フォトニック結晶およびプラズモニック導波路内における半導体ナノワ イヤの光閉じ込め最適化と比較

Optimization of optical confinement in semiconductor nanowires with silicon photonic crystal and plasmonic waveguide

日本電信電話株式会社 NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性研²

⁰滝口雅人^{1,2},谷山秀樹^{1,2},小野真証^{1,2},角倉久史^{1,2},舘野功太^{1,2},章国強^{1,2},

新家昭彦^{1,2},納富雅也^{1,2}

NTT Nanophotonics Center¹, NTT Basic Research Labs.²,

^OM. Takiguchi^{1,2}, H. Taniyama^{1,2}, M. Ono^{1, 2}, H. Sumikura^{1,2}, K. Tateno^{1,2}, G. Zhang^{1,2},

A. Shinya^{1,2}, and M. Notomi^{1,2}

E-mail: masato.takiguchi.mg@hco.ntt.co.jp

化合物半導体ナノワイヤは光学利得を持つサブ波長サイズの一次元ナノ材料である。この極限 的に小さい化合物半導体材料をシリコン光回路に集積すれば、環境負荷が少なく高効率で低エネ ルギー動作する光学素子を実現できる。これまで我々は半導体ナノワイヤをSiフォトニック結晶 (PhC)トレンチ導波路に集積し、レーザ・受光器・光スイッチを実現した[1]。しかし、既存の半 導体ナノワイヤは断面形状が円形で、トレンチとナノワイヤのわずかな隙間に光が漏れ出し、ナ ノワイヤへの光閉じ込めが低くなる。そこで、将来のSi上への化合物半導体の直接成長や矩形断 面ナノワイヤの転写を念頭においた設計の見直し、プラズモニック構造の比較を行った。

図1(a)はSi PhCのトレンチ構造を持つW1 導波路のバンド図である。これまで我々はスラブ厚 に対し半分の深さを持つW1 導波路中のトレンチ構造にナノワイヤを集積し、その屈折率差で誘起 されるモードギャップ共振器を利用してきた。W1 導波路の場合、この共振器は緑の高次の伝搬モ ードにより形成されており、図1(b)に示す電場分布になる。このモード分布はナノワイヤ外にも 電場が広がっており、ナノワイヤへの光閉じ込めが低くなる傾向があった。そこで、今回は導波 路幅を細くしバンド全体を高エネルギー側にシフトさせることで、基本モードによる共振器形成 を行った(図1(c))。電場分布からW1で作製した共振器よりもナノワイヤ中心に電場が集まっ ておりQ値も高くなることが分かる。これらの結果をまとめたものが図1(d)である。次に、ナノ ワイヤへの閉じ込め係数を大きくするためトレンチをスラブ厚まで深掘りし、導入するナノワイ ヤが落ちないように下地がSiO₂の場合も計算を行った。これは将来のシリコン上への化合物材料 の直接成長にも利用できる。この場合、Q値は数千まで低下するものの、閉じ込め係数は 0.2 程 度まで改善する。本発表ではプラズモン導波路に集積したナノワイヤの最適構造とその比較も合 わせて行う。本研究はJSPS 科研費 15H05735 の助成を受けたものである。[1] M. Notomi, et.al., Opt. Mater. Express, 10, 2560 (2020)



Fig. 1 (a) Enlarged band diagram for PhC waveguide with a nanowire in the air trench. Rhe radius [r], slab thickness [t], trench width [w], and depth [d] were 0.3a, 0.6a, 0.15a, and 0.15a, respectively, where a is the lattice constant. (b) The electric field of nanowire-induced PhC nanocavity (c) The electric field of nanowire-induced PhC nanocavity. (d) Summary of confinement factor and Q factor for different waveguide width.