



Title	A Study on Nonlinear Optical Devices Based on One-Dimensional Photonic Crystal Cavity [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	牧野, 俊太郎
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12194号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61763
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shuntaro_Makino_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 牧野 俊太郎

審査担当者 主 査 教 授 齊藤 晋聖

副 査 教 授 宮永 喜一

副 査 教 授 大鐘 武雄

副 査 准教授 藤澤 剛

学位論文題名

A Study on Nonlinear Optical Devices Based on One-Dimensional Photonic Crystal Cavity

(1次元フォトリック結晶共振器に基づく非線形光学デバイスに関する研究)

インターネットの普及と扱う情報の大容量化に伴い、全世界の通信トラフィックは増大し続けており、2016年には年間1.3ゼタバイトに達すると予想されている。また、通信トラフィックの増大に伴い、ネットワーク機器における電力消費も増加し、2025年には現在の総消費電力量の1/4にあたる2400億キロワット時まで増加すると見込まれている。現状のネットワークでは、伝送してきた光信号をいったん電気信号に変換し、電子デバイスで処理を行ったあと再度光信号に戻して伝送している。このような冗長な処理は高速化および低消費電力化の妨げとなっており、光信号を光のまま制御する全光信号処理の実現は次世代の光通信システムにとって必要不可欠である。特に、光と物質の相互作用によって発生する非線形光学効果は全光信号処理の実現に重要な役割を果たすことが期待されている。しかしながら、一般に光と物質の相互作用は弱く、高い入力パワーと長い作用長を必要とするという課題がある。

近年注目を集めるスローライトは非常に小さな群速度を有する光波であり、光と物質の相互作用を向上させることができるため、非線形光学効果の増大が期待できる。スローライトを実現する構造としては、室温動作、高集積化が可能なフォトリック結晶導波路を用いるのが有効である。フォトリック結晶導波路は屈折率が波長程度の周期で変調された構造を持ち、その動作帯域の端においてスローライトが実現される。しかしながら、フォトリック結晶導波路の動作帯域の端では群速度分散が大きくなるため光信号の歪みや劣化を引き起こしてしまうという課題がある。この課題を解決するために、結合共振器型光導波路 (Coupled Resonator Optical Waveguide: CROW) が提案されている。CROWは光共振器が多段に接続された構造を持ち、動作帯域の中心において群速度分散を低減できるという特徴がある。近年、1次元フォトリック結晶共振器に基づくCROWにより群速度と漏れ損失を同時に低減できることが報告されたが、本研究では、さらなる群速度の低減を目的として1次元フォトリック結晶共振器に基づくリング共振器を提案している。一般的に、非線形光学効果の大きさは群速度の二乗に反比例することが知られており、1次元フォトリック結晶共振器に基づくリング共振器を構成することにより群速度を約半分に低減でき、約4倍の非線形光学効果の増大が得られることを示している。

また、スローライトに加えて、スロット導波路と呼ばれる構造も非線形光学効果の増大に有用である。スロット導波路は高屈折率媒質に挟まれた低屈折率媒質の小さな領域に光を強く閉じ込めることができる構造である。本研究では1次元フォトリック結晶共振器で構成されたスロット導波路を

提案し、その非線形特性を調査している。導波路断面構造を適切に設定することで、従来のスロット導波路と比較して、非線形光学効果の性能指数を1桁以上向上できることを明らかにしている。さらに、各共振器の中央部分にスロット構造を設けたスロット1次元フォトリック結晶共振器に基づくCROWを提案している。CROWによる低群速度およびスロット構造による小さな領域への強い光の閉じ込めの両方の相乗効果によって数十倍の非線形光学効果の増大が得られることを示している。

ところで、CROWを用いて光波回路を構成する際には、光波は直線導波路から入射されるため、高効率かつ広帯域な接続が必要である。そこで本研究ではCROWと直線導波路の高効率な接続法についても検討を行っている。高効率接続に有効であるテーパ導波路構造は、これまで2次元解析による設計にとどまっていた。本研究では新たに開発した3次元ベクトル有限要素時間領域ビーム伝搬法を駆使し、テーパ導波路の3次元解析を行っている。空孔半径と導波路幅を断熱的に変化させることで広帯域な高効率接続が可能であることを実証している。

本論文の構成内容は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景および目的を述べている。

第2章では、本研究の数値解析に用いる有限要素法の定式化を行っている。

第3章では、1次元フォトリック結晶共振器に基づくリング共振器を提案している。低群速度が得られることを示し、デバイスサイズの小型化と漏れ損失の関係から適切な共振器の周期数を明らかにしている。

第4章では、1次元フォトリック結晶共振器で構成されたスロット導波路を提案している。導波路断面構造を適切に設定することで非線形光学効果の増大が得られることを示している。

第5章では、スロット構造を設けた1次元フォトリック結晶共振器に基づくCROWを提案している。CROWによる低群速度とスロット構造による小さな領域への強い光の閉じ込めによって非線形光学効果の性能指数が向上することを示している。

第6章では、CROWと直線導波路を高効率に接続するためのテーパ導波路を提案している。3次元ベクトル有限要素時間領域ビーム伝搬法を用いて、空孔半径と導波路幅を断熱的に変化させることで広帯域に渡り高効率接続が可能であることを示している。

第7章では、本研究により得られた結論をまとめている。

これを要するに、著者は、非線形光学デバイスにおける非線形光学効果の増大を目的として、1次元フォトリック結晶共振器に基づくリング共振器、および1次元フォトリック結晶共振器で構成されたスロット導波路を提案するとともに、それらの両方の相乗効果を可能とするスロット1次元フォトリック結晶共振器に基づくCROWを提案し、非線形光学効果を数十倍に増大可能であることを明らかにしており、情報通信フォトリックスに関する学術分野に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。