

氏 名	チュティナン アロンカーン CHUTINAN ALONGKARN
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1998 号
学位授与の日付	平 成 13 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 子 物 性 工 学 専 攻
学位論文題目	THEORETICAL ANALYSIS OF FUNDAMENTAL WAVE- GUIDE STRUCTURES FOR ULTRASMALL INTEGRATED OPTICAL CIRCUITS USING PHOTONIC CRYSTALS (フォトリック結晶を用いた超小型光集積回路の基本導波路構造の理論解析)
論文調査委員	(主 査) 教 授 野 田 進 教 授 藤 田 茂 夫 教 授 北 野 正 雄

論 文 内 容 の 要 旨

近年、高度情報化社会におけるインフォメーションテクノロジー (IT) の急激な進展は我々の生活に大きな変化をもたらしている。その影響範囲はインターネットや電子商取引という一般的なものから、遠隔治療という生命にかかわるようなものまであらゆる分野に及ぶ。これらの基盤となるのは情報処理技術である。今までの情報処理技術は、電話からマイクロプロセッサまであらゆる情報機器において情報の媒体として電子が用いられて来た。しかしながら、電子機器の速度や性能はその中に集積されている抵抗および容量によって制限されている。この制限を打破するために、情報の媒体を電子より遙かに大きな情報量を運ぶことができる光に変えようという動きが活発になりつつある。現在では光を利用した情報処理技術の中でもっとも重要なものは恐らく光ファイバー通信であろう。実際、プレーナー光波回路 (PLC) を用いた、 ~ 1 テラビット/秒の容量をもつ波長分割多重方式 (WDM) の通信ネットワークが市販されるようになっている。しかしながら、PLC は高価で、サイズが大きく、また、消費電力も大きいという欠点があり、安価でコンパクトな全光集積回路が強く求められている。それを実現するための鍵を握っているといわれているのがフォトリック結晶と呼ばれる光材料である。フォトリック結晶は、周期的屈折率変化を持つ材料であり、半導体中の電子のバンド構造と同様に光子のエネルギーに対するバンド構造・バンドギャップを形成する。このフォトリックバンドギャップを用いることによって、フォトリック結晶内部における光の発生・伝播を自在に制御することが可能になるため、フォトリック結晶の中に様々な光機能デバイスを組み込んだ超小型光回路の実現が期待される。しかしながら現在、フォトリック結晶を用いた光回路の実現のために、具体的に実現可能な構造の設計が全く行われていない。このような背景の中で本論文は、2次元および3次元フォトリック結晶構造においてそれぞれ、基本構造や光回路の基本要素である導波路の理論解析・設計を行い、光回路の媒質としての可能性を最大限に引き出すことを目的として行った研究を纏めたもので、以下の7章から成っている。

第1章は序論であり、本研究の背景としてフォトリック結晶で期待される特性、および、超小型光回路を目指した研究の現状について述べるとともに、フォトリック結晶を用いた超小型光回路の基本要素である導波路の理論解析・設計の意義について述べ、本論文の目的と位置付けを明確にしている。

第2章では、フォトリック結晶の具体的な例として2次元および3次元フォトリック結晶構造の代表的なものをいくつか示すとともに、光回路へ応用するためにはどのような構造が適しているかを定性的に議論している。また、本論文で用いられているフォトリック結晶の解析・設計のための計算手法である平面波展開法、転送行列法、および時間領域有限差分法について述べ、これらの方法を用いることによりフォトリックバンド構造、フォトリック結晶の透過・反射スペクトル、フォトリック結晶導波路内の光の伝播等が解析できることを述べている。

第3章では、2次元フォトリック結晶スラブ構造の基本的特性について論じている。スラブ構造における漏れモードの条件について議論した上、スラブ構造の様々なパラメータを変化させた場合のバンド構造を3次元の時間領域有限差分法で解析し、光の閉じ込め効果を最大限にするためにはフォトリック結晶の穴を小さく、スラブの上下を空気でクラッドする必要

があることを明らかにしている。

第4章では、光領域の3次元フォトニック結晶としてもっとも期待されている半導体積層構造における構造揺らぎのフォトニックバンドギャップへ影響について検討を行っている。平面波展開法に基づくスーパーセル法を用いて、様々な構造揺らぎ、すなわち、ストライプの位置ずれ、交差角度のずれ、層厚の揺らぎ、ストライプ幅の揺らぎについて検討を行った結果、ストライプの位置ずれが最も影響を及ぼしているとしながらも、全体として半導体積層構造は造揺らぎに対して強いことを明らかにしている。

第5章では、2次元フォトニック結晶スラブにおける導波路の設計について述べている。設計指針は導波路モードの有効屈折率を大きくし、導波路モードが漏れない周波数範囲を用いることで、三角格子構造における直線導波路では60nm程度の波長範囲で無損失伝播が可能であることを示している。しかしながら、曲がり導波路を形成した場合、90%以上の高い透過率が得られる周波数範囲は15nm程度に制限されてしまうことを明らかにしている。

第6章では、半導体積層構造における直線導波路および曲がり導波路の解析・設計を行い、ある層のストライプ1本を抜いただけで単一モードの導波路が形成できることを示している。さらに、曲がり導波路の設計を行い、曲がる前後の伝播モードが同一のものに保たれるように、1層上の層に同じ導波路を形成するような90°曲がり導波路を提案し、その特性は非常に広い周波数範囲（波長1.55 μm を中心とした場合、120nm程度の波長範囲）に渡って95%以上の高い透過率が得られることを明らかにしている。

第7章は結論であり、本研究で得られた結果を纏めて要約するとともに、今後の課題と将来展望について論じている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、フォトニック結晶という新しい光材料を基本媒体とした超小型光集積回路の実現に向け、2次元および3次元の構造についてそれぞれの重要検討課題である漏れモードおよび構造揺らぎに関する検討を行い、その上で回路の基本要素となる導波路や曲がり導波路を理論的に解析・設計することを目的として研究した結果を纏めたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 2次元フォトニック結晶スラブ構造を光回路の媒体としての可能性を探るため、漏れモードの問題を扱い、バンド構造図においてライトラインより下に位置するモードであれば漏れないことに注目し、その周波数範囲が最大限になるように2次元フォトニック結晶スラブ構造を設計し、問題を回避し得ることを明らかにしている。また、設計した2次元フォトニック結晶スラブ構造において、光導波路および曲がり導波路を設計・解析し、その透過・反射特性を明らかにしている。
2. 2次元フォトニック結晶スラブ構造において導波路付近に欠陥を設け、光が漏れるという性質を逆に利用し、光を上下方向に取り出すような超小型波長分波器を提案し、実験的に実証している。
3. 光領域の3次元フォトニック結晶としてもっとも期待されている半導体積層構造における構造揺らぎのフォトニックバンドギャップへ影響について検討を行い、種々の構造揺らぎの中、位置ずれの影響が最も大きく構造の正確な位置合わせが最も重要であり、具体的には位置ずれを一周期の20%以内に抑えればバンドギャップは最大値の50%以上存在することを明らかにし、実際の作製指針を示している。
4. 3次元フォトニック結晶における導波路を設計し、半導体積層構造においてストライプ一本を除去するだけで単一モードの導波路が形成できることを見出し、さらに、2本の導波路を交差することにより直角曲がり導波路が形成できることを示している。また、この方法によって曲がる前後の導波路モードが同一のものに保たれて反射が抑えられ、広い周波数範囲に渡って95%以上の高い透過率が得られることを明らかにしている。

以上を要するに本論文は、2次元および3次元フォトニック結晶についてそれぞれ、漏れモードや構造揺らぎの影響を解析し、導波路および曲がり導波路の設計とその特性を明らかにし、超小型光集積回路実現のための有用な情報を提供したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年12月26日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。