

量子ドット薄膜における量子協同効果を用いた 非線形コヒーレント信号増強

Nonlinear coherent signals enhanced by quantum cooperative effects
in quantum dot thin films

横国大院理工 °田原 弘量

Department of Physics, Graduate School of Engineering Science, Yokohama National University

°Hirokazu Tahara

E-mail: tahara-hirokazu-cf@ynu.ac.jp

コロイド半導体ナノ粒子は液相で合成される量子ドットであり、粒子のサイズや形状によって電子状態を制御できる材料である。数 nm の微小な量子ドットでは強閉じ込めの量子系となるため、複数の電子と正孔を内包したマルチエキシトン状態が明瞭に現れる。これまでにマルチエキシトンによるキャリア増幅や光学利得の低閾値化などの特異な機能が観測されているが、微視的な量子過程は十分に解明されていない。我々は、マルチエキシトンの量子特性を解明し光電機能へ利用することを目指して、超高速レーザーパルスによる量子干渉分光を行ってきた。マルチエキシトンの超高速光学応答[1,2]に着目し、さらに量子ドット薄膜中の量子ドット同士が協同的な光学応答を示す量子協同効果が生まれることを明らかにしてきた[3]。これらのマルチエキシトン特性と協同的な光学応答を光電機能に活用するには、量子コヒーレンスの観点から協同効果の発現メカニズムを解明することが必要である。

本研究では、量子ドット表面のリガンドを置換することで量子ドット間距離を精密制御した PbS 量子ドットの薄膜試料を作製し、協同過程の発現メカニズムを調べた。協同効果の評価には、位相制御したフェムト秒レーザーパルス対を励起光に用いた光電流検出型のコヒーレント干渉信号計測を行った。量子ドットのエキシトン準位に共鳴した波長で励起することで、励起強度の増加とともにマルチエキシトンが生成されることを観測した。さらに、量子ドット間距離が異なる試料を比較することで、距離が短くなるにつれて非線形コヒーレント信号の振幅が増大することを観測した。励起強度に対する依存性を解析し、隣接量子ドットのエキシトン・マルチエキシトンが協同的に振舞うことで信号増強が生じることを明らかにした[4]。これらは、量子協同効果の強さをリガンド置換によって制御できることを示しており、マルチエキシトンの特性を利用した新しい光電量子機能につながる重要な結果である。

本研究は科研費 (JP19H05465, JP23K17877, JP23K23258)、JST-CREST (JPMJCR21B4)、JST-FOREST (JPMJFR201M)、JST-PRESTO (JPMJPR23H3) の助成を受けて行われた。

- [1] H. Tahara, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. Lett. **119**, 247401 (2017).
- [2] H. Tahara, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Nat. Commun. **9**, 3179 (2018).
- [3] H. Tahara, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **104**, L241405 (2021).
- [4] H. Tahara, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Nat. Nanotechnol. **19**, 744 (2024).