎、佐藤大輔、宮越賢治、赤崎達志、田村浩之、高柳英明、ゲート付き Be-d ドープ GaAs 量子井戸発光の電子密度依存性 II、日本物理学会秋季大会、青森市、2004 年 9 月。

<特許>

成立特許

1. 戚継発、舛本泰章：「酸化珪素のナノワイヤの製造方法」、出願番号：特願 2000-342408、出願日：2000.11.9、特許第 3571287 号、登録日：2004.7.2

申請特許

1. 岡本紘、坂東弘之、高橋了、吉野英生、舛本泰章、奥野剛史：「半導体素子」、出願番号：特願 2004-249408、出願日：2004.8.30
2. 野村晋太郎、伊藤宙陸：「ナノ多孔質体を利用した微粒子、ナノ構造体の製造方法」、出願番号：特願 2004-162650、出願日：2004.5.31