



研究課題名 環境と発光のデザインによる新原理光マニピュレーションシステムの開発

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

いしはら はじめ

石原 一

研究課題番号： 21H05019

研究者番号： 60273611

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 144,800千円

キーワード： 光圧、光マニピュレーション、発光、ナノ粒子、オプトメカニクス

【研究の背景・目的】

光は運動量を持ち、散乱・吸収されることにより物質に力（光圧）を及ぼす。代表者らは個々のナノ微粒子のサイズ・形状・内部構造に依存した量子力学的個性を反映して選択的に光圧が生じることを利用した選択的光マニピュレーションを理論提案し、共同研究プロジェクト（新学術領域研究）を通して実験検証してきた。本課題では上記研究成果からさらに発想を転換し、環境（誘電環境、輻射環境）をデザインすることを戦略として、物質光学応答の最も基本的現象の1つである「発光」により生じる力を利用した新原理の光マニピュレーションを開拓する。すなわち、本課題の目的は、デザインされた環境で「発光」が誘起する光圧の機構を明らかにし、新しい光マニピュレーションの手法を開拓することである。この新原理により、従来型の光マニピュレーションでは不可能であった励起状態にある分子やナノ微粒子の特定の線幅にある発光体のみを誘導光により引き寄せることや、発光によって機械振動を誘起するオプトメカニクスの可能性を実験実証する。さらに極低温環境下で μeV を切る極限的に狭い線幅を有する量子ドットの選別が可能で、新しい光学材料の創生システム開発に結びつける。

【研究の方法】

本課題では、量子選択的光圧技術を開発してきた代表者の理論研究、芦田グループによる世界初の励起子光圧輸送の実験技術、さらに秋田グループによるナノ機械工学の最先端技術を駆使した「発光」による光圧操作を開拓する。具体的には、以下のように発光光圧技術の実現を明瞭に示すための3つの研究課題を取り上げる。

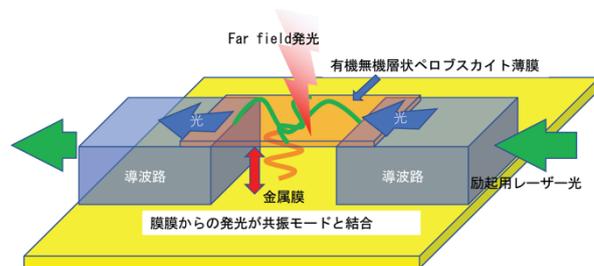
[1] 誘導放出による光圧発生の実証と発光ナノ粒子の選別を通じた発光線狭線化

[2] 金属基板上のペロブスカイト薄膜の発光によるオプトメカニクス機構の実証

[3] ペロブスカイトナノ粒子集団の超蛍光光圧の観測

[1]においては、4準位系の典型例であるNV中心を有するナノダイヤモンドを対象として、誘導放出を用いた光圧発生を実証すると共に、NV中心の有無による大容量の選別的輸送に挑戦する。水中に分散させたNV中心含有ナノダイヤモンドをガラスキャピラリーに導入して、ポンプ光でこれらを励起し、さらにシート光をNV中心の発光線に共鳴させ、誘導反跳力を誘起して特定の発光線を持つナノダイヤを選別する。

[2]においては、二次元材料を架橋して高精度な機械的共振測定を行う技術を駆使し、導波路モードで励起



二次元層ドラム共振器構造技術を適用した発光圧オプトメカニクスシステム。発光の変調をモニターして発光と薄膜の機械的共振の結合を解析する。

した架橋ナノ薄膜の発光を誘起する。この発光が薄膜と基板間で構成された共振器の機械的振動を誘起することを観測し、発光型オプトメカニクスを実現する。（上図参照）

[3]においては超流動ヘリウム中のペロブスカイトナノ粒子を強励起して反転分布を形成し、その粒子群に対して誘導光を照射して超蛍光を誘起する。その際に反跳的に発生する光圧の観測を行い、超蛍光と光圧による粒子運動の相関を明らかにする。

【期待される成果と意義】

基礎的側面：発光をナノ構造の機械的運動に変換することにより、受光過程のない量子結合を実現でき、また周波数変換発光を通じた量子相関を「機械的運動」を通して知ることができる、量子系探求の新しいプラットフォームの実現が期待できる。

応用的側面：超狭線単一光子発光微粒子の選別が可能になれば、超高感度センサー、量子もつれ生成システム創成が可能となり、量子情報・バイオセンシングデバイス実現への貢献が期待される。さらに超発光狭線量子ドットや単一発光センター含有ダイヤモンドの大量生成が可能となれば、光学材料研究の新基盤やナノ材料の新奇製造手法の実現が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ "Optical manipulation of nanoscale materials by linear and nonlinear resonant optical responses" H. Ishihara, *Advances in Physics*: X, 6, 1885991 (2021)
- ・ 光圧—物質制御のための新しい光利用—、石原 一・芦田 昌明 編著（朝倉書店）

【ホームページ等】

<http://www.ishi-lab.mp.es.osaka-u.ac.jp>

<https://laser.mp.es.osaka-u.ac.jp>

<http://www.pe.osakafu-u.ac.jp/nanodevice-pe4/>