

## ナノ構造物質の高密度少数多体電子正孔系の顕微分光と光機能

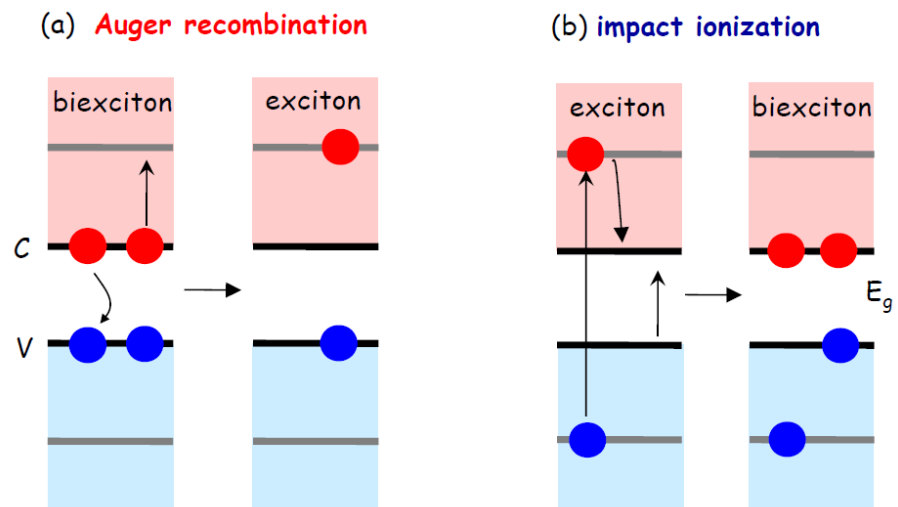
金光義彦（京大化研）

ナノ構造物質の光学的・電氣的・磁氣的特性などは、サイズや形によって大きく変化し、小さな分子や大きなバルク結晶にはない新奇な特性を示す。そのため、革新的な機能を生み出す新しい材料として多くの分野で大いに期待されている。本研究では、化学的手法によって得られる特色ある半導体ナノ構造物質の高密度励起状態を時空間分解分光により研究し、ナノ物質に特異的あるいは普遍的な動的電子相関効果の解明を目指す。ナノ構造物質における高密度少数多体電子正孔系の多体励起子ダイナミクスの理解を深化させるとともに、多数電子の関与する半導体ナノ構造物質の光機能の探索を進める。従来のバルク結晶では困難と考えられている新しいレーザー光源や高効率太陽電池などの開発に向けた道筋を探る。

現在我々のグループは、ナノ粒子、カーボンナノチューブ、ワイドギャップ窒化物・酸化物半導体などを試料として用い、それらの高密度励起状態での光学現象の研究を行っている。特に、顕微発光分光と時間分解ポンププローブ分光を用いることによる時空間分解分光によるナノ構造物質において多励起子状態が関与する現象の解明を進めている。ナノ構造では、閉じ込められた電子間の強いクーロン相互作用によりバルク結晶にはない新しい光学現象の出現が期待されるが、その可能性を予期させる成果が得られつつある。以下に現在行っている研究について紹介する。

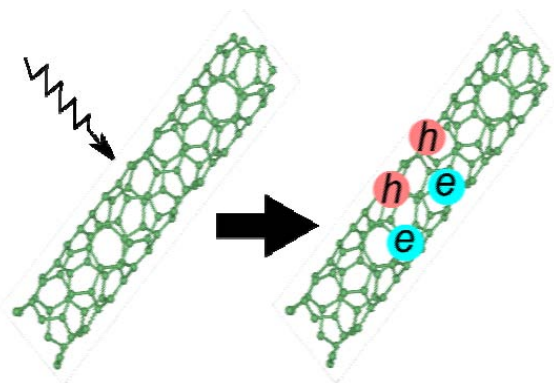
半導体ナノ粒子に複数の励起子が生成されたときに発現する新しい光学現象を、顕微単一分光とフェムト秒ポンププローブ分光を用いて研究している[1-4]。単一ナノ粒子分光により観測できる全く新しい光学現象のひとつに発光明滅がある。2個以上の励起子がナノ粒子内に生成されるとオージェ再結合によりナノ粒子から電子がはじき出されナノ粒子がイオン化する。イオン化した状態では、非発光オージェ過程が支配的となりナノ粒子は発光できない。このようなオージェ過程はナノ粒子では非常に高速で

起こる(量子オージェ再結合過程)。その動的挙動がポンププローブ分光によって明らかになりつつある。ナノ粒子の周りの環境へのエネルギー移動の制御は応用上非常に重要で、ナノ構造金属によるプラズモン効果を利用してナノ粒子の光学特性の制御を試みている[3, 4]。また、



太陽電池の高効率化に向けた1光子多励起子過程の研究を行っている。

新しい一次元ナノ構造体であるカーボンナノチューブの励起子構造の解明と多励起子状態の光機能の研究を推進している[5-8]。単一（一本）のカーボンナノチューブに対する磁場中顕微分光測定を行い、アハラノフ・ボーム効果による光学禁制な（ダーク）励起子の発光を直接観測することに成功した。これにより光学許容な（ブライツ）励起子準位に対する分裂エネルギーが数 meV 程度であり、チューブ直径に強く依存することを実験的に明らかにした。また発光強度の温度及び磁場依存性を調べることで、ブライツ-ダーク準位間において励起子が非平衡に分布していることが分かった。これにより低温におけるナノチューブの発光の全体像が明らかとなった。ナノチューブの一次元励起子に起因したユニークな多励起子緩和過程が観測できる。



SrTiO<sub>3</sub> や GaN に代表される酸化物や窒化物のワイドギャップ半導体の高密度励起状態の解明を目指し、発光のダイナミクスの研究を行っている。ノンドープおよび電子ドープした SrTiO<sub>3</sub> において、新しい青色発光を発見し、そのダイナミクスが非輻射オージェ再結合を取り入れた単純なモデルによって記述できることを明らかにした[9-11]。また、ナノスケールのポテンシャル揺らぎを有する GaN 系混晶半導体における励起子分子局在、高密度励起電子正孔プラズマ。励起子-励起子散乱過程の解明を進めている[12, 13]。

## 参考文献

- [1] Y. Ito, K. Matsuda, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **75**, 033309 (2007).
- [2] A. Ueda, T. Tayagaki, and Y. Kanemitsu, Appl. Phys. Lett. **92**, 133118 (2008).
- [3] K. Hosoki, T. Tayagaki, S. Yamamoto, K. Matsuda, Y. Kanemitsu, Phys. Rev. Lett. **100**, 207404 (2008).
- [4] A. Ueda, T. Tayagaki, and Y. Kanemitsu, J. Phys. Soc. Jpn. **78** 083706 (2009).
- [5] R. Matsunaga, K. Matsuda, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. Lett. **101** 147404 (2008).
- [6] R. Matsunaga, Y. Miyauchi, K. Matsuda, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **80** 115436 (2009).
- [7] K. Matsuda, T. Inoue, Y. Murakami, S. Maruyama, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **77**, 033406 (2008).
- [8] A. Ueda, K. Matsuda, T. Tayagaki, and Y. Kanemitsu, Appl. Phys. Lett. **92**, 233105 (2008).
- [9] H. Yasuda and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **77**, 193202 (2008).
- [10] Y. Yamada, H. Yasuda, T. Tayagaki, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. Lett. **102**, 247401 (2009).
- [11] Y. Yamada, H. Yasuda, T. Tayagaki, and Y. Kanemitsu, Appl. Phys. Lett. **95**, 121112 (2009).
- [12] D. Hirano, T. Tayagaki, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **77**, 073201 (2008).
- [13] D. Hirano, T. Tayagaki, Y. Yamada, and Y. Kanemitsu, Phys. Rev. B **80** 075205 (2009).