



研究活動 ? . 物性実験グループ ?-2 ナノフォトニクスグループ

雑誌名	年次研究報告
巻	2018
ページ	215-221
発行年	2019-10
URL	http://hdl.handle.net/2241/00158003

IX-2 ナノフォトニクスグループ

准教授 池沢 道男
講師 久保 敦
助教 富本 慎一
名誉教授 舛本 泰章
大学院生 16名
卒研究生 3名

【1】0次元半導体の分光研究 (池沢道男、舛本泰章)

(1) 単一窒素等電子トラップの電荷制御と光電流読み出し (池沢道男, 佐久間芳樹^A, ^A物質・材料研究機構)

単一の窒素等電子トラップに対して、量子ドットで確立されているような電荷状態の制御を行う事は、基礎と応用の観点から重要である。我々は、GaAs:N中の窒素等電子トラップについて、電荷制御量子ドットに用いられる試料構造を用いて、単一発光中心の電荷制御を試み、バイアス電圧に依存した単一発光中心のスペクトル変化を観測していた。しかし、この試料構造では、原因不明の幅広いバックグラウンド発光が重畳するなど、より詳細な研究をおこなうには問題があった。今年度、試料構造及びドーピング条件の異なる多くの試料の顕微フォトルミネッセンススペクトルを詳細に比較することによって、バックグラウンドの発光の原因が、電荷制御用構造に起因するものではなく、窒素と一緒に取り込まれるカーボン不純物と、窒素デルタドープ層のバンドギャップエネルギー減少によるものと結論した。この結果から、今後の試料作製パラメータの最適化でバックグラウンド発光を低減させることができる目途がついた。また、この試料構造は、光励起で生成したキャリアを外部回路に取り出すためにも用いることができる。単一トラップの光電流を読み出すことは、共鳴する励起光を用いて微細なエネルギー準位構造を知るためにも、2準位系の光による量子状態操作結果を読み出すためにも重要である。今年度、試料表面に微細な穴の開いた金電極を作製し、ピコアンペア程度の微弱な電流を測るためのシステムを構築し、狭線幅のレーザーを掃引して単一トラップの光電流読み出しを行うための実験系を組み立てた。今後、実際に単一トラップからの光電流読み出しを行い、エネルギー準位の詳細な理解や、ラビ振動の観測などに繋げたい。

(2) 窒素等電子トラップの3パルス四光波混合 (池沢道男, 佐久間芳樹^A, ^A物質・材料研究機構)

GaAs中に希薄にデルタドープされた窒素不純物によって形成される等電子トラップは、数百ps程度の短い寿命を持つ明るい単一光子源として有用である。昨年度、これらの窒素発光中心に束縛された励起子のコヒーレンスを評価するために、2パルスのヘテロダイン検出縮退四光波混合法(FWM)を用いてフォトンエコー信号を観測し、位相緩和時間を測定する事に成功した。今年度はそれを発展させ、3パルスによる誘導エコーを観測することによって、スペクトル拡散が位相緩和に与える影響を調べた。

試料は、MOCVD法でGaAs(100)基板上に窒素デルタドープ層を1層成長させたものである。窒素ドーピング量は、個々の発光中心を通常の顕微分光法で分解できる程度に低濃度としている。励起にはパルス幅約2ps、繰り返し周期82MHzのTi:Sレーザーを用いた。FWM信号検出には反射配置で

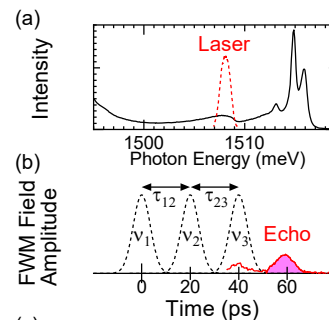


図: (a) 窒素をデルタドープしたGaAs試料の発光スペクトルと顕微発光スペクトル。(b) 時間分解FWM信号。3つの励起パルスから期待されるタイミングに明瞭なフォトンエコーが観測されている。

3 ビーム同軸入射のヘテロダイン検出法を用いた。各励起パルスおよび参照パルスに対して音響光学素子を用いて 110MHz 前後の周波数シフトを与え、スペクトラムアナライザーで FWM 光と参照光の干渉の周波数のみを選んで検出した。試料温度は 2K である。

図(a)に試料の発光スペクトルを示す。1510meV より低エネルギー側にあるなだらかな発光帯が、窒素ドープによって形成された発光中心による鋭い発光スペクトルの集合であることは、顕微 PL 測定により確認されている。1500meV より低エネルギー側ではカーボンアクセプタに起因する発光が重畳している。点線で示すようなスペクトルのパルスで励起した際に、図(b)に示すように、第三パルスから τ_{12} だけ遅れた位置に明瞭な誘導エコー信号が観測された。パルス間隔 τ_{12} または τ_{23} を掃引する事によって、エコー信号の指数関数的な減衰が見られ、ここからそれぞれ T_2 と T_1 が得られる。 T_2 に関しては2パルスでの測定と同程度であった。縦緩和時間 T_1 は、 τ_{12} を大きくすると短くなることが分かった。これは第一パルスと第二パルスで形成されるポピュレーショングレーディングがスペクトル拡散によって弱められる効果に対応すると考えられる。

(4) セレン化カドミウムナノプレートレットの低温における単一光子発生 (池沢道男, 舛本泰章)

近年、CdSe, CdS, CdTe などのカドミウムカルコゲナイドのナノメートルサイズの板状結晶 (Nanoplatelets, NPL) を化学的手法で合成できるようになってきた。これらは原子層レベルでフラットな構造になっており、原子層厚さに対応した離散的な吸収スペクトル変化が見られる。また球形の量子ドットに比べて、低温で非常に高速の応答が観測されており、超高速の単一光子発生に利用できる可能性がある。我々は、昨年度までに、室温での単一 CdSe NPL からの単一光子発生が確認できていた。これを高速応答が期待できる低温度で行うために、固体浸レンズを利用した光学系と試料ホルダーを用意した。5 モノレイヤー厚さのセレン化カドミウム (CdSe) NPL について 5K で共焦点顕微鏡を用いた顕微分光を行ったところ、室温時と異なり、明滅現象を長時間示さない NPL が得られた。さらに、繰り返し周波数 100MHz の 50ps パルス励起の下で Hanbury-Brown and Twiss 測定を行ったところ、明瞭なアンチバンチング特性が観測された。時間応答は検出器の応答時間で制限されるほど短く、光子放出レートが室温と比べて大幅に高速化されていることが確かめられた。今後、単一光子性と NPL サイズの関係を明らかにしたい。

(5) 二次元半導体を入れたチューナブルな共振器による共振器ポラリトン観測 (池沢道男, 佐久間芳樹^A, ^A物質・材料研究機構)

光共振器中の光と物質の強い結合によって生じるキャビティーポラリトンがオプトエレクトロニクス応用の観点から興味を持たれている。遷移金属ダイカルコゲナイドや半導体ナノプレートレットなどの二次元半導体は大きな励起子束縛エネルギーを有するため、室温での強結合状態のための有力な材料と考えられ、実際にいくつかの報告例がある。我々は、二次元半導体中の励起子と光の強結合状態を詳しく研究するために、共振器長が可変なキャビティーを作製し光スペクトルを調べた。スパッタ成膜によって石英ガラス基板の上に SiO₂/TiO₂ を交互に 14 層製膜して高反射率の誘電体多層膜ミラーを作製した。一方のミラーは低屈折率材料で終端するようにし、その表面に二次元半導体を配置した。4ML(1.2nm)の厚さの CdSe ナノプレートレットを化学的に合成し、ミラー上に滴下して乾かすことを繰り返して、適当な光学濃度の膜を形成した。透過スペクトルには 514nm に重い正孔励起子による吸収ピークが見られる。この波長での透過率はおよそ 95%程度である。もう一方のミラーを数ミクロン程度に近接して配置してファブリー・ペロー共振器を形成し、一方のミラーはドーナツ形のピエゾ素子に貼り付けてキャビティー間隔の微調整が出来るようにした。作製したキャビティーは半導体を成膜する前はフィネスが約 40 であったが、成膜後はこれを下回った。ピ

エゾ素子に印加する電圧を変化させてキャビティーモードが励起子吸収を横切るようにした場合に、励起子とキャビティーモードの強い結合による反交差的な振る舞いが見られた。真空ラビ分裂幅は40meV程度と見積もられた。

(6) 発光の時間分解測定によるGaAs:Nのスピンの緩和の研究 (池沢道男, 佐久間芳樹^A, ^A物質・材料研究機構)

単一光子源として期待される GaAs 中の窒素不純物について、発光中心に束縛されたスピン寿命を偏光・時間分解 PL 測定から求めた。試料は有機金属化学気相成長法により作製され、厚さ 5nm の GaAs/AlGaAs 量子井戸の中央部分に窒素がデルタドープされている。励起には繰り返し周波数 82MHz のピコ秒 Ti:S レーザーを用い、時間分解にはストリークカメラを用いた。右回り円偏光で試料を励起し、発光の左右円偏光成分をウォラストンプリズムと回転波長板を用いた光学系を利用して同時測定した。デルタドープ層を含まない参照用量子井戸(QW)試料では、発光ピークが 1.62eV 付近に観測される一方、デルタドープした試料では約 70meV 低い 1.55eV 付近に発光ピークが見られる。この発光帯が多数の輝線状スペクトルから成っていることが顕微 PL から確認されている。この発光帯についての励起スペクトルは、参照用 QW の発光エネルギー付近でピークを示したことから、量子井戸準位で光生成されたキャリアが等電子トラップに効率よく捕獲されていることが分かる。発光の左右円偏光成分の差の減衰時間から、スピン寿命が約 100ps と求められた。また、円偏光度の初期値は励起エネルギーの減少と共に増加し、30%超に達した。スピン寿命は温度上昇とともに減少し、一様ドープ GaAsN 井戸についての過去の報告とは異なった振る舞いが見られた。

【2】表面プラズモンダイナミクス・プラズモニクス (久保敦)

(1) メタマテリアル等人工ナノ構造を有する表面における表面プラズモン波束のダイナミクス (久保, 大野, 伊知地)

マイクロ波、テラヘルツ波等に比べ高い搬送波周波数を有する近赤外光領域において、外場に対し磁気共鳴を有し、負の誘電率、負の透磁率を同時に発現し得るメタ原子の構造として最も有用なものの一つは、金属-絶縁体-金属積層膜から構成される MIM ナノキャビティである。MIM ナノキャビティを基板上に配置することで、巨視的に負の屈折率を有するメタマテリアルやメタ表面が構築される。

H30 年度は、メタ原子単体のダイナミクスについての研究を時間領域差分 (Finite-difference-time-domain; FDTD) 法によるシミュレーションを用いて行った。金 (Au) 表面に MIM ナノキャビティが設置された構造モデルを構築し、広いスペクトル幅を有するフェムト秒表面プラズモンポラリトン (SPP) 波束が入射された際の光学応答について調べた。

SPP 波束の到達に伴い、MIM ナノキャビティの絶縁体層には電磁場強度の濃縮が生じ、空間的に強く束縛された SP 固有モードの励起を生じる。束縛された電磁場強度のスペクトルはキャビティの構造長に依存して変化する複数のピークを有し、それぞれのピーク周波数は有限長の MIM 型 SP 導波路におけるファブリー・ペロー共鳴周波数と概ね一致した。さらに、MIM ナノキャビティからは透過 SPP 波束、および、反射 SPP 波束が生成され、両者の間にはスペクトル領域、時間領域の双方において、強度の相補的な関係が見いだされた。特に、ナノキャビティ共鳴が適当な周波数に調整された場合、金属表面の伝搬に伴う群速度分散広がり度で時間幅が拡大した SPP 波束の入射に対し、時間幅が狭窄化されたフェムト秒 SPP 波束が透過側に、対応するフェムト秒ダークパルスが刻み込まれた波束が反射側に、それぞれ放出されるという興味深い現象が見られた。

また、当該のテーマについて、米国ピッツバーグ大学、Prof. Petek 教授の研究室に滞在し共同研究（実験）を実施した。主要な実験装置は高空間分解光電子顕微鏡（PEEM）であり、波長可変フェムト秒レーザー（Non-collinear optical parametric amplifier; NOPA、パルス幅：20 フェムト秒）が試料の励起光源として備わっている。これにより、電子顕微鏡並みの空間分解能（約 10 nm）の画像取得ができ、併せて、励起レーザー光の波長をスキャンすることにより試料の励起状態のスペクトル情報をも計測することが可能な装置となっている。

当初計画では筑波大学において金属-絶縁体-金属積層（MIM）型ナノキャビティの研究に進展が得られたことを背景に、フィッシュネット型メタマテリアルの PEEM 観察を予定しが、超高真空チャンバー内での安定的な顕微鏡観察の実施に幾つか検討事項が残ったため、次の計画であるトポロジカルプラズモニック結晶のエッジ状態の空間分解可視化を先んじて実施することとした。

試料はピッツバーグ大学のナノセンターで作製した。微細なナノ構造体の配列構造の作製にあたっては、電子ビームリソグラフィ、ならびに、集束イオンビームエッチングを用いた。その結果、プラズモニック結晶に励起される表面電磁場の極めて鮮明な PEEM 像の取得に成功し、プラズモニック結晶のエッジ状態と見られる電磁場分布が観測された。さらに、筑波大学においても対応する構造の試料に対し時間分解 2 光子蛍光顕微鏡法による観測を行い、同様にエッジ状態と見られる電磁場分布が観測された。尚、後者の試料作製は NIMS 微細加工プラットフォームで行った。

(2) 誘電体体積型導波路における光通信帯波長 1.55 μm 表面プラズモンの導波(宮崎, 組澤, 久保)

コンパクトなプラズモニックデバイスの実現には、表面プラズモン場の空間的な閉じ込めが強く、「曲げ」等の構造における損失の少ない導波路が必須である。本研究では Au 薄膜上に矩形型の誘電体コアを形成した誘電体堆積型導波路を対象とし、FDTD シミュレーションによる導波モードの解析・導波路設計、および、フェムト秒 1.55 μm レーザーを用いた時間分解 2 光子顕微鏡法による導波路中のプラズモンパルス伝搬のイメージングによる評価を行った。

まず FDTD シミュレーションによる導波路の曲げに対する電場モードの解析から、曲げ半径 5 μm の非常に微小な曲げ半径に対しても SPP の伝搬を確認した。これに基づき、同様の誘電体堆積型導波路を Au 薄膜上に塗布した SU-8 への電子線描画により作製した。フェムト秒レーザーの照射により導波路の端部で SPP パルスを励起し、導波路内を伝搬させた。レーザー光源は通信波長帯である波長 1.55 μm のフェムト秒レーザー（1 kHz, 120 fs, 50 $\mu\text{J}/\text{pulse}$ ）である。導波路内の電場を可視化するため試料表面に蛍光薄膜を塗布し、表面電場による 2 光子励起蛍光を対物レンズおよび EM-CCD カメラを用い画像化した。ポンプ-プローブ法により SPP パルスの導波を動的に可視化した結果、導波路の曲げに沿った SPP の伝搬が確認され、また、直線部分での SPP の群速度が 1.72×10^8 [m/s]（FDTD シミュレーションによる群速度： 1.71×10^8 [m/s]）と決定された。尚、本研究の試料作製は筑波大微細加工プラットフォームで行った。

(3) カルコゲン超格子を用いたアクティブプラズモックス(杉山, 佐藤(健), 久保)

$[(\text{GeTe})_2/(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_n]$ 超格子（GST 超格子）の相転移特性を利用したプラズモニック変調デバイスの開発を継続して進めている。このデバイスは全長が数 10 μm の表面プラズモンポラリトン（SPP）導波路を基本構造とし、導波部分の微小区域（~数 μm 四方）に GST 超格子を埋め込むことで能動デバイスとして動作する。実装が進む相変化メモリ（iPCM）のセルのサイズが ~100 nm 四方であるのに比べると、内包する GST 超格子のサイズは面積比で 3~4 桁大きい。従って、光デバイスに GST 超格子を実装するにあたっては、iPCM に比べて大面積の GST セルを多層膜構造内に高精度で造り込む作製プロセス自体を設計・開発するとともに、作製したデバイスにおいて iPCM 同様の繰り返し相転移が動作するかどうかを段階的に確認していく必要がある。

以下、デバイスの作製プロセス開発、および、デバイス動作の評価、の 2 項目について順に述べ

る。

まず、産総研との共同研究によりプラズモニックデバイスの作製プロセスを完成した。デバイスの基本構造となるハイブリッド型 SPP 導波路は、金属-低屈折率絶縁体-高屈折率絶縁体 (M-LI-HI) の各層にそれぞれ Au、ITO、SiN を用いた多層膜で構成され、サファイア基板の上にスパッタ成膜により形成される。ITO 層は SPP 波の強度が集中するコアであると同時に電極としても働く。まず SiN 層に数 μm 四方の穴をあけ、引き続き GST 超格子をスパッタ成膜したのち不要な部分を除去することで、GST 超格子セルの SiN 層埋め込み構造が作られる。各セルは ITO パッチで覆うことで電極のサンドイッチ構造を形成し、プローブを介したセルへの電圧印加を行う。最後にデバイスへの光の入出力構造を作製する。デバイスの動作の確認は、ITO 電極へのパルス電圧印加に伴う出力光の強度変調を計測することで行う。本手法を用い、GST 超格子セルの大きさを系統的に変化させた多数のデバイスを基板上に作製した。

次に、セルサイズ $5 \times 30 \mu\text{m}^2$ のデバイスに対し電極プローブによりパルス電圧を印加し V-R 測定を行った。印加電圧 (V_{set}) の掃引範囲の上限値を次第に拡大しながら測定を行った典型的な結果を 4 例 (0.5-3.0 V (1st)、0.5-3.0 V (2nd)、0.5-3.5 V (3rd)、0.5-3.5V (4th)) 抜き出すと以下ようになる。1 回目 (1st) の V_{set} 掃引では、初期状態 (RESET 相) の抵抗値約 $12 \text{ k}\Omega$ から V_{set} の増大と共に R_{read} は少しずつ減少し、 $V_{\text{set}} = 2.9 \text{ V}$ で非連続的な急峻な減少を示した。この抵抗値のとびは GST セルの RESET 相から SET 相への相転移を示したものと考えられる。2 回目 (2nd) の V_{set} 掃引では、セルの SET 相への転移を反映し、掃引開始時の R_{read} 値が $3.7 \text{ k}\Omega$ と相転移前の $1/3$ 以下に低減した。 V_{set} 掃引の間 R_{read} には不連続的な変化はなく、安定した相状態が示唆された。最大電圧を 3.5 V まで上げた 3 回目 (3rd) の V_{set} 掃引では、 V_{set} を約 2.5 V まで上昇させたところで R_{read} 値が増大に転じ、約 2.7 V での不連続な抵抗値のジャンプを経て $V_{\text{set}} = 3.5 \text{ V}$ に達するまで増大し続けた。この間に、GST セルの SET 相から RESET 相への相転移 (再 RESET 化) が進行したと考えられる。4 回目 (4th) の電圧掃引では、掃引開始時の R_{read} 値は再び $12 \text{ k}\Omega$ まで増大しており RESET 相の回復が示された。さらにこの後 $V_{\text{set}} = 2.7 \text{ V}$ で再び大きな抵抗値の減少が観測され、再度セルの RESET-SET 相転移が生じたと見なされた。

以上の抵抗値測定の結果から、1st - 4th の電圧掃引の間に RESET-SET 相転移 (1st)、SET 相の保存 (2nd)、SET-RESET 相転移 (3rd)、RESET-SET 相転移 (4th) が生じたと解釈できる。RESET-SET 相転移電圧：約 $2.7 - 2.9 \text{ V}$ 、SET-RESET 相転移電圧：約 $3.0 - 3.5 \text{ V}$ で繰り返し動作する GST 変調デバイスの動作が確認された。

尚、本研究は産総研グループを代表とする JST-CREST の委託研究であり、産総研ナノエレクトロニクス部門から GST 試料の提供を受け、試料作製・加工に筑波大学微細加工プラットフォームを利用した。

(4) 中赤外表面プラズモンの顕微イメージング (佐藤 (耀) , 久保)

近年、電子の持つ電荷とスピンの両者を効果的に結びつけたスピントロニクスにおいて、トポロジカル物質の表面プラズモン励起によって生じるスピンプラズモンが観測され注目を集めている。(GeTe)層と(Sb₂Te₃)層が積層されたカルコゲナイド超格子、[(GeTe)₂/(Sb₂Te₃)₁]_n 超格子 (GST 超格子) は、このようなトポロジカル物質の候補の 1 つであり、トポロジカル特性が顕著な光応答が生じるエネルギー領域はバルクバンドギャップエネルギー (0.5 eV) 以下、すなわち中赤外光もしくはそれ以下の領域で生じると考えられる。

本研究ではこの様な比較的低エネルギー領域の集団励起の顕微的可視化を目的とし、波長約 $4 \mu\text{m}$ のフェムト秒中赤外パルスで励起される Au 表面プラズモンのイメージングを行った。光源は、チタン・サファイア再生増幅器 (1 kHz , 800 nm , 0.5 mJ/pulse) の出力で光パラメトリック増幅器 (OPA) を励起し、さらにシグナル光およびアイドラー光を AgGaS₂ 結晶に集光して得た差周波 (DFG; 1 kHz ,

1~3 $\mu\text{J/pulse}$) である。試料は波長 4.0 μm に共鳴を有する Au ナノロッドアンテナ配列である。ナノアンテナの長軸方向に平行な偏光成分がアンテナ近傍に電場増強を誘起する。この表面プラズモン場を可視化するため試料表面に蛍光薄膜を塗布し、多光子励起により発せられる蛍光発光を EM-CCD カメラにより検出した。100 倍対物レンズを結像に用いた顕微観察により、ナノロッドアンテナの配列構造を反映した蛍光強度分布の画像を得た。蛍光強度の励起光パワー依存性の測定結果より、中赤外表面プラズモンの多光子励起過程による可視光域へのアップコンバージョンを経た蛍光分布が可視化されたものと帰結された。尚、Au ナノロッドアンテナ試料は東京大学生産技術研究所、芦原聡准教授からご提供頂いた。

<論文>

(査読論文)

1. Minju Kim, Seongho Park, Yuma Yamashita, Kwangseuk Kyhm, Michio Ikezawa, Sergio Bietti, and Stefano Sanguinetti : “Decoherence dynamics of localized states in a single GaAs/AlGaAs quantum ring”, *Physica Status Solidi (RRL) - Rapid Research Letters* **12**, 1800176 (2018).
2. Yanbo Xinga, Xi Yuana, Sihang Ji, Michio Ikezawa, Ruosheng Zeng, Haibo Li, Yasuaki Masumoto, and Jialong Zhao : “Temperature-dependent photoluminescence of Mn doped CsPbCl₃ perovskite nanocrystals in mesoporous silica”, *Journal of Luminescence* **204**, 10 (2018).
3. Liling Fei, Xi Yuan, Jie Hua, Michio Ikezawa, Ruosheng Zeng, Haibo Li, Yasuaki Masumoto, and Jialong Zhao : “Enhanced luminescence and energy transfer in Mn doped CsPbClBr perovskite nanocrystals”, *Nanoscale* **10**, 19435 (2018).
4. K. Ueno, J. Yang, Q. Sun, D. Aoyo, H. Yu, T. Oshikiri, A. Kubo, Y. Matsuo, Q. Gong, H. Misawa: “Control of plasmon dephasing time using stacked nanogap gold structures for strong near-field enhancement”, *Appl. Mater. Today*, **14**, pp. 159-165 (2019).

(学位論文)

1. 修士論文 貝塚 秀樹、「ストリークカメラを用いた発光の時間分解によるスピン寿命測定法の改良」
2. 修士論文 片平 博夫、「チューナブルなファブリー・ペロー型光共振器中の二次元半導体の光スペクトル」
3. 修士論文 田久保 悠一、「3パルスフォトンエコー法による GaAs:N の研究」
4. 修士論文 寺平 成希、「低温における CdSe ナノプレートレットの顕微分光測定」
5. 修士論文 行方 紀摩、「電流読み出しを用いた GaAs:N の共鳴励起測定」
6. 修士論文 山下 勇真、「GaAs 量子リングのコヒーレンスと発光中心の電荷制御に関する研究」
7. 修士論文 大野 裕樹、「二次元トポロジカルプラズモニック結晶導波路を用いた表面プラズモンポラリトンの伝搬制御」
8. 修士論文 佐藤 耀至、「フェムト秒中赤外表面プラズモンの多光子蛍光顕微観察」
9. 修士論文 宮崎 純、「通信波長帯における誘電体堆積型表面プラズモン導波路」
10. 卒業論文 石澤 輝、「窒素をデルタドーブした GaAs における 3パルスフォトンエコー」
11. 卒業論文 久保 直人、「半導体ナノプレートレットと光共振器の強結合状態の観測」
12. 卒業論文 佐藤 健輔、「電圧誘起相転移で駆動される[(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₁]_n 超格子包埋型プラズモン導波路」

<国際会議>

1. M. Ikezawa: "Coherence and indistinguishability of single photons emitted from nitrogen impurity centers in GaAs", The 19th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA-2018) (韓国済州島, 2018/07) [招待講演]

<国内会議>

1. 寺平成希, 安藤玄樹, 木村大希, 舛本泰章, 池沢道男: 「単一 CdSe ナノプレートレットの顕微分光測定」日本物理学会 2018 年秋季大会 (同志社大学, 2018 年 9 月)
2. 片平博夫, 久保直人, 寺平成希, 佐久間芳樹, 池沢道男: 「チューナブルなファブリー・ペロー型光共振器中の二次元半導体の光スペクトル」第 66 回応用物理学会春季学術講演会 (東京工業大学, 2019 年 3 月)
3. 田久保悠一, 石澤輝, 佐久間芳樹, 池沢道男 「窒素をデルタドープした GaAs の 3 パルスフォトンエコー測定」第 66 回応用物理学会春季学術講演会 (東京工業大学, 2019 年 3 月)
4. 杉山岳, 久保敦, 中野隆志, 「[(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₁]_n 超格子の相転移を用いたハイブリッドプラズモン導波路モードの強度変調素子」, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 2019 年 1 月 12 日-1 月 14 日, 東海大学高輪キャンパス
5. 伊知地直樹, 久保敦, 「金属/絶縁体/金属(MIM)型ナノキャビティによるフェムト秒表面プラズモン波束の遅延の観測と数値シミュレーションによる評価」, レーザー学会学術講演会第 39 回年次大会, 2019 年 1 月 12 日-1 月 14 日, 東海大学高輪キャンパス
6. 伊知地直樹, 久保敦, 「金属-絶縁体-金属型ナノキャビティを透過するフェムト秒表面プラズモンポラリトン波束のスペクトル変調」, Optics & Photonics Japan 2018, 2018 年 10 月 30 日-11 月 2 日, 筑波大学東京キャンパス文京校舎
7. 杉山岳, 久保敦, 中野隆志, 「[(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₁]_n 超格子を用いたハイブリッドプラズモニック変調素子」, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018 年 9 月 18 日-9 月 21 日, 名古屋国際会議場
8. 伊知地直樹, 久保敦, 「フェムト秒表面プラズモン波束のナノキャビティ通過に伴う遅延」, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018 年 9 月 18 日-9 月 21 日, 名古屋国際会議場
9. 久保敦, 「Applications of imaging techniques of surface plasmons to topological plasmonics」, Third informal workshop "Variety and universality of bulk-edge correspondence in topological phases: From solid state physics to transdisciplinary concepts", 2018 年 5 月 19 日-20 日, 筑波大学

<外部資金>

1. 科研費 基盤(B), 研究代表者, H29~31, 「0 次元および 2 次的に閉じ込められた励起子の共鳴励起による区別のつかない光子発生」: 池沢
2. 科研費 基盤(B), 研究分担者, H29~32, 「MOCVD法による遷移金属ダイカルコゲナイドの成長技術開発とフォトニクス機能探索」: 池沢
3. 科研費 基盤(C), 研究代表者, H30~32, 「近赤外光領域のメタサーフェスにおける波束伝搬のフェムト秒ダイナミクス」: 久保
4. 科研費 国際共同研究加速基金, 研究代表者, H29~31, 「高空間分解・時間分解イメージング法によるメタマテリアルの新奇な波束伝搬機構の解明」: 久保
5. 科学技術振興機構 CREST, 共同研究者, H26~H31, 「カルコゲン化合物・超格子のトポロジカル相転移を利用した二次元マルチフェロイック機能デバイスの創製」(担当課題名: 「カルコゲン超格子を用いたアクティブプラズモニクス」): 久保
6. 光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP), 共同研究者, H30~H39, 「先端レーザーイノベーション拠点「次世代アト秒レーザー光源と先端計測技術の開発」: 久保