

高分子ナノシートにより量子ドットを集積した波長サイズの共振器 —金属回折格子上で1000倍の発光増強を低エネルギーで実現—

格子基板上に作製した高分子ナノ構造体による CdSe ナノ粒子の発光制御

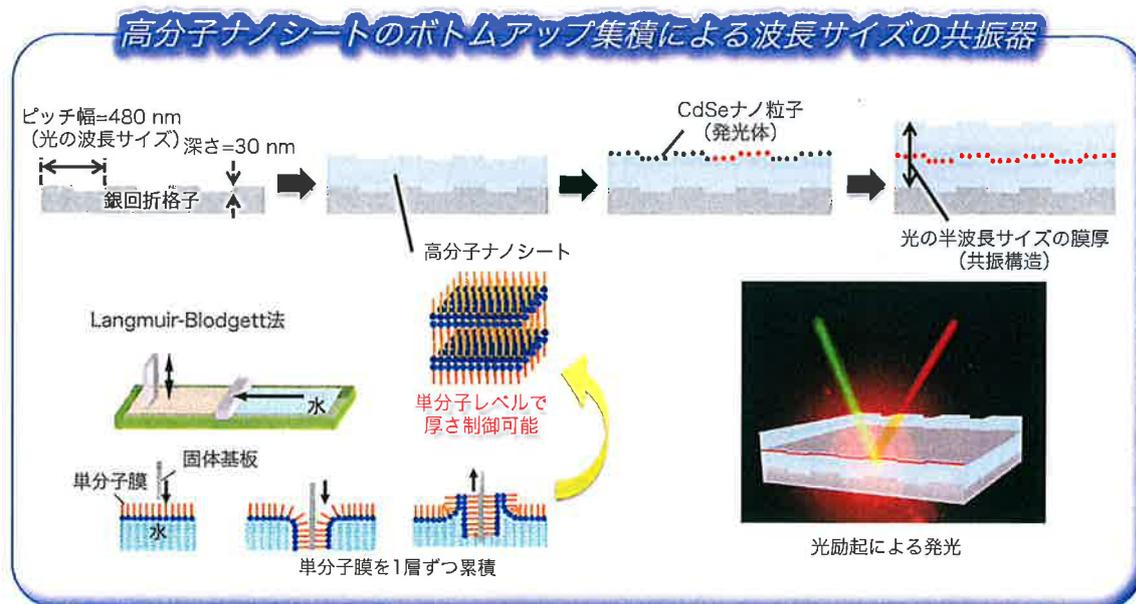
(東北大多元研) 森田晋平、○三ツ石方也、宮下徳治

(産総研) 田和圭子、(北大電子研) 西井準治

[1PB30]

(Tel: 022-217-5638)

東北大学多元物質科学研究所の森田晋平大学院生、三ツ石方也准教授、宮下徳治教授、産業技術総合研究所の田和圭子博士、北海道大学電子科学研究所の西井準治教授らの研究グループは、われわれを感じることのできる光の波長(400~800 nm)と同程度の大きさの構造体をナノスケールで周期的に作製することで、量子ドットと呼ばれる数 nm サイズの半導体(CdSe)ナノ粒子の発光を1000倍以上に増強することに成功した。この成果は、高分子材料を単分子レベルで精密に集積していくことで実現され、半導体ナノ粒子に限らず他の多くの発光材料にも適用できる。この発光増強により、ディスプレイやレーザなどの発光デバイスの性能向上が期待でき、さらに低エネルギーで高強度な発光を得られることから省エネの観点からも注目される。



現代では、「光」は単に照明としてだけではなく、ディスプレイや情報通信、さらに医療や材料加工にも用いられる。光を有効に活用することで既存のデバイスの高性能化やまったく新しい機能の発現が期待できる。そのため光を制御する技術は極めて重要であり、これまで盛んに研究が行なわれ多くの成果が挙げられてきた。光は物質との相互作用により反射、屈折や回折といった現象を起こし、これらの現象は光を活用する上で大変重要となる。光と物質の相互作用を効率的に利用するためには光の波長と同程度のサイズで構造体を設計し、正確に作製することが必要となる。

従来このような構造体はシリコンをベースとした無機材料の微細加工により作製されてきたが、こ

の方法では使用可能な材料や作製できる構造に制限がある。これに対し、我々の研究グループでは高分子材料を積み木のように積み上げていく（ボトムアップ集積）ことでナノ構造体を作製した。このボトムアップ的な集積法を用いることで、有機材料、無機材料を問わず様々な材料を自在に組み合わせた構造体の作製（ハイブリッド集積）が可能となり、量子ドットなど優れた特性を持っていながら従来の微細加工では使用できなかった材料も用いることができるようになる。

我々は、ナノインプリント法により格子状の凹凸構造を光の波長スケールの周期で作製し、この上に銀を蒸着した回折格子を作製した。さらに、水面に浮かべたアクリルアミド系高分子の単分子膜を一層ずつ、銀回折格子の上に積み重ねていくことで、3次元にナノスケールで制御された構造体を作製した。この水面上に形成した単分子膜を基板に移し取る集積方法は Langmuir-Blodgett(LB)法と呼ばれ、分子一つの大きさ（1~2 nm）で膜厚を制御した極めて均質な高分子薄膜の作製が可能になる。半導体ナノ粒子は高分子薄膜の累積過程で、単分子膜の間に静電的な引力を利用して吸着した。

このようなナノ構造を作製し、半導体ナノ粒子を励起するためのレーザー光を照射すると、レーザー光が高分子ナノシート中に閉じ込められ、より効率的に半導体ナノ粒子を発光するようになる。銀回折格子上で生じた半導体ナノ粒子の発光は、格子表面で反射する際に回折が生じ強め合い、さらに半導体ナノ粒子は高分子ナノシート内に挟み込まれているため、生じた発光は銀回折格子、空気との両界面で反射を繰り返し、高分子ナノシート内に閉じ込められる。高分子ナノシートの膜厚は光の半波長程であるために、反射を繰り返す波同士が互いに重なり合い共振することで発光は増強される。これらの効果が組み合わせられることで、平坦な基板上での半導体ナノ粒子を発光に比べ、1000倍以上の発光増強を実現でき、発光する波長幅もレーザー光のように27 nm から6 nm と細くなった。市販のレーザーポインタの1/1000の強度の励起でも発光を取り出すことが可能である。同様の現象が半導体ナノ粒子に限らず、他の発光体においても実現され、発光材料に制限されず発光制御が可能であることが示唆された。

これらの成果により LED、レーザーなどの発光素子の性能向上が期待でき、また駆動エネルギーの強度に依存せず極めて低いエネルギーにおいても発光増強が実現できたことから、省エネの効果も期待される。さらに共振器のわずかな構造変化が発光特性に大きく影響を及ぼすことから高感度なセンサーにも応用できる。ボトムアップ集積を用いることで、より複雑なナノ構造の作製や、量子ドットに限らず多種多様な材料をハイブリッドして使用できるため、今後期待される成果は今回実現した発光制御にとどまらず、太陽電池や、さらには光スイッチ、量子コンピューターなど、光に関わる技術全般への応用がターゲットとして考えられる。



<適用分野>レーザー発光素子、LED、センサー、太陽電池、光スイッチ素子、量子コンピューター