

氏名(本籍)	すぎ さか じゅんいちろう (福岡県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第5218号		
学位授与年月日	平成22年2月28日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	数理工学物質科学研究科		
学位論文題目	フォトニック結晶光バッファ回路の試作と特性改善のための理論解析に関する研究		
主査	筑波大学教授	工学博士	伊藤 雅 英
副査	筑波大学教授	理学博士	青木 貞 雄
副査	筑波大学准教授	理学博士	服部 利 明
副査	宇都宮大学教授	工学博士	谷田貝 豊 彦
副査	産業技術総合研究所	工学博士	山本 宗 継

論文の内容の要旨

本論文はフォトニック結晶リング導波路の低損失化を目的として、円弧曲がり導波路を提案し、この導波路の特性を解析するために数値解析手法を新たに開発し、より損失の小さい導波路構造の設計を行ったものである。フォトニック結晶曲がり部分対策は従来から行われており、60度もしくは90度曲がり部分の構造を改変するアプローチや、欠陥部分が円弧状に曲がる構造を設計する研究がある。しかしこれらの多くは透過率に波長依存性がある、曲がり点での反射について検証されていない、2次元フォトニック結晶に対する設計または2次元数値計算による設計のため結晶面から上下方向への放射損失が考慮されていない等の問題点が残っている。それに対し、本研究は従来の直線導波路構造を結晶構造を保ちつつ円弧状に曲げた構造を提案した。この構造は曲がり部分でも導波路方向に周期性が存在し、また直線導波路と連続的に接続することもできるため、本来のフォトニック結晶に近い特性を持つ可能性がある。さらに、導波路方向が任意に定められる、決められた2点間の導波路長を比較的自由的な長さに設計できる等よりフレキシブルな光回路がデザインできる性質も有する。本手法で開発したバンド計算手法は境界上のみ(1次元)の離散化だけで計算でき、少ない計算資源で計算できること、開領域を含めた自由な境界条件が設定できること、周波数領域計算であるため求める必要のある任意の周波数帯のみを効率よく計算できる利点がある。また、2次元計算では、スラブ上下方向への放射が考慮されない。そこで導波路からの放射損失を含めて解析するため、3次元電磁界解析手法を開発した。

開発した3次元電磁界解析手法を用いて、まず折れ曲がり導波路からの放射光の解析を行った。計算した構造は60度曲がりを2つ含む導波路で、導波モードの入射光を左側の導波路端から入射した状況を考えて。また、これを用いてリング共振器の構造を設計した。従来型と自由曲線導波路型のリング共振器の計測結果を比較すると、折れ曲がり導波路を用いたリング導波路は共振ピーク幅が広く、ピーク間隔もランダムになっている。この効果はリング導波路内の曲がり点による複雑な反射(ファブリーペロー共振)によるものである。

次に方向性結合器からの光の損失を除いた、純粋なリング共振器のQ値を求めた。試作したリング共振

器の動的特性を評価するため、方向性結合器に熱による屈折率変調を与え、Q 値の変化量を測定した。温度 68 °C で、方向性結合器が波長 1370.9nm においてほぼ完全な Cross 状態へ変化しており、それに合わせて幅が最大の共振ピークが現れた。共振ピーク幅から Q 値は約 1940 で、43 °C の温度変化で約 8.9 倍の Q 値変化量が得られることが明らかとなった。

審査の結果の要旨

フォトニック結晶導波路を円弧上に歪曲させた円弧曲がり導波路を提案したことはオリジナルであり、これによって従来には不可能であった導波路曲がり角を自由に設定できるようになった点が評価できる。また、2次元境界要素法を応用し、円弧曲がり導波路のフォトニックバンド計算手法を開発した。これによって円弧曲がり導波路な、並進対称性を持たない構造のフォトニックバンドが計算できるようになった点に新規性がある。また、開発したバンド計算手法により円弧曲がり導波路の放射損失の原因が放射モードとの結合であることが明らかとなった。さらにこの知見から損失の少ない導波路構造を設計し、これが直線導波路に近い導波帯域を持つことが明らかとなった。スラブ上下面からの放射を少ない計算資源で計算するため、3次元境界要素法を改良した固有モード展開型境界要素法を開発した。これにより通常は大型計算機が必要な導波路からの放射計算がパソコン1台でもできるようになった。固有モード展開型境界要素法を用いて円弧曲がり導波路からの放射損失量を計算し、導波路曲率を変えることで放射損失量を任意の量まで減少できることが明らかとなった。これら、新規性と高い実用性を兼ね備えたシステム設計、実験、理論計算は、ナノ光学分野において高く評価される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。