

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14638

研究課題名(和文) Theoretical study of nonlinear optical responses of ultracold atomic systems: towards a high-resolution coherent multidimensional spectroscopy investigation of quantum many-body effects

研究課題名(英文) Theoretical study of nonlinear optical responses of ultracold atomic systems: towards a high-resolution coherent multidimensional spectroscopy investigation of quantum many-body effects

研究代表者

Nguyen Thanh (Nguyen, Thanh Phuc)

京都大学・工学研究科・講師

研究者番号：50736337

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：粒子間の相互作用は、量子多体系のさまざまな物理的性質において重要な役割を果たす。一方、レーザーパルス技術の進歩により、超高速でこれらの特性の制御と測定が可能になった。この研究では、コヒーレント2次元分光を通して量子多体系の相互作用が直接的かつ超高速で調べられる新しい方法を開発した。相互作用は、2次元分光で非対角のピークとして現れ、そして、強い相互作用の極限に近づくと、すべてのピークが単一の対角ピークに合体することは明らかになった。さらに、物質の非線形光学応答に関連して、分子と光共振器の強結合も調べられ、化学反応の制御や反応速度の集合的な上昇を伴うsuper-reactionは発見された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この研究では、コヒーレント2次元分光を通して量子多体系の相互作用が直接的かつ超高速で調べられる新しい方法を開発した。これを用いて超高速で起こる量子多体効果や現象を詳細に調べることができるようになった。さらに、物質の非線形光学応答に関連して、分子と光共振器の強結合も調べられた。光と物質の強いカップリングを利用することで、分子系で起こる化学反応の制御や反応速度の集合的な上昇を伴うsuper-reactionを実現することは可能であると示された。これで、強結合で形成された分子と光のハイブリッドシステムは、分子の物理的および化学的性質が制御できる有望なプラットフォームであることは明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Interactions between particles play a crucial role in various physical properties of quantum many-body systems. On the other hand, recent advances in laser-pulse technique have enabled the manipulations and measurements of these properties on ultrafast timescales. In this project, we have developed a new method for the direct and ultrafast probe of quantum many-body interactions through the coherent two-dimensional (2D) spectroscopy. We found that the interparticle interaction manifests itself as the emergence of off-diagonal peaks in the 2D spectrum before all the peaks coalesce into a single diagonal peak as the system approaches the strongly interacting limit.

Moreover, in relation to the nonlinear optical response of matter, we have studied the strong coupling of molecular systems to an optical cavity. We have investigated the control of chemical reactivity by the strong light-matter interaction, and discovered the super-reaction with a collective enhancement of reaction rate.

研究分野：物性物理、化学物理

キーワード：コヒーレント2次元分光 量子多体系の相互作用 非線形光学応答 物質と光の相互作用 光共振器 強結合 化学反応の制御 super-reaction

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 粒子間の相互作用は、超流動や超伝導から磁気相転移に至るまで、量子多体系のさまざまな特性において重要な役割を果たしている。一方、レーザーパルス技術の進歩により、超高速でこれらの特性の制御と測定が可能になった。しかし、研究開始当初には、どうやって量子多体系の相互作用が超高速でかつ直接的に調べられるのかはまだわかっていなかった。それで、この研究は、複数のレーザーパルスや非線形光学応答に基づくコヒーレント 2 次元分光 [R. M. Hochstrasser, PNAS 104, 13190 (2007)] を通して、量子多体系の相互作用が直接的にかつ超高速で調べられる新しい方法を開発することを目指した (図 1)。

(2) 物質の非線形光学応答に関連して、分子と光共振器との強結合も研究された。この強い相互作用により、光と物質のハイブリッド状態である分子ポラリトンは形成される。20 年以上前に有機マイクロキャビティで行われた光と物質の強結合とポラリトン形成の最初の実験以来、分子ポラリトンの光学特性は、さまざまな形状と材料組成を持つ光共振器で研究されてきた。ポラリトン状態での光と物質の絡み合いにより、一方の自由度を操作すると、もう一方の自由度に大きな影響を与えることができる。分子の励起状態のポテンシャルエネルギー曲面を調整することによる化学反応の制御など分子ポラリトンのさまざまな応用が提案、実証された [T. W. Ebbesen, Acc. Chem. Res. 49, 2403 (2016)]。また、分子内の電子の励起だけでなく、分子の振動と赤外線マイクロキャビティを強く結合させることにより、分子振動ポラリトンが形成され、化学反応や分子特性に大きな変化をもたらす可能性が示された [K. Nagarajan et al., J. Am. Chem. Soc. 143, 16877 (2021)]。しかし、研究開始当初には、ハイブリッドシステムが複雑なために、化学反応に対する分子振動ポラリトンの影響が説明できるメカニズムはまだわかっていなかった。それで、この研究では、分子系で最も重要な動的プロセスの一つである電子移動に対する分子振動ポラリトンの影響を調べた (図 2)。

(3) 一方、すべての分子は共通のキャビティモードと結合しているため、形成された分子ポラリトンには $(1/\sqrt{N}) \sum_{i=1}^N |e_i\rangle$ のような重ね合わせ状態で表された集合的な励起が含まれている。ここで、 N は分子の数、 $|e_i\rangle$ は i 番目の分子の励起状態を表す。しかし、先行研究では、この集合的な励起は、結合強度の増加を除いて化学反応に顕著な影響を及ぼさず、むしろ他の現象を抑制する傾向があることは示された。つまり、分子ポラリトンの固有特性である集合的な励起が化学反応に大きく影響するかどうかは当時不明だった。それで、この質問に答えるには、分子ポラリトン系で起こる反応の速度が集合的に上昇される super-reaction の可能性を調べた (図 3)。

(4) 集合的な特性だけでなく、分子ポラリトンの量子統計も化学反応の速度を上昇させることに有効である。ポラリトンはボソン粒子であるため、物質波がお互いに重なり始めると、ボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) と呼ばれる相転移を起こす。ポラリトンの有効質量が小さく、分子の Frenkel 励起子の結合エネルギーが大きく、双極子モーメントが大きいため、分子ポラリトン BEC が室温でも安定的に存在できる。凝縮体の空間的および時間的なコヒーレンスは、超流動や低閾値のレーザーなどのさまざまな魅力的な現象を引き起こすことが研究開始当初にわかったが、分子ポラリトン BEC が化学反応に及ぼす影響はまだ研究されなかった。それで、この研究では、分子ポラリトン BEC による励起エネルギー移動のボソンのような増強の可能性を調べた (図 4)。

2. 研究の目的

(1) 前セクションで説明したように、この研究の目的の一つは、コヒーレント 2 次元分光を通して、量子多体系の相互作用が直接的にかつ超高速で調べられる新しい方法を開発することである。そして、これを用いて超高速で起こる量子多体効果や現象を詳細に調べることである。

(2) この研究のもう一つの目的は、光共振器と強く結合した分子の非線形光学応答を調べることである。分子の電子/振動の励起と光学/赤外線のキャビティとの強結合により、分子の励起子/振動ポラリトンが形成され、化学反応や分子の特性が大きく変化する。この研究では、まだ

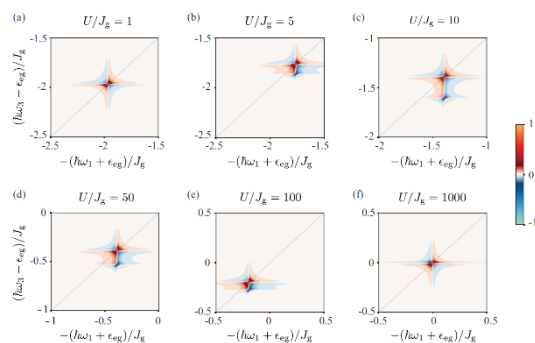


図 1: 相互作用の強さに依存するスピン 1/2 フェルミ粒子系のコヒーレント 2 次元分光。

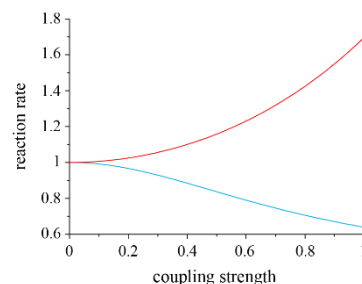


図 2: 分子と光共振器のカップリングの強さに依存する反応速度。(青) $g_A = g_D$ の場合、(赤) $g_A = 0$ の場合。ここで、 $g_{D/A}$ はドナー/アクセプター状態に対するカップリングの強さ。

完全にわかっていないそのメカニズムを明らかにするために、分子系で最も重要な動的プロセスの一つである電子移動に対する分子振動ポラリトンの影響を調べた。また、分子の励起子ポラリトンの集成的な特性やボソン統計を利用して、分子系で起こる反応速度を高める方法を開発しようとした。

3. 研究の方法

(1) コヒーレント 2 次元分光を計算するには、光と物質の相互作用に対する摂動論を利用して、3 次の非線形光学応答を求めなければならない。非線形光学応答は、レーザーパルス間に起こるシステムの時間発展に依存する。この研究では、量子多体系の相互作用がコヒーレント 2 次元分光で調べられることを原理的に証明することを目的に、厳密な計算が可能となるように小さいシステムのモデルを立てた。それで、ハミルトニアンが厳密に対角化されることで、システムのダイナミクスは数値的に計算できた。

(2) 電子移動および励起エネルギー移動に対する分子ポラリトンの影響を調べるには、まずドナー・アクセプターの弱結合領域を考え、フェルミの黄金律を利用し、移動速度の解析的な数式を導出した。次に、弱結合を超えて、周辺環境の自由度を縮約した上で得られたシステムの量子運動方程式を数値的に厳密に解いた。凝縮相分子系の一般的な状況である非摂動および非マルコフの量子ダイナミクスを調べるために、補助密度行列のセットを導入することにより、システムダイナミクスの履歴効果が取り入れられた量子階層運動方程式のアプローチ [Y. Tanimura, JPSJ 75, 082001 (2006)] を使った。

4. 研究成果

(1) この研究では、コヒーレント 2 次元分光を通して、量子多体系の相互作用が直接的にかつ超高速で調べられる新しい方法を開発した [1]。相互作用していないシステムの 2 次元分光には対角のピークのみが含まれているのに対して、相互作用しているシステムの 2 次元分光では非対角のピークが出現することがわかった。そして、強い相互作用の極限に近づくと、すべてのピークは単一の対角のピークに合体することになる (図 1)。更に、レーザーパルス間の遅延時間の関数として 2 次元分光の変化を測定することで、超高速で起こる相互作用の時間変動に関する重要な情報が得られることも示された。そして、超高速の 2 次元分光を使ってコヒーレント量子多体効果を調べることも一つの利点は、より遅いタイムスケールで発生するインコヒーレントプロセスの影響が分離できることである。コヒーレント 2 次元分光を使って、ボース・アインシュタイン凝縮や超伝導などの量子多体効果や現象を調べることは、将来の研究に残された。

(2) 最近の実験では、分子振動と赤外線光共振器を強く結合し、分子振動ポラリトンを形成することにより、化学反応の速度を変える (増加または減少させる) ことができることは示されてきた。しかし、そのメカニズムはまだ完全にわかっていなかった。それで、この研究では、カップリングの強さが振動周波数や共振器の周波数と同程度である、いわゆる超強結合 (ultrastrong coupling) 領域で、分子内で起こる電子移動の速度に対する分子・光共振器のカップリングの影響を調べた [2]。反応速度の変化を決定する二つの要因を見つけた。それは、カップリングがもたらすエネルギー順位の相対的なシフトとハイブリッドシステムの基底状態が起こる分子振動の基底状態と励起状態の混合、つまり virtual excitation のことである。前者は、ドナー状態とアクセプター状態に対する分子・光共振器のカップリングの強さが大きな差を持つ場合の主要な要因で、反応速度を増加させる傾向がある。逆に、ドナー状態とアクセプター状態に対する分子・光共振器のカップリングの強さが近い場合、後者が支配的となり、反応速度の減少に繋がる (図 2)。一見すると、この結果は、有効ポテンシャル障壁が下がるため、virtual excitation が反応速度を増加させるはずであるという古典力学の観点からの通常の見解とは対照的であるように思われる。この直感に反する結果を説明するには、波動関数の振幅だけでなく位相も重要な役割を果たす量子力学の枠組みで理解する必要がある。例えば、二つの原子軌道の重なりによって形成される分子軌道は、それらの原子軌道が同位相 (建設的な干渉) であるか逆位相 (破壊的な干渉) であるかによって、結合性または反結合性となる。実際に、分子と光共振器を強く結合させることで反応速度が減少するのは、異なる二つの励起の経路の間の破壊的な干渉の結果である。

(3) 分子ポラリトンの集成的な特性が化学反応に大きな影響を与えるかどうかという質問に答えようとして、反応速度の集成的な増強を伴う super-reaction は分子ポラリトン系で実現できることは発見された [3] (図 3)。複数のエミッターと真空場との集成的な相互作用が強い放射

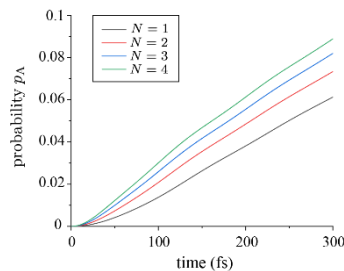


図 3: Super-reaction における電子移動/励起エネルギー移動の集成的な強化。ここで、アクセプターで電子/励起子が見つけられる確率 p_A の時間変化を分子の数 N の関数としてプロットした。

凝縮相分子系の一般的な状況である非摂動および非マルコフの量子ダイナミクスを調べるために、補助密度行列のセットを導入することにより、システムダイナミクスの履歴効果が取り入れられた量子階層運動方程式のアプローチ [Y. Tanimura, JPSJ 75, 082001 (2006)] を使った。

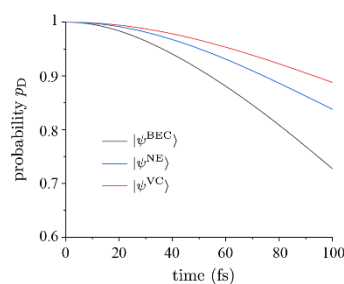


図 4: 異なる三つの初期状態に対する励起エネルギー移動のダイナミクス。その状態は: 分子の励起子ポラリトン BEC 状態 $|\psi^{BEC}\rangle$ 、通常の励起状態 $|\psi^{NE}\rangle$ 、および励起子の真空状態 $|\psi^{VC}\rangle$ である。ここで、ドナーが励起状態にある確率 p_D の時間変化をプロットした。

をもたらす **super-radiance** の現象と同様に、**super-reaction** は、伝達経路の建設的な干渉から生じる純粋な量子力学の効果である。一方、そのような量子力学の効果はしばしばデコヒーレンスに対して弱い、つまりエネルギー変動によって量子コヒーレンスが破壊されることである。従って、特にエネルギー変動の影響が無視できないほど強い凝縮相分子系において、**super-reaction** が実現可能かどうかは不明であった。しかし、この研究では、分子ポラリトンのダイナミクスに対するエネルギー変動の影響は、十分に強い光と物質の相互作用によって軽減され、それによって **super-reaction** が実現できることは示された。このメカニズムは、動的ポラロンデカップリングと呼ばれる。ポラロンデカップリングは、分子由来の広いピークとは対照的に、非常に狭いポラリトンピークの出現として光学スペクトルでも検出できる。これは、私や他のグループによって理論的に調べられ [4]、そして、その後京都大学のグループによって実験的に観測された [S. Takahashi et al., *J. Phys. Chem. Lett.* **11**, 1349 (2020)]。

(4) 化学反応に対する分子ポラリトンのボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) の効果を研究することを目的に、分子の励起子ポラリトン BEC の下での励起エネルギー移動 (EET) を調べた。解析的と数値的な手法の両方を使って、EET が BEC によって強化されることは明らかにした [5]。アクセプターが基底状態または通常の励起状態にある場合と比較して、アクセプターが分子の励起子ポラリトン BEC 状態にある場合のほうは、EET の速度が最大となることは示された (図4)。このボソンの増強は、EET の速度は凝縮体にある励起子ポラリトンの数に比例することでも反映された。一方、ボソンの増強にもかかわらず、ポラリトン状態へのエネルギー移動は、いわゆる **dark states** の大きな集合へのエネルギー移動に圧倒される可能性があるという大きな問題に直面した。 N 個の分子が光共振器の一つのモードと強く結合している場合、**lower polariton** と **upper polariton** に加え、 $(N - 1)$ 個の **dark states** が形成される。これらの **dark states** は光共振器に結合されていないため、**dark states** と呼ばれる。**Dark states** の影響は **singlet fission** や **intersystem crossing** などの分子ダイナミクスで観測された。しかし、この研究では **dark states** の対称性をうまく利用することで、**dark states** へのエネルギー移動が抑制でき、分子ポラリトン BEC への EET が促進できることは明らかにした。EET のボソンの増強で例示されたように、室温で安定的に存在できる分子ポラリトン BEC は、量子統計を利用することで分子の物理的および化学的性質が制御できる有望なプラットフォームである。

(5) 最後に、海外の研究者と共同研究して、単層遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) における対称性に依存する励起子・励起子相互作用と **inter-valley** の励起子分子 (**biexciton**) の結合エネルギーを調べた [6]。単層 TMD の **multivalley** のバンド構造は、**intra**-および **inter-valley** の励起子を生じる。単層 TMD の励起子の特性がたくさん調べられた一方、それらの相関が取り入れられる理論的な手法はまだできなかった。この研究では、二つの励起子を構成するフェルミオンのキャリア間のペア相関から出発して、励起子の有効ハミルトニアンを導出した。点対称群の既約表現を使って、励起子・励起子相互作用が励起子の対称性に依存することは明らかになった。励起子・励起子相互作用は一般的に斥力となり、**inter-valley** 場合のみは引力となっている (図5)。多様な励起子の性質とそれらの相関を取り入れることによって、開発された理論モデルは、単層 TMD における励起子・励起子相互作用の特性や **inter-valley** 励起子分子のエネルギーの評価ができるようになった。

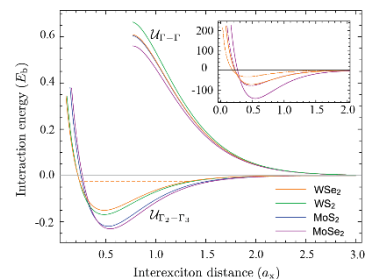


図5：自立型の単層 TMD における **intra**- ($\Gamma - \Gamma$) および **inter-valley** ($\Gamma_2 - \Gamma_3$) の励起子・励起子相互作用ポテンシャル。Inset:真空中 (実線) および hBN カプレセル化 (破線) の **inter-valley** 相互作用ポテンシャル (meV 単位)。

参考文献：

- [1] N. T. Phuc and P. Q. Trung, *Direct and ultrafast probing of quantum many-body interaction through coherent two-dimensional spectroscopy: From weak- to strong-interaction regimes*. *Phys. Rev. B* **104**, 115105 (2021).
- [2] N. T. Phuc, P. Q. Trung and A. Ishizaki, *Controlling the nonadiabatic electron-transfer reaction rate through molecular-vibration polaritons in the ultrastrong coupling regime*, *Sci. Rep.* **10**, 7318 (2020).
- [3] N. T. Phuc, *Super-reaction: The collective enhancement of a reaction rate by molecular polaritons in the presence of energy fluctuations*. *J. Chem. Phys.* **155**, 014308 (2021).
- [4] N. T. Phuc and A. Ishizaki, *Precise determination of excitation energies in condensed-phase molecular systems based on exciton-polariton measurements*, *Phys. Rev. Research* **1**, 033019 (2019).
- [5] N. T. Phuc, *Bose enhancement of excitation energy transfer with molecular-exciton-polariton condensates*. arXiv:2112.12439 (2022) (accepted to be published in *The Journal of Chemical Physics*).
- [6] H. N. Cam, N. T. Phuc and V. A. Osipov, *Symmetry-dependent exciton-exciton interaction and intervalley biexciton in monolayer transition metal dichalcogenides*. *NPJ 2D Materials and Applications* **6**, 22 (2022).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Nguyen Thanh Phuc, Pham Quang Trung, Akihito Ishizaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Controlling the nonadiabatic electron-transfer reaction rate through molecular-vibration polaritons in the ultrastrong coupling regime	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7318-1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-62899-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nguyen Thanh Phuc, Akihito Ishizaki	4. 巻 1
2. 論文標題 Precise Determination of Excitation Energies in Condensed-Phase Molecular Systems Based on Exciton-Polariton Measurements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 033019-1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.1.033019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nguyen Thanh Phuc, Pham Quang Trung	4. 巻 104
2. 論文標題 Direct and ultrafast probing of quantum many-body interactions through coherent two-dimensional spectroscopy: From weak- to strong-interaction regimes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115105-1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.104.115105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Nguyen Thanh Phuc	4. 巻 155
2. 論文標題 Super-reaction: The collective enhancement of a reaction rate by molecular polaritons in the presence of energy fluctuations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 014308-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0052226	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hoang Ngoc Cam, Nguyen Thanh Phuc, Vladimir A. Osipov	4. 巻 6
2. 論文標題 Symmetry-dependent exciton-exciton interaction and intervalley biexciton in monolayer transition metal dichalcogenides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 NPJ 2D Materials and Applications	6. 最初と最後の頁 22-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41699-022-00290-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nguyen Thanh Phuc	4. 巻 -
2. 論文標題 Bose enhancement of excitation energy transfer with molecular-exciton-polariton condensates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nguyen Thanh Phuc	4. 巻 3
2. 論文標題 Molecular polariton: From chemical reactivity control to super-reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontier (Journal of the Japan Society of Theoretical Chemistry)	6. 最初と最後の頁 4-248-256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Molecular polariton: from chemical reaction control to quantum applications
3. 学会等名 研究会「凝縮系の理論化学 2021」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Controlling the nonadiabatic electron-transfer reaction rate through molecular-vibration polaritons in the ultrastrong coupling regime
3. 学会等名 The 101st CSJ Annual Meeting (2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 コヒーレント二次元分光による量子多体相互作用とMott絶縁体相転移の直接的かつ超高速の測定 (Direct and Ultrafast Probing of Quantum Many-body Interaction and Mott-Insulator Transition Through Coherent Two-Dimensional Spectroscopy)
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会 (2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc, Pham Quang Trung, Akihito Ishizaki
2. 発表標題 超強結合領域で分子振動ポラリトンによって非断熱的な電子移動の反応速度の制御 (Controlling the Nonadiabatic Electron-Transfer Reaction Rate through Molecular-Vibration Polaritons in the Ultrastrong Coupling Regime)
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc, Akihito Ishizaki
2. 発表標題 エキシトン・ポラリトンをもとに凝縮相分子系の励起エネルギーの精密測定 (Precise Determination of Excitation Energies in Condensed-Phase Molecular Systems based on Exciton-Polariton Measurements)
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Control of electron-transfer-like reaction rate through molecular-vibration polariton in the ultrastrong coupling regime
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Precise determination of excitation energies in condensed-phase molecular systems based on exciton-polariton
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Dynamical Control and Precise Measurement in Condensed-Phase Molecular Systems
3. 学会等名 International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Precise determination of excitation energies in condensed-phase molecular systems based on exciton-polariton
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Molecular polariton: from chemical reactivity control to superreaction
3. 学会等名 第23回理論化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 分子ポラリトン：化学反応の制御からスーパー反応まで
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Superreaction: the Collective Enhancement of a Reaction Rate by Molecular Polaritons in the Presence of Energy Fluctuations
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Controlling exciton and charge quantum dynamics in condensed-phase molecular systems: from Floquet engineering to molecular polariton
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 分子ポラリトン：化学反応の制御からスーパー反応まで
3. 学会等名 理論化学会誌フロンティアに関連したシンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Bose Enhancement of Excitation Energy Transfer with Molecular-Exciton Polariton Condensates
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nguyen Thanh Phuc
2. 発表標題 Superreaction: the Collective Enhancement of a Reaction Rate by Molecular Polaritons in the Presence of Energy Fluctuations
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ベトナム	Institute of Physics, VAST			
ロシア連邦	Joint Institute for Nuclear Research			