

高効率なナノアンテナ蛍光体開発に成功―省エネ照明に期待―

概要

村井俊介 工学研究科助教、Feifei Zhang 同ポスドク研究員（当時）、愛知広樹 同修士課程学生（当時）、田中勝久 同教授は、指向性ある蛍光を放つ「ナノアンテナ蛍光体」の作製に成功しました。同研究グループは次世代の指向性光源開発に向けて、発光に指向性を与えるナノアンテナの研究を行っています。これまでに金属アルミニウムからなるナノアンテナと蛍光体を用い、蛍光強度の増大と指向性の付与に成功しています。^{注1}しかし、アルミニウムが光を吸収するため、使用中に蛍光体の温度が上昇し効率が落ちてしまいました。これは特に高輝度の照明応用の大きなネックとなります。本研究ではアルミニウムに替えて光吸収の少ない二酸化チタンからなるナノアンテナを作製し、効率を落とすことなく顕著な指向性蛍光を得ることに成功しました。この成果を照明に利用することで、照明をより明るく省エネ化できます。今後の研究により、更なる指向性蛍光の増強を目指します。

本研究成果は、2022 年 12 月 21 日午前 10 時（グリニッジ標準時）に国際学術誌「Journal of Materials Chemistry C」にオンライン掲載されました。



1. 背景

ナノサイズの粒子を基板上に周期的に並べた二次元構造は、光を平面内に強く閉じ込めたり、特定の方向へ集めたりする性質があります。このような構造は、光に対するアンテナ＝“ナノアンテナ”と呼ばれ、先端の光技術として研究が進んでいます。我々は、このナノアンテナと蛍光体を組み合わせた“ナノアンテナ蛍光体”を開発し（図1）、光源や照明応用を目指した研究を進めています。これまでに、黄色蛍光体基板の上にナノアンテナを作製し、青色レーザと組み合わせて、指向性白色光源を設計・試作しました。^{注1}この試作品は、蛍光体から放たれる黄色光が基板表面に作製されたナノアンテナの作用を受けて前方方向に集められ、青色レーザ光と均一に混ざることによって、前方方向へ指向性を持った白色光を生成します。

これまでの研究では、強く光を散乱し、高い指向性が得られる金属アルミニウムナノ粒子からなるナノアンテナを使用していました。しかし、アルミニウムは可視光を吸収するため、青色レーザ光および黄色蛍光が弱まってしまう問題と、光吸収に伴う試料過熱の問題がありました。本研究では、光吸収の少ない材料でナノアンテナを作製することでこの欠点を克服することを目指しました。

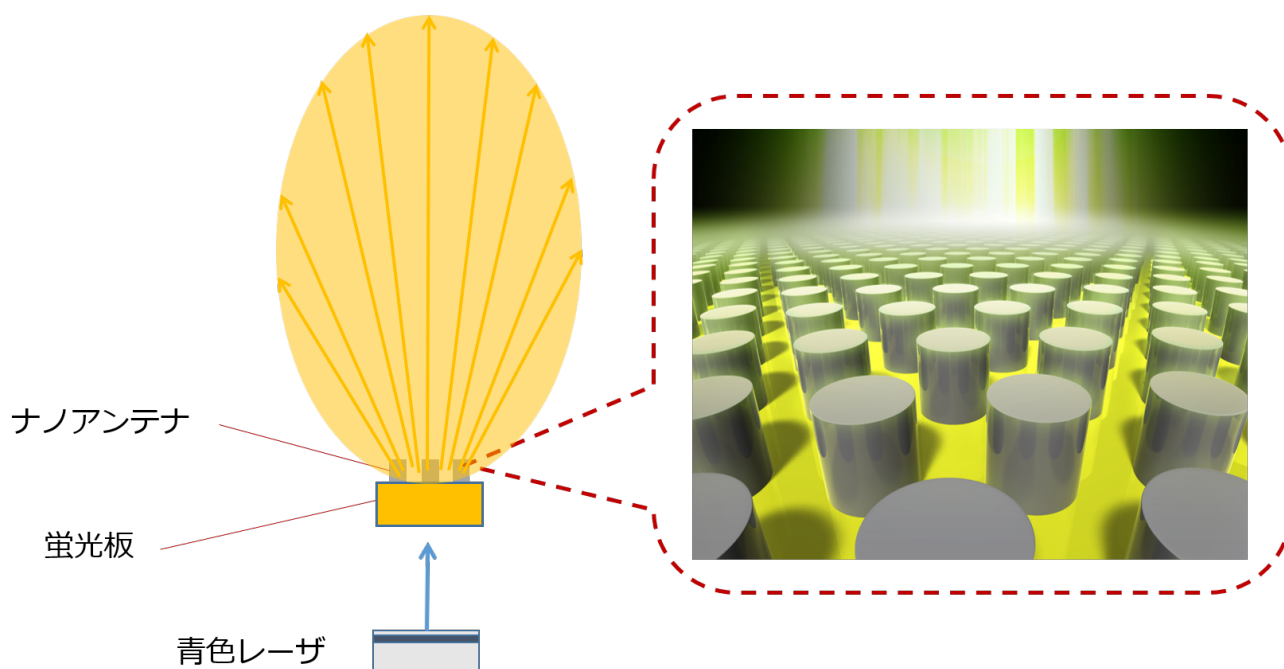


図1：ナノアンテナ蛍光体

蛍光板の上にナノアンテナを作製したナノアンテナ蛍光体に青色光を照射すると、蛍光体が青色を吸収して黄色に光り、吸収されなかった青色と黄色の混色により白色が得られます。黄色光がナノアンテナ作用を受け前方方向へ指向性を持ち放出され、青色レーザ光と混色し指向性白色が得られます。

2. 研究手法・成果

本研究では、金属アルミニウムに替わる材料として高屈折率かつ低光吸収材料である二酸化チタンを選択しました。手始めに金属アルミニウムナノ粒子と同じ大きさのナノ粒子を同じ周期で並べたナノアンテナ蛍光体を試作しましたが、光吸収は抑えられたものの、全く蛍光の指向性が得られませんでした。これは二酸化チタンナノ粒子の光散乱強度がアルミニウムナノ粒子に比べ劣ることに起因します。そこで計算機シミュレーションを援用し最適構造を探り、周期およびサイズともアルミニウムに比べ一回り大きなナノアンテナを設計・作製しました。するとアルミニウムに迫る高い蛍光指向性と低吸収が両立するナノアンテナ蛍光体を作製するこ

とに成功しました（図2）。正面方向への蛍光強度はアンテナがない蛍光基板の10倍に迫る値に達し、また青色レーザー光から黄色蛍光への変換効率は蛍光基板と変わりませんでした。

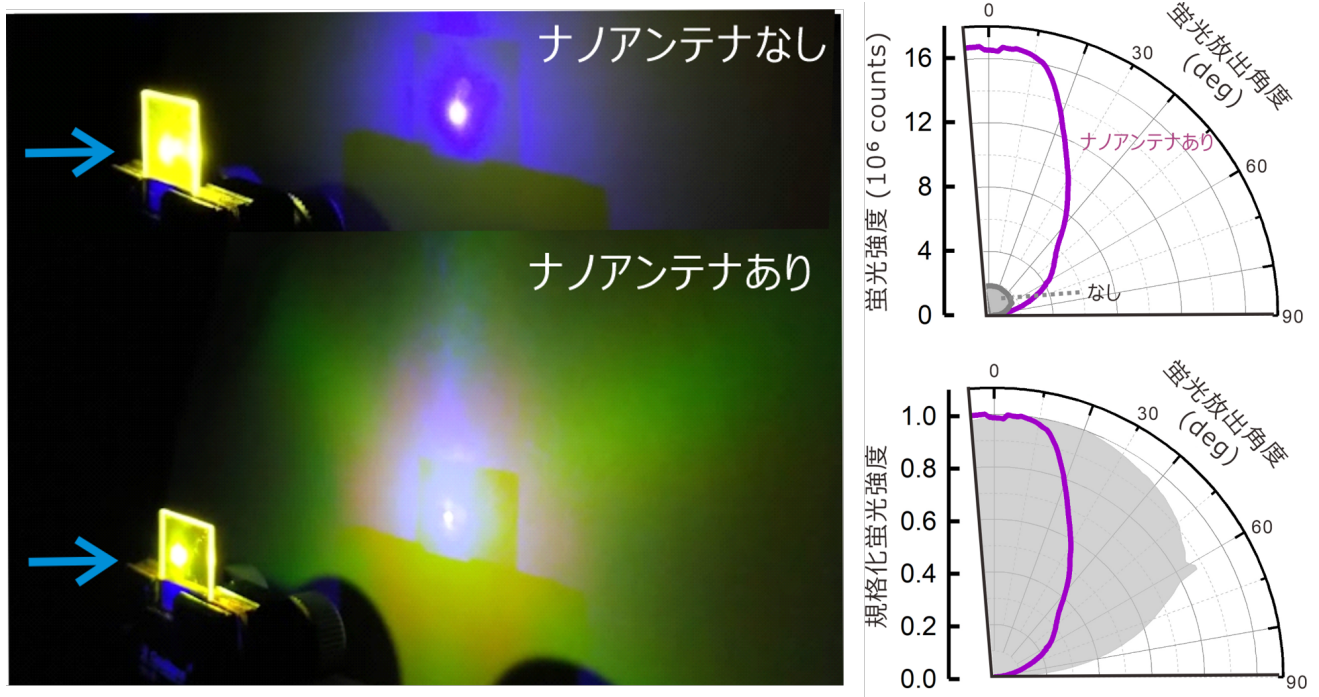


図2：ナノアンテナ蛍光体からの蛍光放出挙動

（左）蛍光基板に青色レーザー光を照射すると、前方には青色透過光の色が見える。ナノアンテナ蛍光体では黄色がナノアンテナ作用を受け前方に放出される結果、前方方向で白色光が見られる。（右）蛍光強度の放出角度依存性。アンテナのない基板では全方向に等方的な発光強度分布を示すが、ナノアンテナ蛍光体では正面方向（放出角度 0°）で蛍光強度が大幅に高まる。下図は蛍光強度を放出角度 0° で規格化しており、ナノアンテナ蛍光体における蛍光指向性がわかる。

3. 波及効果、今後の予定

光吸収の低いナノアンテナ蛍光体は、高強度青色レーザーで照射した際の温度上昇が抑えられるので、高輝度が必要となる応用に有利です。また、本研究では、設計次第で更に正面への蛍光強度が高いナノアンテナ蛍光体も可能であることが示されたので、今後の研究で限界に迫る特性を持つアンテナ開発に取り組みます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究の一部は、日本学術振興会（JSPS） 科学研究費助成事業（21H04619, 22H01776）、泉科学技術振興財団、コニカミノルタ科学技術振興財団ならびに旭硝子財団の支援を受けて実施されました。また、ナノ加工の一部は京都大学ナノテクノロジーハブ拠点を利用して行われました。

<研究者のコメント>

ナノアンテナ蛍光体の作動原理を解き明かすことが出来ました。この成果を元に、更に高性能な蛍光体や光源を開発していきます。（村井俊介）

注1：Enhanced photoluminescence and directional white-light generation by plasmonic array（プラズモニックアレイによる蛍光増強と指向性白色生成）、鎌倉涼介、村井俊介、横林裕介、高島啓次郎、倉本大、藤田晃司、田中勝久、Journal of Applied Physics、**124号** p.213105 (2018).

<論文タイトルと著者>

タイトル：Photoluminescence engineering with nanoantenna phosphors（ナノアンテナ蛍光体による蛍光エンジニアリング）

著 者：村井俊介、Feifei Zhang、愛知広樹、田中勝久

掲 載 誌：Journal of Materials Chemistry C

DOI： <https://doi.org/10.1039/d2tc03076d>