

VII 2 半導体物性グループ

教授 舛本泰章
 講師 三品具文
 助手 鈴木隆司
 助手 奥野剛史

ベンチャービジネスラボラトリー研究員 E.ナズウァノウァ
 大学院生 (13名)

【1】半導体におけるフェムト秒コヒーレント分光 (三品具文、舛本泰章)

<グラファイト格子振動のフェムト秒光パルス列によるコヒーレント制御> (三品具文、舛本泰章)

フェムト秒光パルス列を用いると、特定のフォノンモードを選択的に励起することが可能となり、フォノンの振動数や寿命の精密測定や非線型な格子力学の研究など、様々な応用が期待される。今回、フェムト秒光パルス列を用いた、グラファイトの格子振動のコヒーレント制御を試みた。

グラファイトで 42cm^{-1} (振動周期 $T=0.78$ ピコ秒) に現れるラマン活性なフォノンモードは E_{2g} の既約表現で、この表現に属する固有モードは、その対称性により、直交する偏光の光励起に対して逆位相の変位を生ずる。従って、x 偏光と y 偏光のパルスを交互に照射することにより、フォノンを双方向の駆動で増幅することが可能となる。実験では、サンプルとしては HOPG を使い、また光源は中心波長及び時間幅が 790nm と 130fs のモード同期レーザー光を使用した。図 1 は、x 偏光と y 偏光の光パルスを時間間隔 τ で交互に発生させた模式図と、このような 8 発パルスシーケンス (励起強度は 1 パルスあたり $34\mu\text{J}/\text{cm}^2$) を時間間隔 $\tau=T$ でグラファイトに照射して測定した $\pi-\pi^*$ 遷移の吸収飽和の時間微分信号である。図 2 は、同様な 16 発パルスシーケンスを発生し、その時間間隔 τ をフォノン周期 T のそれぞれ $1/2$ 、 1 、 $3/2$ 倍に可変した時のコヒーレントフォノン信号である。半周期の奇数倍で増幅、偶数倍でキャンセルされているのがわかる。

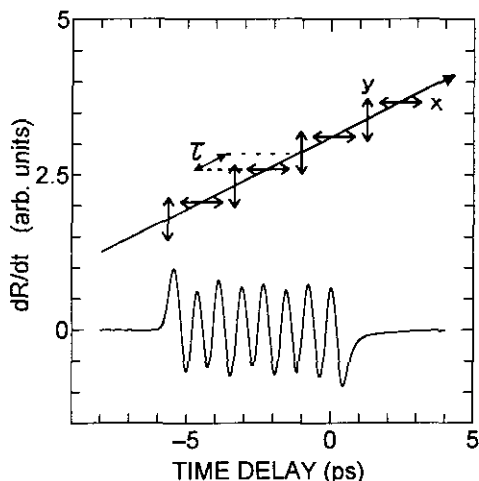


図 1

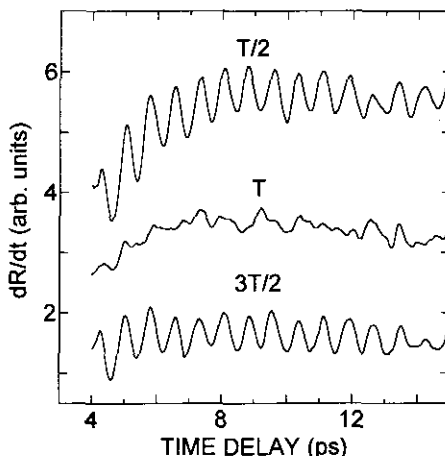


図 2

このように、偏光自由度を持つフェムト秒光パルス列による、格子振動のコヒーレント制御が実現された。

< グラファイトにおけるコヒーレント・フォノンの研究 > (新田一樹、三品具文、舛本泰章)

グラファイトは炭素六員環によって形成された平面が層状に重なる擬二次元的な結晶構造をもった興味深い物質である。グラファイトの層間のずれ変位に対応する振動周期 0.76ps 波数 43.6cm^{-1} の E_{2g} モードのコヒーレント・フォノンの観測を行っているが、その偏光依存性ならびに励起強度依存性を詳細に調べた。

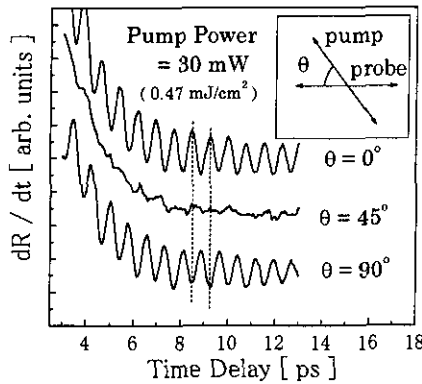


図 3

図 3 は、ポンプ光とプローブ光の間の偏光角度 θ に対する、コヒーレントフォノン信号の変化を測定した結果である。 θ が 0 度と 90 度のときにはコヒーレント・フォノンの振幅が最大となり、 θ が 45 度のときには信号が消失した。さらに θ が 0 度と 90 度のときには振動の位相が反転している。この結果は、コヒーレントフォノン信号がレイリー散乱光とラマン散乱光との干渉によって検出されていると考えれば、ラマンテンソルの対称性により説明することが分かった。

また、さらに励起強度依存性を調べたところ、コヒーレント・フォノンの振動振幅と、時間原点付近に現れる電子系の吸収飽和に起因する反射率の減少

の大きさが、同じ飽和特性を示すことが分かった。これは、コヒーレント・フォノンが、電子系の実励起により生成されてことを示している。

< テルルにおけるコヒーレントフォノンの測定 > (江里口雅丈、三品具文、舛本泰章)

半金属であるテルル単結晶でコヒーレントフォノンの性質を調べている。テルルのコヒーレントフォノン信号の励起強度依存性を図 3 に示す。そのフーリエ変換から励起強度を上げて行くと周波数が低くなりスペクトル幅が広がっていくことが明らかにされた。

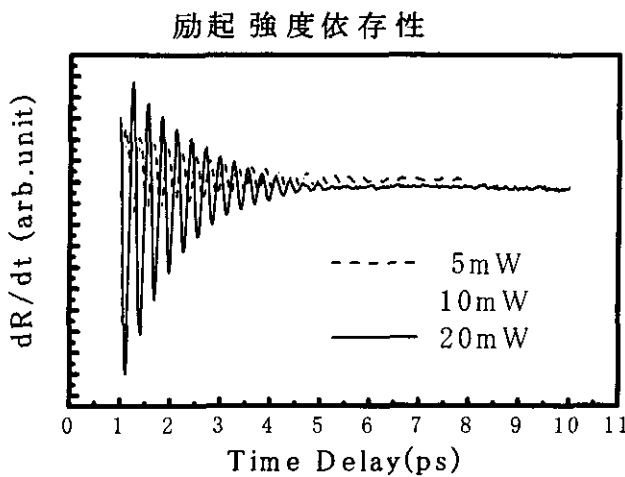


図 4 テルルにおけるコヒーレントフォノン振動

【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 多重量子井戸における励起子のダイナミクス> (佐竹昭泰、舛本泰章)

InGaN 多重量子井戸を用いた青紫色半導体レーザの開発が盛んに行われている。InGaN 多重量子井戸における発光機構について、局在状態からの発光の可能性が指摘されているがレーザ発振機構の解明等、発光機構に関して未だはつきりと理解されておらず、最大の研究課題である。そこで、キャリアのダイナミクスという観点から InGaN 多重量子井戸構造の研究を行った。

InGaN 多重量子井戸からの発光の時間分解測定やサブピコ秒の白色光パルスをプローブ用いたポンプ-プローブ分光を行い、励起子のダイナミクスを調べた。試料はサファイア基板上に成長されたもので、活性層には $\text{In}_{0.11}\text{Ga}_{0.89}\text{N}(2\text{nm})/\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}(4\text{nm})$ 25 周期からなる多重量子井戸を用いている。低温において、励起密度が誘導放出を起こす閾値より低いとき、励起子のほとんどは局在状態に存在し、閾値より高いときには、局在状態が飽和し非局在状態にも励起子が存在した。このとき、誘導放出光は局在状態の状態数が最も多い光子エネルギー位置で起こり、そのキャリアの供給は、非局在状態からされているというモデルで説明してきた。図 5 (a) は室温における吸収スペクトルおよび発光スペクトルを示している。室温において誘導放出光が観測でき、その時間応答は 30ps 以内の速い応答を示した。図 5 (b), (c) は、白色光パルスをプローブ用いたポンプ-プローブ分光で得られた差分吸収スペクトルで、吸収の減少を示している。これら室温での結果は、低温で得られた結果と同様なもので、室温においても低温と同じ物理機構で誘導放出が起きていることがわかった。

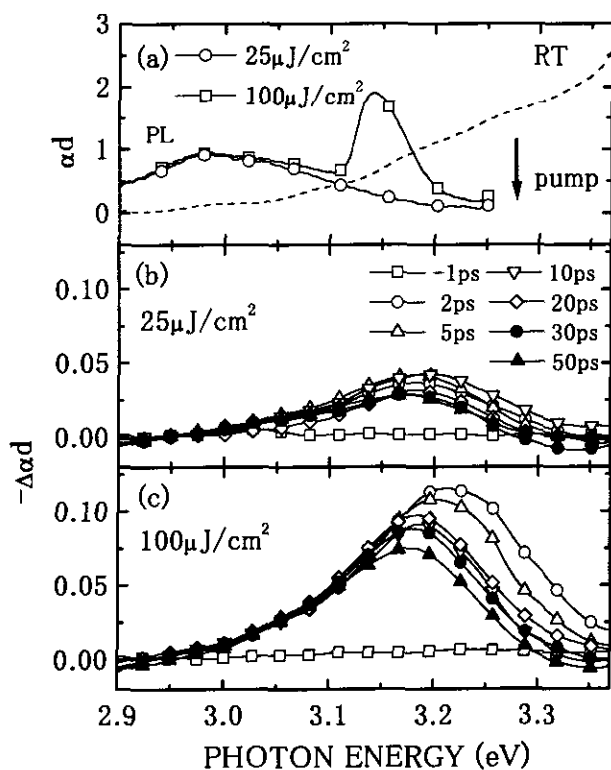


図 5 (a) InGaN MQWs における吸収スペクトル (破線) および発光スペクトル。温度は室温。(b) 白色光パルスをプローブ用いたポンプ-プローブ分光で得られた差分吸収スペクトル。ポンプ光の励起密度は $25 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 。(c) ポンプ光の励起密度は $100 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 。

【3】半導体量子点の光物性 (舛本泰章、奥野剛史)

<CuCl 量子点の蓄積フォトンエコー> (池沢道男)

半導体量子点に関する均一幅、位相緩和の研究が最近行われるようになってきた。半導体中の励起子の位相緩和メカニズムとして、バルク結晶では低温において音響フォノン散乱が支配的であると考えられているが、半導体量子点では音響フォノンに対する閉じこめ効果のためにモードが離散化する事が報告されており、それを反映して励起子の位相緩和に関してバルクとは異なった現象が見られることが期待される。

高感度で位相緩和時間の測定が可能な蓄積フォトンエコーの方法を用いて、CuCl 量子点における Z_3 励起子の位相緩和時間の温度依存性の測定を行った。また、低温領域で位相緩和に寄与する過程を調べるために、ヘリウム3を用いたクライオスタットを作製し、1K以下の温度領域についても調べた。

図6にその結果を示す。横軸は温度、縦軸は位相緩和時間の逆数に比例する均一幅をとってある。白丸と黒丸はそれぞれガラスとNaClをマトリクスとするサンプルについての結果を示す。均一幅の値はこれまでホールバーニングなどによって測定されていた値よりもずっと狭く、低温では一桁以上小さい。また均一幅の温度依存性は、特に5K以下の低温領域でマトリクス依存性が顕著であることが分かる。それより高温領域では、閉じこめられた音響フォノンが主に位相緩和に寄与していると考えられ、マトリクスによる違いはほとんどない。これより低温領域での温度依存性は別のメカニズムが支配していると考えられた。その領域ではマトリクス依存性が顕著であることから、有力な候補として、マトリクス中に存在する TLS(Two level system)が考えられる。実際に TLS に適当なエネルギー分布を仮定することにより図中の実線のように実験結果を説明することが出来た。

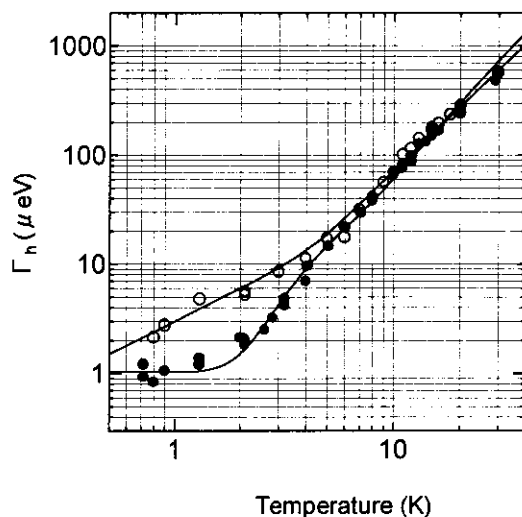


図6 CuCl 量子点中の励起子の均一幅

<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、竹本一矢、古谷 雅、舛本 泰章)

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。ヘテロダイン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(50K以下)での均一幅の温度依存性について調べた。

図7は異なる平均粒径の CuBr 量子点における励起子の均一幅の温度変化の測定結果とそれをフィッティングした結果を示す。平均粒径が大きい場合(6.5 nm)、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 ($\Gamma_h = \Gamma_{h0} + AT$) を示しており、フィッティングから得られた線形依存性係数(16meV/K)は理論計算の結果(11meV/K)とほぼ一致する。従って、その均一幅広がりメカニズムは励起子と音響フォノン相互作用である。しかし、6.5 nmより小さい平均粒径を持つサンプルには新しい温度依存性 ($\Gamma_h = \Gamma_{h0} + BT^{1.3}$) 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。

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、平均粒径が小さくなると、量子点の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いつそう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 ($\Gamma_h \propto T^{-3}$) が説明できる。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、小さい平均粒径を持つ半導体量子点は色素分子などと同様に振る舞うと考えられる。

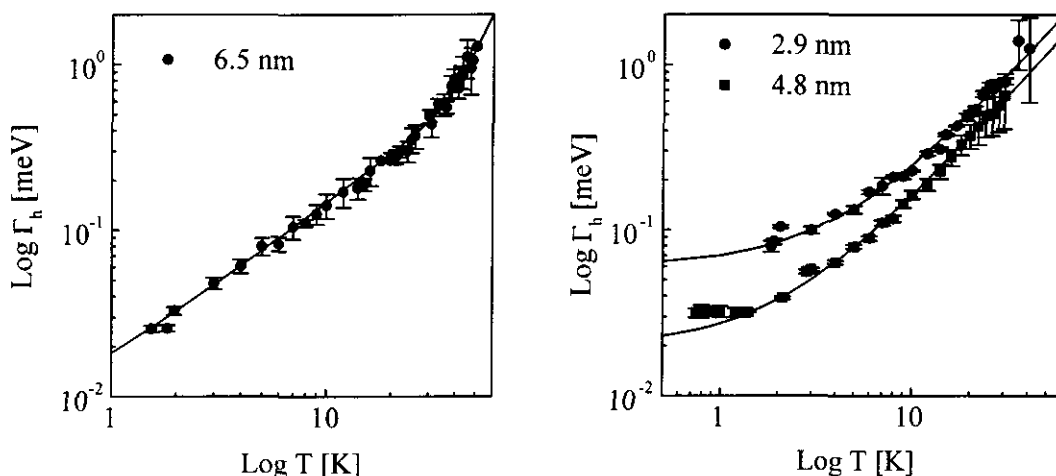


図7 CuBr 量子点における励起子の均一幅の温度依存性

<CdSe 量子点における蓄積フォトンエコー> (竹本一矢、玄柄律、舛本泰章)

ヘテロダイナミクス蓄積フォトンエコー法をにより、弱励起の極限で時間領域から系の均一幅を調べることができる。ガラス中の CdSe 量子点 (平均粒径 3.6nm) を用いて蓄積フォトンエコーの温度依存性を調べ、位相緩和曲線が 2 成分の指数減少関数の線形結合 $a_f \exp(-t/\tau_f) + a_s \exp(-t/\tau_s)$ で表されることを見出した。これによると、2K における速い成分、遅い成分の時定数はそれぞれ $\tau_f=270\text{fs}$, $\tau_s=3.8\text{ps}$ となり、これらはスペクトル領域で 2.4meV, 0.17meV に相当する。

図 8 (a) は APE の遅い decay より導き出した零フォノン線の線幅で、温度に対して線形依存を示す。これは量子点中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を仮定した理論で説明される。温度 $T=0\text{[K]}$ に外挿された零フォノン線の幅 $\sim 0.1\text{meV}$ は、ガラス中の CdSe 量子点において以前観測された値よりも 1 桁狭く、単一量子点分光で報告されている結果と同等の値を示す。速い成分の寄与 $[a_s / (a_f + a_s)]^{1/2}$ は

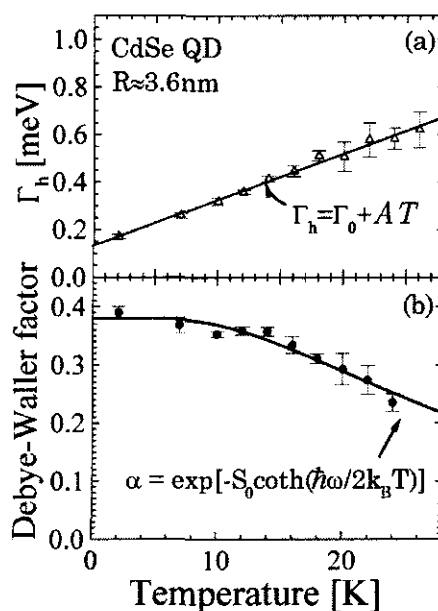


図 8

Debye-Waller 因子 α を表すが、図 8 (b) はこれを温度にたいしプロットしたものである。実線は一

次の電子-格子相互作用を仮定した理論式 $\alpha = [-S_0 \coth(\hbar\omega/2k_B T)]$ により、パラメータ $S_0 = 0.97$ 、フォノンエネルギー $\hbar\omega = 3.7 \text{ meV}$ に対してよくフィッティングされる。このことは、速い成分が音響フォノンサイドバンドによるものであるという仮定を裏付けている。

<CuCl 量子ドットに閉じ込め音響フォノンのサイズ依存性> (Zhao Jialong、舛本泰章)

量子ドット中に閉じ込め音響フォノンは電子や励起子のエネルギー緩和と位相緩和過程に非常に重要なのでこの音響フォノンについての研究が注目されている。そのため永続的ホールバーニング分光を用い、ガラス、NaCl と KCl 中に CuCl ドットの音響フォノンのサイズ依存性 (図9) を調べた。図9にフォノンのサイズ依存性をそれぞれ弾性球と弾性立方体の振動理論に基づく計算結果を示す。ガラスや KCl 中に CuCl ドットの音響フォノンは自由境界条件を持つ球の最低振動周波数と一致したが NaCl 中に CuCl ドットの音響フォノンはほぼ立方体の最低振動周波数と近付いた。これから、ガラスと KCl 中に CuCl ドットの形状が球で表面が自由だと考えられ、NaCl 中に CuCl ドットは立方体で表面がマトリックスとの相互作用を持ってから strained だと考えられた。更に NaCl 中の CuCl ドットの音響フォノンはエネルギーが下がることが分かった。この研究は量子ドット中に閉じ込め音響フォノンは量子ドットのサイズだけを依存することではなく量子ドットの形状と境界条件を強く依存することを示している。

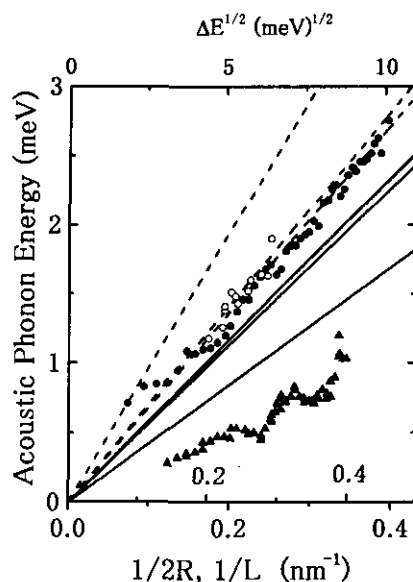


図9 ガラス(●)、KCl(O)とNaCl(▲)中のCuCl量子ドットの音響フォノンのサイズ依存性である。破線は球の最低振動モードで実線は立方体の最低振動モードである。

<CuCl 量子点の輝尽性発光現象> (舛本泰章、小笠原清太郎)

NaCl 結晶中の CuCl 量子点を用いて半導体量子点において初めて輝尽性発光現象を発見した。輝尽発光現象は長波長の光を照射した際、短波長光を発光する現象で、アンチストークス発光ともいえるが、事前に短波長光で媒質を照射することでエネルギーを蓄積していることを前提にしているのが特徴である。励起光・輝尽励起光の強度依存性、励起光を入れてから輝尽励起光を照射するまでの時間間隔依存性、及び温度依存性を測定した。それらの結果は、ホールバーニング現象と類似したものとなり、輝尽発光とホールバーニングは同様のキャリアのトラップ機構が働いているものと結論される。輝尽発光の輝尽励起波長依存性を測定し、トラップ準位にあるキャリアが再発光するために必要なエネルギーの分布は、2.45eV 付近に半値全幅 0.53eV 程度のガウス分布をしていると結論された。

<CuCl 量子点の二光子分光> (山内掌吾、舛本泰章)

1 光子励起とは選択則の異なる粒径選択 2 光子励起により CuCl 量子点で、以下の二つの研究を行った。

1) Z_3 励起子 1S 状態の微細量子準位構造

励起光の2倍のエネルギーに観測される共鳴発光ピークについて、高分解能測定をすると、2つの構造から成っており、LO 散乱にも同様のレプリカが観測された。この構造はこれまで、励起子-

ポーラロン、閉じ込め音響フォノンとして議論されてきたが、ダブルピーク間のシフト量が粒径の3乗の逆数に比例する事から、スピン-軌道相互作用によるクラマース縮退分離効果の量子点閉じ込めによる出現として理解できる事を示した。

2) キャリア蓄積による2光子励起信号の変化

1光子励起によってキャリアを生成させながら、2光子励起による信号を観測すると、共鳴発光強度が著しく減少する効果が見られた。この減少は温度を上げると元に戻ることから母体マトリックス中へのキャリア蓄積による量子点の光イオン化によるものと考えられる。加えて、同様の機構による永続的ホールバーニングと比較すると、ホールが消失した後にも係わらず、励起波長を変えながら共鳴発光のプロファイルを測定した際に1光子励起したエネルギー位置に強度減少が観測されることから、2光子励起は1光子励起よりも光イオン化による電場に敏感であると推測される。

<PbSe, PbS 量子点における光スペクトル> (奥野剛史、A. A. Lipovskii、雨貝勇、小川智康、舛本泰章)

IV-VI 族半導体である PbSe, PbS は、励起子のボーア半径が他の半導体と比べて大きく、量子点にした場合、強い閉じ込めを受ける系として典型的である。研究例の少ない PbSe, PbS 量子点を作製し、その光学特性について研究した。

図 10 は、今回作製したリン酸ガラス中に成長させた PbSe 量子点の、室温における吸収スペクトルである。リン酸ガラスを用いることにより、1150°C という低い温度で PbSe 入りのガラスを準備することが可能となり、PbSe の蒸発を低減することができた。急冷してできた透明な試料を、400 から 450°C でアニールすることにより、明瞭な励起子吸収ピークをもつ、サイズ分布の小さい PbSe 量子点試料を作製することができた。図のように、吸収のピーク波長は 820nm から 1750nm の領域で制御することができたが、これは、理論計算によると、平均粒径としては直径で 4.1nm から 7.5nm に対応する。また、同様にして、PbS 量子点に関しては、600nm から 2400nm の領域に吸収ピーク波長をもつ、粒径としては 2nm から 10nm の範囲で平均粒径の異なる試料を作製することができた。

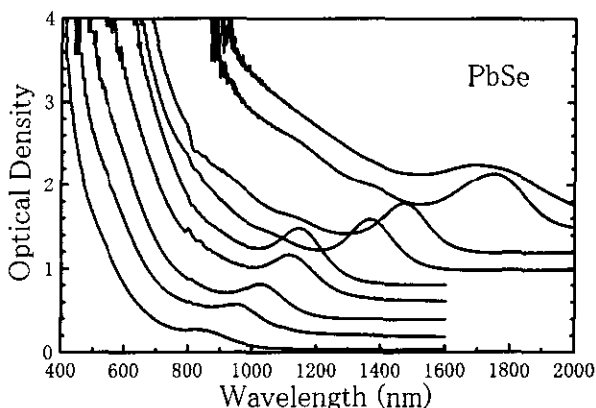


図 10 リン酸ガラス中 PbSe 量子点における吸収スペクトル (室温)。

820nm に吸収ピークをもつ PbSe 量子点において、Ti:Al₂O₃ レーザーを用いてポンププローブ分光をおこなうと、エネルギー緩和時間が 3ps と測定された。これは、ストークスシフトをもった発光帯へ緩和していく時間だと考えられる。ガラス中の半導体量子点試料におけるエネルギー緩和時間としては、数十 ps から数百 ps の値がしばしば報告されており、それよりも一桁以上は早い。ボーア半径が大きい、すなわち、界面にある発光準位における励起子の波動関数の振幅が大きいため、遷移確率が大きくなっているのだと考えられる。

<InP 量子点における発光寿命の温度変化> (奥野剛史、舛本泰章)

分子線エピタキシー法や有機金属気相成長法などを用いた自己形成型半導体量子「点」は、良質の小さな半導体微粒子を作製しうするため、とくに注目を集めている。このような量子「点」の形状は、一般には厚さの薄いディスク形状をしており、0次元の量子点としての性質をもっているのか、

2次元の量子井戸としての性質をもっているのか、明らかではない。そこで、これを明らかにするために、堆積量以外は同じ条件で作製した自己形成型量子ディスクと量子井戸において、発光寿命の温度依存性を測定した。

試料は、 $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 中の InP を用いた。 InP を1原子層堆積させたものは量子井戸で、2, 3, あるいは4原子層堆積させたものは量子ディスクとなっており、これらの結果を比較した。典型的な量子ディスクの大きさは、直径が約70nm、高さは約7nmである。

量子井戸の試料においては、4Kから40Kの間で、発光寿命は500psから900psへと線形的に増大しており、これは、2次元の量子井戸の特徴的なふるまいである。これに対して、量子ディスクの試料においては、40K以下で400psのほぼ一定となっており、0次元の量子点の特徴を示している。そして、40Kから120Kの間では、400psから1400psへと線形的に増大している。すなわち、このサイズの量子ディスクにおいては、40K以下にて0次元的ふるまいを示し、40K以上では2次元的ふるまいを示すという、両者の中間的な性質をあわせもっていることが明らかになった。

<Study of electronic energy levels in InGaAs self-assembled quantum dots grown on GaAs(311)B> (E. Nazvanova, T. Okuno, Y. Masumoto, K. Akahane*, S. Lan*, Y. Okada*, M. Kawabe*) *Institute of Materials Science, University of Tsukuba,

The self-assembled InGaAs quantum dots (QDs) grown by Hydrogen-assisted MBE on GaAs(311)B substrate at different substrate temperatures were studied at Helium temperatures.

The thickness of $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ was 8.8 monolayers, and the average QDs sizes and density for the samples grown at different temperatures were 20-30 nm and $1.4 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ in case of substrate at 460C; 30-40 nm and $8.0 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ at 480C; and 50-60 nm and $3.3 \times 10^{10}/\text{cm}^2$ at 500C. At lower growth temperatures the QDs became smaller in size and increasingly highly-packed without coalescence, therefore the expected quantum confinement and lateral optical coupling should be larger for 460C-grown samples.

Photoluminescence excitation (PLE) spectroscopy was expected to reveal excited-state transitions and the size dependence of the dots coupling. The photoluminescence (PL) spectra of all the studied samples exhibit very strong QDs bands at 1.30-1.32 eV (940-950 nm). To clarify the energy levels and to estimate a coupling between the dots, the measurements of the PLE spectra of QDs in a wide range including quasi-resonant excitation at 1.26-1.47 eV (842nm - 982nm) were conducted. PLE spectra were detected at 935nm, 940nm and 945 nm. For the samples grown at 480 and 500K, PLE did not reveal any structure in the range 900-940 nm, although for the sample grown at 460K there was a discrepancy between the spectra registered at 935 nm and 940 nm, and it might be a structure in the vicinity of 900 nm. We considered that behavior as a first sign of the possible coupling between the dots in the sample. To confirm this idea and obtain the structure more distinctively, the measurements must be continued in the excitation range 850-950 nm.

<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)

半導体表面に自己形成型量子ドット (Self Assembled Dots : SAD) を成長させると、表面付近の量子井戸に歪みが伝わり、SAD の直下では伸張、端の下部では圧縮される。その結果、量子井戸層内には三次元閉じ込め効果が生じて擬似ドットが形成される。この様なドットに対してその発光の励起スペクトルを

測定することで擬似ドットの吸収を調べた。試料は GaAs/AlGaAs 量子井戸構造の表面に Stressor として InP を成長させたものを用いた。

図 11 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(PLE)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。次に、ドットのエネルギー準位の間隔に対して今回の PLE 測定で得た結果を使って発光スペクトルの再構成を行った(図 12)。その結果、非常によく発光測定の結果を再現する事が明らかにされた。

PLE 測定はエネルギー準位を選択的に共鳴励起して、検出しているのと同じ大きさのエネルギーをもつ準位からの発光スペクトルを測定する。このため、より純粋に準位間のエネルギー間隔の大きさを調べる事が出来ると考えられる。その理由から擬似量子ドットのエネルギー間隔を求めるのに発光の励起スペクトルを測定することは、発光スペクトルをガウシアンでフィッティングを行うよりも有効であるということがいえる。

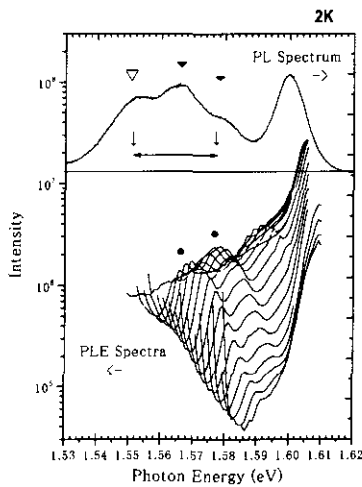


図 11 GaAs 擬似ドットの発光スペクトル(上)と励起スペクトル(下)

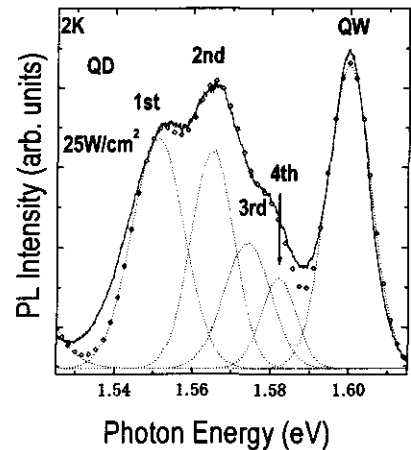


図 12 発光スペクトルの再構成

【4】 ^{151}Eu のメスバウアー効果と ^{23}Na 核磁気共鳴の多重エコー出現機構の解明 (鈴木 隆司)

(1) Ba(Eu)FBr, Li₂B₄O₇(Eu) 及び EuPdIn 等の試料について、 ^{151}Eu のメスバウアー効果の測定を行った。特に Ba(Eu)FBr については、新たに試料作成を行い測定した。この物質は放射線や光りにより Eu^{2+} と Eu^{3+} に相互に遷移することが知られており、それ等の原子状態を直接メスバウアー効果で観測する事を試みた。Eu が微量であるに拘らず、 Eu^{3+} の吸収スペクトルが観測出来た。 Eu^{2+} は観測されていないので、試料作成に改良を加えている。

(2) 昨年度我々が観測した ^{23}Na 核の磁場こう配中での多重スピンエコーについてその出現機構を調べた。その結果磁場こう配の効果や、エコーの強度変化についても明確に説明された。しかしその τ_2 依存性は全てが解明された訳ではなく、部分的課題は残っている。

<論文>

1. Y. Masumoto, T. Kawazoe and N. Matsuura: "Exciton-confined-phonon interaction in quantum dots", *J. Lumin.* **76&77**, 189 (1998).
2. T. Mishina, Y. Iwazaki, Y. Masumoto and M. Nakayama: "Coherent dynamics of zone-folded acoustic phonon in GaAs/AlAs superlattices", *J. Lumin.* **76&77**, 564 (1998).
3. Y. Masumoto and M. Ikezawa: "Electron-Hole Plasma and its Pulsation Luminescence in CuBr", *Solid State Commun.* **105**, 151 (1998).
4. S. Kuroda, Y. Terai, K. Takita, T. Okuno and Y. Masumoto: "Self-organized quantum dots of zinc-blende MnTe grown by molecular beam epitaxy", *J. Crys. Growth* **184/185**, 274 (1998).
5. T. Okuno, H.-W. Ren, M. Sugisaki, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto: "Time-resolved luminescence of InP quantum dots in a $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ matrix: Carrier injection from the matrix", *Phys. Rev. B* **57**, 1386 (1998).
6. T. Okuno, H.-W. Ren, M. Sugisaki, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto: "Time-Resolved Luminescence Study of InP Quantum Dots in GaInP Matrix", *Solid-State Electronics* **42**, 1319 (1998).
7. M. Sugisaki, H.-W. Ren, S. Sugou, K. Nishi and Y. Masumoto: "Sharp Photoluminescence Lines of InAs Quantum Dot Embedded in GaAs Mesa", *Solid-State Electronics* **42**, 1325 (1998).
8. A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma, F. Nakamura and M. Ikeda: "Localized exciton and its stimulated emission in surface mode from single-layer $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ", *Phys. Rev. B* **57**, R2041 (1998).
9. T. Mishina, Y. Iwazaki, Y. Masumoto and M. Nakayama: "Real Time-Sapce Dynamics of Zone-Folded Phonons in GaAs/AlAs Superlattices", *Solid State Commun.* **107**, 281 (1998).
10. L. Zimin, S.V. Nair and Y. Masumoto: "LO Phonon Renormalization in Optically Excited CuCl Nanocrystals", *Phys. Rev. Lett.* **80**, 3105 (1998).
11. A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and M. Ikeda: "Localized Exciton and Its Stimulated Emission in InGaN Multiple Quantum Wells", *J. Crys. Growth*, **189/190**, 601 (1998).
12. H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto: "Size Quantization in InAs/GaAs Self-Assembled Quantum Dots Grown by Gas-Source Molecular Beam Epitaxy", *Jap. J. Appl. Phys.* **37**, 1548 (1998).
13. T. Matsumoto, M. Kondo, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Inverted Staebler-Wronski effect in nanocrystalline silicon", *J. Non-Crystalline Solids* **227-230**, 320 (1998).
14. K. Prabhakaran, T. Matsumoto, T. Ogino and Y. Masumoto: "Fabrication of multiperiod Si/SiO₂/Ge layered structure through chemical bond manipulation", *Appl. Phys. Lett.* **72**, 3169 (1998).
15. H.-W. Ren, M. Sugisaki, S. Sugou, K. Nishi and Y. Masumoto: "Indium Segregation and its Influence to the Quantum Structures of InAs/GaAs Self-assembles Quantum Dots", *J. Surface Analysis* **4**, 350 (1998).
16. Y. Terai, S. Kuroda, K. Takita, T. Okuno and Y. Masumoto: "Zero-dimensional excitonic properties of self-organized quantum dots of CdTe grown by molecular beam epitaxy", *Appl. Phys. Lett.* **73**, 3757 (1998).
17. M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto: "Optical anisotropy in self-assembled InP quantum dots", *Phys. Rev. B* **59**, R5300 (1999).
18. T. Matsumoto, H. Mimura, N. Koshida and Y. Masumoto: "The density of states in silicon nanostructures determined by space-charge-limited current measurements", *J. Appl. Phys.* **84**, 6157 (1998).
19. J.-S. Lee, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: " $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ quantum dot intermixing and evaporation in GaAs capping layer growth", *J. Appl. Phys.* **84**, 6686 (1998).
20. J. Qi, T. Matsumoto, M. Tanaka and Y. Masumoto: "Electroluminescence of europium silicate thin film on silicon", to be published in *Appl. Phys. Lett.*

21. M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto: "Magnetic field effects in InP self-assembled quantum dots", *Physica B* **256-258**, 169 (1998).
22. H.-W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee S. Sugou and Y. Masumoto: "Highly Uniform and Small InP/GaInP Self-Assembled Quantum Dots Grown by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy", *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, 507 (1999).
23. T. Matsumoto, H. Mimura, N. Koshida and Y. Masumoto: "Deep-Level Energy States in Nanostructural Porous Silicon", *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, 539 (1999).
24. J. Zhao and Y. Masumoto: "Size dependence of confined acoustic phonons in CuCl nanocrystals", to be published in *Phys. Rev. B*.
25. Y. Masumoto and S. Ogasawara: "Photostimulated luminescence of CuCl quantum dots in NaCl crystals", *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, L623 (1999).
26. E. Tokunaga, A.L. Ivanov, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Inverse exciton series in the optical decay of an excitonic molecule", *Phys. Rev. B* **59**, R7837 (1999).
27. T. Matsumoto, J. Qi, Y. Masumoto, H. Mimura and N. Koshida: "Determination of localized states in porous silicon", *J. Lumin.* **80**, 203 (1999).
28. 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", to be published in *Jap. J. Appl. Phys.*
29. N. Okubo, T. Suzuki, T. Aoki: "Quasi-multiple spin echoes in a large magnetic field gradient", *Physics Letter A* **248**, 463-467 (1998)

< 著書 >

Y. Masumoto: "Luminescence of low-dimensional systems", in *Phosphor Handbook* ed. S. Shionoya and W.M. Yen, p.71 (CRC Press, 1998).

< 国際会議 >

1. S. Kuroda, Y. Terai, K. Takita, T. Okuno and Y. Masumoto: "Excitonic Luminescence from Self-Organized Quantum Dots of CdTe Grown by Molecular Beam Epitaxy", *Proc. SSDM'98 (Hiroshima, 1998)*, *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, 2524 (1999).
2. Y. Masumoto, V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren and S. Sugou: "Observation of Franz-Keldysh Oscillations in InP Self-Assembled Quantum Dot Systems", Presented at 1998 Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (May-June 1998, Sapporo); *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, 563 (1999).
3. Y. Masumoto: "Persistent Spectral-Hole-Burning in Semiconductor Quantum Dots and its Application to Spectroscopy", Presented at 1998 Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (May-June 1998, Sapporo); *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, 570 (1999). //INVITED PAPER//
4. S.V. Nair and Y. Masumoto: "Exciton-Phonon Interaction and Phonon Frequency Renormalization in Semiconductor Quantum Dots", Presented at 1998 Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (May-June 1998, Sapporo); *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, 581 (1999).
5. T. Matsumoto, G. Arata, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Effect of Surface Termination on the Electronic States in Nanocrystalline Porous Silicon", Presented at 1998 Int. Symp. on Formation, Physics and Device Application of Quantum Dot Structures (May-June 1998, Sapporo); *Jap. J. Appl. Phys.* **38**, 589 (1999).

6. Y. Masumoto and M. Ikezawa: "Control of the Quantum Dot Energy by a Photon: Observation of Two-Exciton and Three-Exciton State in Quantum Dots", Ioffe Institute 6th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1998) p.183.
7. V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Giant Optical Nonlinearity of Heterostructures with InP Self-Assembled Quantum Dots", Ioffe Institute 6th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1998) p.200.
8. V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Observation of Internal Electric Charge in InP Self-Assembled Quantum Dots", Ioffe Institute 6th Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology" (St. Petersburg, 1998) p.218.
9. A. Satake, Y. Masumoto, T. Miyajima, T. Asatsuma and M. Ikeda: "Dynamical Gain Formation Processes in InGaN Multiple Quantum Wells", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Fr1-C6.
10. T. Mishina, K. Nitta and Y. Masumoto: "Time-Resolved Observation of Coherent Phonons in Graphite", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Mo1-A4.
11. M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugo, T. Okuno and Y. Masumoto: "Anisotropic Radiative Decay of InP Self-Assembled Quantum Dots", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Mo-P147.
12. T. Matsumoto, H. Mimura, N. Koshida, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Deep Level Energy States in Nanocrystalline Silicon Determined by Space-Charge-Limited-Current Measurements", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Mo-P154.
13. H.-W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "MOVPE Growth of Small and Uniform InP/GaInP Quantum Dots", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Mo-P35.
14. Y. Masumoto, K. Takemoto, T. Shoji and B.-R. Hyun: "Homogeneous Optical Spectrum of CdSe Quantum Dots Observed by Accumulated Photon Echo", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Th2-C5.
15. M. Ikezawa and Y. Masumoto: "Extremely-Narrow Linewidth of the Confined Excitons in CuCl Quantum Dots", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Th2-C7.
16. S.V. Nair, L. Zimin and Y. Masumoto: "Exciton-Phonon Interaction and Phonon Frequency Shift in Quantum Dots", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Th-P125.
17. B.-R. Hyun, K. Takemoto and Y. Masumoto: "Anomalous Temperature Dependence of the Homogeneous Width of CuBr Quantum Dots", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Th-P127.
18. I. Ignat'ev, V. Davydov, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Franz-Keldysh Oscillations in Pump-Probe Spectra of InP Self-Assembled Quantum Dots", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Tu-P117.
19. V. Davydov, I. Ignat'ev, H.-W. Ren, S. Sugou and Y. Masumoto: "Giant Optical Nonlinearity of Heterostructures with InP Self-Assembled Quantum Dots", to be published in Proc. 24th Int. Conf. Physics of Semiconductors (Jerusalem, 1998) Tu-P154.
20. T. Matsumoto, M. Kondo and Y. Masumoto: "Reduction of neutral dangling bond density by light soaking in nanocrystalline silicon", 1998 Material Research Society Spring Meeting, San Francisco, USA, 1998-04.

21. T. Matsumoto and Y. Masumoto: "Electroluminescence from deuterium terminated porous silicon", Int. Workshop on the Deuterium and Isotope Effects in Semiconductors, Urbana, USA, 1998-04.
22. T. Okuno, H.-W. Ren, M. Sugisaki, K. Nishi, S. Sugou and Y. Masumoto: "Temperature Dependence of Luminescence Decay Time of InP Quantum Disks", Jap. J. Appl. Phys. **38**, 1094 (1999); Proc. 10th Int. Conf. on InP and related Materials, (Tsukuba, 1998).
23. T. Matsumoto, H. Mimura, S.V. Nair, N. Koshida and Y. Masumoto: "Deep level energy states in nanocrystalline silicon determined by space-charge-limited-current measurement", Second Int. Symp. on Formation Physics and Device Application of Quantum Dot Structures, Sapporo, Japan, 1998-05.
24. K. Prabhakaran, T. Ogino, T. Matsumoto and Y. Masumoto: "Multiperiod Si/SiO₂/Ge layered structure formation through chemical bond manipulation", European Materials Research Society 1998 Spring Meeting, Strasbourg, France, 1998-06.
25. M. Sugisaki, H.-W. Ren, K. Nishi, S. Sugou, T. Okuno and Y. Masumoto: "Magnetic field effects in self-assembled quantum dots", 13rd Int. Conf. on High Magnetic Fields in Semiconductor Physics, Nijmegen, Netherlands, 1998-08.
26. H.-W. Ren, M. Sugisaki, S. Sugou, K. Nishi, A. Gomyo and Y. Masumoto: "Lateral composition modulation induced structural anisotropy in InP/GaInP quantum dot system", 1998 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Hiroshima, Japan, 1998-09.
27. S.V. Nair and Y. Masumoto: "Exciton-exciton and exciton-phonon complexes in semiconductor quantum dots", The 5th IUMRS International Conference in Asia-IUMRS-ICA-98, Bangalore, India, 1998-10.
28. T. Matsumoto, S.V. Nair and Y. Masumoto: "Isotope energy shift of luminescence in hydrogen-and deuterium-terminated porous silicon", The 5th IUMRS International Conference in Asia-IUMRS-ICA-98, Bangalore, India, 1998-10.
29. M. Sugisaki, H.-W. Ren, S.V. Nair, S. Sugou, K. Nishi, T. Okuno and Y. Masumoto: "Fine splitting in the optical spectra of InP self-assembled single quantum dot", 3rd International Conf. of Excitonic Processes in Condensed Matter/5th Int. Symp. on Quantum Confinement, Boston, USA, 1998-11.
30. H.-W. Ren, M. Sugisaki, J.-S. Lee, S. Sugou and Y. Masumoto: "Structural and optical anisotropy of InP/GaInP quantum dots grown by MOVPE", 3rd International Conf. of Excitonic Processes in Condensed Matter/5th Int. Symp. on Quantum Confinement, Boston, USA, 1998-11.

<学位論文>

物理学研究科博士論文

1. 玄 柄律: "Coherent Dynamics of Excitons in Semiconductor Quantum Structures"

理工学研究科修士論文

1. 雨貝 勇: "鉛カルコゲナイド量子点の光スペクトル"
2. 小笠原 清太郎: "CuCl 量子点における輝尽発光"
3. 竹本 一矢: "CdSe 量子点における蓄積フォトンエコー"
4. 西林 一彦: "InP Stressor により量子井戸に形成される GaAs 量子ドット"
5. 新田 一樹: "グラファイトにおけるコヒーレント・フォノンの研究"
6. 山内 掌吾: "CuCl 量子点の共鳴 2 光子分光"

<講演>

1. 佐竹昭泰、舛本泰章、宮嶋孝夫、朝妻庸紀、池田昌夫：“InGaN 多重量子井戸における励起子のダイナミクスⅡ” 応用物理学会（1998年9月）
2. S.V. Nair、舛本泰章：“Many body effects in the optical spectra of semiconductor quantum dots” 日本物理学会（1998年9月）
3. 任紅文、杉崎満、李定植、菅生繁男、舛本泰章：“Polarization dependence of radiative decay time in InP quantum dots” 日本物理学会（1998年9月）
4. 玄柄律、竹本一矢、舛本泰章：“CuBr 量子点における蓄積フォトンエコーⅡ” 日本物理学会（1998年9月）
5. 三品具文、舛本泰章：“フェムト秒光パルス列を用いたコヒーレントフォノンの研究Ⅲ” 日本物理学会（1998年9月）
6. 新田一樹、三品具文、舛本泰章：“グラファイトにおけるフェムト秒ポンプ・プローブ分光法Ⅲ” 日本物理学会（1998年9月）
7. 雨貝勇、舛本泰章：“PbS 量子ドットの光スペクトル” 日本物理学会（1998年9月）
8. 竹本一矢、(庄司卓矢)、舛本泰章：“CdSe 量子点における蓄積フォトンエコーⅡ” 日本物理学会（1998年9月）
9. 趙家龍、舛本泰章：“永続的ホールバーニング分光による CuCl ナノクリスタルに閉じ込められた音響フォノンの精密測定” 日本物理学会（1998年9月）
10. 杉崎満、任紅文、李定植、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顕微イメージ” 日本物理学会（1999年3月）
11. 任紅文、奥野剛史、西林一彦、李定植、菅生繁男、舛本泰章：“Photoluminescence of strain-induced InGaAs/GaAs coupled quantum dot-pairs” 日本物理学会（1999年3月）
12. 玄柄律、古谷雅、池沢道男、舛本泰章：“CuBr 量子点における蓄積フォトンエコーⅢ” 日本物理学会（1999年3月）
13. 舛本泰章、小笠原清太郎：“量子ドットの輝尽発光” 日本物理学会（1999年3月）
14. A.A. Lipovskii、小川智康、雨貝勇、舛本泰章：“PbSe 量子点における光スペクトル” 日本物理学会（1999年3月）
15. 徳永英司、A.L. イワノフ、セルバクマールナイア、舛本泰章：“CuCl 励起子逆系列発光による励起子分子波動関数の決定Ⅲ” 日本物理学会（1999年3月）
16. S.V. Nair, Y. Masumoto: “Undressing of polarons during exciton formation: The case of CuCl” 日本物理学会（1999年3月）