

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、池沢 道男  
 助教 富本 慎一  
 研究員 後藤 健  
 大学院生 16名

【1】 半導体量子ドットのスピンの光物性 (舩本泰章、富本慎一)

(1) 量子ドット中のドーパされた電子スピンへの書き込み機構—スピン量子メモリの研究

(舩本泰章、富本慎一、川名啓介) [論文19、関連論文1, 5, 6, 12, 13]

1電子ドーパInP 量子ドット中の電子スピンの偏極過程を時間分解カー回転法により電子スピンのコヒーレント才差運動を観測し、ドーパされた電子のスピンのトリオンを介して円偏光パルスにより書き込まれる機構を2つ明らかにした。

電子が1つドーパされたInP 量子ドットを横磁場下で円偏光パルスを用いて励起し、電子スピンの偏極過程を電子スピンのコヒーレント才差運動を時間分解カー回転法により観測することで研究した。時間分解カー回転信号は図1に示すように、3つの振動周期からなり、最も遅い振動成分はトリオン (2つの電子のスピンは互いに反平行なスピン—重項を構成するので正孔) スピンの才差運動で強磁場の時に明確になる。最も短い周期の振動は2 ns以上続きトリオン寿命の260 psより長いことからドーパされた電子スピンの才差運動であることが確認できる。実際、振動周期を  $T_e$  として、 $h/T_e$  は磁場Bに比例して増加し、その傾きから結晶成長軸に垂直な磁場が加わったときの電子のg因子として  $g_{\perp} = h/\mu_B B T_e = 1.53$  が求まる。図1に示された  $B=1T$  で測られた時間

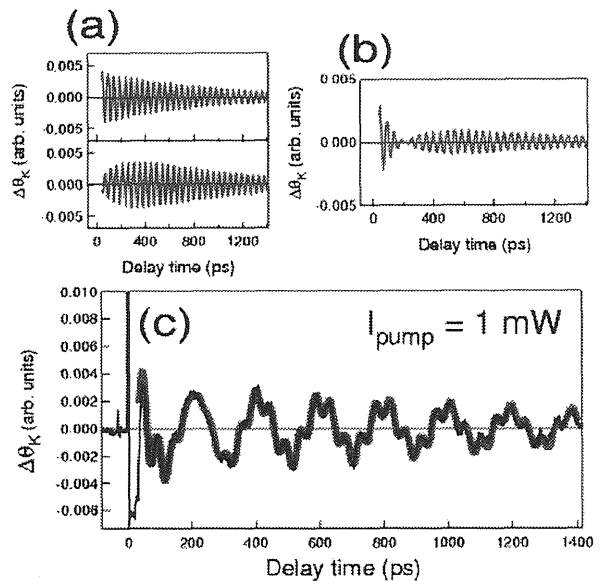


図1: 時間分解カー回転によって観測されたInP 量子ドット中にドーパされた電子スピンの才差運動

分解カー回転信号は  $\exp(-t/\tau_s)\{I_0\cos(\omega t)+I_1[1-\exp(-t/\tau_r)]\cos(\omega t+\pi)\}+\exp(-t/\tau_{\text{sub}})I_2\cos(\omega' t+\phi)$  で表され (ここで  $\omega=2\pi/T_e=0.134\text{rad/s}$  はドーパされた電子スピンの才差運動の角周波数、 $\omega'=2\pi/T_e'=0.032\text{rad/s}$  はGaAs基板内の電子スピンの角周波数) でみごとにフィッティングできる。第1項の電子スピンの早い立ち上がりの振動と第2項の遅い立ち上がり (立ち上がり時間  $\tau_r=200\text{ps}$ ) の振動のそれぞれの成分とその和を図1(a)(b)に示す。これにより位相が $\pi$ 異なる競合過程を見ることができ、量子ドット内電子スピンによる振動の実験結果をよく再現できているので、ドーパされた電子のスピンの偏極しスピンメモリとして書き込まれる機構が2つあることがわかる。スピンメモリ書き込み機構は、遅い立ち上がりをもつ成分が①スピン1重項電子対と正孔からなるトリオンの生成・正孔スピンの反転・電子正孔対の再結合からなる過程、早い立ち上がりをもつ成分が②トリオン共鳴スピンプリップラマン散乱である。一方、中性InP 量子ドットでは、励起子スピンの才差運動が観測され、才差運動周期の磁場依存性から電子・正孔交換相互作用が求められた。

(2) 時間分解カー回転法による伝導電子の  $g$  因子の符号の決定 (富本慎一、野澤伸介、舛本泰章)  
[論文 16]

ポンプ・プローブ法による時間分解カー回転 (TRKR) の観測において、半導体中の伝導電子のスピンの歳差運動の方向を見出し、 $g$  因子の符号を決定する新しい方法を開発した。この方法は図2に示すように、試料表面に対して大きな入射角 ( $\sim 45^\circ$ ) をもつポンプ光を用いる。

この場合、生成する電子のスピンは一般に図のように試料表面の法線方向 (図2の  $z$  軸) からポンプ光軸の向きに少し傾いたものとなる。一方、プローブ光は試料に垂直に入射させ、 $z$  軸方向のスピンの変化を TRKR で観察する。スピンは磁場に垂直な面内で歳差運動するが、その回転方向によって TRKR に現れる振動の初期位相が異なるので、そこからスピンの回転方向を判断することができる。実際の実験では、磁場方向を反転した2つの TRKR のデータを取得して比較し、それらの位相差の符号から  $g$  因子の符号を決定した。図3は CdTe/ZnTe 量子井戸での実験結果である。ポンプ・プローブ光のエネルギー  $E$  を、励起子 PL バンドの高エネルギー側で 2.27 eV から 2.31 eV

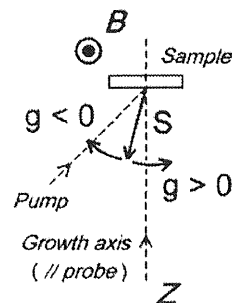


図2: 試料と磁場 (正方向) とポンプ・プローブ光軸の実験配置

まで変化させた時のデータを(a)から(d)までのパネルに示す。磁場  $B = +6$  T (実線) と  $B = -6$  T (破線) の2つのデータの間位相差が現れており、全てのエネルギーで  $B = -6$  T (破線) の振動が遅れているのが分かる。これは電子の  $g$  因子が負であることを示している。位相差の大きさは 2.28 eV と 2.29 eV の間で急激に変化しているが、これは 2.29 eV 以上でライトホールバンドからの励起が起きるためである。同じ方法は、希薄磁性半導体において有効  $g$  因子の符号を決定する際にも利用できる。我々は 1.3% の Cd を Mn で置換した量子井戸で同様の実験を行い、有効  $g$  因子の符号が正であることを見出した。これは、この量子井戸内の Mn イオンの  $d$  電子と伝導電子とのスピン間相互作用において、通常のパテンシャル交換相互作用が優勢であることを示している。

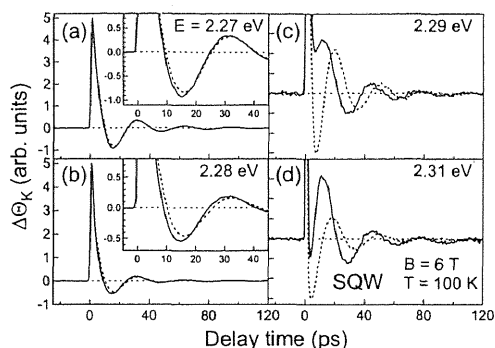


図3: CdTe/ZnTe 量子井戸における TRKR の測定結果 ( $T = 100$  K)

(3) ZnO 薄膜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)

ウルツ鉱型結晶構造をもつ ZnO や GaN では、結晶場分裂がスピン・軌道相互作用に比べて大きいため、価電子帯の構造が閃亜鉛鉱型半導体とは異なる。そのため、バンド間遷移の光学選択則も異なったものとなる。我々は ZnO における電子スピンの偏極と緩和のダイナミクスを TRKR 法によって調べた。試料は  $a$  面サファイア基板に MBE 成長した ZnO 薄膜であり、 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  の濃度で Ga をドーパしたものの (厚さ 1.45  $\mu\text{m}$ ) とノンドーパのもの (同 1.1  $\mu\text{m}$ ) の2種類である。これらの試料の低温 (15 K) での PL スペクトルを図4に示す。波長 367.6 nm 付近に自由励起子によるピークが2種類の試料に共通して見

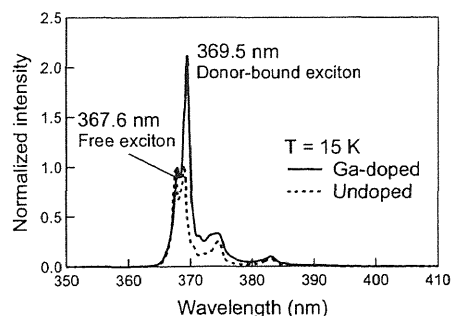


図4: ZnO 薄膜の PL スペクトル

られるが、Ga をドーブした試料では 369.5 nm 付近にドナー束縛励起子による強いピークが現れている。この試料での TRKR の測定結果（温度 7 K、磁場 2 T）を図 5 に示す。ポンプ・プローブ光の波長が自由励起子ピークに共鳴している時（366 nm）、観測されるスピンビートの寿命は 2.5 ns 程度であった。ノンドーブの試料でもこれに近い寿命の信号が同じ波長で観測された。一方、ポンプ・プローブ波長がドナー束縛励起子に共鳴している時（370 nm）、スピンビートの寿命は長くなり、レーザーパルスの繰り返し周期（13 ns）を超えている。この長寿命の信号はノンドーブの試料では現れないため、中性ドナーに束縛されている電子によるものと考えられる。この電子のスピンコヒーレンスは励起子から移されたもので、Elliott-Yafet 機構などの通常の自由電子のスピン緩和メカニズムが効かないために寿命が非常に長くなっている。ビート周波数から g 因子は、自由電子・ドナー束縛電子の双方に対して 1.97 と求められた。これは、結晶軸に対する磁場の方向によらず等方的である。また、光生成電子のスピン偏極の方向は常に結晶の c 軸に平行であった。これは、偏極方向がポンプ光の入射角に依存する閃亜鉛鉱型半導体の場合とは対照的な結果であり、価電子帯構造の違いを反映したものである。

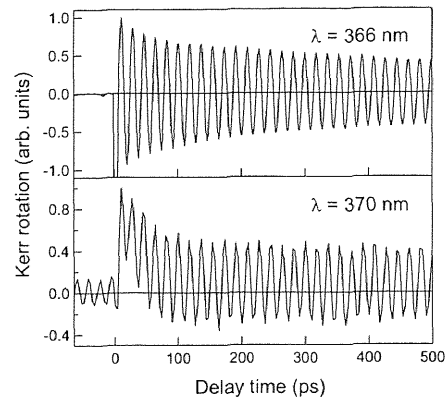


図 5: Ga をドーブした ZnO 薄膜の TRKR データ (T=7 K、B=2 T)

## 【2】単一量子ドットの分光研究（池沢道男、舛本泰章）

### (1) 単一 GaP:N 等電子トラップの原子配置

（池沢道男、渡邊真人、佐久間芳樹<sup>A</sup>、舛本泰章<sup>A</sup> 物質・材料研究機構）[論文 4, 9, 18]

ガリウムリン中の NN 窒素等電子トラップは、低エネルギー側から  $NN_1, NN_2, \dots, NN_{10}$  と名づけられており、 $NN_1$  が最近接ペア、 $NN_2$  が第二近接ペア、 $NN_i$  は第  $i$  近接ペアに起因する、と多くの文献に記述されている。しかし、これまでの我々の研究によって、その理解は誤りであることが分かっていた。 $NN$  ペアの原子配置は、ペアに束縛された励起子の微細エネルギー分裂にも関係し、単一光子源やもつれ合い光子対生成源としての応用上も、その理解が重要である。原子配置の決定には単一の不純物発光の偏光分光が極めて有効な手法であることがこれまでの研究で明らかになったため、それを原子層レベルで膜厚を精密制御された GaP:N 超薄膜と組み合わせることによって、原子配置を決定した。また、その結果に基づいて、真の最近接 NN ペアと考えられる赤外領域の発光中心を発見した。

ここでは主に、偏光方向で区別できない  $[0,0,0]$ - $[n,n,0]$  型の NN ペアについて述べる。こ

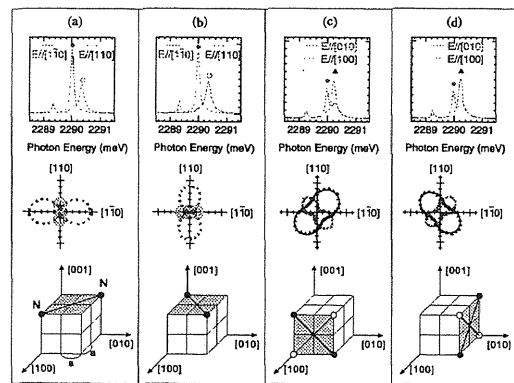


図 6: 単一  $NN_4$  の可能なすべての原子配置 ( $n=4$  を仮定) と、対応する発光スペクトル及び偏光依存性。(a) (b)はデルタドーブでも観測されるが、(c) (d)は 5 原子層以上の窒素ドーブが行われた場合にのみ観測される。この(c) (d)の、ドーブ層厚さ依存性を利用して  $n$  を決定する。

のグループに属するのは、 $NN_1, NN_3, NN_4, NN_7$ である。これらの NN ペアを顕微発光分光で一つずつ測定すると、図 6 に示す 4 パターンの偏光異方性が観測される。これは観測方向が、ドーパ層(001)面に垂直な方向である[001]方向の場合である。対応する原子配置としては、最下段に示すものが考えられる。このうち(a)と(b)は、一原子層ドーパでも見られる面内パターンであるが、(c)と(d)に相当する原子配置は、ドーパ層が  $(n+1)$  層以上ないと形成できない奥行き方向のパターンであるため、これを  $n$  の決定に利用する事が出来る。

図 7 で、実線につながれたマークが、 $NN_1, NN_3, NN_4, NN_7$ に関する実験データを示している。ドーパ量の揺らぎの影響を抑えるために、奥行き方向に形成されるペアの数自体ではなく、それを全ペア数で規格化した量を扱っている。例えば、 $NN_1$ は1原子層ドーパではほとんど垂直面内ペアは形成されないが、2原子層ドーパで10%程度出現し、3原子層ドーパで大きく増えて50%超となる。理想的なドーピングからのズレを考慮すると、これは3原子層が閾値となる  $n=2$  の NN ペアに期待される振る舞いと良く一致する。よって、 $NN_1$ は  $[0,0,0]-[2,2,0]$  と割り当てる事が出来る。 $NN_3, NN_4, NN_7$ についても同様に明瞭な閾値が観測され、それぞれ  $n=3, 4, 5$  と決定された。

これまでの議論の帰結として、最近接ペア  $[0,0,0]-[1,1,0]$  が緑色領域に存在していないという事がわかった。すなわち、 $[n,n,0]$ タイプのペアが4種類あったものの、 $n=2-5$ であって、 $n=1$ に対応するピークはなかった。

NN ペア発光エネルギーを計算で予測するのは難しいが、少なくとも同じ方向を向いた  $[n,n,0]$  型の NN ペアの電子束縛エネルギーには N-N 間距離に対して単純な関係があると考え、図 8(a) のようなプロットを行なったところ、直線を引く事が出来た。これを延長して、横軸が  $n=1$  に対応する N-N 間距離 ( $a/\sqrt{2}$ ,  $a$  は格子定数)でのエネルギーを予測すると、およそ 1eV もの大きな束縛エネルギーになり、近赤外領域で発光することが考えられた。そこで、これまで注目されてこなかった  $NN_1$  よりずっと低エネルギー領域で、 $[n,n,0]$  型 NN ペアとスペクトル的な特徴の一致する発光ピークを探したところ、予測したエネルギーとかなり近いエネルギーに、図 8(b) に示すような 3 つの発光ピークが観測された。これらは窒素濃度の 2 乗に比例して発光強度が増加するため、窒素原子 2 個からなる可能性が高く、いずれかのピークがこれまで知られていなかった真の最近接 NN ペアである可能性が高い。

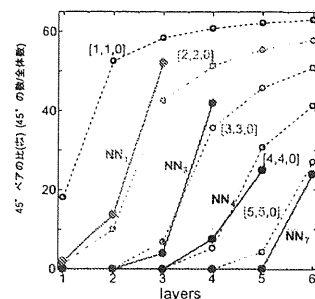


図 7: 垂直面内ペア (図 6(c)(d) の割合) のドーパ層数依存性。各 NN 発光中心で、特定のドーパ層数から、この割合が急増していることが分かる。この結果から、 $n$  が決定された。

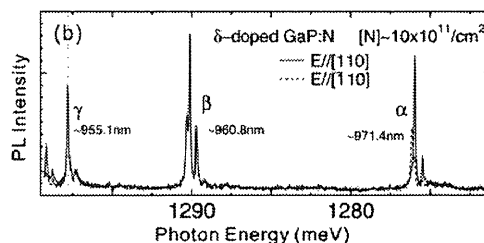
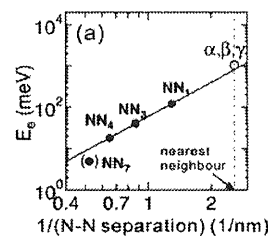


図 8: (a)  $[n,n,0]$  型の NN トラップの電子束縛エネルギー。 $NN_1, NN_3, NN_4$  についての実験データを外挿して最近接ペアの電子束縛エネルギーを見積もると約 1eV となる。(b) (001) 面上にデルタドーパした試料で、近赤外領域に発見された窒素由来の 3 つの新しい発光中心。

### 【3】新しい半導体ナノ構造 (舩本泰章、後藤健、池沢道男)

#### (1) ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤの光学的性質

(後藤健、舩本泰章、P. Mohan<sup>A</sup>、本久順一<sup>A</sup>、福井孝志<sup>A</sup> <sup>A</sup>北大量子集積エレクトロニクス研究

センター) [論文 8, 14, 18, 関連論文 3]

ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤは、長さが  $2\ \mu\text{m}$ 、幅が  $140\ \text{nm}$  の六角柱状のナノワイヤであり、InP の核と外殻によって InAs が挟まれた構造をしている。表面の被覆により外気に対して不活性化された InAs は、六角ナノチューブとしての性格を持っており、側面と角の領域はそれぞれ量子井戸と量子細線の性質を有している。また、InAs および InP の a 軸 (c 軸) 方向の格子定数は、それぞれ  $4.2\ \text{\AA}$  ( $6.9\ \text{\AA}$ )、 $4.0\ \text{\AA}$  ( $6.6\ \text{\AA}$ ) 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三次元歪み (静水圧歪み) を受けている (図 9(a))。この大きな圧縮歪みが InAs の伝導帯を引き上げ、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。タイプ II 型バンド構造においては、電子と正孔の空間的な分離により波動関数の重なりが減少するために再結合寿命が長く、100ns 以上まで発光が持続することが確認できる (図 9(c))。

長い発光持続時間は、コアマルチシェルナノワイヤにおける側面 (量子井戸) 領域から角 (量子細線) 領域への励起子の移動が観測を可能にする。励起強度  $61\text{pJ}$  の下で、ストリークカメラおよび単一光子計測法を用いて時間分解発光測定を行った。発光スペクトルが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、およそ 10ns で  $15\ \text{meV}$  レッドシフトした後、拡散速度が遅くなることを見出された (図 10(a))。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の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たことを示している。双極子-双極子相互作用によって励起子が移動するモデルを考え、量子井戸 (二次元) および量子細線 (一次元) 領域中の励起子について計算した結果、閉じ込め領域の次元の減少に従って、拡散速度が遅くなることが示された。発光線幅 ( $42\text{meV}$ ) やコアマルチシェルナノワイヤの側面領域と角領域それぞれに局在した正孔の閉じ込めエネルギー ( $3\text{meV}$ : 有限要素法により計算) をパラメータとして分布関数を与えると、測定結果とも良くフィッティングする (図 10(a))。従って、励起子がコアマルチシェルナノワイヤ中の量子井戸 (側面) 領域から量子細線 (角) に移動することによって、10ns までは早い拡散が、10ns 以降は遅い拡散がそれぞれ生じることを見出した。

双極子-双極子相互作用による励起子移動は、タイプ I 型およびタイプ II 型バンド構造中のどちらの励起子についても、試行関数が同じであるために相互作用ハミルトニアンを表式に違いはなく、タイプ I 型・II 型とも同じモデルを用いた議論に問題がないことを示した。その上で、タイプ I 型バンド構造を有する閃亜鉛型 InP/InAs 単一量子井戸との比較を行った。InP/InAs 単一量子井戸の発光線幅は、InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤに比べて約半分 ( $19\text{meV}$ ) と狭く、スペクトル拡散の速度が遅いことも観測された (図 10(b))。これは、上記の双極子-双極子相互作用による励起子移動モデルを用いて良く再現され、同一次

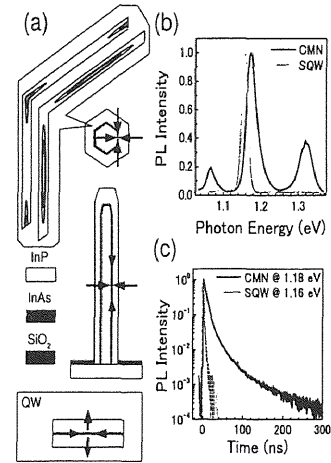


図 9: (a)コアマルチシェルナノワイヤの断面図。角および側面に局在した正孔の波動関数。(b)コアマルチシェルナノワイヤおよび単一量子井戸の発光スペクトルと(c)発光減衰。

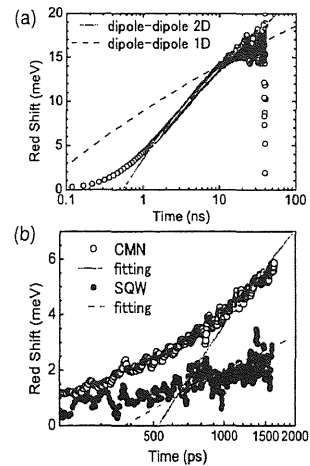


図 10: (a)発光の平均エネルギーのレッドシフト。(b)コアマルチシェルナノワイヤおよび単一量子井戸の発光平均エネルギーのレッドシフト。

元内においては発光線幅が狭いほど拡散速度が遅くなることがわかった。

顕微分光手法を用いて、単一ナノワイヤについて偏光分光測定を行った。ウルツ鉱型 InP/InAs/InP コアマルチシェルナノワイヤでは、ワイヤの長さ方向に c 軸が向いているため、発光スペクトルはワイヤの長さ方向と垂直方向で InAs 価電子帯の対称性 ( $\Gamma_6$ , または  $\Gamma_7$ ) に応じて異方的な直線偏光特性を生じることがわかった。

(2) (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<sup>A</sup>、原市 聡<sup>A</sup>、堀田 収<sup>B</sup> <sup>A</sup>産総研光技術, <sup>B</sup>京工繊大繊維)  
[論文 15, 17]

(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、 $\pi$  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 BPnT 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 BPnT を用いた。

薄膜結晶作製方法としては、SiO<sub>2</sub>/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、O<sub>2</sub> 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 $\mu$ J/cm<sup>2</sup> 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  $\mu$ J/cm<sup>2</sup> の 1/6 である。

(3) CdS/CdZnS/ZnS マルチシェルで覆われた CdSe 量子ドットの合成と発光

(P. Jing<sup>A</sup>, J. Zheng<sup>A</sup>, 池沢道男, X. Liu<sup>A</sup>, S. Lv<sup>A</sup>, X. Kong<sup>A</sup>, J. Zhao<sup>A</sup>, 舛本泰章 <sup>A</sup>中国科学院長春光学精密機器物理研究所) [論文 7]

CdS/CdZnS/ZnS マルチシェルで覆われた CdSe 量子ドットを化学的に合成し、この量子ドットの発光の温度依存性を 80K から 360K の範囲で調べた。マルチシェルの構造を変えて温度依存する非輻射過程は、量子ドット中に光励起され CdSe 量子ドットの表面の欠陥トラップに束縛された担体が多数の縦波光学フォノンの助けをかりて活性化する様子が見出された。温度を上げると発光強度が厚い CdS シェルをもつ量子ドットでも、CdS/CdZnS/ZnS マルチシェルをもつ量子ドットでも温度を上げると CdSe 量子ドット発光が増加するのが明確に観測され、これは CdSe/CdS 界面に 30meV のポテンシャル深さで局在した担体が非局在化することで起こると考えられる。実験結果は、CdSe 量子ドットの発光量子効率の改善は電子・正孔の ZnS シェルによる量子ドットへの閉じ込めとマルチシェルの表面と界面にある非輻射発光中心の減少として理解される。

(4) MnS/ZnS コア/シェル量子ドット中の Mn<sup>2+</sup>イオンの高効率発光

(P. Jing<sup>A</sup>, J. Zheng<sup>A</sup>, 池沢道男, X. Liu<sup>A</sup>, S. Lv<sup>A</sup>, X. Kong<sup>A</sup>, J. Zhao<sup>A</sup>, 舛本泰章 <sup>A</sup>中国科学院長春光学精密機器物理研究所) [論文 11]

MnS/ZnS コア/シェル量子ドットを化学的に合成し、厚い ZnS シェルを用いると 35% を越える量子効率をもつ Mn<sup>2+</sup>イオンの高効率発光を達成した。140~300K の間で温度上昇とともに MnS コアと ZnS シェルの間の界面に局在した電子・正孔の熱活性により発光が増加する。量子ドット中の Mn<sup>2+</sup>イオンの発光減衰は 1~2ms、数 100 $\mu$ s と数 10 $\mu$ s の 3 つの指数関数成分からなる。おどろくべきことに、Mn<sup>2+</sup>イオンの発

光寿命はシェルの厚さにほんのわずかに依存するだけで、量子ドットの発光の量子効率と明らかに異なる。実験結果から、MnS/ZnS 量子ドットの発光量子効率の改善の機構は ZnS シェルから Mn<sup>2+</sup>イオンへのエネルギー移動が増加し、厚い ZnS シェルで量子ドットの表面を覆うことで Mn<sup>2+</sup>イオンから ZnS シェルの表面トラップへの非輻射緩和がわずかに減少することで理解できる。

#### 【4】半導体ナノメートル構造の光物性（野村晋太郎）

##### (1) 希釈冷凍機温度近接場光学顕微鏡を用いた量子ホール端状態空間分解測定

(伊藤宙陸、柴田佑輔、古谷景佑、野村晋太郎) [論文 23]

磁場中半導体二次元電子系の試料端に形成される量子ホール端状態では、ポテンシャルが一定で電子密度がなめらかに変化する圧縮性液体とフェルミ面にエネルギーギャップがあり電子密度が一定の非圧縮性液体が縞状に交互に分布することが理論的に示されている。電気伝導測定によりこの端状態の存在は間接的に示されて来たが、その空間分布を直接観測した例は今までなかった。私たちが昨年度までに開発してきた希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡を用いて、今回、この半導体二次元系端状態を空間分解して捉えることに初めて成功した。

近接場光学顕微鏡は、光の波長よりも小さい穴に局所的に発生する光を用いて、光の回折限界以下のものを観察する走査プローブ顕微鏡の一種である。図 11 に示すような開口径約 100 nm の近接場光プローブを用いることにより、ほぼ同サイズの光スポットを試料上に x-y 走査し、電圧電子間に誘起された光起電圧の空間分布を得た。測定には、電子移動度 180 万 cm<sup>2</sup>/Vs の GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ接合ホールバー試料を用いた。励起光波長 800 nm、試料温度約 200 mK、垂直磁場 1.64 T において得られた光起電圧の空間マップ像を図 12 に示す。試料の端に平行な間隔約 710 nm の縞状構造が観測された。さらに、磁場を変えて電子占有数  $\nu$  に依存した空間マップ像を取得した。縞状構造が  $\nu$  の変化に伴い、試料端から離れていく様子を観測した。以上の結果は圧縮性液体/非圧縮性液体のモデルを用いて定性的に説明された。

本研究は低温物性グループの大塚教授、産業技術総合研究所柏谷聡氏、NTT 物性科学基礎研究所赤崎グループとの共同研究である。

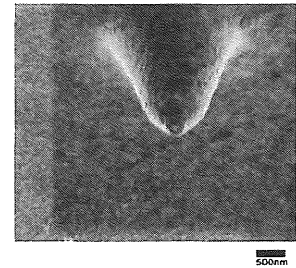


図 11：近接場光プローブの SIM 像。

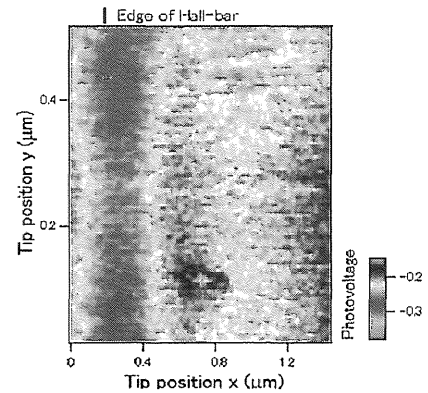


図 12：1.64 T における光起電圧の空間マップ像。

##### (2) 半導体中スピン観測のためのナノ SQUID の開発（宍戸将之、柴田宙陸、野村晋太郎）

ナノメートルサイズの超伝導量子干渉素子（ナノ SQUID）は、ジョセフソン接合を二つ有する量子干渉素子であり、超高感度の磁場検出素子として知られ、単一スピンの検出の可能性が示されている。私たちは半導体ナノ構造中電子スピンの直接的な観測のために、ナノ SQUID の開発を行っている。ナノ SQUID の形成には、集束イオンビーム(FIB)が有力な手法として用いられている。しかし FIB 加工において、入射 Ga イオンの打ち込みやスパッタ粒子の再堆積、あるいは走査イオン顕微鏡(SIM)像観察など意図しないスパッタによる試料損傷がある。これらの損傷を考察する理論・実験的報告は少ない。そこで、本研究では表面に近いところにヘテロ接合のある GaAs/AlGaAs 単一ヘテロ接合への局所的 FIB 照射による損傷の影響を顕微鏡発光測定により空間分解して評価した。FIB 照射の影響がなくなり一定になる発光強度と FIB 照射した領域の発光強度との比を加速電圧とビーム照射時間について調べた。加速電圧、

照射時間が増加するとどちらもピーク発光強度比は減少し損傷が大きくなることがわかった。本研究により、FIBを用いたデバイス作製において加速電圧を小さくすれば、試料損傷を抑えられることがわかった。

本研究は産業技術総合研究所柏谷聡氏のグループ、東京理科大学教授高柳英明氏のグループとの共同研究である。

(3) 半導体二次元電子系の分数量子ホール領域における発光分光 (野村晋太郎) [論文 22, 25, 26]

半導体二次元電子-正孔系の多体キャリア間相関効果に関わる現象の研究には、低キャリア密度領域で高い移動度を示すクリーンな試料を、低いキャリア温度で測定することが必要である。半導体二次元電子系の研究には、ドナーイオン層を有する変調ドープヘテロ接合が通常用いられてきたが、低電子密度領域ではドナーイオンによる散乱ポテンシャルの影響が顕著になり、多体キャリア間相関効果に関わる現象を観測するのが困難であった。そこで、ドナーイオン層を取り除いた非ドープ半導体量子構造試料を用いて、代わりに静電場を印加して二次元電子系を生成することにより研究を進めてきた。その結果、裏面ゲートに電圧を印加してソース電極から電子を供給することにより、非ドープ半導体量子構造試料を用いて低キャリア密度でも高移動度を有する低次元電子・正孔系を任意の密度で形成することが可能となった。以上の手法を用いて、光励起により少数キャリアを生成することによりはじめて現れる準平衡または非平衡電子-正孔系の多体キャリア間相関効果を、希釈冷凍機を用いた mK 領域での極低温、強磁場領域において明らかにすることを目的に研究をおこなっている。

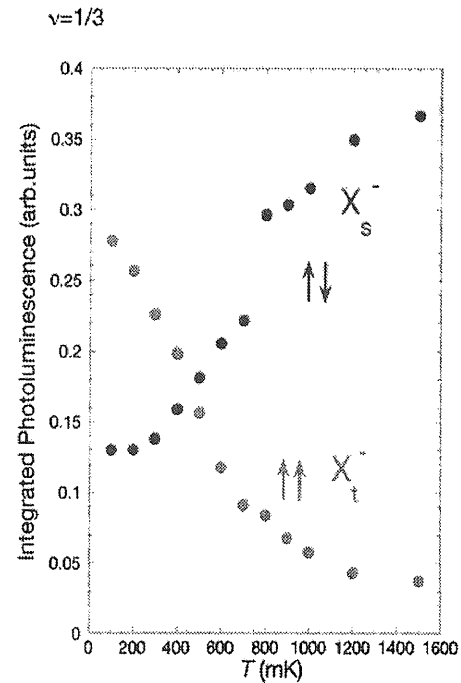


図 13:  $\nu=1/3$  における二つの発光ピーク  $X_s^-$  と  $X_i^-$  の積分強度の温度依存性。

電子密度を外部電圧で制御可能なゲート付き非ドープ量子井戸構造試料を用いて電子占有数  $\nu=1/3, 2/5$  近傍に見られる二つに分裂した円偏光発光ピークの温度依存性について研究を行った。低エネルギー側、高エネルギー側の発光ピークはそれぞれ一重項荷電励起子 ( $X_s^-$ )、三重項荷電励起子 ( $X_i^-$ ) と関連づけられる。図 13 に  $\nu=1/3$  におけるこれらの発光ピークの積分強度の温度依存性を示す。この結果は、荷電励起子としての内部電子-正孔相関と二次元電子系の相関をあわせもつものとして理解され、FQHE ギャップ  $\Delta$  を反映していることが明らかにされた。

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

【5】 Si ドット-電子ガス結合系の物性 (野村晋太郎) [論文 20, 21, 27, 28, 29]

(1) 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)

トンネリングは二次元から二次元へのトンネリングを一次元モデルで説明することによって従来、理解されてきた。しかし、昨年度までに、二次元電子系から 0 次元系へのトンネル現象に予期されない温度依存性があることが明らかにされ、半導体ナノ構造におけるトンネリングには、その形状効果に関わることが示唆されてきた。本年度は、さらに、二次元系から 0 次元系へのトンネル現象の理解を深める



ために、トンネリングの温度依存性と光励起強度依存性の研究を進めた。

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。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=ブロッ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。

光励起によって、二次元電子系から Si ドットへの電子注入に必要なゲート電圧が、暗中に比べ大きく低バイアス側へシフトすることが見いだされた。このようなトンネリングの光励起強度依存性と温度依存性は、二次元電子系から Si ドットへの電子注入にのみ見られ、Si ドットから二次元電子系への電子放出の場合には観測されなかった。以上の結果は、光励起によって生成された電子-正孔対による電子ガスの揺らぎが Si ドットへのトンネリングに影響を与えるというモデルで説明された。

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。

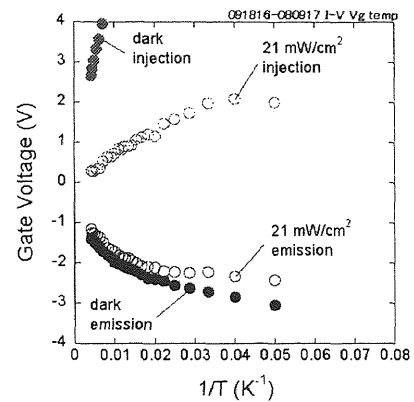


図 14：異なる温度における光励起下および暗中の電子注入・放出の起こるゲート電圧。

<論文>

1. 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).
2. K. Bando and Y. Masumoto: "Narrowing of exciton linewidth of a quantum dot with increasing temperature", *Phys. Stat. Sol. (c)* 6, 57-60 (2009).
3. 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).
4. M. Ikezawa, Y. Sakuma, M. Watanabe and Y. Masumoto: "Single NN pair luminescence and single photon generation in nitrogen  $\delta$ -doped GaP", *Phys. Stat. Sol. (c)* 6, 362-365 (2009).
5. 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).
6. 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).
7. Pengtao Jing, Jinju Zheng, Michio Ikezawa, Xueyan Liu, Shaozhe Lv, Xianggui Kong, Jinglong Zhao, and Yasuaki Masumoto: "Temperature-Dependent Photoluminescence of CdSe-Core CdS/CdZnS/ZnS-Multishell Quantum Dots" *J. Phys. Chem. C* 113, 13545-13550 (2009).
8. Ken Goto, Michio Ikezawa, Shinichi Tomimoto, Bipul Pal, Yasuaki Masumoto, Premila Mohan, Junichi Motohisa, and Takashi Fukui: "One- and Two-Dimensional Spectral Diffusions in InP/InAs/InP Core-Multishell Nanowires", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48, 04C203 (2009).
9. Michio Ikezawa, Yoshiki Sakuma, Masato Watanabe, and Yasuaki Masumoto: "Observation of New Isoelectronic Trap Luminescence in Nitrogen  $\delta$ -Doped GaP", *Jpn. J. Appl. Phys.* 48, 04C158 (2009).
10. V.K. Kalevich, A.Yu. Shiryaev, E.L. Ivchenko, M.M. Afanasiev, A.Yu. Egorov, V.M. Ustinov, Y. Masumoto: "Hanle effect and spin-dependent recombination at deep centers in GaAsN", *Physica B* 404, 4929-4932 (2009).
11. Jinju Zheng, Xi Yuan, Michio Ikezawa, Pengtao Jing, Xueyan Liu, Zhuhong Zheng, Xianggui Kong, Jialong Zhao, Yasuaki Masumoto: "Efficient Photoluminescence of  $Mn^{2+}$  Ions in MnS/ZnS Core/Shell Quantum Dots", *J. Phys. Chem. C* 113, 16969-16974 (2009).
12. Bipul Pal, Yasuaki Masumoto: "Spin relaxation in charge-tunable InP quantum dots", *Phys. Rev. B* 80, 125334 (2009).
13. Yasuaki Masumoto, Tsukasa Suzuki, Keisuke Kawana, Michio Ikezawa: "Spin orientation in charge tunable InP quantum dots", *J. Lumin.* 129, 1919-1922 (2009).
14. Bipul Pal, Ken Goto, Michio Ikezawa, Yasuaki Masumoto, Premila Mohan, Junichi Motohisa, Takashi Fukui: "Spectral diffusion of type-II excitons in wurtzite InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *J. Lumin.* 129, 1941-1944 (2009).
15. Yasuki Ido, Yasuaki Masumoto, Fumio Sasaki, Masahiko Mori, Satoshi Haraichi, Shu Hotta: "Reduced lasing threshold in thiophene/phenylene co-oligomer crystalline microdisks", *Appl. Phys. Express* 3, 012702-1-3 (2010).
16. Shinichi Tomimoto, Shinsuke Nozawa, Yoshikazu Terai, Shinji Kuroda, Koki Takita, Yasuaki Masumoto: "Anisotropic spin dynamics of confined electrons in CdTe/ZnTe quantum structures", *Phys. Rev. B* 81, 125313-1-10 (2010).
17. F. Sasaki, M. Mori, S. Haraichi, Y. Ido, Y. Masumoto, S. Hotta: "Microdisk lasers and field effect transistors of thiophene/phenylene co-oligomers by using high temperature deposition method", *Organic Electronics* 11, 1192-1198 (2010).

18. Yasuaki Masumoto, Ken Goto, Bipul Pal, Premila Mohan, Junichi Motohisa, and Takashi Fukui: "Spectral diffusion of type-II excitons in InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *Physica E* (in press).
19. Yasuaki Masumoto, Keisuke Kawana, and Shinichi Tomimoto: "Coherent spin precession of electrons and excitons in charge tunable InP quantum dots", *Physica E* (in press).
20. Yoko Sakurai, Shintaro Nomura, Yukihiro Takada, Jun-ichi Iwata, Kenji Shiraishi, Masakazu Muraguchi, Tetsuo Endoh, Yasuteru Shigeta, Mitsuhisa Ikeda, Katsunori Makihara, and Seiichi Miyazaki: "Physics of Nano-contact between Si Quantum Dots and Inversion Layer", *ECS Transactions* 25, 463 (2009).
21. Y. Sakurai, J. Iwata, M. Muraguchi, Y. Shigeta, Y. Takada, S. Nomura, T. Endoh, S. Saito, K. Shiraishi, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki: "Temperature Dependence of Electron Tunneling between Two Dimensional Electron Gas and Si Quantum Dots", *Jpn. J. Appl. Phys.* 49, 014001 (2010).
22. M. Yamaguchi, S. Nomura, H. Tamura, and T. Akazaki: "Photoluminescence spectroscopy of low-density two-dimensional electron system in electric fields", *Physics Procedia* 3, 1183 (2010).
23. H. Ito, Y. Shibata, K. Furuya, S. Kashiwaya, Y. Ootuka and S. Nomura: "Optical mapping of the boundary of a two-dimensional electron gas by a near-field optical microscopy", *Physics Procedia* 3, 1171 (2010).
24. K. Tsumura, S. Nomura, T. Akazaki, and H. Takayanagi: "Position dependent optical effect on the transport properties of S-Sm-S junctions", *Physics Procedia* 3, 1177 (2010).
25. M. Yamaguchi, S. Nomura, M. Delbecq, H. Tamura, and T. Akazaki: "Establishment of equilibrium of electrostatic potential by photo-irradiation in a GaAs quantum well at low temperature", *J. Phys. Conf. Series* 21, 021051 (2010).
26. M. Yamaguchi, S. Nomura, H. Tamura, and T. Akazaki: "Photoluminescence spectra of gated undoped quantum well with lateral potential modulation in low electron density", *Physica E* 42, 1167 (2010).
27. Y. Sakurai, S. Nomura, Y. Takada, K. Shiraishi, M. Muraguchi, T. Endoh, Y. Shigeta, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki: "Anomalous temperature dependence of electron tunneling between a two-dimensional electron gas and Si dots", *Physica E* 42, 918 (2010).
28. Y. Takada, M. Muraguchi, T. Endoh, S. Nomura, and K. Shiraishi: "Proposal of a new physical model for Ohmic contacts", *Physica E* (in press).
29. M. Muraguchi, T. Endoh, Y. Takada, Y. Sakurai, S. Nomura, K. Shiraishi, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki, and Y. Shigeta: "Importance of Electronic State of Two-Dimensional Electron Gas for Electron Injection Process in Nano-Electronic Devices", *Physica E* (in press).

<国際会議>

1. Yasuaki Masumoto, Ken Goto, Bipul Pal, Michio Ikezawa, Premila Mohan, Junichi Motohisa and Takashi Fukui: "Spectral diffusion of type-II excitons in InP/InAs/InP core-multishell nanowires", *The 14th International Conference on Modulated Semiconductor Structures MSS-14 (EP2DS/MSS14)* (Kobe, 2009.7)
2. Yasuaki Masumoto, Keisuke Kawana and Shinichi Tomimoto: "Coherent spin precession of electrons and excitons in charge tunable InP quantum dots", *The 14th International Conference on Modulated Semiconductor Structures MSS-14 (EP2DS/MSS14)* (Kobe, 2009.7)
3. Yasuaki Masumoto: "New artificial atoms – isoelectronic traps in GaP:N", *International Workshop on Photons and Spins in Nanostructures (IWPSN)* (Sapporo, 2009.7) (招待講演)
4. Michio Ikezawa, Masato Watanabe, Yoshiki Sakuma and Yasuaki Masumoto: "Luminescence polarization and atomic configuration of NN pair single-photon-emitter", *International Symposium on Quantum Nanophotonics and Nanoelectronics* (Tokyo, 2009.11)

5. S. Nomura, M. Yamaguchi, H. Tamura, T. Akazaki, and Y. Hirayama: "Circular polarization reversal of split photoluminescence peaks at  $n$  of slightly less than 1", The 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18), (Kobe, 2009.7)
6. M. Yamaguchi, S. Nomura, H. Tamura and T. Akazaki: "Photoluminescence spectra of gated undoped quantum well with lateral potential modulation in low electron density", The 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18), (Kobe, 2009.7)
7. Y. Sakurai, S. Nomura, Y. Takada, K. Shiraishi, M. Muraguchi, T. Endoh, Y. Shigeta, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki: "Anomalous temperature dependence of electron tunneling between a two-dimensional electron gas and Si dots", The 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18), (Kobe, 2009.7)
8. M. Muraguchi, T. Endoh, Y. Takada, Y. Sakurai, S. Nomura, K. Shiraishi, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki, and Y. Shigeta: "Importance of Electronic State of Two-Dimensional Electron Gas for Electron Injection Process in Nano-Electronic Devices", 14th International Conference on Modulated Semiconductor (MSS-14), (Kobe, 2009.7)
9. Y. Takada, M. Muraguchi, T. Endoh, S. Nomura, and K. Shiraishi: "Proposal of a new physical model for Ohmic contacts", 14th International Conference on Modulated Semiconductor (MSS-14), (Kobe, 2009.7)
10. H. Ito, Y. Shibata, S. Kashiwaya, Y. Ootuka and S. Nomura: "Optical mapping of the edge of Hall-bar by a near-field optical microscopy in magnetic field", 14th International Conference on Narrow Gap Semiconductors and Systems (Sendai, 2009.7)
11. K. Tsumura, S. Nomura, T. Akazaki, and H. Takayanagi: "Position dependent optical effects on the transport properties of S-Sm-S junctions", 14th International Conference on Narrow Gap Semiconductors and Systems (Sendai, 2009.7)
12. M. Yamaguchi, S. Nomura, H. Tamura, and T. Akazaki: "Photoluminescence spectroscopy of low-density two-dimensional electron system in electric fields", 14th International Conference on Narrow Gap Semiconductors and Systems, (Sendai, 2009.7)
13. M. Yamaguchi, S. Nomura, M. Delbecq, H. Tamura and T. Akazaki: "Establishment of equilibrium of electrostatic potential by photo-irradiation in a GaAs quantum well at low temperature", OECS11 (Madrid, 2009.9)
14. M. Muraguchi, Y. Sakurai, Y. Takada, Y. Shigeta, M. Ikeda, K. Makihara, S. Miyazaki, S. Nomura, K. Shiraishi and T. Endoh: "New Tunneling Model with Dependency of Temperature Measured in Si Nano-Dot Floating Gate MOS Capacitor", 2009 International Conference on Solid State Devices and Materials (Sendai, 2009.10)
15. S. Nomura: "Physics of Nanocontact Between Si Quantum Dots and Inversion Layer", 216th Electro-Chemical Society Meeting (Wien, 2009.10) (invited)
16. S. Nomura: "Photoluminescence characteristics of high-quality two-dimensional electron systems", International Symposium on Quantum Nanostructures and Spin-related Phenomena (Tokyo, 2010.3) (invited)

<学位論文>

数理物質科学研究科物質創成先端科学専攻博士論文 (2010年2月)

1. Hironori Ito : "Study of electronic properties of semiconductor heterostructures by a dilution-refrigerator based near-field optical microscope in magnetic field (希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡による半導体へテロ構造の電子状態の研究) "
2. Kohei Tsumura : "Optical investigations of modulation of transport properties of superconductor/semiconductor junction and quantum interference effect in semiconductor two-dimensional system (光学的手法による超伝導体/半導体接合に於ける輸送特性変調と半導体二次元系中量子干渉効果の研究) "

数理工質科学研究科物質創成先端科学専攻修士論文 (2010年2月)

1. 野澤伸介：“II-VI 族半導体とその量子構造におけるスピンの時間分解カー回転法による研究”
2. 川名啓介：“チャージチューナブル InP 量子ドットにおけるスピン偏極”
3. 渡邊真人：“窒素をドーブした III-V 族化合物半導体中の単一不純物発光中心の研究”
4. 吉田清太郎：“フォトンエコーによる単層ディスク状 InAs 量子ドットの研究”
5. 柴田祐輔：“2ch-ナノ SQUID を用いた局所磁場観察のための測定系開発と評価”

<講演>

1. 池沢道男、渡邊真人、舛本泰章、佐久間芳樹：“窒素をドーブした GaP 中の単一等電子トラップの偏光 PL” 第5回量子ナノ材料セミナー (埼玉大学) (2009年7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 量子構造中の閉じ込め電子の g 因子の符号決定” 秋季第70回応用物理学会学術講演会 (2009年9月)
3. 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 マイクロディスクレーザーの発振前共振器モードの観測” 秋季第70回応用物理学会学術講演会 (2009年9月)
4. 池沢道男、渡邊真人、佐久間芳樹、舛本泰章：“原子層単位で膜厚制御した GaP:N 超薄膜における単一等電子トラップの偏光 PL” 秋季第70回応用物理学会学術講演会 (2009年9月)
5. 渡邊真人、池沢道男、佐久間芳樹、舛本泰章：“原子層単位で膜厚制御した GaP:N における NN ペア形成” 秋季第70回応用物理学会学術講演会 (2009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：“斜め入射ポンプ光を用いた CdTe/ZnTe 量子構造の時間分解カー回転測定” 日本物理学会秋季大会 (2009年9月)
7. 渡邊真人、池沢道男、佐久間芳樹、舛本泰章：“窒素を  $\delta$  ドープした GaP における赤外領域発光中心の観測” 春季第57回応用物理学会関連連合講演会 (2010年3月)
8. 佐々木史雄、森 雅彦、原市 聡、舛本泰章、堀田 収：“(チオフェン/フェニレン) コオリゴマー マイクロディスクレーザーの共振器モードと有効屈折率” 春季第57回応用物理学会関連連合講演会 (2010年3月)
9. 川名啓介、富本慎一、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のスピン偏極過程の実時間観測” 春季第57回応用物理学会関連連合講演会 (2010年3月)
10. 野澤伸介、富本慎一、加藤裕幸、佐野道宏、松本貴裕、舛本泰章：“Ga をドーブした ZnO 薄膜の電子スピンドYNAMIKSの観測” 春季第57回応用物理学会関連連合講演会 (2010年3月)
11. 吉田清太郎、池沢道男、舛本泰章、佐久間芳樹：“ディスク状単層 InAs 量子ドットにおけるフォトンエコー” 日本物理学会年次大会 (2010年3月)
12. 池沢道男、渡邊真人、佐久間芳樹、舛本泰章：“単一発光中心の精密分光による GaP 中 NN 発光の起源解明とその利用” 日本物理学会年次大会 (2010年3月)
13. 川名啓介、富本慎一、舛本泰章：“チャージチューナブル InP 量子ドットの時間分解カー回転測定” 日本物理学会年次大会 (2010年3月)
14. 野澤伸介、富本慎一、舛本泰章：“ZnO 薄膜における電子スピンドYNAMIKSの励起波長依存性” 日本物理学会年次大会 (2010年3月)
15. 高木勇人、舛本泰章：“CuCl の励起子、励起子分子フォトンエコー” 日本物理学会年次大会 (2010年3月)
16. 渡邊真人、池沢道男、佐久間芳樹、舛本泰章：“膜厚を精密制御した GaP:N を用いた窒素由来発光中心の起源解明とその光物性” 日本物理学会年次大会 (2010年3月)

17. 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” 応用物理学会連合会（つくば）（2009年4月）（招待講演）
18. 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” 応用物理学会連合会（つくば）（2009年4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メモリの低温におけるC-V特性” 応用物理学会連合会（つくば）（2009年4月）
20. 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” 科研費新学術領域第2回シンポジウム（京都大学）（2009年8月）
21. 野村晋太郎、山口真澄、田村浩之、赤崎達志、平山祥郎：“ $\nu=1$ における円偏光発光スペクトル” 日本物理学会秋季大会（2009年9月）
22. 山口真澄、野村晋太郎、田村浩之、赤崎達志：“格子型表面ゲート付き非ドープGaAs量子井戸の発光スペクトル(2)” 日本物理学会秋季大会（2009年9月）
23. 高田幸宏、村口正和、遠藤哲郎、野村晋太郎、白石賢二：“将来のナノコンタクトを日指したオーミック接触の再考” 秋季第70回応用物理学会学術講演会（2009年9月）
24. 櫻井蓉子、高田幸宏、野村晋太郎、白石賢二、村口正和、遠藤哲郎、池田弥央、牧原克典、宮崎誠一：“光励起下における電子ガス-量子ドット結合系のC-V特性とI-V特性” 日本物理学年秋季大会（2009年9月）
25. 野村晋太郎：“二次元電子系-量子ドット結合系のトンネル現象の光励起効果” 21年度の東北大学プロジェクト研究会（仙台）（2009年10月）（招待講演）
26. 櫻井蓉子、高田幸宏、野村晋太郎、白石賢二、村口正和、遠藤哲郎、池田弥央、牧原克典、宮崎誠一：“二次元電子系-量子ドット結合系のI-V特性から見る電子の注入と放出” NWDTF10（仙台）（2010年1月）
27. 宍戸将之、野村晋太郎、松本哲朗、柏谷聡、石黒亮輔、高柳英明：“顕微発光スペクトルを用いたGaAsヘテロ接合への集束イオンビーム照射による損傷の評価” 応用物理学会連合会（平塚）（2010年3月）
28. 松本哲朗、柏谷裕美、柴田肇、石黒亮輔、山口明、高柳英明、野村晋太郎、柏谷聡：“Nb nanoSQUIDのIc低減に向けてのアプローチ” 応用物理学会連合会（平塚）（2010年3月）
29. 高田幸宏、村口正和、遠藤哲郎、野村晋太郎、白石賢二：“将来のナノコンタクトを目指した新しいオーミックコンタクトモデルの考察” 応用物理学会連合会（平塚）（2010年3月）
30. 伊藤宙陸、古谷景佑、柴田祐輔、大塚洋一、野村晋太郎、柏谷聡、山口真澄、田村浩之、赤崎達志：“近接場局所光照射による量子ホール端状態の観測” 日本物理学会年次大会（2010年3月）
31. 野村晋太郎、山口真澄、田村浩之、赤崎達志、平山祥郎：“分数量子ホール領域の円偏光発光スペクトルの温度依存性” 日本物理学会年次大会（2010年3月）
32. 村口正和、高田幸宏、櫻井蓉子、野村晋太郎、白石賢二、牧原克典、池田弥央、宮崎誠一、重田育照、遠藤哲郎：“2次元電子ガス-量子ドット界面における電子トンネル過程に対する微視的考察” 日本物理学会年次大会（2010年3月）

<報文>

1. 野村晋太郎、「半導体素子評価のための希釈冷凍機温度磁場中近接場光学顕微鏡の開発」『WHAT'sON@IBEC』2009年度第4号[通巻第74号]。

<特許>

1. 「ナノ多孔質体を利用した微粒子、ナノ構造体の製造方法」、特許第4394121号、平成21年10月23日、発明者 野村晋太郎、伊藤宙陸 出願人独立行政法人科学技術振興機構、US Patent No. 11/597,877 (Notice of Allowance); Canada Patent Appl. No. 2,569,222 (Notice of Allowance).