

VIII - 2. 半導体物性グループ

教授 舩本 泰章
准教授 野村晋太郎
講師 池沢 道男
助教 冨本 慎一
大学院生 (15名) 舩本・野村合算値

【1】半導体量子ドットのスピン光物性 (舩本泰章、池沢道男、冨本慎一)

<中性の InP 量子ドット中の励起子のスピン>

(舩本泰章、鈴木宰、川名啓介、池沢道男) [論文 13, 国際会議 4]

中性の InP 量子ドット中の励起子のスピンの励起エネルギー依存性、温度安定性および、観測エネルギー依存性を、直線偏光で準共鳴励起下で、ブライト励起子とダーク励起子の磁場による反交差の際に観測される円偏光度の共鳴スピン構造をモニターにして研究した。励起エネルギーからは、エネルギー緩和に時間がかかる程、ダーク励起子の生成比が増加すること、温度依存性からは、共鳴スピン構造が 65K まで温度が上昇するとほぼ消滅すること、観測エネルギー依存性からは、量子ドットのサイズの変化により正孔の g 因子が大きく変化することが明らかにされた。

<量子ドット中の電子と正孔の交換相互作用> (舩本泰章、鈴木宰、川名啓介、池沢道男) [論文 8]

直線偏光による準共鳴励起下で 1 電子ドーピングの InP 量子ドットと 2 電子ドーピングの InP 量子ドットの発光の円偏光度を縦磁場下で、磁場の関数として調べ、低温では磁場の増加とともに増加する円偏光度は正孔単独のゼーマン分裂間の熱分布によって形成される分極に比べて小さく、電子との交換相互作用が働いている事が示唆された。2 電子ドーピングの InP 量子ドットの場合には、発光の円偏光度の縦磁場依存性は、弱磁場領域で電子と正孔の異方的交換相互作用による構造が重畳することが観測された。

<1 電子をドーピングされた InP 量子ドットの負の円偏光度>

(I. Ignatiev^A, S. Verbin^A, 舩本泰章^A St. Petersburg State Univ.) [論文 12]

1 電子をドーピングされた InP 量子ドットでは、負の円偏光度が最大 -50% に到達し、これはドーピングされた電子のスピンの光学的に偏極されることで起きることが明らかにされた。光生成された電子・正孔対が電子・正孔間のスピンフリップフロップ過程を伴ったエネルギー緩和をしているとするモデルにより全ての実験データが良く記述できる。

<チャージチューナブル InP 量子ドットにおけるピコ秒スピンダイナミクス>

(川名啓介、冨本慎一、舩本泰章)

量子ドットにドーピングされた電子は輻射再結合寿命に制限されない長いスピン寿命を持つことからスピン量子ビットとして有望視されている。本研究では、電界によって電子のドーピング状態を自由に制御出来るチャージチューナブル InP/InGaP 量子ドットにおいて、ピコ秒領域の電子スピンダイナミクスを時間分解カー回転法によって調べた。図 1(a) は量子ドット当たり平均で 1 個の電子をドーピングした場合 (バイアス電圧 -0.175 V) での測定結果である。GaAs 基板中の電子による低周波数の振動とともに、より高い周波数の別の振動成分が観測された。後者の成分が量子ドット中のドーピングされた 1 個の電子のスピン歳差運動によるもので、円偏光のポンパパルスの照射によりドーピングされた電子にスピニコヒーレンスが生じたことを示している。この成分の振動周波数は磁場に対して線形な増大を示し (図 2 の Δ)、その傾きから閉じ込め電子の g 因子が 1.52 と求められた。一方、図 1(b) は量子ドットが

電氣的に中性な場合（電子がない場合、バイアス電圧 -0.8 V）での測定結果である。(a)の場合とは異なる 50 ps 程度の短い寿命のピートが観測されたが、この場合の振動周波数の磁場依存性（図2の○）は、弱磁場（ 3 T以下）で線形な関係から外れることが分かった。これは、励起時に電子と対になって生成したヘビーホールが量子ドット中に存在するため、それが電子に及ぼす交換相互作用の効果が歳差運動周波数に現れている。破線のフィッティングから等方的交換相互作用の大きさが 150 μ eV と求められた。

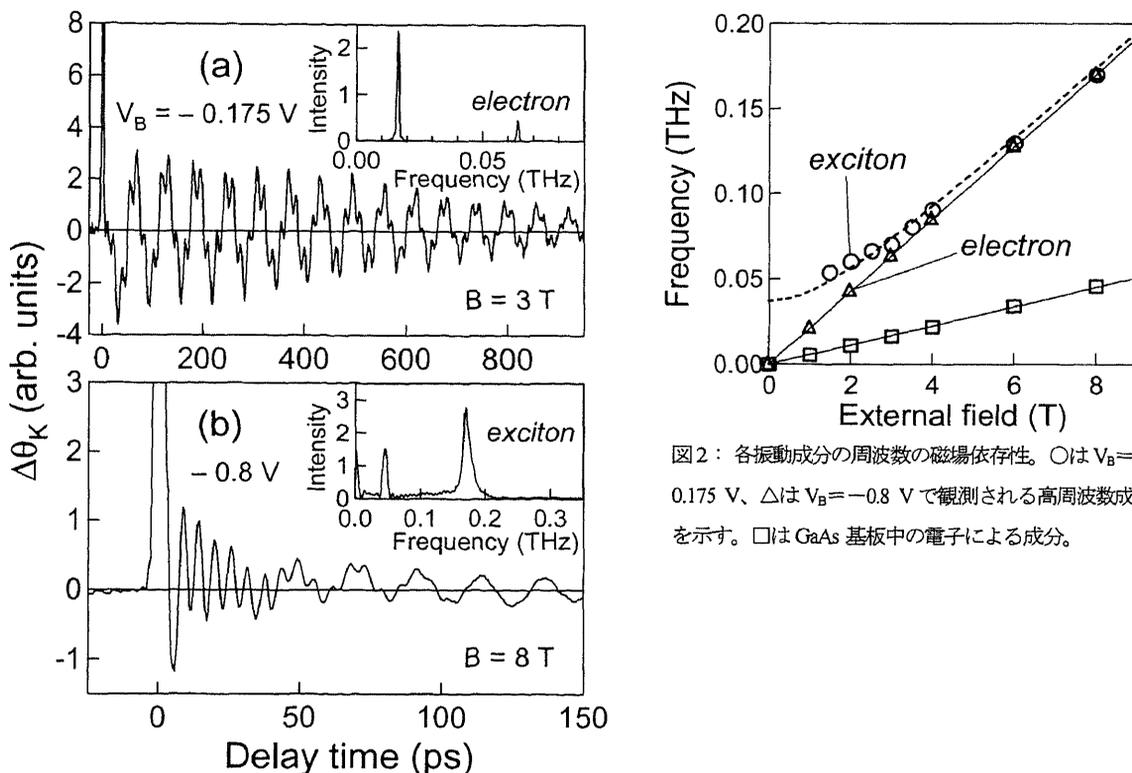


図2：各振動成分の周波数の磁場依存性。○は $V_B = -0.175$ V、△は $V_B = -0.8$ V で観測される高周波数成分を示す。□は GaAs 基板中の電子による成分。

図1：チャージチューナブル InP/InGaP 量子ドットにおけるカー回転角の時間変化。それぞれのパネルの右上に FFT スペクトルを示す。

<CdTe/ZnTe 量子ドットにおける電子の g 因子の異方性の観測>

（富本真一、野澤伸介、舛本泰章、寺井慶和^A、黒田眞司^A、瀧田宏樹^A ^A物性・分子工学専攻）

共通の陰イオンを持つ CdTe と ZnTe のヘテロ界面は価電子帯のエネルギー差が小さく、CdTe/ZnTe 量子ドット (QD) では閉じ込められた正孔の熱的脱離が比較的低い温度（約 110 K）で起こることが報告されている。我々は、CdTe/ZnTe QD 及び量子井戸 (QW) における時間分解カー回転 (TRKR) の温度依存性を測定し、正孔の熱的脱離がスピンドYNAMIXにどのように反映されるかを調べた。また、試料成長軸に対する磁場の角度 θ を変化させ、電子の g 因子テンソルの異方性を調べた。図3は QD で温度を変えて測定した結果である ($\theta = 90^\circ$ 、ポンプ・プローブ波長 564 nm)。QD 内に電子と正孔が共存する低温 ($T = 7$ K) では、励起子による約 20 ps の寿命の非振動・減衰成分が支配的である。この成分の寿命は温度上昇とともに短くなるが、 100 K 以上の高温ではそれに続くように新たに振動が観測された（図中の矢印）。これは、正孔の脱離後に QD 内に単独で存在する電子のスピン歳差運動を表している。図4は、この歳差運動が現れている高温 ($T = 160$ K) において、磁場の角度 θ を変えて測定した結果である。 g テンソルの異方性由来する振動周期の変化が観測された。詳しい測定から QD では成長軸方向成分を $g_{\parallel} = -0.19$ 、それに垂直な方向の成分を $g_{\perp} = -0.33$ と決定出来た。同様に井戸幅 2 ML の QW では $g_{\parallel} = -0.31$ 、 $g_{\perp} = -0.34$ と求められた。

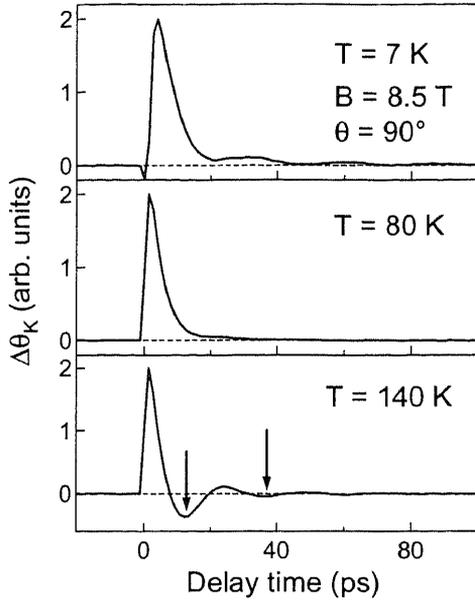


図3: CdTe/ZnTe 量子ドットにおけるカー回転角の時間変化の温度依存性。

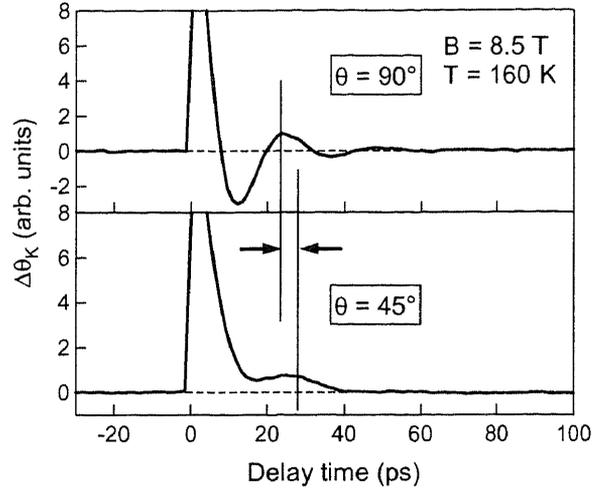


図4: CdTe/ZnTe 量子ドットにおいて磁場の方向 θ を変えて測定した結果。

<Cd_{1-x}Mn_xTe/ZnTe 自己形成量子ドットにおける電子スピンドイナミクス>

(富本慎一、野澤伸介、舛本泰章、寺井慶和^A、黒田眞司^A、瀧田宏樹^A ^A物性・分子工学専攻)

磁性イオンをドーピングした半導体量子構造は、閉じ込められたキャリアや励起子のスピンと磁性イオンの磁気モーメントとの間の交換相互作用により、興味深い光学物性を示すことが知られている。我々は Cd_{1-x}Mn_xTe/ZnTe 量子ドット (QD) 及び量子井戸 (QW) において時間分解カー回転法による実験を行い、閉じ込め電子スピンと Mn イオン磁気モーメントのダイナミクスを時間領域で観察した。図5は x=4.5% の QD で外部磁場を変えて測定した結果である (T=7 K、ポンプ・プローブ波長 561 nm)。g=2.0 の Mn イオン磁気モーメントの歳差運動による遅い振動 (図の Mn1 及び Mn2 の矢印) とともに、閉じ込め電子スピンによる速い振動 (e1-e3 の矢印) が 5 ps 以内の短い時間範囲に観測された。振動周波数は磁場とともに大きくなっている。これから求まる閉じ込め電子の有効 g 因子 (絶対値) は 18 であるが、これは Mn 濃度とともに増大し、x=7.1% の QD では |g| = 25 と得られた。これらの値はそれぞれ同じ Mn 濃度の QW (井戸幅 2 ML) での値の 2 倍程度であり、電子の波動関数が CdMnTe 層に局在する度合に依存していることが分かる。電子スピンの振動周波数はブリュアン関数に従う温度変化を示しており (図6の ●)、常磁性的に振る舞う多数の Mn スピンとの相互作用を明確に示している。

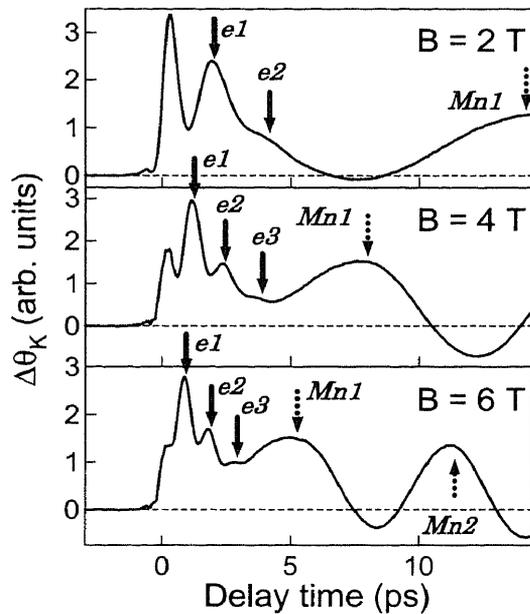


図5: Cd_{1-x}Mn_xTe/ZnTe 量子ドット (x=4.5%) におけるカー回転角の時間変化。

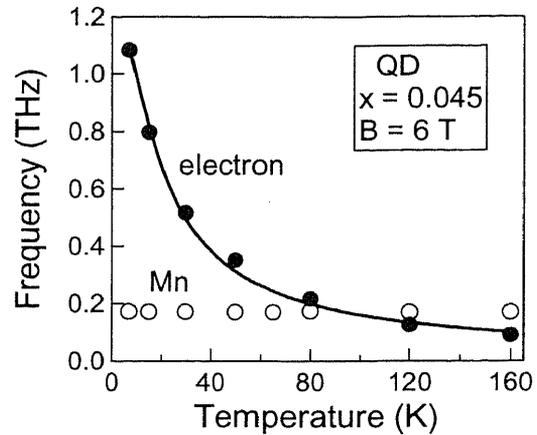


図6: 電子スピン ● と Mn イオン磁気モーメント ○ の振動周波数の温度依存性。

<GaAsN 中の電子の g 因子の符号>

(V. K. Kalevich ^A, 池沢道男, 舛本泰章 ^A Ioffe Physico-Technical Institute) [論文 7]

室温で希薄窒素半導体 GaAsN 中の伝導電子と深い準位に束縛された電子の g- 因子の符号が室温で正であることを Hanle 効果を用いて測定した。g- 因子の符号は横磁場下で試料に垂直方向から角度をつけて入射し、垂直方向から角度をつけて観測する発光の偏光度の磁場依存性に非対称性がでることから決定できる。Hanle 曲線は深い準位に束縛された電子に対応する 400G の幅をもつローレンツ曲線と伝導電子に対応する 50000G の幅をもつローレンツ曲線の和で表わされる。線幅の 2 桁の違いは、伝導電子に比べて、深い準位に束縛された電子がスピン緩和時間がはるかに長いことを示唆している。Hanle 曲線の非対称性の大きさと向きは、GaAs 基板上に成長された GaAsN 薄膜にかかる一軸性歪みにより重い正孔と軽い正孔が分離し、軽い正孔が重い正孔よりも高エネルギー側になるとして説明できる。

【2】単一量子ドットの分光研究 (池沢道男, 舛本泰章)

<単一 GaP:N 等電子トラップからの単光子発生と分光>

(池沢道男, 渡邊真人, 舛本泰章, 佐久間芳樹 ^A ^A物質・材料研究機構) [論文 11, 15]

ガリウムリン (GaP) 結晶中に希薄にドーブした窒素原子 (N) による等電子トラップは、不均一性の小さいシャープな束縛励起子発光を示す。単一の等電子トラップは単一量子ドットと同様に、単一光子発生に用いる事が出来るうえ、不均一性の避けられない量子ドットでは困難なエネルギーの揃った単一光子源にもなり得る。実際に、窒素原子 2 つから成る NN ペア等電子トラップを用いて単一光子発生を実証してきた。

NN ペアは、近接する P のサイトを N が置換した時に形成される発光中心で、発光スペクトル上で 10 本の輝線 (NN₁~NN₁₀) が観測されることから、N-N 間隔の異なる 10 種類の NN ペアがその起源と考えられている。NN ペアを単一光子発生に用いると、①NN ペアの形成確率が低いので、面内の数密度が下げられ、顕微鏡の空間分解能で容易に単一 NN ペアを選択出来る、②N よりも大きな束縛エネルギーを

持つので、Nより高温まで失活しない、という利点がある。他方、NNペアを用いることによって、束縛励起子の感じるポテンシャルの対称性が低下し、束縛励起子準位が微細分裂を起こす事が応用上問題になりうる。そこで、NNペアの微細エネルギー構造を各ペアについて調べ、その偏光依存性からN-N原子配置を再考察することを試みた。原子配置が確定できれば、各NNの非対称性を相殺するような外場の印加方法も提案できる。

単一のNNペアを観測するために、高純度GaP結晶中に窒素原子を1原子層(001)面だけドーピングした試料を用いた。この試料は、有機金属気相成長法(MOCVD)を用いて、物質・材料研究機構の佐久間芳樹博士によって作製された。図7に孤立したN原子と、単一のNN₄ペア発光中心に束縛

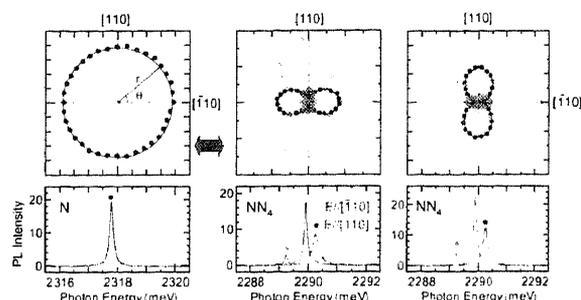


図7：左下：孤立した窒素原子（多数個）による発光中心の偏光分解発光スペクトル。対称性が高く等方的な発光になっているので、ピーク強度を極座標プロットすると、円状になる。中央：単一のNN₄発光ピークの偏光依存性。[110]結晶軸、およびそれに直交する方向に強く偏光している。スペクトルの微細分裂も観測できる。右：90度回転した偏光パターンを持つNN₄も観測された。

された励起子発光の偏光依存性を示す。孤立N原子はNNペアの数よりも数千倍多く均一に存在しているために、ここでは単一のNではなく多数個のN発光を見ている事になるが、いずれにしても高い対称性を反映して発光スペクトル形状はシンプルで、偏光依存性は見られない。他方、単一NN₄発光には微細分裂と強い偏光依存性が見られた。これは、異種原子がペアの形で結晶中に存在するために、ペアの軸方向に例えば歪のような異方性を生じ、そのためp軌道から作られる正孔波動関数の $|p_x\rangle, |p_y\rangle, |p_z\rangle$ 間の縮退が解けるためと解釈される。最も強いピークが[110]結晶軸方向に偏光しているNN₄発光中心と、直交方向に偏光しているNN₄発光中心の二種類があることから、これを説明する原子配置として(0,0,0)-(n,n,0) (nは整数)が考えられる。同様ドーピングした試料で多数のNNペアを同時に観測すると様々な方向を向いたNNのスペクトルが平均化されてしまうため、このような明瞭な偏光依存性は見られず、今回単一のNN発光中心を観測することによって偏光依存性が初めて明らかになった。

ドーピングを複数層に渡って行くと、図8に示すような傾いた軸を持つ新しい偏光パターンが現れる。これは、(0,0,0)-(n,0,n)という配置でドーピング面(001)と垂直な面内に形成されるNN₄である。この偏光パターンを持つNN₄の割合を、ドーピング層の厚さを変えながら調べることによって、nの値を決める事が可能になる。同様の偏光パターンを持つNN₁, NN₃, NN₇発光中心について詳しく調べたところ、NN₁, NN₃, NN₄, NN₇の順にn=1, 2, 3, 4を当てはめる事が妥当であると分かった(図9)。この他にもNN₅の配置が(0,0,0)-(5,1,0)および(4,3,1)であることが同様に偏光パターンから明らかとなり、本研究によりNN₁~NN₇までの主要なNNペアの原子配置が分かったと言える。この原子配置は、これまで知られていたThomas&Hopfieldの単

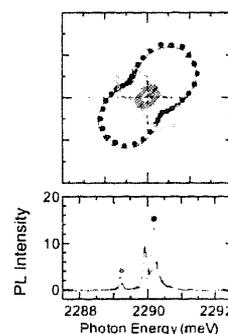


図8：ドーピング層を厚くした場合に観測される別の偏光パターンを持ったNN₄発光中心。[110]結晶軸方向から45度傾いた偏光を持つ。

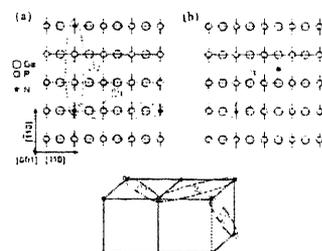


図9：(a) δドーピング面内に形成される(0,0,0)-(3,3,0)窒素原子ペア。第9近接原子配置に相当する。(b) 4層の窒素ドーピング層を必要とする、同種のペア配置。これらが、NN₄発光の起源と考えられる。

純な予想に基づく原子配置とは大きく異なっている。この正しい知見を生かして、NN ペアの非対称性を相殺するような外場を印加した NN ペアからのもつれ合い光子対生成などの応用が考えられる。

窒素をドーブした GaP 中には、孤立 N 原子、NN ペアによる発光中心以外にも、3つ以上の窒素不純物原子からなるクラスタ的な発光中心が形成される事が予想されるが、これまで明確な報告はなかった。原因のひとつには、そのようなクラスタの形成確率は NN ペアよりもさらに低いため、マクロな発光測定ではクラスタによる弱い発光が NN ペア発光の裾に隠されてしまう事が考えられる。今回、顕微発光分光を行ってエネルギーだけではなく空間的にも NN ペアと区別する事によって、窒素原子 3 つから成る新しい発光中心(NNN)を発見することができた。図 10 に単一 NNN の発光スペクトルを示す。NN₄ の低エネルギー側にあつて NN₃ と一致しないため、新しい発光中心であることが分かる。窒素原子 3 つからなることは、窒素ドーブ濃度の 3 乗に比例して面密度が増加したことを根拠としている。単一 NNN 発光中心からの光子も単一光子となっていることは、Hanbury-Brown Twiss 型の強度相関測定を行って確認した。原子配置は、偏光依存性とエネルギーから、NN₄ にもうひとつの窒素原子が付いたような形のトリプレットだと考えている。スペクトルの特徴として、NN₄ と比較して、低エネルギー側に出るピークの強度が増している事がわかる。このピークは全角運動量 J=2 の Dark exciton に起因するが、第三の窒素原子によって対称性が NN₄ の C_{2v} からさらに低下したために波動関数の混合が起こって Bright exciton 成分が増加したためと考えられる。このような新しい発光中心は他にも多数観測されており、NN ペアよりも大きな束縛エネルギーを持つものもあるので、応用上も重要である。

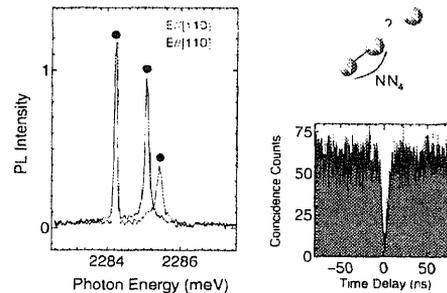


図 10：左：単一 NNN クラスタに束縛された励起子発光スペクトル。NN₄ と同様に [110] 結晶軸に強く偏光している。右：単一 NNN 発光の強度相関測定結果。明瞭なアンチバンチングが観測されている。

<単一量子ドットにおける温度上昇にともなう励起子線幅先鋭化>

(阪東一毅^A、舛本泰章^A 静岡大理物理) [論文 5, 9]

フーリエ分光法を単一量子ドットに適用することにより高感度・高分解能に GaInP マトリックス中に成長された単一 InP 量子ドットの励起子の位相緩和計測を行い、周囲環境が引き起こすドットの位相緩和過程を調べ、低温から温度上昇すると励起子線幅が先鋭化しコヒーレンスが回復するという極めて興味深い結果が見出された。モンテカルロシミュレーションによって、ドット周囲のキャリアがもたらすランダムな揺らぎの温度依存性がガウス線幅減少の原因であることが説明された。この結果、温度上昇にともなう線幅の先鋭化が明瞭に説明でき、低温下で環境揺らぎが位相緩和に極めて重要な寄与をもたらすことが明らかにされた。

【3】新しいナノ構造の光物性 (舛本泰章)

<ウルツ鉍型 InP/InAs/InP コアマルチシェル型ナノワイヤ光物性> (後藤健、B. Pal、舛本泰章、P. Mohan^A、本久順一^A、福井孝志^A 北大量子集積エレクトロニクス研究センター) [論文 6, 10, 14]

ウルツ鉍型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤの形状は、長さが 2 μm、幅が 140 nm の六角柱状で、InP の核と外殻に挟まれて InAs 層が単原子層精度の厚さで埋もれている。六角柱の側面部分は量子井戸として、角部分は量子細線として、それぞれコアマルチシェルナノワイヤの基本構造を形成している。内包された InAs 層の厚さが 1 原子層ずつ変化するのに応じて発光エネルギーが 1.05eV から 1.35eV の間で離散的に変化し、それぞれの発光ピークには約 30 meV の不均一広がり確認された。共焦点顕微分光法により、この不均一幅はナノワイヤ 1 本の中にすでに含まれていることが特定された。不均一広

がりの原因としては、ヘテロ界面でのP原子とAs原子の混合、層厚のゆらぎやひずみによるポテンシャルゆらぎが考えられる。

発光の励起スペクトルから、発光線幅の2倍以上である70 meVものストークスシフトを得た。通常、不均一広がりを出すタイプI型の量子井戸では、発光線幅の0.6倍のストークスシフトを生じるという通則があるが、タイプII型の量子井戸はこの限りではない。発光のピークエネルギーは励起光強度の増加に対して1/3乗に比例して高エネルギー側にシフトする。これは、光励起された電子-正孔の空間的分離に伴うバンド曲がりによって説明される。単一光子計測法により発光寿命を測定すると、16 nsもの長寿命であることがわかった。これらの結果は、いずれもタイプII型量子井戸の特徴を示す。InAs および InP の a 軸 (c 軸) 方向の格子定数は、それぞれ4.2 Å (6.9 Å)、4.0 Å (6.6 Å) であり、内包されているInAs層は約4%の格子定数の違いによる圧縮ひずみを受けている。この大きな圧縮ひずみが伝導帯を引き上げ、タイプII型量子井戸のバンド構造を形成することがModel-solid theoryから示唆される。

1本のナノワイヤ中に250個の電子-正孔対が生成される励起条件の下で、時間分解発光測定を行った。発光スペクトルの平均エネルギーは、数100 psで素早くレッドシフトすることがわかった。これは、バンド曲がりによる束縛準位のブルーシフトが素早く緩和するために生じていると考えた。バンド曲がりの過渡的な現象を取り扱うため、2次元量子井戸におけるポアソン方程式とシュレーディンガー方程式を自己無撞着に解き、精度の高い束縛エネルギーを求め考察を行った。その結果、励起子密度の時間変化と発光の積分強度時間変化との間に良い一致を見出した。このことから、励起子の再結合発光による励起子”数”の変化ではなく、励起子がナノワイヤ中における励起子密度が濃い部分から薄い部分へ拡散することによる、励起子”密度”の変化が、バンド曲がり緩和の物理的な根源になっていると考えられる。

1本のワイヤ中に3個の電子-正孔対を生成するような弱い励起強度の下で時間分解発光測定を行った。発光スペクトルは時間の経過に伴い低エネルギー側にシフトする、スペクトル拡散が明らかにされた。発光スペクトルの平均値エネルギーをプロットすると、一定の拡散速度で2 meV低エネルギー側にシフトし、およそ1 ns後に拡散速度が遅くなることを見出された。この拡散速度の変化は、励起子がコアマルチシェルナノワイヤ側面である量子井戸領域から角の量子細線領域に移動している様子であると考えられる。有限要素法によって、コアマルチシェルナノワイヤの側面領域と角領域での正孔の閉じ込めエネルギーを計算すると、角の領域の方が2.7 meV低くなり、上記の筋書きを支持する結果を得た。

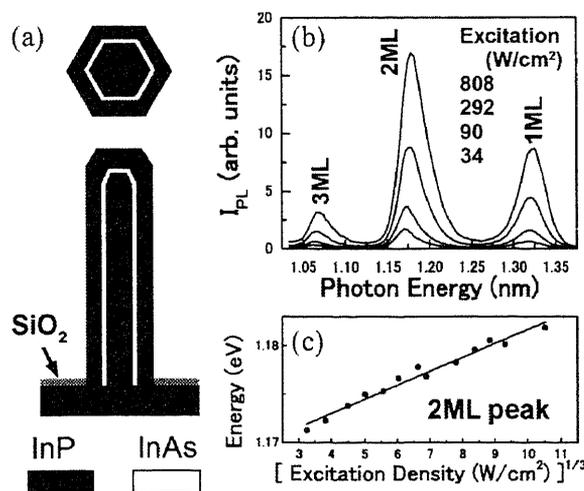


図 11 : (a) コアマルチシェルナノワイヤの断面図。 (b) PL スペクトルの励起強度依存性。 (c) 2ML ピークエネルギーは励起光強度の増加に対して 1/3 乗に比例して高エネルギー側にシフトする。

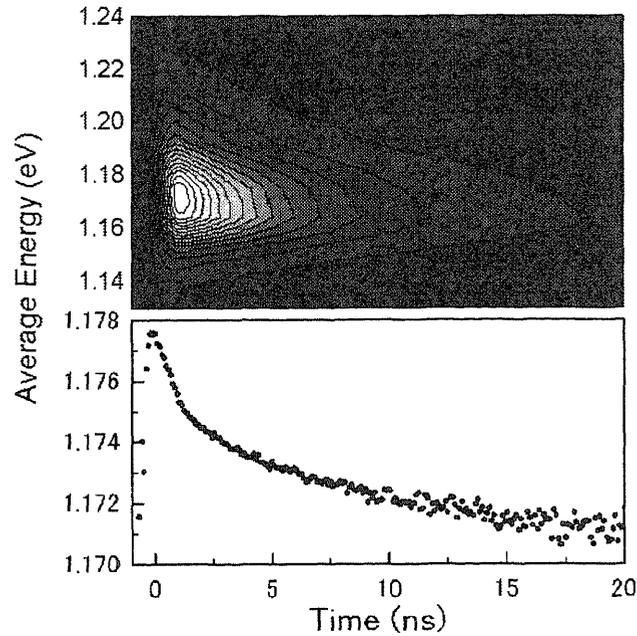


図 12：(上)弱い励起条件における時間分解発光スペクトルの等高線図。
(下)発光の平均エネルギーをプロットしたもの。約 1ns でスペクトル拡散の速度が変化している。

<(チオフェン/フェニレン) コオリゴマー結晶を用いたマイクロレーザー作製プロセスの研究>

(井門靖樹、舛本泰章、佐々木史雄^A、原市 聡^A、堀田 収^B ^A産総研光技術, ^B京工繊大繊維)

(チオフェン/フェニレン) コオリゴマー[2,5-Bis(4-biphenyl)oligothiophenes (BPnT)]結晶は、 π 電子共役系化合物で室温において高密度励起を行なうことにより、バルク結晶や薄膜結晶でも、自然放射増幅光が観測されている。また電界発光も観測されており、電流注入型有機半導体レーザーへの応用が期待されている。この研究では、先に BP1T の薄膜結晶を用いたマイクロサイズの光閉じ込め構造において、光励起下で共振器モードによるレーザー発振を実現した事を受けて、結晶成長方法と共振器作製方法のプロセスを研究し、閾値の低下を試みた。試料は結晶性の高い BP1T を用いた。

薄膜結晶作製方法としては、SiO₂/Si 基板に真空蒸着した後アニールして結晶化させる方法と、基板を加熱しながら蒸着して薄膜結晶を徐々に成長させる加熱蒸着法を比較し、加熱蒸着法の方が粒界が低減し、クラックが少ない良質の膜を作製することができることを明らかにした。そこで加熱蒸着法を用いて共振器作製プロセスを行い、閾値の改善を期待した。共振器作製プロセスとしては、埋め込み型と切り取り型を比較し、O₂リアクティブイオンエッチングに優れた耐性を持つ Ti 膜を用いてリフトオフをすることで数ミクロンメートルの円形ディスクにおいて、32 μ J/cm² の閾値を示す高効率の共振器作製に成功した。なお、この閾値は先に報告したアニール薄膜結晶の切り取り型マイクロディスクの閾値 200 μ J/cm² の 1/6 である。

【4】強磁場中空間分解分光システムを用いた研究 (野村晋太郎)

<希釈冷凍機温度近接場光学顕微鏡の開発> (伊藤宙陸、柴田佑輔、野村晋太郎)

極低温強磁場下近接場光学顕微鏡を用いた空間分解分光測定システムを用いた二次元電子系端状態のかかわる現象の研究を実施した。図 13 に開発された装置の外観を示す。光学測定に適するように混合器

等の配置等が特に工夫された独自設計の希釈冷凍機である。試料は Ti/Au ゲート電極付の GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ構造のホールバーを用い、ゲート電極周辺の空乏層と二次元電子系の境界における光応答の研究を実施した。波長 800nm、強度 60nW の励起光をファイバプローブ先端の約 100nm 径の開口部を介し試料に照射した。局所的に光励起することによりホールバー電圧端子間に生じた電圧のマッピングを行った。得られた光起電圧マッピングはホールバー上のゲート電極付近に強い信号を示した。この信号のピーク位置はゲート電極の印加電圧を負の方向に増大させるほどゲート電極から離れることが観測された。

本研究は低温物性グループの大家教授、産業技術総合研究所柏谷氏との共同研究である。

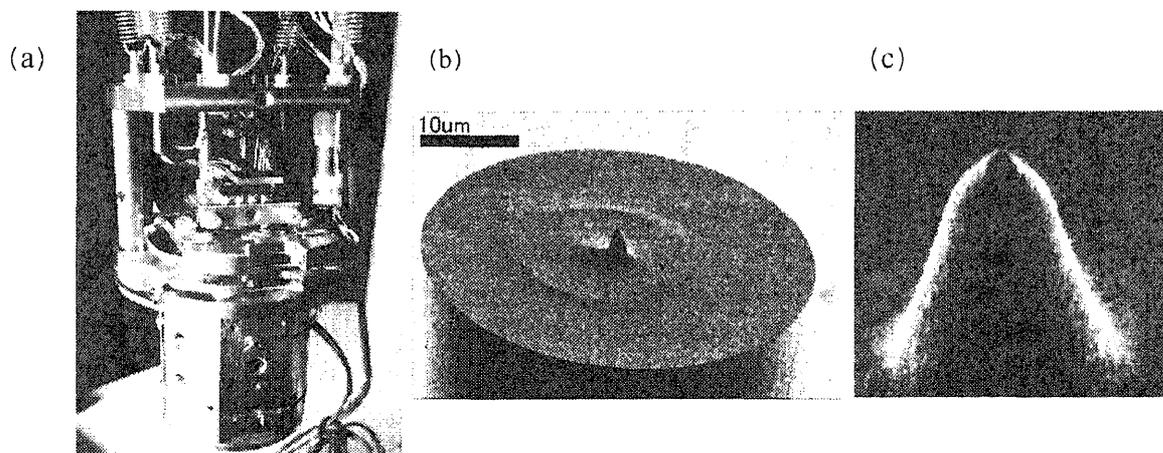


図 13: (a) 近接場顕微鏡ユニット、(b), (c) 約 100nm 径の開口部を有する光プローブ。

<超伝導体-半導体接合の光照射効果の空間分解測定> (津村公平、野村晋太郎) [論文 20, 23]

半導体 2次元電子ガス(2DEG)のキャリア密度やその空間的分布はゲート電圧によって変調できるという特性を生かし、常伝導金属として 2DEG を用いた超伝導体(S)-常伝導金属(N)接合の研究が行われている。一方、光によっても 2DEG の状態を変調できるが、この場合は、(i)ゲート電極作成といったプロセスが不要である、(ii)任意スピンキャリアを 2DEG 中に直接生成できるといった利点がある。そしてこの光によって生成されたスピンと Andreev 反射との相互作用によって、接合の輸送特性が変調されることが期待される。これまでに光照射によるジョセフソン状態のスイッチングや臨界電流値の変調の報告がある。2DEG に対する光照射と超伝導の相互作用を直接的に示すような報告は無い。またスピンと関連しては、フェルミ面上での超伝導体と強磁性体の状態密度の違いを利用した量子ポイントコンタクトによるスピン偏極度測定の報告例はあるが、光によるスピン注入と超伝導の研究報告はいまだに実現されていない。

これまでに我々は、GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ接合中の 2DEG と NbN による SNS 接合に対する光照射効果の研究を行ってきた。それにより、まず試料全体に光照射を行うことで 2DEG の電子密度が増大しノーマル抵抗が光照射前の半分に減少することを観測した。さらに NbN の超伝導ギャップエネルギー内の微分抵抗が光照射前より減少することから、光照射によって Andreev 反射確率が増大していることが示された。

今年度は、光励起強度、励起波長といったパラメータを細かく変化させることで、それらに起因した光照射効果をさらに詳細に明らかにすることを目的として研究を実施し、超伝導と光照射効果の関連性を立証することを試みた。その結果、光照射に伴う電圧変化のマップを得ることに成功し、両 SN 界面付近に電圧変化の極大、極小が位置していることが明らかにされた。通常、金属と半導体界面付近にはショットキーバリアが形成されるので、この試料では AuGeNi と NbN の合金をアニーリングで作製、2DEG

と NbN との電氣的接触を取っている。しかし、この試料では超伝導電流が観測されていないことから推察されるように、SN 界面にはポテンシャルバリアが残存している。そのため、バリア付近に局所光照射することでポテンシャルバリアを超えられるエネルギーのキャリアが生成され、それが電圧変化として観測されたものと考えられる。

本研究は東京理科大学教授高柳英明氏、NTT 物性科学基礎研究所赤崎達志氏のグループとの共同研究である。

【5】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の円偏光依存発光分光〉 (野村晋太郎) [論文 18, 25]

低電子密度領域での二次元電子系の品位の向上に伴い、有効質量やスピン感受率の測定が最近注目を集めている。私たちは発光分光法により、低電子密度領域での研究を進めている。発光分光法では金属相と絶縁体相の双方の状態を検出可能なため、低電子密度極限での振る舞いを調べることに適している。

測定にはゲート電圧により電子密度を連続的に制御することが可能なゲート付き非ドープ GaAs 量子井戸構造試料を用いた。励起光と検出光の円偏光を独立に変えられるようなセットアップを構成し、 σ^+ 偏光励起、 σ^- 偏光励起、 σ^+ 偏光と σ^- 偏光の同時励起 (N) の各励起における発光スペクトルを希釈冷凍機中約 100 mK において測定した。

ランダウ準位占有数 $\nu > 1$ では、N, σ^+ , σ^- のいずれの励起光でも発光ピークエネルギーには顕著な差が見られなかった。そこで、N の場合について、 σ^+ 偏光検出、 σ^- 偏光検出間の発光ピークエネルギーの差の電子密度依存性を低電子密度領域において測定した。その結果、発光ピークの分裂が強く電子密度に依存することがわかった。

ランダウ準位占有数 $\nu < 1$ の分数量子ホール効果領域では、一般に電子は上向きスピンの偏極していると仮定されることが多いが、低電子密度では特定の ν でスピン偏極度が小さくなることが知られている。さらに、光励起下では、電子-正孔対が生成され、量子ホールの励起状態が生じる。特に、up spin で占められている電子系に down spin を光励起で付け加えられ、スピン波励起が生じる。スピン波励起や magnetoroton 励起 (電荷の集団励起) の関わる現象が観測される。

$\nu = 1/3$ 近傍ではキャリア相関に起因して発光ピークの分裂が観測される。5 T において高エネルギー側のピークは σ^- 、低エネルギー側は σ^+ に偏極していることがわかった。図 14 に示すように σ^+ に偏極した発光も単なる荷電励起子発光ではなく、二次元電子系の相関を反映している。また、分裂した二つの発光ピークの強度は、 ν に対して異なる振る舞いを示しているのがわかる。これらの発光ピークは荷電励起子発光と関連づけて考えると理解しやすい。一重項荷電励起子 X_s^- は必ずスピン反転を伴う。三重項荷電励起子 X_t^- はスピン反転を伴わない場合と、2 個のスピン反転を伴う場合とがある。低エネルギー側の発光 (" X_s^- " またはスピン波励起) は $\nu = 1/3$ や $2/5$ で極小値をとり、遮蔽が小さい場合に電子と正孔が井戸内の別の場所に局在する傾向があると考えることで説明される。一方、高エネルギー側の発光 (" X_t^- " または magnetoroton 励起) は $\nu = 1/3$ や $2/5$ で極大値をとり、 X_t^- の軌道はより広がっているため、正孔との重なり積分の低下が小さいと考えることで説

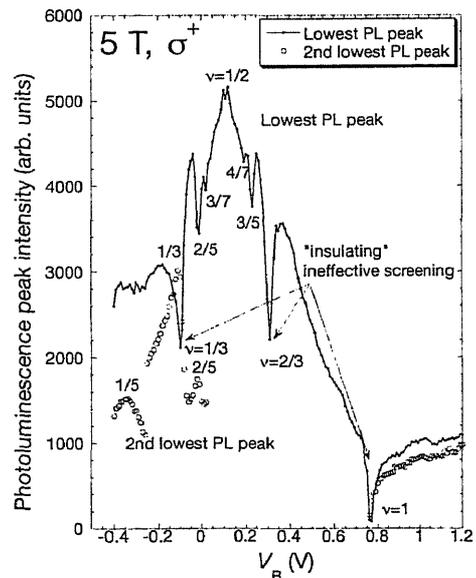


図 14 : 分数量子ホール効果領域の σ^+ 偏光の二つの発光ピーク強度の ν 依存性。

明される。以上の見方により、観測された円偏光依存発光の電子占有数に対する依存性は定性的に理解されることがわかった。

本研究は NTT 物性科学基礎研究所赤崎達志氏、東北大学教授平山祥郎氏のグループとの共同研究である。

【6】Si ドット-電子ガス結合系の物性 (野村晋太郎)

<Si ドット-電子ガス結合系の C-V、I-V 特性の温度依存性>

(櫻井蓉子、野村晋太郎) [論文 16, 19, 21, 22]

二次元系から 0 次元系へのトンネル現象は、例えば量子ドットフローティングゲートメモリデバイスの動作を決める本質的に重要な現象である。トンネル現象の変調はこれらのデバイスの性能を決定づける重要な役割を果たす可能性がある。二次元系から 0 次元系へのトンネル現象の理解を深め、その変調を行うために、私たちは量子ドットフローティングゲート MOS キャパシタのトンネリングの温度依存性と光照射強度依存性の研究を進めている。

研究に用いた試料は、二次元系と Si ドットの間十分に高いポテンシャルエネルギーの障壁層をもち、キャリアを Si ドットに長時間保持できるという特徴をもつ。かつ、障壁層の厚さは直接トンネル領域での動作を意図した十分な厚さとなっている。Si ドットの直径は約 5 nm であり、電子注入が起こる際に基板の伝導体と一致するエネルギー付近の Si ドットのエネルギー準位間隔は約 1 meV である。その結果、クーロン=ブロケードは生じるがトンネルの起こりうるゲート電圧には広い範囲が対応する。これは、フェルミ面と離散準位間の共鳴条件によってトンネリングの透過確率が大きくなる条件が決まる単電子トランジスタの場合とは異なっている。

Si ドット-電子ガス結合系試料の C-V 特性に現れるトンネリングに対応する特徴的な構造と過渡電流特性の温度依存性を調べ、低温から温度の上昇にともない、トンネリングの生じるゲート電圧が減少することを見いだした。さらに、レーザー光照射によってもトンネリングの生じるゲート電圧が減少することが見いだされた。これらの結果は、二次元系から 0 次元系へのトンネルにあたって、電子の進行方向に垂直な方向の波動関数の拡がり、透過確率に大きな影響を与える可能性を示唆している。

本研究は白石賢二教授、広島大学教授宮崎誠一氏のグループ、東北大学教授遠藤哲郎氏のグループとの共同研究である。

<論文>

1. K. Bando, T. Nakamura, S. Fujiwara and Y. Masumoto: "Optical selection rule for the lower Davydov excitons in co-oligomer single crystals", *Phys. Rev. B* 77, 045205 (2008).
2. J. H. Kim, K. Kyhm and Y. Masumoto: "Ultrafast Dynamics of the Band-Gap Renormalization and the State-Filling Effect in Strongly-Confined CdSe/ZnS Nanocrystals", *Journal of the Korean Physical Society* 52, No.1, pp.64-69 (2008).
3. Y. Masumoto, K. Toshiyuki, T. Suzuki and M. Ikezawa: "Resonant spin orientation at the exciton level anticrossing in InP quantum dots", *Phys. Rev. B* 77(11), 115331 (2008).
4. I. Y. Gerlovin, I. V. Ignatiev, I. A. Yugova and Y. Masumoto: "Quantum Beats of Fine-Structures States in InP Quantum Dots", *Opt. Spectroscopy* 104 (4), 577-587 (2008) (in English); *Optika i Spektroskopiya* 104 (4), 640-652 (2008) (in Russian).
5. K. Bando and Y. Masumoto: "Interferometric spectroscopy for excitons in InP single quantum dots", *J. Lumin.* 128, 855-857 (2008).
6. B. Pal, K. Goto, M. Ikezawa, Y. Masumoto, P. Mohan, J. Motohisa and T. Fukui: "Type-II behavior in wurtzite InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *Appl. Phys. Lett.* 93, 073105 (2008).
7. V. K. Kalevich, E. L. Ivchenko, A. Y. Shiryayev, M. M. Afanasiev, A. Y. Egorov, M. Ikezawa and Y. Masumoto: "The sign of electron g-factor in GaAs_{1-x}N_x measured by using the Hanle effect", *Semicond. Sci. Technol.* 23, 114008 (2008).
8. Y. Masumoto, T. Suzuki, K. Kawana and M. Ikezawa: "Spin orientation of excitons, trions and tetraons in charge tunable InP quantum dots", *Phys. Stat. Sol. (c)* 6, 24-27 (2009).
9. K. Bando and Y. Masumoto: "Narrowing of exciton linewidth of a quantum dot with increasing temperature", *Phys. Stat. Sol. (c)* 6, 57-60 (2009).
10. K. Goto, S. Tomimoto, B. Pal, Y. Masumoto, P. Mohan, J. Motohisa and T. Fukui: "Transient band-bending in InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *Phys. Stat. Sol. (c)* 6, 205-208 (2009).
11. M. Ikezawa, Y. Sakuma, M. Watanabe and Y. Masumoto: "Single NN pair luminescence and single photon generation in nitrogen δ -doped GaP", *Phys. Stat. Sol. (c)* 6, 362-365 (2009).
12. I. V. Ignatiev, S. Yu. Verbin, I. Ya. Gerlovin, R. V. Cherbunin and Y. Masumoto: "Negative Circular Polarization of InP QD Luminescence: Mechanism of Formation and Main Regularities", *Opt. Spectroscopy* 106 (3), 375-387 (2009) (in English); *Optika i Spektroskopiya* 106 (3), 427-441 (2009) (in Russian).
13. Y. Masumoto, T. Suzuki, K. Kawana and M. Ikezawa: "Exciton Spin Stability in InP Quantum Dots at the Elevated Temperatures", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48, 04C198 (2009); 2008 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (Tsukuba, 2008).
14. K. Goto, M. Ikezawa, S. Tomimoto, B. Pal, Y. Masumoto, P. Mohan, J. Motohisa and T. Fukui: "One-dimensional and two-dimensional spectral diffusion in InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48, 04C203 (2009); 2008 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (Tsukuba, 2008).
15. M. Ikezawa, Y. Sakuma, M. Watanabe and Y. Masumoto: "Observation of New Isoelectronic Trap Luminescence in Nitrogen delta-doped GaP", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48, 04C158 (2009); 2008 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (Tsukuba, 2008).
16. M. Muraguchi, Y. Takada, S. Nomura and K. Shiraiishi: "Theoretical study of the time-dependent phenomena on a two-dimensional electron gas weakly coupled with a discrete level", *Jpn. J. Appl. Phys.* 47(10), 7807-7811 (2008).
17. Y. Sugimoto, T. Saiki and S. Nomura: "Visualization of weak confinement potentials by near-field optical imaging spectroscopy of exciton and biexciton in a single quantum dot", *Appl. Phys. Lett.* 93(8) 83116/1-83116/3 (2008).

18. M. Yamaguchi, S. Nomura, T. Maruyama, S. Miyashita, Y. Hirayama, H. Tamura and T. Akazaki: "Clear evidence of transition from nonlinear to linear screening of a two-dimensional electron system detected by photoluminescence spectroscopy", *Phys. Rev. Lett.* 101, 207401 (2008).
19. Y. Sakurai, S. Nomura, K. Shiraishi, M. Ikeda, K. Makihara and S. Miyazaki: "Temperature dependence of capacitance of Si quantum dot floating gate MOS capacitor", *J. Phys. Conf. Series.* 150, 022071/1-022071/4 (2009).
20. K. Tsumura, S. Nomura, T. Akazaki and H. Takayanagi: "Optical imaging of the transport properties of S-Sm-S junctions", *J. Phys. Conf. Series.* 150, 052273/1-052273/4 (2009).
21. Y. Takada, M. Muraguchi, S. Nomura and K. Shiraishi: "Theoretical Studies of Coupled Quantum Dot System with a Two-dimensional Electron Gas in the Magnetic Fields", *J. Phys. Conf. Series.* 150, 022083/1-022083/4 (2009).
22. M. Muraguchi, Y. Takada, S. Nomura and K. Shiraishi: "Theoretical Study of the Electron Dynamics of a Quantum Wire Coupled with the Quantum Dots", *J. Phys. Conf. Series.* 150, 022061/1-022061/4 (2009).
23. T. Akazaki, H. Hashiba, M. Yamaguchi, K. Tsumura, S. Nomura and H. Takayanagi: "Interplay between negative photoconductivity and enhanced Andreev reflection in InGaAs-based S-Sm-S junctions when exposed to infrared light", *J. Phys. Conf. Series.* 150, 052004/1-052004/4 (2009).
24. S. Nomura, M. Yamaguchi, T. Akazaki, K. Miyakoshi, H. Tamura, H. Takayanagi and Y. Hirayama: "Density dependent electron effective mass in a back-gated quantum well", in *Controllable Quantum State*, (World Scientific, Singapore, 2008), eds H. Takayanagi, J. Nitta, and H. Nakano, pp. 307-311.
25. S. Nomura and T. Iitaka: "Order- N electronic structure calculation of n -type GaAs quantum dot", in *Controllable Quantum State*, (World Scientific, Singapore, 2008), eds H. Takayanagi, J. Nitta, and H. Nakano, pp. 197-202.

<総説>

1. 野村晋太郎, 山口真澄, 田村浩之, 赤崎達志, 平山祥郎: "低密度二次元系のキャリア関連の発光測定" *固体物理*, Vol. 44, No. 1 pp. 43-53 (2009).

<国際会議>

1. K. Goto, M. Ikezawa, S. Tomimoto, B. Pal, Y. Masumoto, P. Mohan, J. Motohisa and T. Fukui: "One-dimensional and two-dimensional spectral diffusion in InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *SSDM 2008* (Tsukuba, 2008.9)
2. Y. Masumoto, T. Suzuki, K. Kawana and M. Ikezawa: "One-dimensional and two-dimensional spectral diffusion in InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *SSDM 2008* (Tsukuba, 2008.9)
3. M. Ikezawa, Y. Sakuma, M. Watanabe, Y. Masumoto: "Exciton spin stability in InP quantum dots at the elevated temperatures", *SSDM 2008* (Tsukuba, 2008.9)
4. Y. Masumoto, T. Suzuki, K. Kawana and M. Ikezawa: "Spin orientation in charge tunable InP quantum dots", *ICL' 08* (Lyon, 2008.7)
5. B. Pal, K. Goto, M. Ikezawa and Y. Masumoto: "Spectral diffusion of type-II excitons in InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *ICL' 08* (Lyon, 2008.7)
6. Y. Masumoto, T. Suzuki, K. Kawana and M. Ikezawa: "Spin orientation of excitons, trions and tetraons in charge tunable InP quantum dots", *EXCON' 08* (Kyoto, 2008.6)
7. K. Bando and Y. Masumoto: "Narrowing of exciton linewidth of a quantum dot with increasing temperature", *EXCON' 08* (Kyoto, 2008.6)
8. K. Goto, S. Tomimoto, B. Pal, Y. Masumoto, P. Mohan, J. Motohisa and T. Fukui: "Transient band-bending in

- InP/InAs/InP core-multishell nanowires”, EXCON’ 08 (Kyoto, 2008.6)
9. M. Ikezawa, Y. Sakuma, M. Watanabe and Y. Masumoto: “Single NN pair luminescence and single photon generation in nitrogen δ -doped GaP”, EXCON’ 08 (Kyoto, 2008.6) 招待講演
 10. Y. Masumoto: “Progress in quantum dot research”, Workshop on PNU-UT Collaborated Research (Kyoto, 2008.6)
 11. M. Ikezawa: “Single NN pair luminescence and single photon generation in nitrogen δ -doped GaP”, Workshop on PNU-UT Collaborated Research (Kyoto, 2008.6)
 12. Y. Takada, M. Muraguchi, S. Nomura and K. Shiraishi: “Tunable interaction between the two-dimensional electron gas and an isolated level by the magnetic field”, 29th International Conference on Physics of Semiconductors (ICPS29) (Rio de Janeiro, 2008.7)
 13. M. Muraguchi, Y. Takada, S. Nomura and K. Shiraishi: “Theoretical study on electron dynamics for a two-dimensional electron gas coupled with a quantum dot”, 29th International Conference on Physics of Semiconductors (ICPS29) (Rio de Janeiro, 2008.7)
 14. Y. Takada, M. Muraguchi, S. Nomura and K. Shiraishi: “Theoretical studies on the magnetic field effect of the two-dimensional tight-binding lattice coupled to a discrete level”, Physical Phenomena at High Magnetic Fields VI (Tallinn, 2008.8)
 15. M. Muraguchi, Y. Takada, Y. Sakurai, T. Endoh, S. Nomura, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki and K. Shiraishi: “Theoretical investigation of quantum dot coupled to a two-dimensional electron system”, 13th Advanced Heterostructures and Nanostructures Workshop (Hawaii, 2008.12)
 16. S. Nomura, Y. Sakurai, Y. Takada, M. Muraguchi, T. Endoh, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki and K. Shiraishi: “Capacitance measurements on quantum dots coupled to a two-dimensional electron system”, 13th Advanced Heterostructures and Nanostructures Workshop (Hawaii, 2008.12)
 17. S. Nomura, M. Yamaguchi, H. Tamura, T. Akazaki, T. Maruyama, S. Miyashita and Y. Hirayama: “Electron density dependence of photoluminescence peak splitting in a gated undoped quantum well”, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (Kanagawa, 2009.1)
 18. M. Yamaguchi, S. Nomura, H. Tamura and T. Akazaki: “Photoluminescence spectra of gated undoped GaAs quantum wells at low electron density with a square-mesh surface gate”, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (Kanagawa, 2009.1)
 19. Y. Sakurai, S. Nomura, Y. Takada, K. Shiraishi, M. Muraguchi, T. Endoh, M. Ikeda, K. Makihara and S. Miyazaki: “Temperature Dependence of Electron Transport between Quantum Dots and Electron Gas”, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (Kanagawa, 2009.1)
 20. S. Nomura and T. Iitaka: “Order-N electronic structure calculation of a Si quantum dot”, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (Kanagawa, 2009.1)
 21. K. Tsumura, S. Nomura, T. Akazaki and H. Takayanagi: “Photo-voltage imaging of S-Sm-S junctions”, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (Kanagawa, 2009.1)
 22. H. Ito, Y. Shibata, S. Kashiwaya, Y. Ootuka and S. Nomura: “Optical mapping of the boundary of a two-dimensional electron gas by a near-field optical microscopy”, International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (Kanagawa, 2009.1)
 23. Y. Sakurai, S. Nomura, Y. Takada, K. Shiraishi, M. Muraguchi, T. Endoh, M. Ikeda, K. Makihara and S. Miyazaki: “Temperature Dependence of Electron Tunneling between Quantum Dots and Electron Gas”, American Physical Society March Meeting (Pittsburgh, 2009.3)
 24. M. Muraguchi, T. Endoh, Y. Sakurai, S. Nomura, Y. Takada, K. Shiraishi, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki and Y. Shigeta: “New insight into Tunneling Process between Quantum Dot and Electron Gas”, American Physical Society 2009 March Meeting (Pittsburgh, 2009.3)

<学位論文>

数理工学研究所物質創成先端科学専攻博士論文 (2009年2月)

1. 後藤 健：“Optical properties of novel semiconductor nanostructures: wurtzite InP/InAs/InP core-multishell nanowires (新しい半導体ナノ構造 - ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤーの光学的性質)”

数理工学研究所物質創成先端科学専攻修士論文 (2009年2月)

1. 井門 靖樹：“(チオフェン/フェニレン) コオリゴマー結晶を用いたマイクロレーザー作製プロセスの研究”
2. 梅澤 康昭：“金一次元格子構造を有するグラフェンのラマン分光”
3. 櫻井 蓉子：“量子ドット-電子ガス結合系における C-V 及び I-V 特性”
4. 藤咲 健二：“量子ドットアレーの C-V 特性と発光特性”

<講演>

1. 池沢道男、佐久間芳樹、渡邊真人、舛本泰章：“窒素を δ ドープした GaP の単一等電子トラップ分光 (II)” 日本物理学会 2008 秋季大会 (2008年9月)
2. 野澤伸介、富本慎一、寺井慶和、黒田眞司、瀧田宏樹、舛本泰章：“時間分解カー回転法を用いた CdTe/ZnTe 量子構造におけるスピンドイナミクスの観測” 第 69 回応用物理学会学術講演会 (2008年9月)
3. 佐久間芳樹、池沢道男、渡邊真人、舛本泰章：“GaP 中への N ドーピング技術と等電子トラップによる単一光子発生” 第 69 回応用物理学会学術講演会 (2008年9月)
4. 佐々木史雄、原市 聡、井門靖樹、舛本泰章、堀田 収：“(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーを用いたマイクロ(ディスク・リング)レーザーの発振モード特性” 第 69 回応用物理学会学術講演会 (2008年9月)
5. 井門靖樹、舛本泰章、佐々木史雄、原市 聡、堀田 収：“(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーマイクロリングレーザー作製プロセスの改善” 第 69 回応用物理学会学術講演会 (2008年9月)
6. 富本慎一、野澤伸介、寺井慶和、黒田眞司、瀧田宏樹、舛本泰章：“CdTe/ZnTe 量子井戸及び自己形成量子ドットにおける時間分解カー回転測定” 日本物理学会 2008 秋季大会 (2008年9月)
7. 川名啓介、鈴木幸、池沢道男、舛本泰章：“チャージチューナブル InP 量子ドットのスピン偏極” 日本物理学会 2008 秋季大会 (2008年9月)
8. 舛本泰章：“単一光子技術が拓く新しい光物性” 日本光学会年次学術講演 招待講演 (2008年11月5日)
9. 野澤伸介、富本慎一、寺井慶和、黒田眞司、瀧田宏樹、舛本泰章：“CdTe/ZnTe 量子ドット中の閉じ込め電子の g 因子とスピン緩和” 日本物理学会第 64 回年次大会 (2009年3月)
10. 舛本泰章：“量子ドット中の電子スピンドイナミクスと緩和” 日本物理学会第 64 回年次大会 招待講演 (2009年3月)
11. 富本慎一、野澤伸介、寺井慶和、黒田眞司、瀧田宏樹、舛本泰章：“CdI-xMnxTe/ZnTe 自己形成量子ドットにおける電子スピンドイナミクス” 日本物理学会第 64 回年次大会 (2009年3月)
12. 富本慎一、野澤伸介、寺井慶和、黒田眞司、瀧田宏樹、舛本泰章：“CdMnTe/ZnTe 量子構造の光励起状態におけるスピンドイナミクス” 第 56 回応用物理学関係連合講演会 (2009年3月)
13. 佐々木史雄、原市 聡、井門靖樹、舛本泰章、堀田 収：“(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーを用いたマイクロ(ディスク・リング)レーザーの発振閾値低減” 第 56 回応用物理学関係連合講演会 (2009年3月)
14. 井門靖樹、舛本泰章、佐々木史雄、原市 聡、堀田 収：“高温蒸着法を用いた(チオフェン/フェニレン)コオリゴマーマイクロレーザー作製” 第 56 回応用物理学関係連合講演会 (2009年3月)

15. 川名啓介, 富本慎一, 野澤伸介, 舛本泰章: “チャージチューナブル InP 量子ドットにおける電子スピンのピコ秒ダイナミクス” 第 56 回応用物理学関係連合講演会 (2009 年 3 月)
16. 野澤伸介, 富本慎一, 寺井慶和, 黒田眞司, 瀧田宏樹, 舛本泰章: “CdTe/ZnTe 量子構造における電子スピンドダイナミクスの温度変化と g 因子の異方性” 第 56 回応用物理学関係連合講演会 (2009 年 3 月)
17. 野村晋太郎: “平らな二次元系と巻かれた二次元系の発光分光” 早稲田大学理工学術院, QMS セミナー (2008 年 5 月) (招待講演)
18. 野村晋太郎: “低次元電界効果素子における多体量子相関効果の分光計測研究” 京都大学, 宇治セミナー (2008 年 7 月) (招待講演)
19. 櫻井蓉子, 野村晋太郎, 白石賢二, 池田弥央, 牧原克典, 宮崎誠一: “量子ドットフローティングゲートメモリの低温における C-V 特性” 第 69 回応用物理学学会学術講演会 (2008 年 9 月)
20. 高田 幸宏, 村口 正和, 野村晋太郎, 白石賢二: “電子ガスと量子ドットの結合系における電子状態および電子ダイナミクスの検討” 第 69 回応用物理学学会学術講演会 (2008 年 9 月)
21. 野村晋太郎, 山口真澄, 田村浩之, 赤崎達志, 丸山達朗, 宮下宣, 平山祥郎: “二次元電子系発光ピーク分裂エネルギーの電子密度依存性” 日本物理学会秋季大会 (2008 年 9 月)
22. 野村晋太郎, 飯高敏晃: “Si ナノドットのオーダー N 電子状態計算” 日本物理学会秋季大会 (2008 年 9 月)
23. 高田幸宏, 村口正和, 野村晋太郎, 白石賢二: “電子ガス-量子ドット結合系における電子状態” 日本物理学会秋季大会 (2008 年 9 月)
24. 村口正和, 高田 幸宏, 櫻井蓉子, 野村晋太郎, 斎藤慎一, 白石賢二: “電子ガス-量子ドット結合系におけるダイナミクス” 日本物理学会秋季大会 (2008 年 9 月)
25. 櫻井蓉子, 野村晋太郎, 白石賢二, 池田弥央, 牧原克典, 宮崎誠一: “電子ガス-量子ドット結合系における C-V 特性” 日本物理学会秋季大会, (2008 年 9 月)
26. 野村晋太郎, 櫻井蓉子, 高田幸宏, 白石賢二, 村口正和, 遠藤哲郎, 池田弥央, 牧原克典, 宮崎誠一: “電子励起状態を介した量子ドットへのトンネル現象の変調” 応用物理学学会連合会 (2009 年 4 月) (招待講演)
27. 村口正和, 遠藤哲郎, 宮崎誠一, 牧原克典, 池田弥央, 野村晋太郎, 櫻井蓉子, 高田幸宏, 白石賢二: “少数電子で動く未来デバイスの姿-量子電子ダイナミクスからのメッセージ” 応用物理学学会連合会 (2009 年 4 月) (招待講演)