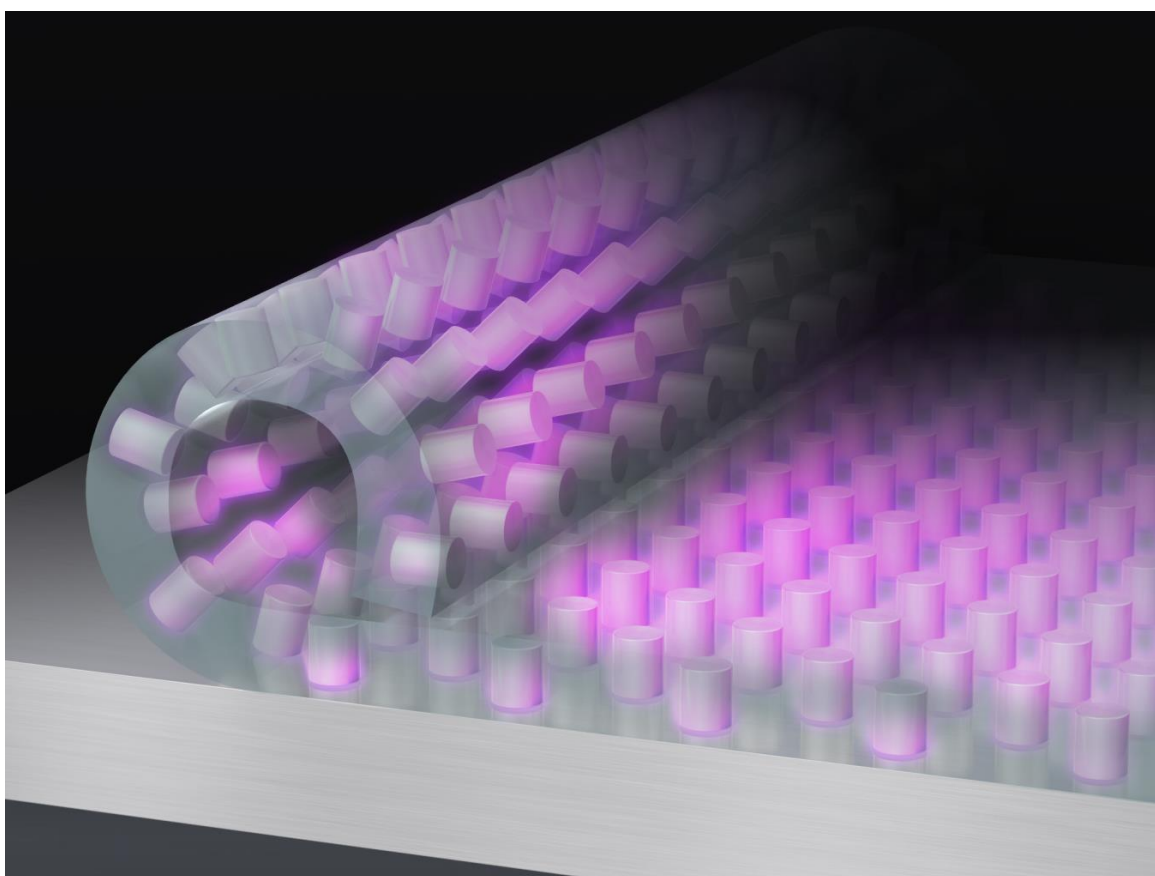


貼るだけで灯りを明るくするナノアンテナシールの開発に成功

概要

京都大学大学院工学研究科 阿形健一 修士課程学生、村井俊介 同助教、田中勝久 同教授（国際高等教育院教授）は、自由に切り貼りできるナノアンテナシールの開発に成功しました。例えば発光素子にシールを貼ることで、発光をより明るくすることができます。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。これまでに白色 LED に利用可能な黄色蛍光体基板上にナノアンテナを作製することで、発光の増大と指向性の付与に成功しています。^{注1}しかしながら、ナノアンテナ作製には高度に最適化された複雑な工程があり、その工程すべてに適合する特定の材料上にしか作ることができませんでした。これはナノアンテナの応用研究上の大きな妨げでした。本研究では様々な材料の表面に貼れて何度も繰り返し使えるシールを開発することでこの問題を解決しました。シールは特別な処理なく多くの材料に貼ることが可能で、例えば前述の黄色蛍光体基板上に貼ることで正面方向に3倍程度の発光強度の増加が見られました。現状でシールの性能は直接作製したナノアンテナの半分程度ですが、今後の研究により、直接作製したナノアンテナに迫るシールの開発を目指します。

本研究成果は、2021年1月14日に国際学術誌「Applied Physics Letters」にオンライン掲載されました。



1. 背景

ナノサイズの金属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、このナノアンテナを照明に応用できないかと考え、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、青色レーザーと組み合わせて、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、青色レーザー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。

このナノアンテナ技術は、照明にとどまらず様々な応用ができると期待されるのですが、どんな基板の上にも作製できるわけではありません。高度な複数の工程を経て作製するため、すべての工程に適合する材質や形状に厳しい制限があります。この制限はナノアンテナの応用を妨げるものです。本プロジェクトは、この問題を解決し、多くの材料に自由に貼れて機能を発揮する“ナノアンテナシール”を開発することを目的としました。

2. 研究手法・成果

今回の研究成果のキーワードは「ナノアンテナ転写技術」です。シールを作るため、まず標準的な基板の上にナノアンテナを作製し、それを樹脂に転写するプロセスを開発しました。転写のため、基板とナノアンテナの間に犠牲層と呼ばれる層を挟んだことが工夫した点です。犠牲層の上にナノアンテナを作製後、シールの材料となる樹脂を上から流し込み、金属ナノ粒子の周囲に充填しました。その後犠牲層を水に溶かすことで、ナノアンテナを基板から樹脂に写し取ります。樹脂として適度な粘着性・伸縮性を持つポリジメチルシロキサン（PDMS）を用いたことにより、特別な処理を施すことなく様々な基板に貼ることができ、ナノアンテナ作用を発揮するシールの作製に成功しました。このシールはナノアンテナ作製工程に適合しない有機材料から成る基板や、曲面、凹凸のある面にも繰り返し貼って剥がすことができ、ナノアンテナの応用範囲が広がります。

3. 波及効果、今後の予定

今後は発光材料をはじめ光機能を持つ様々な基板にナノアンテナシールを貼って機能増強を調べます。並行してシールの性能向上にも努めます。今回開発したシールを前述の黄色蛍光体基板に貼ると、直接作製したナノアンテナの半分程度の特性が得られます。転写技術を洗練することで、直接作製したナノアンテナに迫る性能を持つシールの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、科学研究費補助金（18K19134,19K22058, 19H02434）の支援を受け行われました。本研究の一部は、京都大学ナノテクノロジーハブ拠点を利用して（JPMXP09F19NMC042）行われました

<研究者のコメント>

ナノアンテナシールはナノアンテナを作製工程の制約から解放し、ナノアンテナの応用上大きな意味があると考えています。どんどん新しい応用にチャレンジしていきたいです。

<注記>

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).

<参考> 京都大学プレスリリース「次世代の指向性白色光源の開発に成功 – ナノアンテナで明日を照らす –」 <https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2018-12-06>

<論文タイトルと著者>

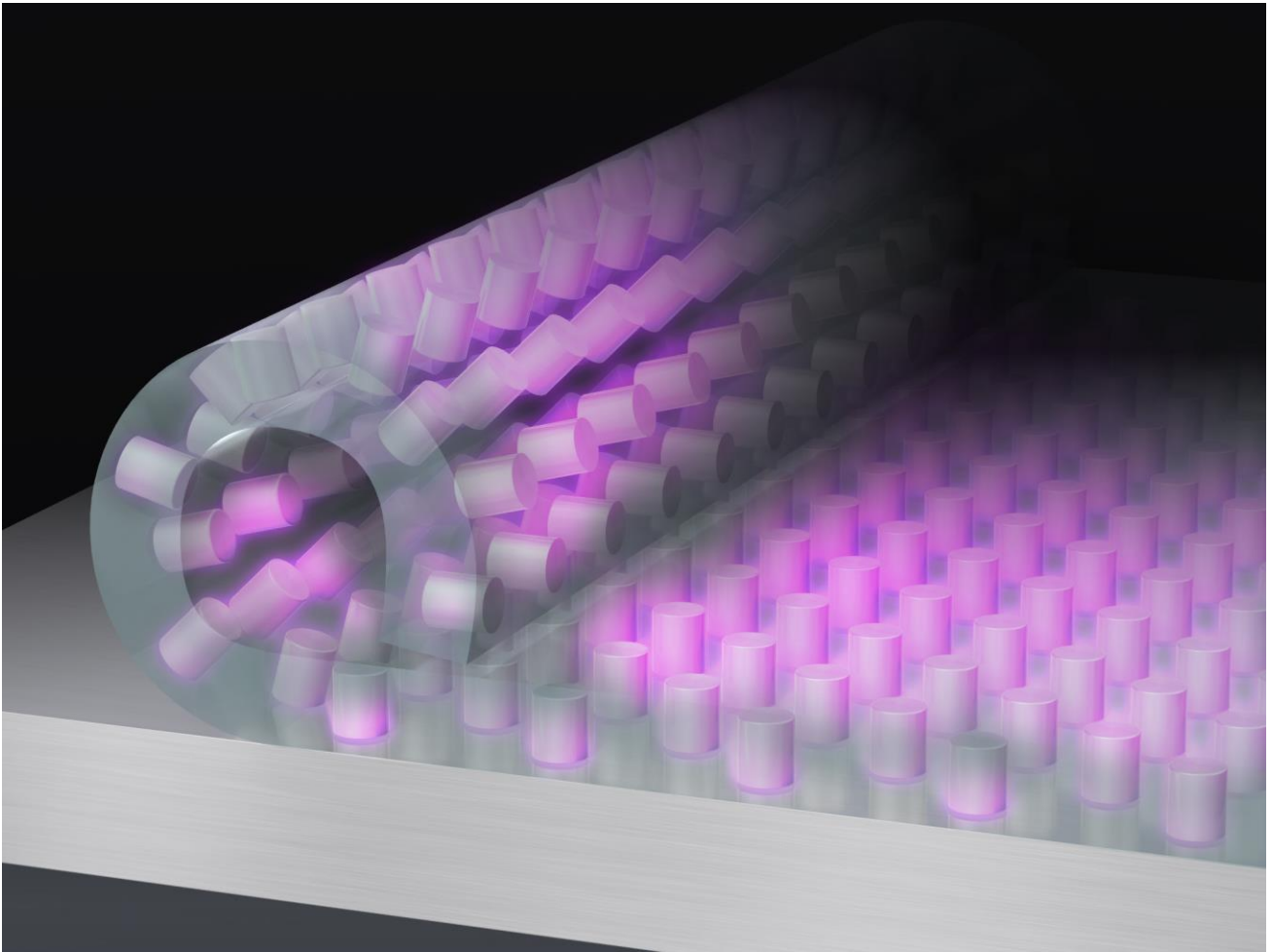
タイトル Stick-and-play metasurfaces for directional light outcoupling (指向性光取り出しのための貼って使えるメタ表面)

著者 阿形健一、村井俊介、田中勝久

掲載誌 Applied Physics Letters

DOI <https://doi.org/10.1063/5.0034115>

<イメージ図>



ガラス基板に作製したナノアンテナを樹脂に埋め込み、ガラス基板から剥がすことでシールにします。シールは様々な材料に貼ってナノアンテナ作用を発揮し、繰り返し使えます。