

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分
平成30年3月28日現在

ナノマテリアル・ナノフォトニクス融合による新しい
光集積技術の創製

Novel Photonic Integration Platform with Hybrid
Nanophotonics-Nanomaterials Systems

課題番号：15H05735

納富 雅也 (NOTOMI MASAYA)

東京工業大学・理学院・教授



研究の概要

波長よりも遥かに小さい多彩な物性を示すナノ材料を、独自のナノフォトニクス構造を組み合わせることによって、新しい光プラットフォームの創製を目指す。特にナノ材料誘起ナノ共振器形成技術と深サブ波長プラズモニック導波路をキー技術として、ナノワイヤ、グラフェン等各種ナノ材料の物性を最大限に引き出す構造を考案、作製、実証していく。

研究分野：応用物理学、光工学、光量子科学、ナノフォトニクス

キーワード：フォトニック結晶、ナノワイヤ、プラズモニクス、グラフェン

1. 研究開始当初の背景

近年、材料科学の分野では、ナノワイヤやグラフェンのようなナノスケールのサイズの新しい材料が次々と開発され、新しい物性が発見されているが、サイズが光の波長よりもはるかに小さいため光との相互作用が小さく、光デバイスへの応用が難しいという問題があった。一方で、ナノフォトニクスの分野では、強い光閉じ込めが実現し、様々な超小型で低消費電力の光デバイスが実現されつつあるが、用いることのできる機能材料の選択に制限があった。

2. 研究の目的

興味深い物性を持つナノスケールの材料を適切なナノフォトニクス構造と組み合わせることにより、ナノ材料中に強く光を閉じ込めることができる光プラットフォームを実現し、ナノ材料と光の相互作用を増強し、ナノフォトニクス光回路中で用いることができる光機能デバイスを実現する技術を開発することを目標とする。

3. 研究の方法

我々は波長よりも遥かに細い100nm程度の直径のナノワイヤをフォトニック結晶導波路の上に配置するだけで、ナノワイヤ位置に光が強く閉じ込める光ナノ共振器を自発的に形成できることを2014年に見出した。本科研費研究では、この技術をデバイスに応用するとともに、様々な材料系のナノワイヤ、ナノフィルムに適用し、幅広い波長帯での動作を目指す。

また、もう一つの基本プラットフォームとして、20nm程度の領域に光を閉じ込めることが可能なプラズモニック導波路を高効率に誘電体導波路に接続可能な素子構造を開発し、同構造を用いて様々なナノ材料の光物質相互作用の増強を図る。

4. これまでの成果

(1) 光通信波長帯ナノワイヤレーザの実現および高速変調の達成

直径100nmのInAsP/InPナノワイヤをSiフォトニック結晶導波路上に配置することによって、ナノワイヤ誘起光ナノ共振器を形成し、この共振器を利用して光励起により波長1.3 μ m帯におけるレーザ発振に成功した[1]。また、毎秒10ギガビットの信号により、高速変調動作にも成功した[2]。サブ波長サイズのナノワイヤとして初めての光通信波長帯におけるレーザ発振であると共に、波長は問わずナノワイヤとしてGHzを超える高速

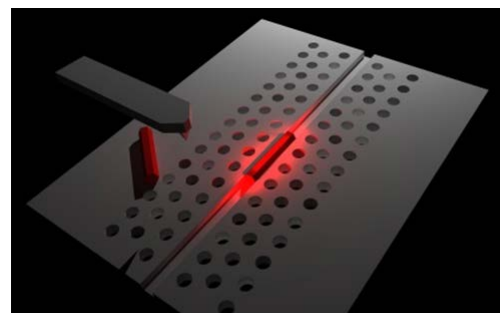


図1 ナノワイヤ誘起ナノ共振器レーザの模式図

変調に成功したのも、本成果が世界初である。この結果は、Si 光回路に超小型アクティブ素子を集積できる可能性を示唆している。

(2) ZnO ナノワイヤと SiN フォトニック結晶による紫外域ナノワイヤ誘起共振器の実現

同じ手法を、紫外域に発光波長を持つ ZnO ナノワイヤ(直径 50-90nm)と紫外域まで透明な SiN フォトニック結晶に適用し、波長 380-400nm 域で動作するナノワイヤ誘起ナノ共振器を実現した[3]。また、周期穴を持つディスク共振器により更に高性能化が図れることも見出した[4]。この結果により、上述のナノワイヤ誘起共振器形成の原理が、幅広い材料系、波長帯に適用可能であることが示された。

(3) 深サブ波長プラズモニック導波路モード変換器の実現

波長より遥かに小さいナノ材料と光を結合させるために、深サブ波長のモード面積を持つプラズモニック導波路が有望である。しかし、同導波路は外部導波路との光結合が困難であることが知られていた。本研究では、図 2 に示す独自の構造を用い、400nm×200nm の断面をもつ通常の Si 細線導波路を 20-50nm ×20nm の断面積のプラズモニック導波路に 2dB 以下の結合損失で結合できるモード変換器を考案、実証した[5]。幅だけでなく高さも大きく異なるプラズモニック導波路への高効率な光結合は、本成果が世界初である。

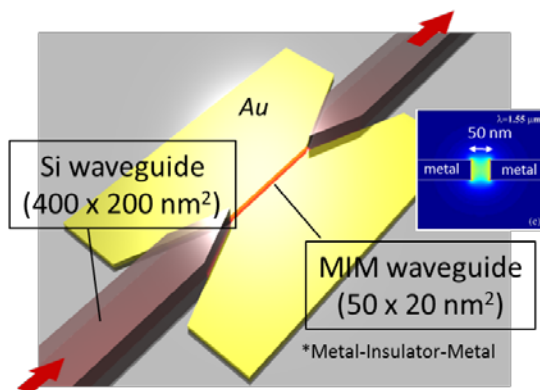


図2 Si導波路に高効率で結合した深サブ波長プラズモニック導波路

(4) グラフェン装荷プラズモニック導波路による相互作用増強効果

グラフェンは超高速な光非線形など興味深い光物性を示すが、単原子層厚しかないため光との相互作用が弱い。我々は深サブ波長プラズモニック導波路上にグラフェンを装荷することにより、グラフェンと光の相互作用を大幅に増大できることを見出した。そこで、上述の Si 導波路に高効率に結合する深

サブ波長プラズモニック導波路上にグラフェンを装荷した構造を作製し、光吸収の大幅な増大を実証した。この構造は、グラフェンによる高効率な光非線形素子応用に有望である。

5. 今後の計画

これまでの研究で、ナノ材料誘起ナノ共振器と深サブ波長プラズモニック導波路という二つのプラットフォームを確立できたので、今後この二つの手法に多彩なナノ材料系を組み合わせて、ナノ材料の特性を最大限に引き出すナノフォトニクス構造を実現していく。前者に関しては、今後機能性の付加を追究し、後者に関しては、超高速な材料応答を引き出してデバイス動作につなげることを目指す。本科研費研究の最後には、この二つの技術に最も適する応用形態を明らかにする。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- (1) A. Yokoo, M. Takiguchi, M. D. Birowosuto, K. Tateno, G. Zhang, E. Kuramochi, A. Shinya, H. Taniyama, and M. Notomi, "Subwavelength Nanowire Lasers on a Silicon Photonic Crystal Operating at Telecom Wavelengths", ACS Photonics 4, 355-362 (2017).
- (2) M. Takiguchi, A. Yokoo, K. Nozaki, M. D. Birowosuto, K. Tateno, G. Zhang, E. Kuramochi, A. Shinya, and M. Notomi, "Continuous-wave operation and 10-Gb/s direct modulation of InAsP/InP sub-wavelength nanowire laser on silicon photonic crystal", APL Photonics 2, 046106 (2017).
- (3) S. Sergent, M. Takiguchi, T. Tsuchizawa, A. Yokoo, H. Taniyama, E. Kuramochi, and M. Notomi, "Nanomanipulating and tuning ultraviolet ZnO nanowire-induced photonic crystal nanocavities", ACS Photonics 4, 1040-1047 (2017).
- (4) S. Sergent, H. Taniyama, and M. Notomi "Design of nanowire-induced nanocavities in photonic crystal disks", Optics Letters 42, 5121-5124 (2017).
- (5) M. Ono, H. Taniyama, Hao Xu, M. Tsunekawa, E. Kuramochi, K. Nozaki, and M. Notomi, "Deep-subwavelength plasmonic mode converter with large size reduction for Si-wire waveguide", Optica 3, 999-1005 (2016).

ホームページ等

<http://notomi-lab.phys.titech.ac.jp/>

e-mail: notomi@phys.titech.ac.jp