

## VII 2 半導体物性グループ

教授 舛本 泰章  
 助教授 野村晋太郎  
 講師 三品 具文  
 助手 鈴木 隆司  
 助手 奥野 剛史  
 助手 池沢 道男  
 リサーチ・アソシエイト 玄 柄律  
 大学院生 (12名)

### 【1】半導体におけるフェムト秒コヒーレント分光、時間分解分光 (三品具文、舛本泰章、奥野剛史)

<テルルにおける格子振動の異方的ソフトニング現象> (江里口雅丈、三品具文、舛本泰章)[1]

半金属であるテルル単結晶においてコヒーレントフォノンの測定を行なうと、励起強度を上げるに従って周波数が低くなりスペクトル幅が広がっていくソフトニング現象が観測される。本研究では、コヒーレントフォノン信号の偏光依存特性を利用して強いAモードに埋もれた弱いEモードも選択的に検出することにより、AモードとEモードのソフトニングが異なる特性を示すことを調べた。

図1に time-partition FFT 法により Aモードの格子振動のソフトニング現象を示した。time-partition FFT 法は、励起パルスの印加された時間原点から、一定の時間遅延までのデータをマスクして、それ以後の振動データに対してのみフーリエ変換を行なう方法で、振動数が時間と共に変化していくデータを解析するのに有効な手法である。図1に示すように 3.2 ピコ秒以後では Aモードのスペクトルの変化は見られず、格子振動のソフトニングがこの時間遅延でほぼ回復していることが分かる。Eモードの信号に time-partition FFT 法を適用したのが図2である。Eモードでは、ソフトニングの効果が 3.5 ピコ秒になっても完全には回復しておらず、Aモードとは、ソフトニングの効果に顕著な異方性があることが分かった。

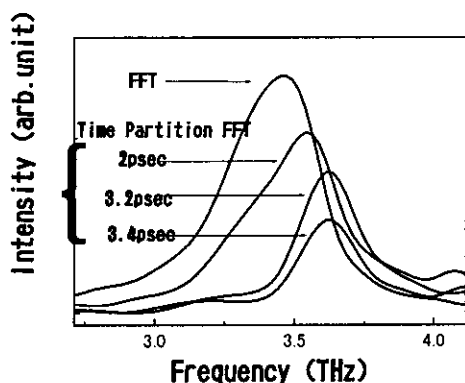


図1

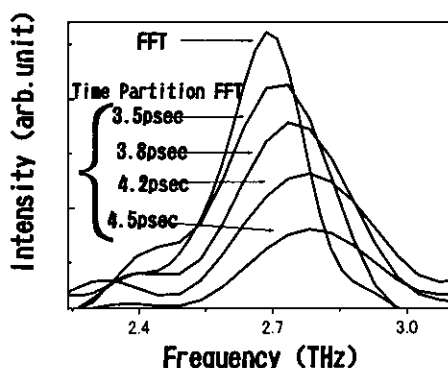


図2

<半導体ナノ構造におけるコヒーレントキャリア制御> (玄柄律[Byung-Ryool Hyun]、三品具文、舛本泰章)

半導体ナノ構造中の高い励起子コヒーレンスを用いるとそのキャリアダイナミクスをコヒーレントに制御することが可能になり、超高速光スイッチや量子コンピュータ論理素子への応用が考えられる。本

研究では、半導体ナノ構造においてフェーズロックパルス対を用いてコヒーレントキャリア制御の基礎的実験を行った。

コヒーレントキャリア制御の研究を行うための相対位相を精密に制御したフェムト秒フェーズロックパルス対の発生にはマイケルソン型の干渉計を用い、PID制御によりアクティブなフェーズロックをかけている。図3はフェーズロックパルス対を用いて四光波混合実験を行った結果である。サンプルは15nmの井戸層と15nmのバリア層、25周期よりなるGaAs/AlAs多重量子井戸である。1.538 eVと1.546 eVのピークはheavy-hole励起子(hh)とlight-hole励起子(lh)への遷移である。点線は通常の四光波混合の実験結果であり、500fsの周期を持つ量子ビートが現れている。

hh励起子に共鳴させたフェーズロックパルス対を用いた四光波混合実験結果を実線と破線で示している。実線はパルス対の相対位相が0の結果を示してあり、点線は相対位相が $\pi$ の結果を示している。量子ビートの振幅がパルス対の相対位相によって増大や減衰しているのが分かる。

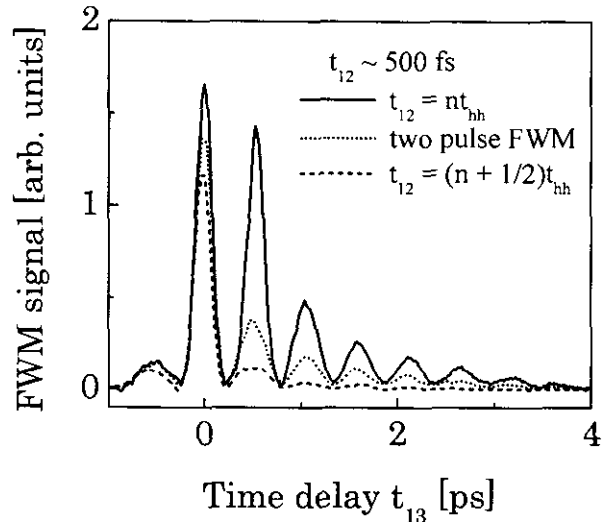


図3

<低温成長 GaAs/AlAs 多重量子井戸における励起子吸収飽和の過渡特性> (奥野剛史、舛本泰章、伊東雅史<sup>A</sup>、岡本紘<sup>A</sup> <sup>A</sup>千葉大学工学部) [2]

分子線エピタキシー法において、GaAsなどのIII-V族半導体を、300°C程度の低温で成長すると、As析出物の影響でキャリア寿命が1ps以下に短くなる。また、量子井戸構造は、室温でも安定に存在する励起子吸収が大きな光非線形性を示す。両者を結びつけることによって、大きな非線形性をもち応答速度も速い、という、超高速光スイッチ等に理想的な系が実現できる可能性がある。今回、低温成長

GaAs/AlAs 多重量子井戸 (multiple quantum wells, MQW) における光非線形性の、大きさと回復時間(キャリア寿命)を測定し、厚いGaAs膜(バルク GaAs) や通常温度成長のMQWと比較して、低温成長MQWの有効性を明らかにした。

用いた試料は、7nmのGaAs井戸と7nmのAlAs障壁を100周期積んだものである。成長温度は、通常温度成長の700°Cと、低温成長の360°C、310°Cである。まず、飽和強度を測定すると、3種のMQWでほぼ変わらず、低温成長バルク GaAsよりも1桁以上小さかった。飽和強度は、吸

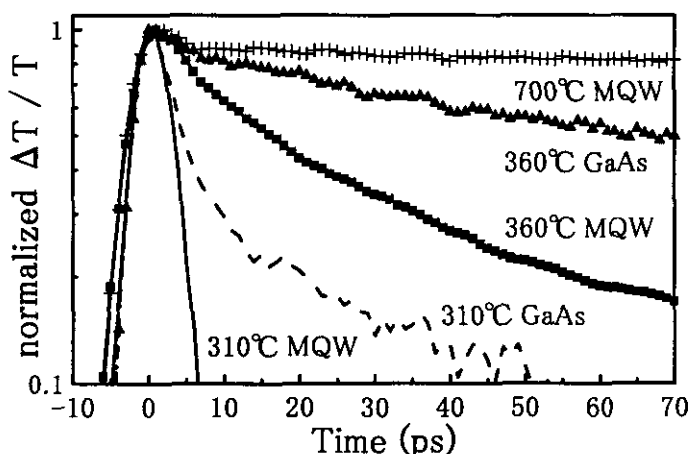


図4 パルス幅 2ps のレーザーによる過渡吸収飽和の時間変化。310°C成長 MQW における信号は、この測定での時間分解能を示す。

収係数が減少する典型的な励起強度で、これが小さいほど非線形性は大きいといえるため、低温成長 MQW がバルク GaAs よりも大きな非線形性をもっていることが示された。次に、吸収飽和の回復時間を測定すると、700°C成長 MQW が 340ps であるのに対し、310°C成長 MQW は 0.9ps であった。また、310°C 成長バルク GaAs は 2ps であった。これより、低温成長 MQW の応答時間が、通常温度成長 MQW やバルク GaAs よりも速いことが明らかになった。

## 【2】ワイドギャップⅢ族窒化物半導体の光物性 (舛本泰章)

<InGaN/GaN 量子井戸構造におけるアンチストークスフォトルミネッセンス> (佐竹昭泰, 舛本泰章) [3,4],[関連: 5,6]

GaN 系半導体は青紫色レーザ材料として注目をあびており、その活性層には主に InGaN 量子井戸構造が使われている。InGaN からの発光機構は、In 組成比の揺らぎ等によって生じた局在状態からの発光であると考えられている。こうした局在状態が存在する半導体量子井戸構造においてはアンチストークスフォトルミネッセンスの観測が期待できるが、GaN 系においてその報告例は未だない。そこで、InGaN/GaN 量子井戸構造を用いてアンチストークスフォトルミネッセンスを観測し、その機構について研究を行なった。

アンチストークスフォトルミネッセンスとは、励起光の光子エネルギーより高エネルギー側で発光する現象である。図 5 に温度 77 K における  $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}(3.5 \text{ nm})/\text{GaN}(7 \text{ nm})$  量子井戸構造 (3 周期) の発光スペクトルを示す。(a) の励起光の光子エネルギーは 3.756 eV で、InGaN 層及び GaN 層からの発光がそれぞれ 3.18eV、3.49eV に観測される。(b) の励起光の光子エネルギーは 3.305 eV で GaN のバンドギャップより低い励起にもかかわらず、GaN 層からの発光が観測される。この発

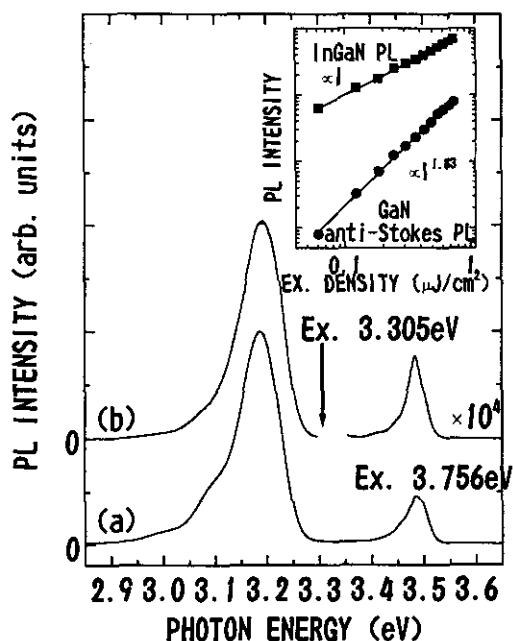


図 5  $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}/\text{GaN}$  量子井戸構造における発光スペクトル。温度は 77 K。挿入図は 3.305 eV 励起における発光強度の励起光密度依存性。

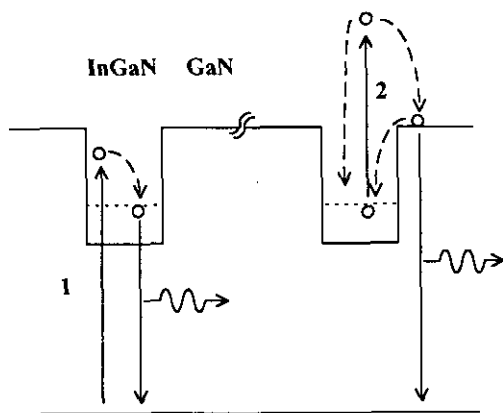


図 6 アンチストークスフォトルミネッセンスに対する二段階型の二光子吸収モデル

光は励起光密度に対してほぼ 2 乗の依存性を示し、InGaN 層の吸収の増加にもなって強くなる。また、この発光の緩和時間は 425 ps で、GaN のバンドギャップより高エネルギー側 (Ex. 3.756 eV) で励起した時の GaN 層からの発光の緩和時間 (72 ps) に比べ遅く、InGaN 層からの発光の緩和時間 (800 ps) の約半分である。このことは、GaN 層におけるキャリアの生成過程に遅れが生じたことを意味し、InGaN 層のキャリア数の 2 乗に比例していることを示唆している。以上の結果より、アンチストークスフォトルミネッセンスの機構は次のように考えられる。励起光 (レーザー光) によって InGaN 層に

励起子を生成すると、励起子は InGaN 層の局在状態に捕まり、局在励起子として発光する。次に、InGaN 層からの発光を励起光として、まだ緩和していない InGaN 層の局在励起子をさらに上の状態に励起して GaN 層に励起子を生成する。この発光がアンチストークスフォトルミネッセンスとなる。このように、InGaN/GaN 量子井戸構造におけるアンチストークスフォトルミネッセンスの機構は、図6に示すような二段階型の二光子吸収過程であることがわかった。

【3】半導体量子点の光物性（舛本泰章、奥野剛史、池沢道男）[総説：7]

<半導体量子点における励起子の均一幅広がりメカニズム>（玄 柄律[Byung-Ryool Hyun]、古谷 雅、舛本泰章）[8,9]

半導体量子点における励起子の均一幅の広がりメカニズムはまだ明確に解明されていない。ヘテロダイナミク型蓄積フォトンエコー法により、CuBr 量子点の位相緩和時間( $T_2$ )から均一幅を求めて、低温領域(0.6K から 50K 以下)での均一幅の温度依存性について調べた。

図7は5個の異なる平均粒径の CuBr 量子点における励起子の均一幅の測定結果とそのフィッティング結果を示す。従来の音響フォノンモードによる電子-フォノン相互作用を考慮して理論的に予想されている線形依存性( $\Gamma_h = \Gamma_{h0} + AT$ )とは異なる新しい温度依存性( $\Gamma_h = \Gamma_{h0} + BT^{1.3}$ )が現れている。特に、5 K 以下での均一幅は線形依存性とは異なる振る舞いが明らかである。

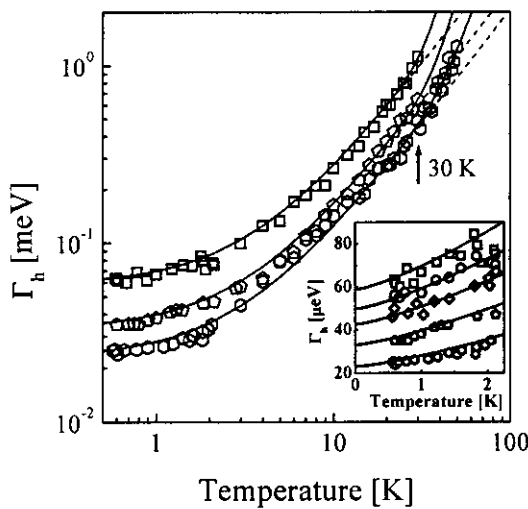


図7

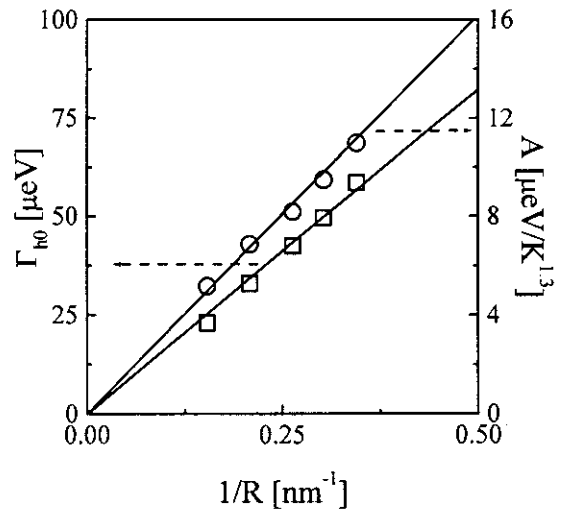


図8

今までは均一幅広がりメカニズムに対して、量子点周りの環境、即ちホスト物質や欠陥などの影響を無視して来た。しかし量子点には体積に対する面積の比率が増加することによって量子点の界面効果が位相緩和メカニズムにますます重要になることが考えられる。界面効果を考慮した two-level system (TLS)モデルでは温度に対する均一幅の新しい振る舞い( $\Gamma_h \propto T^{1.3}$ )が説明できる。量子点の界面効果が位相緩和メカニズムに寄与するのは体積に対する面積の比率(1/R)に比例すると予想されている。図8にはフィッティング結果から得られた  $\Gamma_{h0}$  と A のサイズ依存性を示してあり、それぞれ 1/R 依存性を示す。したがって、この結果から低温での量子点における均一幅のメカニズムは量子点の界面効果に支配されているのが分かる。このような均一幅の新しい温度依存性はガラスやポリマー中の色素分子などによく見られるため、半導体量子点は色素分子など同様に振る舞うと考えられる。

<CdSe 量子点における励起子の均一幅の起源>（竹本一矢、舛本泰章）[10,11]

半導体量子点の均一幅の広がりには輻射寿命やキャリア散乱、フォノン散乱、表面・界面での散乱など様々な要因が関係しているが、未だ不明な点が多い。我々は良質の CdSe 量子点を用い、ヘテロダイン型蓄積フォトンエコーにより、弱励起の極限における均一幅を位相緩和時間  $T_2$  の逆数として時間領域から測定した。

得られた APE 信号は 2 成分の指数減少関数であり、その Fourier 余弦変換で得られる均一線スペクトルは、2 K において幅の広い (2.4 meV) スペクトルと幅の狭い (0.17 meV) スペクトルの重ね合わせとなる。幅の広いほうの成分はドットの半径に対し逆比例し、その全体に対する寄与が Debye-Waller 因子の表式でよくフィッティングされることから、速い成分すなわち幅の広いスペクトルが閉じ込め音響フォノンサイドバンド、遅い成分すなわち幅の狭いスペクトルがゼロフォノン線によるものと結論できる。

図 9(a) は 4 つのサイズの異なる試料について、零フォノン線幅 ( $\Gamma_h$ ) をプロットしたもので、温度に対する線形依存性を示している。このときの温度係数を  $1/R^2$  ( $R$  はドットの半径) に対してプロットしたのが (b) である。CdSe 量子点の最低励起状態に対する理論計算では、量子点に閉じ込められたキャリアと音響フォノンとの変形ポテンシャル相互作用の強さが、粒径の逆数の自乗に逆比例することが予測されており、我々の実験結果と理論計算 (実線) との良好一致は、零フォノン線幅の温度広がりがこうした変形ポテンシャル相互作用に基づいていることを裏づけている。また (a) から分かるように、2~26 K の範囲で均一幅は量子点サイズの減少に伴って増加している。(c) に示すように、 $T=0$  K に外挿された均一幅の値は量子点の半径に比例しているが、これは 0 K での均一幅広がりに対しては表面散乱が支配的であることを表している。 $R=3.6$  nm に対する均一幅  $\Gamma_h=0.13$  meV は、これまでにガラス中 CdSe 量子点に対して報告された値よりも幅が狭く、化学的に作成された CdSe 量子点を用いた単一量子点分光の結果に匹敵する。測定した試料の励起子寿命  $T_1$  は 100 ps 程度と  $T_2$  に比べても十分に長く、この場合均一幅の温度広がりは主としてフォノンにより決定されているものと考えられる。

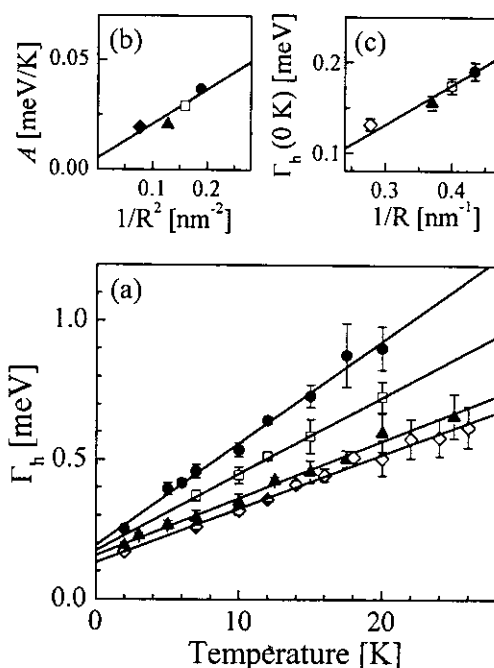


図 9

#### <NaCl 中の CuCl 量子点における輝尽発光> (舩本泰章、桑原昭一) [12,13]

あらかじめ紫外線などによる励起を受けた蛍光体は、励起後に発光波長よりも長波長の光を照射することで発光が一時強くなることがある。この現象を輝尽発光と呼ぶ。量子点の永続的ホールバーニング現象の持つ様々な特徴から量子点の光イオン化をその機構として考えたが、「ホストにトラップされたキャリアーは長波長光の照射により、再び量子点にもどり、輝尽発光を起こすかもしれない」と考えて実験をしてみたところ、NaCl 結晶中に CuCl 量子点を成長させた試料を用いて、前年度、量子点において初めて輝尽発光現象を見出した。

輝尽発光は低温で CuCl 量子点を HeCd レーザー (325nm) で励起して、量子点の界面や周囲にキャリアーをトラップさせた後、半導体レーザー (670nm) 等で輝尽励起する事で観測された。次に輝尽発光強度の励起光強度依存性、時間発展、温度依存性、波長依存性がそれぞれ測定された。これらの依存性に、量子点における輝尽性発光特性と永続的ホールバーニング特性との類似性が見られ、ホールバーニングと同様の機構 (半導体量子点の表面や表面を通して母体中のトラップにキャリアーが捕まる機構) が働いていると結論された。トラップ準位のエネルギーは 2.45eV 付近にあり半値全幅は 0.53eV 程度で

ある。輝尽発光の効率と  $\text{Cu}^+$  ダイマーの濃度が強い正の相関を示すことが示され、 $\text{NaCl}$  結晶中に含まれる一価の  $\text{Cu}$  イオン ( $\text{Cu}^+$ ) のモノマーやダイマーが正孔 (または電子) のトラップとして働き、短波長励起された量子点から放出された正孔 (または電子) が  $\text{Cu}^+$  に捉えられ  $\text{Cu}^{2+}$  (または  $\text{Cu}^0$ ) を經由して再び、長波長光の照射により量子点に残された電子 (または正孔) と再結合発光すると結論された。

<  $\text{NaCl}$  中の  $\text{CuCl}$  量子点における励起子状態と形状 > (趙家龍[Zhao Jialong]、舛本泰章) [14,15]

量子点における励起子状態のサイズ依存性により量子点の形状が定性的に説明できる。 $\text{NaCl}$  結晶中の  $\text{CuCl}$  量子点の高い励起状態が励起され、その量子点の基底状態のホールバーニングがはっきりと観測される。特に二つの主なホールが量子点の縮退した第一励起状態の励起による基底状態のものだと考えられた。この二つホールのエネルギー差が量子閉じ込めエネルギーとの依存性を図 10 に示す。量子箱モデルにより量子箱の二つ縮退した第一励起状態が励起され、基底状態のホールの差は量子閉じ込めエネルギーとの関係式が得られた。量子箱のサイドは二つが同じ  $L$  で他の一つサイドが  $L-b$  と考えられ、小さい量子箱のサイド差  $b$  は格子定数の 1 倍あるいは  $3/2$  倍だということがあった。このことから  $\text{NaCl}$  中の  $\text{CuCl}$  量子点における形状はほぼ立方体に近い量子箱だと考えられる。

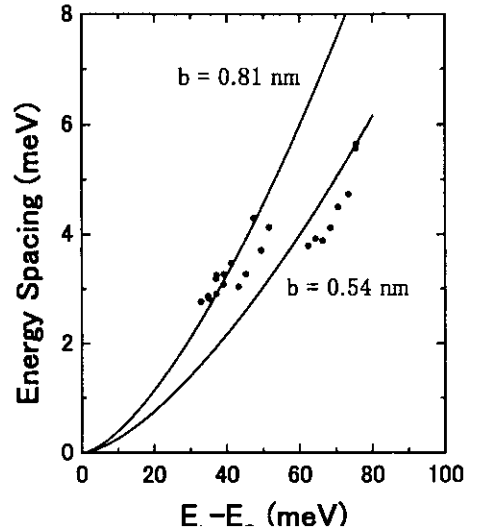


図 10

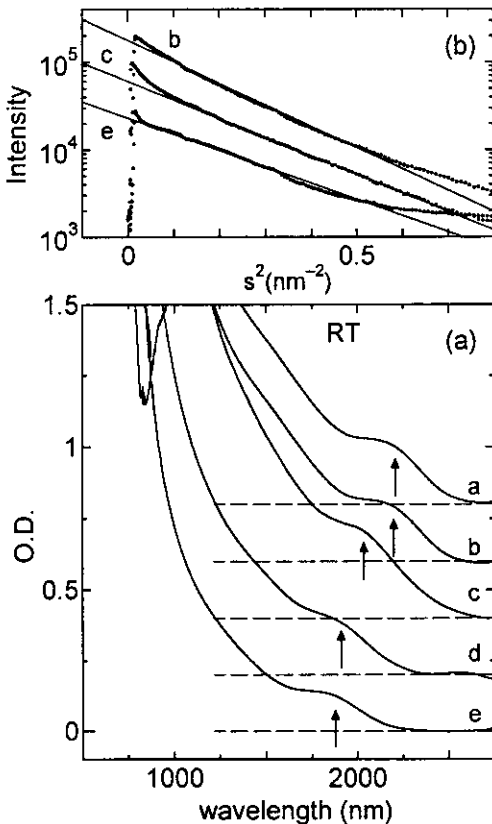


図 11(a) 作製した  $\text{PbSe}$  量子点の室温における吸収スペクトル。矢印で示したように最低励起エネルギーのシフトが見られる。(b) 試料の X 線散乱曲線。

< 燐酸ガラス中の  $\text{PbSe}$  量子点の作製と粒径の決定 > (池沢道男、奥野剛史、舛本泰章)

きわめて強い量子閉じ込めを示すことが期待される  $\text{PbSe}$  量子点を燐酸ガラス中に作製した。バルクの  $\text{PbSe}$  は 4 ミクロン付近に吸収端を持つが、ガラスの中に量子点として成長させることにより吸収ピークの大きな高エネルギーシフトが起こり、光通信に用いられる 1~2 ミクロン帯に吸収ピークを持たせることが可能になり、学術的な観点以外に応用上も重要である。 $\text{PbSe}$  量子点はリン酸ガラスをマトリクスとして作製した。マトリクスとして一般に用いられるシリカガラスに比べて、リンを主要成分にしたガラスではガラスの網目構造がより開放的であって、高濃度に  $\text{PbSe}$  をドーピングすることが可能である。 $\text{PbSe}$  量子点は、 $\text{PbSe}$  をドーピングしたリン酸塩ガラスを蓋付きのグラファイト製坩堝で作製し、それを 400 度付近の温度で数十分アニールすることにより成長させた。はじめ無色であったガラスが熱処理によって褐色を呈することから量子点の成長を知ることが出来る。作製したサンプルは室温において FTIR を用いて吸収スペクトルを測定した。図 11(a) に作製したサ

ンプルの室温における吸収スペクトルを示す。サンプルによって吸収ピークがシフトしているのが分かり、熱処理によって量子点の平均粒径をコントロールできたことが示された。作製されたサンプルは分析センターのプラズマ発光分析装置にて組成を分析し、量子点の数密度の見積りに役立てた。次にこのようにして作製したサンプルの粒径を高エネルギー加速器研究機構(KEK)のBL-15AにおいてX線小角散乱によって求めた。散乱曲線はギニエ領域でよい直線性を示し、作製された試料の粒径分布が小さいことが分かった。図 11 (b)に散乱曲線の例を示す。この直線の傾きから粒径が求められ、5nm 程度の量子点が出来たことが分かった。この例では粒径はそれぞれ、5.3nm、4.9nm、4.6nm と求められた。しかし、この系では、電子顕微鏡で観測した粒径と X 線小角散乱から得た粒径、また理論計算によって導いた粒径が必ずしもよく一致してはならず、今後さらに広範囲に粒径を振った試料を作製して詳細に研究する必要がある。

<PbSe 量子点における緩和時間のサイズ依存性> (奥野剛史, A.A. Lipovskii<sup>A</sup>, 池沢道男, 小川智康, 舛本泰章<sup>A</sup> St. Petersburg Technical University) [16, 17]

リン酸ガラス中の PbSe 量子点試料において、エネルギー緩和時間が、強い粒径依存性を示すことを見いだした。室温におけるポンププローブ法で、透過率変化の時間発展を測定して緩和時間を求めた。図 12 が結果で、量子点の半径は、(a) 2.9 から (f) 1.4 nm である。小さい量子点ほど速い時間減衰を示していることがわかる。各曲線は、2成分の指数関数減衰でよく表せ、短い寿命成分は (a) 25 ps から (f) 1 ps にほぼ単調に減少している。これは自由励起子の緩和を反映していると考えられる。そのレート (逆数) は、ほぼ半径の 3 乗に反比例した。この強い単調な依存性は、強い閉じ込めの影響の可能性があり、生成された励起子が、量子点よりも大きな領域にある局在発光準位や非輻射中心に遷移していると考えられることによって定性的に理解できる。

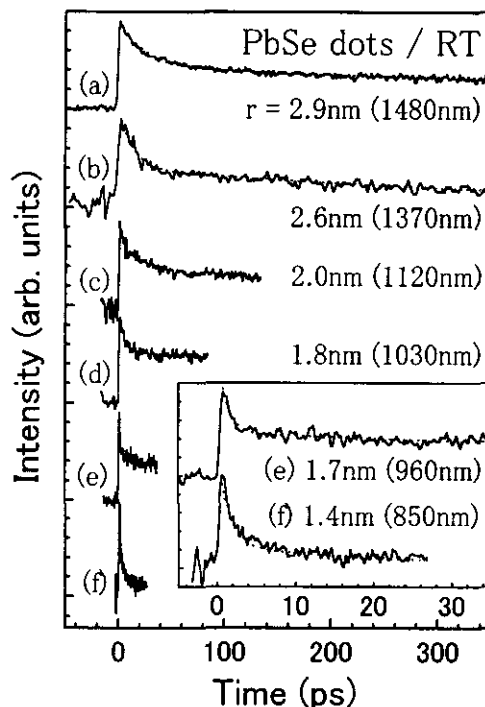


図 12 透過率変化の時間発展。半径および励起子遷移波長 (測定波長) を図中に示す。

<InP Stressor により量子井戸に形成される GaAs 量子ドット> (西林一彦, 奥野剛史, 舛本泰章)

半導体表面上の自己形成型量子ドット (Self Assembled Dots : SAD) がもたらす歪みにより表面付近の量子井戸内に形成される擬似量子ドット (Strain-induced Quantum dot) に関する研究が盛んに行われている。これらの系に対してはまだ吸収に関する報告はないため、発光の励起スペクトルを取ることで、その吸収スペクトルを調べた。

試料は GaAs/AlGaAs 量子井戸構造の表面に SAD として InP を成長させたものを用いた。

図 13 は井戸厚 4.8nm の試料に対して検出エネルギーを変えながら発光の励起スペクトルを取ったものである。二つのピーク(●)がスペクトル的によく分離している。これはドットの第二、第三励起状態から第一励起状態(検出エネルギー)に緩和して発光したものと考えられる。図 14 は量子井戸の厚さを 3.9, 4.8, 6.0nm と変えて図 13 と同じように励起スペクトルを取ったときの、検出エネルギーと発光のピークをプロットしたものを示す。図中の矢印は発光スペクトルから見積もったドットの第一励起状態のエネルギー準位(図 13 の▽に相当)を示している。第一励起状態と第二、第三励起状態とのエネルギー間隔は井戸厚による大きな違いは見られなかった。このエネルギー間隔は、検出エネルギーを高エネルギー側に移

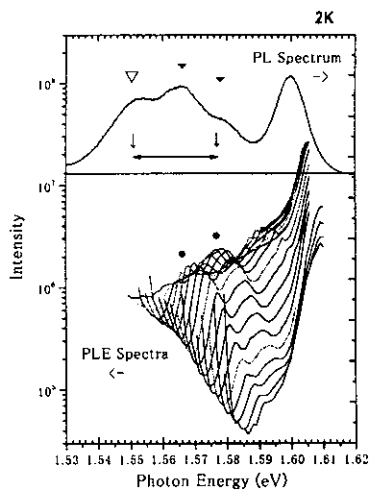


図 13 GaAs 擬似ドットの発光スペクトル(上)と励起スペクトル(下)

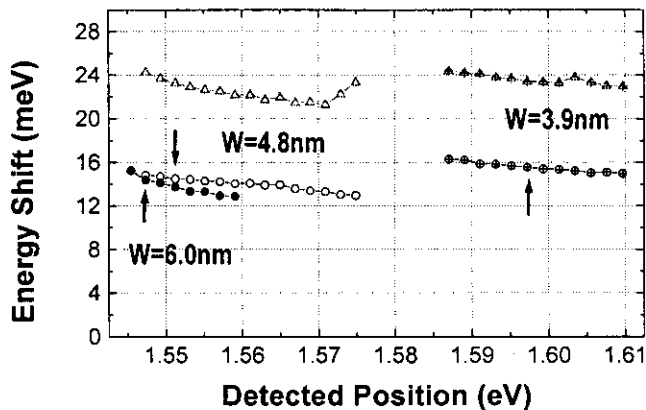


図 14 検出エネルギー(第一励起状態)と第二、第三励起状態とのエネルギー間隔

行していくと小さくなる傾向が見られた。検出エネルギー(第一励起状態)と GaAs 量子井戸のエネルギー間隔が小さいということは三次元閉じ込めが弱いドットの第一励起状態からの発光を検出していると考えられることから、この傾向は擬似ドットのサイズ分布に起因する効果だと考えられる。

<科学技術振興事業団創造科学技術推進事業—単一量子点プロジェクトでの研究>[18-74]

科学技術振興事業団創造科学技術推進事業—単一量子点プロジェクトでの研究(1995年10月から2000年9月まで)が舛本泰章を総括責任者として、つくば市東光台の筑波研究コンソーシアムを拠点として行われ、今年度もいくつかの成果を得た。

【4】半導体ナノメートル構造の光物性と計算光物性(野村晋太郎)

<横方向量子ドットアレーの発光スペクトル> (野村) [75,76]

横方向に周期的にポテンシャルを変調し、二次元電子ガス密度を変調または0次元的に局在させた構造において、どのような発光特性を示すのか興味を持たれている。本研究では表面電極のバイアス電圧を連続して印加する手法を用いた。試料構造は、GaAs-AlGaAs 変調ドープ量子井戸基板の表面に電子線リソグラフィによりメッシュ状ショットキー電極構造を作製したものを作製し、負バイアス電圧を印加して量子井戸内の電子密度を横方向に周期的に変調した。この横方向の周期的ポテンシャル変調により、多電子系と正孔との間の多体相互作用を外部から制御できることを初めて示した。

固体中において観測される光が介在する多電子系に特有の現象としてフェルミ端異常がまず第一に挙げられる。これはフェルミ縮退した電子系における光遷移確率がフェルミ端近傍で発散することをさす。この現象は物質系に関係なく広く一般的に見られる現象である。

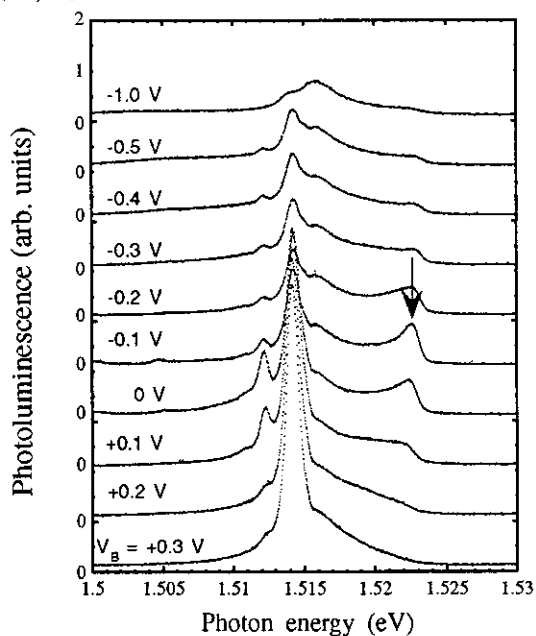


図 15



正孔の質量が有限である場合、2次元系ではフェルミ端異常は非常に小さいことが示されている。これはクーロン引力とアンダーソンの直交定理との微妙なバランスの上に成り立っており、フェルミ端異常が発散しない3次元系、フェルミ端異常が正孔の質量によらず発散する1次元系と対照的になっている。このため、本研究では外部から弱いポテンシャル変調を加えることにより2次元から次元性を下げて発散の幕を大きく変えることができることを実験的に示した。さらに、磁場に依存した発光スペクトルのエネルギーと強度の振動構造の測定により、フェルミ端異常であることを明確に示した。本研究は理化学研究所青柳主任研究員との共同研究である。

<半導体ナノメートル構造の実時間実空間法による線形感受率計算—カーボン系物質への適用> (野村 [77-80])

大きな系の線形感受率を効率良く計算する手法を以前から開発してきた。これは実時間シュレディンガー方程式を解くことによって、電子状態密度や光遷移確率を効率良く求める方法で、計算量が系のサイズ $N$ に比例し、大きな系での計算に適した方法である。この方法をカーボン系物質へ適用を行った。ポリアセチレン、ポリシラン、ダイヤモンド微結晶の光吸収スペクトルを経験的擬ポテンシャル法にもとづき計算を行ない、それぞれの微視的電子状態の構造依存性を明らかにした。ポリシランの取り得る *trans*-や *helix* といったさまざまな構造が混合した、途中で螺旋構造の向きが変わる非周期的な構造について吸収係数の構造依存性を初めて明らかにした。さらに、ダイヤモンド微結晶における量子サイズ効果を初めて明らかにした。本研究は物質工学系竹森直助教授、理化学研究所青柳主任研究員との共同研究である。

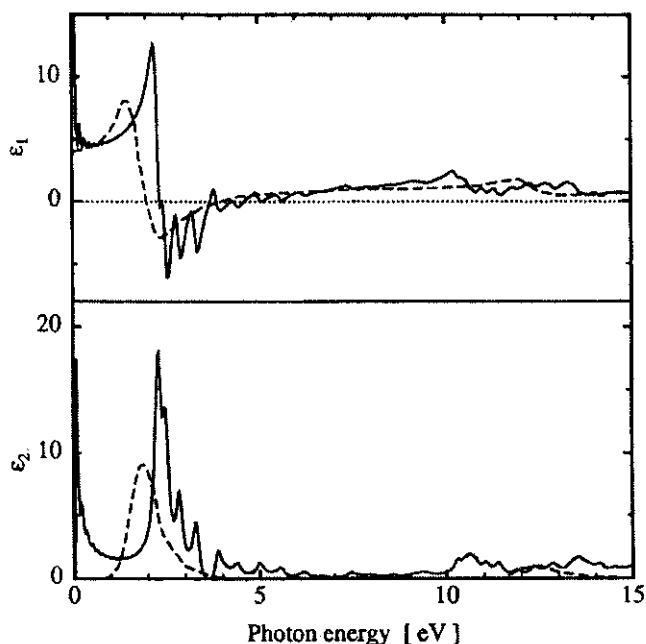


図 16

【5】 $^{151}\text{Eu}$  のメスバウアー効果と核磁気共鳴による層状化合物磁性体の研究 (鈴木 隆司)

$^{151}\text{Eu}$  のメスバウアー効果について、昨年に引き続き  $\text{Ba}(\text{Eu})\text{FBr}$  及び  $\text{EuPdIn}$  の測定をおこなった。 $\text{Ba}(\text{Eu})\text{FBr}$  については、新たに試料を作成して測定中である。 $\text{EuPdIn}$  については、 $\text{Eu}$  原子の原子価はアイソマシフトの測定から+2価であることが判明しているが、その温度変化が観測された。

これまで層状化合物磁性体  $\text{Fe}_x\text{NbX}_2$  ( $X=\text{S}, \text{Se}$ ) について、中性子散乱での磁気構造を調べる研究を行ってきた。その結果層間に入った  $\text{Fe}$  原子の濃度のわずかな差が、変化に富んだ磁性を示すことが解ってきた。更に、その微視的磁気相互作用の機構を調べる為に、 $^{93}\text{Nb}$  の核磁気共鳴の実験をおこなった。現在  $\text{Fe}_{1/3}\text{NbS}_2$  について、室温と5Kで共鳴スペクトルが測定されている。磁気転移点近傍での実験を行うための準備をしている。

1. T. Mishina, K. Nitta and Y. Masumoto, "Coherent Lattice Vibration of Interlayer Shearing Mode of Graphite", to be published in *Phys. Rev. B*.
2. T. Okuno, Y. Masumoto, M. Ito and H. Okamoto: "Large optical nonlinearity and fast response time in low-temperature grown GaAs/AlAs multiple quantum wells", to be published in *Appl. Phys. Lett.*
3. A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and M. Ikeda: "Two-dimensional exciton dynamics and gain formation processes in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  multiple quantum wells", *Phys. Rev. B* **60**, 16660 (1999).
4. A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and T. Hino: "Ultraviolet anti-Stokes photoluminescence in  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$  quantum-well structures", *Phys. Rev. B* **61**, 12654 (2000).
5. M. Ikezawa and Y. Masumoto: "Ultrannarrow homogeneous broadening of confined excitons in quantum dots: Effect of the surrounding matrix", *Phys. Rev. B* **61**, 12662 (2000).
6. M. Ikezawa and Y. Masumoto: "Observation of homogeneous broadening of confined excitons in CuCl quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 482 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
7. 舛本泰章: "分子のようにふるまう半導体量子点—永続的ホールバーニングと間欠的発光現象" *日本物理学会誌* **54**, 431 (1999).
8. B.-R. Hyun, M. Furuya, K. Takemoto and Y. Masumoto: "Homogeneous line broadening mechanism of quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 302 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
9. B.-R. Hyun, M. Furuya, K. Takemoto and Y. Masumoto: "Intrinsic dephasing mechanism of excitons in quantum dots", submitted to *Phys. Rev. B*.
10. K. Takemoto, B.-R. Hyun and Y. Masumoto: "Observation of homogeneous optical spectrum in CdSe quantum dots using femtosecond accumulated photon echo", *J. Lumin.* **87-89**, 485 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
11. K. Takemoto, B.-R. Hyun and Y. Masumoto: "Heterodyne-detected accumulated photon echo in CdSe quantum dots", *Solid State Commun* **114**, 521 (2000).
12. Y. Masumoto and S. Ogasawara, "Photostimulated luminescence of CuCl quantum dots in NaCl crystals", *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, L623 (1999).
13. Y. Masumoto and S. Ogasawara: "Photostimulated luminescence of quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 360 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
14. J. Zhao and Y. Masumoto: "Size dependence of confined acoustic phonons in CuCl nanocrystals", *Phys. Rev. B* **60**, 4481 (1999).
15. J.L. Zhao, M. Ikezawa, A.V. Fedorov and Y. Masumoto: "Shape-dependent confined excitons and acoustic phonons of CuCl nanocrystals embedded in NaCl crystals", *J. Lumin.* **87-89**, 525 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
16. T. Okuno, A.A. Lipovskii, T. Ogawa, I. Amagai and Y. Masumoto: "Strong confinement of PbSe and PbS quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 491 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
17. T. Okuno, Y. Masumoto, M. Ikezawa, T. Ogawa and A.A. Lipovskii: "Size-dependent picosecond energy relaxation in PbSe quantum dots", submitted to *Appl. Phys. Lett.*

18. J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto: "Electroluminescence of europium silicate thin film on silicon", *Appl. Phys. Lett.* **74**, 3203 (1999).
19. J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto: "White color electroluminescence of europium silicate thin film", *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter* (Osaka, 1999).
20. J. Qi, M. Tanaka, J.S. Ahn and Y. Masumoto: "Temperature-dependent luminescence of europium aggregates in NaCl", *J. Lumin.* **87-89**, 1102 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter* (Osaka, 1999).
21. J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto: "Preparation of white color electroluminescent europium silicate thin films", to be published in *Electrochem. Solid State Lett.*
22. J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto: "Electroluminescence from thin films of europium silicates", *8th Int. Symp. Physics and Chemistry of Luminescent Materials* (Honolulu, 1999).
23. H.-W. Ren, M. Sugisaki, S. Sugou, K. Nishi, A. Gomyo and Y. Masumoto: "Lateral Composition Modulation Induced Optical Anisotropy in InP/GaInP Quantum Dot System", *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, 2438 (1999); *1998 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials*, (Hiroshima, 1998).
24. H.-W. Ren, S. Sugou, Y. Masumoto, I. Ignatiev and I. Kozin: "Cold anti-Stokes photoluminescence of InP self-assembled quantum dots in the presence of electric current", *7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology"* (St. Petersburg, 1999) p.54.
25. H.-W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Structural and Optical Anisotropy of InP/GaInP Quantum Dots Grown by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy", *Excitonic Processes in Condensed Matter*, ed. R.T. Williams, W.M. Yen (The Electro-chemical Society Proceedings Series, Pennington, NJ, 1998) Proceedings Volume 98-25, p.292.
26. H.-W. Ren, S.V. Nair, T. Okuno, K. Nishibayashi, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Confinement effect in strain-induced InGaAs/GaAs quantum dots", to be published in *Physica E*.
27. H.-W. Ren, T. Okuno, K. Nishibayashi, J.-S. Lee, S. Sugou, M. Sugisaki and Y. Masumoto: "Photoluminescence of strain-induced coupled quantum dot pairs", *1999 Electronic Materials Conf.* (Santa Barbara, 1999).
28. H.-W. Ren, T. Okuno, K. Nishibayashi, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Confined effect in strain-induced InGaAs/GaAs quantum dots", *9th Int. Conf. Modulated Semiconductor Structures* (Fukuoka, 1999).
29. T. Matsumoto, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Isotope energy shift of luminescence in hydrogen-and deuterium-terminated porous silicon", *Bull. Material Science* **22**, 369 (1999); *The 5th IUMRS International Conference in Asia-IUMRS-ICA-98*, (Bangalore, 1998).
30. T. Matsumoto, J. Qi, Y. Masumoto, H. Mimura and N. Koshida, "Determination of localized states in porous silicon", *J. Lumin.* **80**, 203 (1999).
31. T. Matsumoto, H. Mimura, N. Koshida and Y. Masumoto: "Deep level energy states in porous silicon and porous silicon carbide determined by space-charge-limited current measurements", *Appl. Surf. Science* **142**, 569 (1999).
32. T. Matsumoto and Y. Masumoto: "Nonlinear optical properties of porous silicon", *Properties in Porous Silicon*, ed. L. Canham, Section 8.4, p.218, INSPEC, London (1997).
33. E. Tokunaga, A.L. Ivanov, S.V. Nair and Y. Masumoto, "Inverse exciton series in the optical

- dacay of an excitonic molecule", Phys. Rev. B 59, R7837 (1999).
34. E. Tokunaga, A.L. Ivanov, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Inverse exciton series for observation of bipolariton coupling", J. Lumin. 87-89, 216 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
  35. J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Real-Time Observation of Ellipsometry Oscillation During GaAs Layer by Layer Growth by Metalorganic Vapor-Phase Epitaxy", Jpn. J. Appl. Phys. 38, L614 (1999).
  36. J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Spontaneous nanostructure formation on GaAs(211)B substrate", J. Crystal Growth 205, 467 (1999).
  37. J.-S. Lee, S. Sugou, H.-W. Ren and Y. Masumoto: "In situ ellipsometric study of the formation process of metalorganic vapor-phase epitaxy-grown quantum dots", J. Vac. Sci. Tech. B, 17, 1341 (1999).
  38. J.-S. Lee, K. Nishi and Y. Masumoto: "Low-index facets formation in InGaAs islands on GaAs(n11)B substrates", Tenth Int. Conf. on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (Sapporo, 2000).
  39. J.-S. Lee and Y. Masumoto: "Real time monitoring of ellipsometry monolayer oscillations during metalorganic vapor-phase epitaxy", Tenth Int. Conf. on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (Sapporo, 2000).
  40. J.-S. Lee, S. Sugou, H.-W. Ren, Y. Masumoto and K. Kurihara: "In-situ monitoring of In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As quantum dot formation during metalorganic vapor phase epitaxy by fast-nulling ellipsometry", Appl. Surf. Science 141, 114 (1999).
  41. J.-S. Lee, M. Sugisaki, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Spontaneous lateral alignment of multistacked In<sub>0.45</sub>Ga<sub>0.55</sub>As quantum dots on GaAs (311)B substrate", J. Crystal Growth 200, 77 (1999).
  42. J.-S. Lee, M. Sugisaki, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Spontaneous one-dimensional lateral alignment of multistacked InGaAs quantum dots on GaAs (n11)B Substrates", to be published in Physica E.
  43. J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Mechanism of ellipsometry monolayer oscillation during metalorganic vapor-phase epitaxy", to be published in J. Appl. Phys.
  44. J.-S. Lee, M. Sugisaki, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Spontaneous one-dimensional lateral alignment of multistacked InGaAs quantum dots on GaAs (n11)B substrates", 9th Int. Conf. Modulated Semiconductor Structures (Fukuoka, 1999).
  45. 高橋森生、鳥海裕一、松本貴裕、舛本泰章、越田信義: "シリコンベース光共振器・導波路の動作特性—ポーラスシリコンの高い屈折率制御性を用いた光デバイスの作製—" 信学技報 LQE 99-17, 7 (1999).
  46. M. Takahashi, Y. Toriumi, N. Koshida, T. Matsumoto and Y. Masumoto: "Significant Photoinduced Refractive Index Change Observed in Porous Silicon Fabry-Perot Resonators", to be published in Appl. Phys. Lett.
  47. V. Davydov, I. Ignatiev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Observation of built-in electric field in InP self-assembled quantum dot systems", Appl. Phys. Lett. 74, 3002 (1999).
  48. V. Davydov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "'Unusual' temperature behavior of the photoluminescence of the InP and InGaAs quantum dots under quasiresonant excitation", 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.46.
  49. V. Davydov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto:

- ""Unusual" temperature behavior of the photoluminescence of the InP and InGaAs quantum dots under quasiresonant excitation", *J. Lumin.* **87-89**, 522 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
50. I.E. Kozin, I.V. Ignatiev, S. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "LO Phonon mediated relaxation in InP self assembled quantum dots in electric field", 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.24.
  51. I. Kozin, I. Ignatiev, S. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "LO phonon resonances in photoluminescence spectra of InP self assembled quantum dots in electric field", *J. Lumin.* **87-89**, 441 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
  52. Yu.K. Dolgikh, S.A. Eliseev, I.Ya. Gerlovin, V.V. Ovsyankin, Yu.P. Efimov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, V.V. Petrov, V. Pantukhin and Y. Masumoto: "Luminescence of HH-excitons in GaAs/GaAlAs superlattices under resonant excitation", 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.412.
  53. I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Anti-Stokes photoluminescence of InP self-assembled quantum dots in the presence of electric current", *Phys. Rev. B* **60**, R14001 (1999).
  54. I. Ignatiev, I. Kozin, S.V. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Photo- and electric-current-induced anti-Stokes photoluminescence of InP self assembled quantum dots", *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
  55. M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, J.-S. Lee, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto: "Imaging and single dot spectroscopy of InP self-assembled quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 40 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)* p.3.//INVITED PAPER//
  56. M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto: "Fine Splitting in the Optical Spectra of InP Self-Assembled Single Quantum Dot", *Excitonic Processes in Condensed Matter*, ed. R.T. Williams, W.M. Yen (The Electro-chemical Society Proceedings Series, Pennington, NJ, 1998) Proceedings Volume 98-25, p.298.
  57. 杉崎満、任紅文、舛本泰章: "顕微イメージで探る半導体量子点に閉じ込められた励起子" *固体物理* **35**, 335 (2000).
  58. M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto: "Exciton at a single localized center induced by natural composition modulation in bulk  $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ", submitted to *Phys. Rev. B*.
  59. M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi and Y. Masumoto: "Excitons in InP self-assembled quantum dots: Imaging and single dot spectroscopy", submitted to *Phys. Rev. B*.
  60. S.V. Nair and Y. Masumoto: "Coulomb effects in the optical spectra of highly excited semiconductor quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 438 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999)*.
  61. S.V. Nair and Y. Masumoto: "Multi-Exciton States in Semiconductor Quantum Dots", *phys. stat. sol. (a)* **178**, 303 (2000).
  62. S.V. Nair, Y. Masumoto: "Multi-exciton states in semiconductor quantum dots", *Optics of Exceptions in Confined Systems 1999 (Ascona, 1999)*.
  63. M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto: "Comparison of energy levels of  $\text{Mn}^{2+}$  in nanosized- and bulk-ZnS crystals", *J. Lumin.* **87-89**, 472 (2000); *Int. Conf. on Luminescence and Optical*

Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).

64. M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto: "Luminescence properties of  $Mn^{2+}$  doped into CdS nanocrystals in polymer", Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
65. M. Tanaka, S. Sawai, M. Sengoku, M. Kato and Y. Masumoto: "Luminescence properties of ZnS phosphor nanocrystals prepared by laser-induced gas-evaporation method", to be published in J. Appl. Phys.
66. M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto: "Optical properties of undoped and  $Mn^{2+}$  doped nanocrystals in polymer", to be published in J. Cryst. Growth.
67. M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto: "Optical properties of undoped and  $Mn^{2+}$ -doped CdS nanocrystals in polymer", Ninth Int. Conf. II-VI Compounds (Kyoto, 1999).
68. A.V. Baranov, S. Yamauchi and Y. Masumoto: "Softening of the LO phonons in excited state of CuCl nanocrystals", J. Lumin. 87-89, 500 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
69. A.V. Baranov, V. Davydov, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Phonon-enhanced intraband transitions in InAs self-assembled quantum dots", J. Lumin. 87-89, 503 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
70. I.Ya. Gerlovin, Yu.K. Dolgikh, Yu.P. Efimov, S.A. Eliseev, I.V. Ignatev, I.E. Kozin, Y. Masumoto, V.V. Ovsyankin, V.V. Petrov and V. Pantukhin: "Nonequilibrium luminescence of excitons in the GaAs/GaAlAs superlattices under resonance excitation", Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
71. E.A. Zhukov, Y. Masumoto, E.A. Muljarov and S.G. Romanov: "Pump-probe studies of photoluminescence of InP quantum wires embedded in dielectric matrix", Solid State Commun. 112, 575 (1999).
72. E.A. Muljarov, E.A. Zhukov, V.S. Dneprovskii and Y. Masumoto: "Dielectrically enhanced excitons in semiconductor-insulator quantum wires: theory and experiment", to be published in Phys. Rev. B.
73. N. Tsurumachi, M. Abe, M. Arakawa, T. Yoda, T. Hattori, J. Qi, Y. Masumoto and H. Nakatsuka: "Time Response of One-Dimensional Photonic Crystals with a Defect Layer Made of Semiconductor Quantum Dots", Jpn. J. Appl. Phys. 38, L1400 (1999).
74. N. Tsurumachi, M. Arakawa, Y. Nakatsuka, M. Abe, T. Hattori, J. Qi, Y. Masumoto: "Enhancement of nonlinear optical effect in one-dimensional photonic crystals with semiconductor quantum dots", 6th Int. Workshop Femtosecond Technology (Makuhari, 1999).
75. S. Nomura, T. Sugano, and Y. Aoyagi, "Temperature dependence of photoluminescence spectra in n-type modulation doped quantum dot arrays", Physica E, (in press).
76. 野村晋太郎: "変調ドーブ量子ドットアレーにおけるフェルミ端異常" 「物性研だより」 39 巻 5 号 pp.65.
77. Y. Kurokawa, S. Nomura, Y. Takemori, Y. Aoyagi, "Fast algorithm for calculating two-photon absorption spectra", Phys. Rev. E 59 (3-B) 3694-3697 (1999).
78. Y. Kurokawa, S. Nomura, Y. Takemori, Y. Aoyagi, "Large scale calculation of optical dielectric functions of diamond nanocrystallites", Phys.Rev. B (in press).
79. Y. Kurokawa, S. Nomura, Y. Takemori, Y. Aoyagi, "Electronic properties of polysilane calculated with the real-time real-space higher-order finite-difference method", Prog. Theor. Phys. No. 138 (in press).

80. Y. Kurokawa, S. Nomura, T. Takemori, and Y. Aoyagi, "Calculation of linear/non-linear optical response functions of large quantum systems by real-time real-space higher-order finite-difference method", Riken Review No. 29 (in press).
81. P. Riblet, S. Tanaka, P. Ramvall, S. Nomura, and Y. Aoyagi, "Size-dependent optical nonlinearities in GaN quantum dots", *Solid State Commun.* **109** (6) 377-381 (1999).
82. S. Nomura, T. Sugano, and Y. Aoyagi, "Bias voltage dependent photoluminescence near Fermi-level in n-type modulation doped quantum dot arrays", *Physica E*, **6** 432-435 (2000).
83. P. Ramvall, P. Riblet, S. Nomura, Y. Aoyagi, S. Tanaka, "Optical properties of GaN quantum dots", *J. Appl. Phys.* **87** 3883-3890 (2000).

<著書>

舛本泰章：半導体微粒子（「メゾスコピック伝導」実験物理科学シリーズ4、田沼静一、家泰弘編、共立出版、1999）

<国際会議>

1. H.-W. Ren, M. Sugisaki, S. Sugou, K. Nishi, A. Gomyo and Y. Masumoto: "Lateral Composition Modulation Induced Optical Anisotropy in InP/GaInP Quantum Dot System", *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, 2438 (1999); 1998 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, (Hiroshima, 1998).
2. T. Matsumoto, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Isotope energy shift of luminescence in hydrogen-and deuterium-terminated porous silicon", *Bull. Material Science* **22**, 369 (1999); The 5th IUMRS International Conference in Asia-IUMRS-ICA-98, (Bangalore, 1998).
3. I.E. Kozin, I.V. Ignatiev, S. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "LO Phonon mediated relaxation in InP self assembled quantum dots in electric field", 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.24.
4. H.-W. Ren, S. Sugou, Y. Masumoto, I. Ignatiev and I. Kozin: "Cold anti-Stokes photoluminescence of InP self-assembled quantum dots in the presence of electric current", 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.54.
5. V. Davydov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "'Unusual' temperature behavior of the photoluminescence of the InP and InGaAs quantum dots under quiresonant excitation", 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.46.
6. Yu.K. Dolgikh, S.A. Eliseev, I.Ya. Gerlovin, V.V. Ovsyankin, Yu.P. Efimov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, V.V. Petrov, V. Pantukhin and Y. Masumoto: "Luminescence of HH-excitons in GaAs/GaAlAs superlattices under resonant excitation", 7th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1999) p.412.
7. M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, J.-S. Lee, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto: "Imaging and single dot spectroscopy of InP self-assembled quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 40 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999) p.3.//INVITED PAPER//
8. J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto: "White color electroluminescence of europium silicate thin film", Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).

9. S.V. Nair and Y. Masumoto: "Coulomb effects in the optical spectra of highly excited semiconductor quantum dots", *J. Lumin.* 87-89, 438 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
10. I. Kozin, I. Ignatiev, S. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "LO phonon resonances in photoluminescence spectra of InP self assembled quantum dots in electric field", *J. Lumin.* 87-89, 441 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
11. M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto: "Comparison of energy levels of Mn<sup>2+</sup> in nanosized and bulk-ZnS crystals", *J. Lumin.* 87-89, 472 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
12. I. Ignatiev, I. Kozin, S.V. Nair, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Photo-and electric-current-induced anti-Stokes photoluminescence of InP self assembled quantum dots", Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
13. E. Tskunaga, A.L. Ivanov, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Inverse exciton series for observation of bipolariton coupling", *J. Lumin.* 87-89, 216 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
14. B.-R. Hyun, M. Furuya, K. Takemoto and Y. Masumoto: "Homogeneous line broadening mechanism of quantum dots", *J. Lumin.* 87-89, 302 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
15. M. Ikezawa and Y. Masumoto: "Observation of homogeneous broadening of confined excitons in CuCl quantum dots", *J. Lumin.* 87-89, 482 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
16. K. Takemoto, B.-R. Hyun and Y. Masumoto: "Observation of homogeneous optical spectrum in CdSe quantum dots using femtosecond accumulated photon echo", *J. Lumin.* 87-89, 485 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
17. T. Okuno, A.A. Lipovskii, T. Ogawa, I. Amagai and Y. Masumoto: "Strong confinement of PbSe and PbS quantum dots", *J. Lumin.* 87-89, 491 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
18. A.V. Baranov, S. Yamauchi and Y. Masumoto: "Softening of the LO phonons in excited state of CuCl nanocrystals", *J. Lumin.* 87-89, 500 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
19. A.V. Baranov, V. Davydov, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Phonon-enhanced intraband transitions in InAs self-assembled quantum dots", *J. Lumin.* 87-89, 503 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
20. I.Ya. Gerlovin, Yu.K. Dolgikh, Yu.P. Efimov, S.A. Eliseev, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, Y. Masumoto, V.V. Ovsyankin, V.V. Petrov and V. Pantukhin: "Nonequilibrium luminescence of excitons in the GaAs/GaAlAs superlattices under resonance excitation", Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
21. V. Davydov, I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "'Unusual' temperature behavior of the photoluminescence of the InP and InGaAs quantum dots under quiresonant excitation", *J. Lumin.* 87-89, 522 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
22. J.L. Zhao, M. Ikezawa, A.V. Fedorov and Y. Masumoto: "Shape-dependent confined excitons and acoustic phonons of CuCl nanocrystals embedded in NaCl crystals", *J. Lumin.* 87-89, 525 (2000);



- Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
23. J. Qi, M. Tanaka, J.S. Ahn and Y. Masumoto: "Temperature-dependent luminescence of europium aggregates in NaCl", *J. Lumin.* **87-89**, 1102 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
  24. M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto: "Luminescence properties of Mn<sup>2+</sup> doped into CdS nanocrystals in polymer", Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
  25. Y. Masumoto and S. Ogasawara: "Photostimulated luminescence of quantum dots", *J. Lumin.* **87-89**, 360 (2000); Int. Conf. on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (Osaka, 1999).
  26. M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto: "Fine Splitting in the Optical Spectra of InP Self-Assembled Single Quantum Dot", *Excitonic Processes in Condensed Matter*, ed. R.T. Williams, W.M. Yen (The Electro-chemical Society Proceedings Series, Pennington, NJ, 1998) Proceedings Volume 98-25, p.298.
  27. H. W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Structural and Optical Anisotropy of InP/GaInP Quantum Dots Grown by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy", *Excitonic Processes in Condensed Matter*, ed. R.T. Williams, W.M. Yen (The Electro-chemical Society Proceedings Series, Pennington, NJ, 1998) Proceedings Volume 98-25, p.292.
  28. J.-S. Lee, K. Nishi and Y. Masumoto: "Low-index facets formation in InGaAs islands on GaAs(n11)B substrates", Tenth Int. Conf. on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (Sapporo, 2000).
  29. J.-S. Lee and Y. Masumoto: "Real time monitoring of ellipsometry monolayer oscillations during metalorganic vapor-phase epitaxy", Tenth Int. Conf. on Metalorganic Vapor Phase Epitaxy (Sapporo, 2000).
  30. H.-W. Ren, T. Okuno, K. Nishibayashi, J.-S. Lee, S. Sugou, M. Sugisaki and Y. Masumoto: "Photoluminescence of strain-induced coupled quantum dot pairs", 1999 Electric Materials Conf. (Santa Barbara, 1999).
  31. J.-S. Lee, M. Sugisaki, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Spontaneous one-dimensional lateral alignment of multistacked InGaAs quantum dots on GaAs (n11)B substrates", 9th Int. Conf. Modulated Semiconductor Structures (Fukuoka, 1999).
  32. H.-W. Ren, T. Okuno, K. Nishibayashi, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Confined effect in strain-induced InGaAs/GaAs quantum dots", 9th Int. Conf. Modulated Semiconductor Structures (Fukuoka, 1999).
  33. N. Tsurumachi, M. Arakawa, Y. Nakatsuka, M. Abe, T. Hattori, J. Qi, Y. Masumoto: "Enhancement of nonlinear optical effect in one-dimensional photonic crystals with semiconductor quantum dots", 6th Int. Workshop Femtosecond Technology (Makuhari, 1999).
  34. S.V. Nair, Y. Masumoto: "Multi-exciton states in semiconductor quantum dots", *Optics of Exceptions in Confined Systems 1999* (Ascona, 1999).
  35. J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto: "Electroluminescence from thin films of europium silicates", 8th Int. Symp. Physics and Chemistry of Luminescent Materials (Honolulu, 1999).
  36. M. Tanaka, J. Qi and Y. Masumoto: "Optical properties of undoped and Mn<sup>2+</sup>-doped CdS nanocrystals in polymer", Ninth Int. Conf. II-VI Compounds (Kyoto, 1999).
  37. Y. Kurokawa, S. Nomura, T. Takemori and Y. Aoyagi, "Electronic properties of polysilane calculated with the real-time real-space higher-order finite-difference method", The 5th

- International Conference on Computational Physics (ICCP5), (11-13 Oct. 1999, Kanazawa).
38. Y. Kurokawa, S. Nomura, T. Takemori and Y. Aoyagi, "Electronic properties of polysilane calculated with the real-time real-space higher-order finite-difference method", The 5th International Conference on Computational Physics (ICCP5), (11-13, Oct. 1999, Kanazawa).
  39. Y. Kurokawa, S. Nomura, T. Takemori and Y. Aoyagi, "Fast algorithm for calculating two-photon absorption spectra by real-time real-space higher-order finite-difference method", The 5th International Conference on Computational Physics (ICCP5), (11-13, Oct. 1999, Kanazawa).
  40. S. Nomura, T. Sugano, and Y. Aoyagi, "Peculiar structure in photoluminescence near Fermi-level in n-type modulation doped quantum dot arrays", International conference on luminescence and optical spectroscopy of condensed matter, Osaka, Aug. 23-27, 1999.
  41. S. Nomura, T. Sugano, and Y. Aoyagi, "Bias Voltage Dependent Photoluminescence Near Fermi Level in n-type modulation doped quantum dot arrays", The 13th International Conference on the Electronic Properties of Two-Dimensional Systems, Ottawa, Aug. 1-6, 1999.
  42. S. Nomura, T. Sugano, and Y. Aoyagi, "Temperature dependence of photoluminescence spectra in n-type modulation doped quantum dot arrays", The 9th International Conference on Modulated Semiconductor Structures, Fukuoka, Jul. 12-16, 1999.

<学位論文>

物理学研究科博士論文

1. 池沢道男：“Study of Many Exciton States and Homogeneous Width of Confined Exciton in CuCl Quantum Dots”
2. 佐竹昭泰：“Dynamics of Localized Carriers in III-V Nitride Compound Semiconductors”

理工学研究科修士論文

1. 江里口 雅丈：“テルルにおけるコヒーレントフォノンの研究”
2. 小川 智 康：“PbSe ナノクリスタルの量子閉じ込め効果”
3. 古谷 雅：“低温における CuBr 量子点の蓄積フォトンエコー”

<講演>

1. 松本貴裕、高橋森生、鳥海祐一、戚継発、舛本泰章、越田信義：“ナノ構造シリコン半導体を利用した発光・非線形光学素子” 応用物理学会シリコンテクノロジー分科会第8回研究集会「光るシリコンプロセス・素子技術の新展開」（1999年4月）
2. S.V. Nair, Y. Masumoto：“Electronic structure of strain-induced coupled quantum dots” 日本物理学会（1999年9月）
3. 荒川真理子、中司豊、鶴町徳昭、戚継発、服部利明、舛本泰章、中塚宏樹：“半導体量子ドットを欠陥層とする一次元フォトニッククリスタルの高速時間応答” 日本物理学会（1999年9月）
4. 竹本一矢、舛本泰章：“CdSe 量子点における電子・正孔の緩和ダイナミクス” 日本物理学会（1999年9月）
5. 三品具文、舛本泰章：“グラファイトにおけるコヒーレントフォノンの研究” 日本物理学会（1999年9月）
6. 徳永英司、A.L. イワノフ、セルバクマール、舛本泰章：“励起子逆系列発光による励起子分子波動関数の決定IV” 日本物理学会（1999年9月）
7. 薄倉淳子、鈴木宜之、ナイア セルバクマール、徳永英司、舛本泰章：“確率論的変分法を用いた励起

- 子分子の光学発光強度の計算” 日本物理学会 (1999年9月)
8. 趙家龍、池沢道男、舛本泰章: “CuCl 量子点における励起子状態の微細構造” 日本物理学会 (1999年9月)
  9. I.E. Kozin, I.V. Ignatiev, S.V. Nair, H.-W. Ren, 菅生繁男、舛本泰章: “InP 量子点におけるフォノンボトルネック効果” 日本物理学会 (1999年9月)
  10. 西林一彦、舛本泰章、三品具文、奥野剛史、任紅文、セルバクマール・ナイア、菅生繁男: “InP Stressor により量子井戸に形成される GaAs 量子ドット” 日本物理学会 (1999年9月)
  11. 杉崎満、任紅文、李定植、S.V.ナイア、菅生繁男、奥野剛史、舛本泰章: “自己形成型 InP 量子点における発光の明滅現象” 日本物理学会 (1999年9月)
  12. 徳永英司、舛本泰章: “マルチチャンネルダブルロックインによる単一粒子・2次元分光” 日本物理学会 (1999年9月)
  13. 松本貴裕、舛本泰章、鈴木淳市、大沼正人: “X 線小角散乱および中性子小角散乱を用いた PS の構造評価と光学的性質” 応用物理学会 (1999年9月)
  14. 宮嶋孝夫、佐竹昭泰、日野智公、徳永英司、舛本泰章、池田昌夫: “GaN 膜における貫通転位の振る舞い(3) - 発光再結合寿命の測定 -” 応用物理学会 (1999年9月)
  15. 李定植、菅生繁男、舛本泰章: “MOVPE 成長中のエリプソメトリ信号におけるモノレイヤー振動” 応用物理学会 (1999年9月)
  16. 任紅文、セルバクマール・ナイア、李定植、菅生繁男、舛本泰章: “Electronic coupling in strain-induced InGaAs/GaAs quantum dot-pairs” 応用物理学会 (1999年9月)
  17. 伊東雅史、佐久間康、岡本紘、奥野剛史、舛本泰章: “低温 MBE 成長 GaAs/AlAs MQW における励起子吸収飽和の過渡特性” 応用物理学会 (1999年9月)
  18. 田中正規、戚継発、舛本泰章: “半導体ナノ結晶中の局在中心の発光特性” 蛍光体同学会 (1999年11月)
  19. 杉崎満、任紅文、李定植、ナイア S.V.、西研一、菅生繁男、奥野剛史、舛本泰章: “自己形成型 InP 量子点の顕微イメージと発光スペクトル” 第10回光物性研究会 (1999年11月)
  20. J. Qi, T. Matsumoto, S. Taya, K. Kondo, M. Tanaka and Y. Masumoto: “ユウロピウム珪素酸化物薄膜の電界発光” 日本学術振興会光電相互変換代 28 委員会 EL 分科会第21回研究会 (1999年11月)
  21. 戚継発、郭曉梅、桜井健次、田中正規、原田雅章、舛本泰章: “ZnS ナノ結晶中にドーブされた Mn イオンの局在構造” 日本物理学会 (2000年3月)
  22. 佐竹昭泰、舛本泰章、宮嶋孝夫、朝妻庸紀: “InGaN 多重量子井戸における anti-Stokes フォトルミネセンスとその機構” 日本物理学会 (2000年3月)
  23. I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, H.-W. Ren, 菅生繁男、舛本泰章 “InP 量子ドットにおけるアンチストークス発光” 日本物理学会 (2000年3月)
  24. 徳永英司、A.L. イワノフ、セルバクマールナイア、舛本泰章: “励起子逆系列発光による励起子分子波動関数の決定 V” 日本物理学会 (2000年3月)
  25. ナイアセルバクマール、徳永英司、舛本泰章: “Exciton states in CuCl” 日本物理学会 (2000年3月)
  26. 奥野剛史、A.A. Lipovskii、小川智康、舛本泰章: “PbSe 量子点における緩和時間のサイズ依存性” 日本物理学会 (2000年3月)
  27. 杉崎満、任紅文、李定植、西研一、舛本泰章: “自己形成型 InP 量子点における発光の明滅現象 II” 日本物理学会 (2000年3月)
  28. I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, S.V. Nair, H.-W. Ren, 菅生繁男、舛本泰章: “InP 量子ドットにおけるキャリアの緩和ダイナミクス” 日本物理学会 (2000年3月)
  29. ナイアセルバクマール、舛本泰章: “Multi-exciton states in quantum dots II” 日本物理学会 (2000

年3月)

30. 徳永英司、任紅文、西研一、舛本泰章: “マルチチャンネルダブルロックインによる単一粒子・2次元分光 II” 日本物理学会 (2000年3月)
31. 佐久間康、伊東雅史、岡本紘、奥野剛史、舛本泰章: “Be をドーブした低温 MBE 成長 GaAs 膜及び GaAs/AlAs MQW における吸収飽和の過渡特性” 応用物理学会 (2000年3月)
32. 伊東雅史、早崎裕一、岡本紘、奥野剛史、舛本泰章: “低温 MBE 成長 GaAs/AlAs MQW における励起子吸収飽和の過渡特性(厚い GaAs 膜との比較)” 応用物理学会 (2000年3月)
33. 田中正規、戚継発、舛本泰章: “II-VI族半導体ナノ結晶中の局在中心の発光特性” 応用物理学会 (2000年3月)
34. 佐竹昭泰、舛本泰章、宮嶋孝夫、朝妻庸紀: “InGaN 多重量子井戸における anti-Stokes フォトルミネッセンス” 応用物理学会 (2000年3月)
35. I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, S.V. Nair, H.-W. Ren, 菅生繁男、舛本泰章: “電場下の InP 量子ドットの発光スペクトル(I): キャリアの緩和ダイナミクス” 応用物理学会 (2000年3月)
36. I.V. Ignatiev, I.E. Kozin, S.V. Nair, H.-W. Ren, 菅生繁男、舛本泰章: “電場下の InP 量子ドットの発光スペクトル(II): アンチストークス発光” 応用物理学会 (2000年3月)
37. 野村晋太郎、菅野卓雄、青柳克信: “量子ドット正方格子の最低励起状態近傍発光スペクトル” 日本物理学会分科会 (2000年3月)
38. 野村晋太郎、青柳克信: “n 型量子ドットアレーにおけるフェルミ端異常” 理研シンポジウム第3回コヒーレント科学 (2000年1月)
39. 黒川義元、野村晋太郎、竹森直、青柳克信: "Calculation for linear/non-linear optical response function of large quantum systems by real-time real-space higher-order finite-difference method", RIKEN symposium 'Large scale calculation of electronic states' (1999年11月)
40. 野村晋太郎: “変調ドーブ量子ドットアレーにおけるフェルミ端異常” 物性研究所研究会シリーズ「物性研究の展望」(1999年10月)
41. 野村晋太郎、菅野卓雄、青柳克信: “量子ドット正方格子のフェルミ面近傍発光スペクトル III” 日本物理学会年会 (1999年9月)
42. 野村晋太郎、菅野卓雄、青柳克信: “量子ドット横方向格子構造の発光測定 II” 第61回応用物理学会 (1999年9月)
43. 野村晋太郎: “アモルファス中シリコン微結晶のモデル化、電子状態密度、光吸収スペクトルに関する研究” 第5回原子スケールサイエンジニアリング研究会 (1999年5月)
44. 野村晋太郎、飯高敏晃、趙新為、菅野卓雄、青柳克信: “アモルファス中シリコン微結晶の量子サイズ効果” 応用物理学会分科会シリコンテクノロジー「光るシリコン・プロセス・素子技術の新展開」(1999年4月)