

## ナノ構造半導体における量子コヒーレンスと光電機能

### Optoelectronic processes and quantum coherence in semiconductor nanostructures

京大白眉センター °田原 弘量

The Hakubi Center for Advanced Research, Kyoto University

°Hirokazu Tahara

E-mail: tahara.hirokazu.7m@kyoto-u.ac.jp

コロイド半導体ナノ粒子は溶液プロセスで合成される量子材料であり、粒子サイズや形状を制御することで電子状態を自由に設計できる点に特徴がある。特に、大きさが数 nm から十数 nm の非常に小さなナノ構造体では、強閉じ込め量子系として電子間相互作用の影響が明瞭に現れる。そのため、マルチエキシトンのような多電子量子状態がその物性過程を支配しており、これまでにキャリア増幅や低閾値光学利得などの特異な光電機能が明らかにされてきた。しかし、これらの背後にある微視的な量子過程は解明されておらず、ナノ粒子の量子特性を活かした光電機能を生み出すには、量子コヒーレンスの観点から多電子状態の特性を調べる必要がある。

我々は、マルチエキシトンの量子特性の解明および光電機能への利用を目指して、超高速レーザーパルスによる位相ロック分光・光電流量子干渉分光を行ってきた。マルチエキシトンを効率的に生成するために、試料には最低励起準位に高い縮重度を有する PbS ナノ粒子を用い、共鳴励起における量子コヒーレント過程の測定を行った。位相ロック分光は、2つのフェムト秒レーザーパルスの相対位相を高精度に安定化させた励起パルス対を用いて、光生成した電子系の量子コヒーレンスを計測する方法である。この手法を用いて、励起強度にともなってエキシトン・バイエキシトン・トリエキシトンが生成されることを観測し、これらのマルチエキシトンが入射光周波数よりも高い周波数を持った高調波量子コヒーレント応答を示すことをとらえた[1]。さらに共鳴多光子吸収において量子コヒーレンスが重要な寄与を与えることを明らかにした[2-3]。位相ロック分光を光電流検出と合わせることで、光電流によって量子干渉信号を取得することにも成功している。特に重要な発見は、ナノ粒子同士を結合させたナノ粒子結合膜では量子コヒーレンスが著しく増大する点である。量子干渉信号の励起強度依存性を調べることで、非結合のナノ粒子集団とは異なる応答を示すこと、さらにその応答がナノ粒子間の量子協力効果によるものであることを明らかにした[4]。光電流で検出されたこの結果は、ナノ構造半導体の集団量子特性を活かしたものであり、新しい光電機能につながる重要な発見である。

本研究は科研費（JP18K13481, JP19H05465, JP20K14385, JP22H01990）および JST-CREST (JPMJCR16N3, JPMJCR21B4) 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 and Y. Kanemitsu, Adv. Quantum Technol. **3**, 1900098 (2020).
- [4] H. Tahara, M. Sakamoto, T. Teranishi, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **104**, L241405 (2021).