

～半導体ナノ構造体の光物性～

半導体量子ドットとは??

最近雑誌やCMなどで見かける「ナノ微粒子」、小さいだけだと思いませんか??実はナノ微粒子は数ナノメートルオーダーになると、構成原子数が数百～数千程度になるため、

- ・表面原子の割合が非常に高くなる
- ・電子状態が離散化する
- ・物質のサイズがボーア半径以下になる

などの要因から、通常とは全く異なる現象が観測されます。例えば、

- ・同じ物質でもサイズが変わるだけで吸収、発光が変化する
- ・粒子内のキャリア(電子や正孔)の相互作用が増大する

このような数ナノメートルオーダーの微粒子で特に半導体のものを量子ドット(QDs)ともよびます(図1)。QDsは新規蛍光物質や太陽電池への応用が期待されています。

玉井研究室では、II-VI化合物半導体のCdS, CdSe, CdTeなどを用いて量子ドットをはじめ、ロッドや細線のような形状のナノロッドやナノワイヤを合成し(図2)、フェムト秒パルスレーザーを用いてそれらの光物性を測定しています。



図1: 玉井研究室で合成したCdTe半導体量子ドット

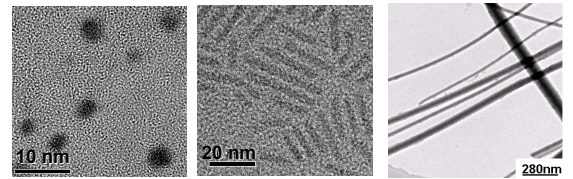


図2: 左から半導体量子ドット、ナノロッド、ナノワイヤの電子顕微鏡像

研究のトピック紹介

1. 半導体量子ドット、ナノワイヤの単一微粒子分光

近年の技術の進歩により一つの発光分子だけを観測することが可能になり、分子1個のブラウン運動を直接観測したり、一分子でしか観測できない特徴的な現象を調べられるようになりました。例えば、量子ドットは蛍光塗料のようにずっと光を発しているように見えますが、実は右図のように単一分子で見ると発光が点いたり消えたりと点滅をしています(ブリンキング)(図3)。私たちは量子ドットの一つだけの発光過程を顕微鏡下での発光イメージングを用いて調べています。

また、ナノ粒子だけでなく、量子ドットを自己組織的に会合させたナノワイヤを合成し、それらの光物性も調べるとともに、ナノワイヤに電場をかけた時の発光の変化も調べています(図4)。

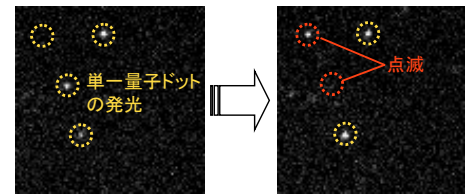


図3: 単一量子ドットの発光

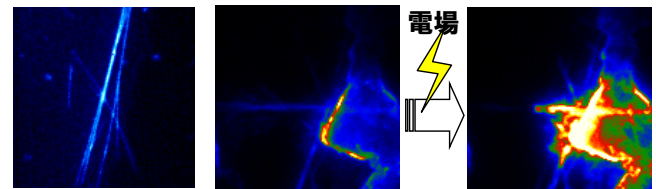


図4: (左)ナノワイヤの発光像、(右)ナノワイヤの電場応答

2. 半導体量子ドットの光物性

量子ドットに特徴的な現象の一つに逆オージェ効果が挙げられます。アインシュタインの光電効果にあるように、一般的なサイズの半導体(バルク)は一つの光子から一つの電子しか取り出すことはできません。しかし、量子ドットで逆オージェ効果が起こると、ある一定以上のエネルギーを持つ一つの光子から複数の電子を取り出すことができます(図5)。これは太陽電池などの光電効率を原理的に数倍以上にする可能性を持っています。私たちは逆オージェ効果だけでなく、オージェ効果など、このような量子ドット特有の光物性をフェムト秒過渡吸収スペクトルやピコ秒時間分解発光スペクトル測定を用いて調べており、また顕微鏡下での単一量子ドットのオージェ効果などの光物性も調べています。

また、私たちは常温の光物性だけでなく量子ドットの極低温下における光物性についても研究しています。温度を下げると次第に熱による影響が小さくなり、より本質的な光物性が見えてきます。私たちは量子ドットの吸収、発光ダイナミクスやオージェ効果などの光物性をヘリウム温度まで下げて測定、解析しています(図6)。

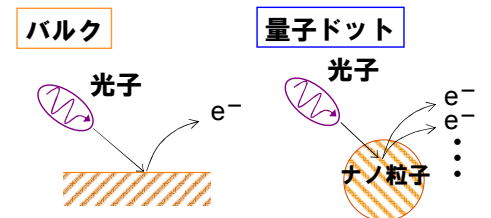


図5: 逆オージェ効果によるキャリア増幅

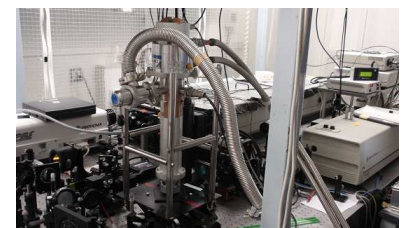


図6: クライオスタットを用いた自作温度可変フェムト秒過渡吸収スペクトル測定装置