

Title	Enhancement of quasi-phase-matched second harmonic generation with optimized densities of light modes in multilayer structures
Author(s)	南口, 勝
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/46786
DOI	
rights	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	みなみ ぐち まさる 南 口 勝
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 20411 号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学位論文名	Enhancement of quasi-phase-matched second harmonic generation with optimized densities of light modes in multilayer structures (周期多層膜中における光のモード密度の最適化を用いた擬似位相整合第二高調波発生 of 増強)
論文審査委員	(主査) 教授 伊藤 正 (副査) 教授 宮坂 博 教授 田畑 仁 助教授 芦田 昌明

論 文 内 容 の 要 旨

非線形光学現象である高調波発生やパラメトリック変換のような波長変換技術は、新しい波長領域を開拓し、既存のレーザーの応用範囲を広げることにつながるため盛んに研究が行われている。しかし、通常は、弱い入射光に対して、非線形光学信号は非常に小さい。よって、非線形信号の増強は非常に重要な課題である。本研究では、特に、波長を半分に変換する二次の非線形光学効果である第二高調波発生 (SHG) に注目し、その増強について研究を行ってきた。高効率な SHG には、関与する光子間の運動量保存則である位相整合条件を満たす必要がある。この位相整合に関しては、周期的に二次の非線形光学定数を変調することによって擬似的に位相を整合する擬似位相整合を用いた。本研究では、さらなる第二高調波の増強に向けて、擬似位相整合に加えて、フォトニック結晶を用いることを提案した。フォトニック結晶は、屈折率に周期的変化を持つ物質であり、光が存在できない波長帯であるフォトニックバンドギャップを持つ。一方、このフォトニックバンド端では、光のモード密度が増大し、様々な光学過程に増強効果が現れる (フォトニックバンド効果)。この増強効果を用いれば、SHG を格段に増強することができる。本研究で得られた主な成果を次に示す。

1次元フォトニック結晶である周期多層膜を用い、擬似位相整合とフォトニックバンド効果を同時に満たす設計法を新たに開発した。この設計法を用いることにより、擬似位相整合とフォトニックバンド効果の相乗効果による SHG の増強が期待できる。よって、この設計法に基づいて、イオンビームスパッタ法により試料を作製した。ZnO、SiO₂ を用い、その膜厚が、それぞれ、173 nm、35 nm、周期数が 31 周期である ZnO/SiO₂ 周期多層膜において、フォトニックバンド端付近で非常に大きな SHG の増強を確認した。この試料においては、擬似位相整合、フォトニックバンド効果をとともに用いない試料に比べて約 20000 倍もの SHG の増強効果を得ることができた。また、得られた実験結果とシミュレーションの結果を比較することにより、269 周期 (約 57 μm) で約 7.5% の第二高調波変換効率が得られることがわかった。これは、既存の SHG 素子に比べ、数百分の一の大きさで同様の変換効率が得られることを示している。また、このような擬似位相整合とフォトニックバンド効果の相乗効果による増強は、その他の波長変換技術である差周波発生、高次高調波発生やパラメトリック変換にも応用できるので、今後、この種のナノ構造多層膜物質を用いてさらに新たな展開が期待できる。

論文審査の結果の要旨

レーザーの持つ光波長を変換して新しい波長領域に利用する技術は、広波長領域における新しい物性現象の探索や光記録の高密度化を始めとする各種応用にとって必須の技術である。このために、高調波発生やパラメトリック変換のような非線形光学現象を用いた波長変換技術が盛んに研究されている。しかし、その高効率材料の探索、十分な効率を得るための素子構造設計、超短光パルス光を用いた場合の素子の大きさなどにも課題があり、従来とは発想を変えた光学非線形信号の増強手法の開拓は非常に重要な課題である。

本論文は、特に、二次の非線形光学効果である波長を半分（周波数を倍）に変換する第二高調波発生（SHG）技術に注目し、その効率増強のための素子構造の設計と変換効率の検証に関する研究を行ったものである。高効率な SHG においては、材料が大きな 2 次の光学非線形性を有することが望ましいと同時に、位相整合条件（関与する光子間の運動量保存則）を満たす必要がある。更に変換時における内部電場の増強や光子モード密度の大きさも重要な要素である。

まず、従来利用されたことのない材料としては、2 次の非線形性が大きく可視波長域に吸収のないワイドギャップ半導体を選択し、複屈折性の欠如による位相不整合については、半導体/誘電体材料の平面的多重周期サンドイッチ構造を作ることによって周期的に二次の非線形光学定数を変調させて、擬似的に位相を整合する擬似位相整合手法を採用している。本研究の重要性は、さらなる第二高調波の増強に向けて、擬似位相整合に加えて、フォトニックバンド効果を用いることを提案していることにある。フォトニックバンドは、屈折率に周期的変化を持つ物質の中で生じる光の特殊な分散関係であり、光が存在できない波長帯であるフォトニックバンドギャップを持つ。一方、このフォトニックバンド端では、光のモード密度が増大し、様々な光学過程の増強効果が現れる（フォトニックバンド効果）。この増強効果を用いれば、SHG を格段に増強することができるとの独創的アイデアである。

そこで、本論文では、具体的材料として半導体は ZnO、絶縁体は SiO₂ を使い、1 次元フォトニック結晶である周期多層膜構造について、擬似位相整合条件とフォトニックバンド効果を同時に満たす設計法を新たに開発し、この設計法を用いることによって、擬似位相整合とフォトニックバンド効果の相乗効果による SHG の飛躍的な増強が期待できることを確かめている。更に、この設計法に基づいて、イオンビームスパッタ法によりプロトタイプとなる素子試料を作製している。ZnO、SiO₂ の膜厚が、それぞれ、173 nm、35 nm、周期数が 31 周期である ZnO/SiO₂ 周期多層膜において、フォトニックバンド端付近で大きな SHG 効率の増強を確認し、この試料においては、擬似位相整合、フォトニックバンド効果をとともに用いない ZnO 試料に比べて約 20000 倍もの SHG 効率の増強効果を得ることに成功している。また、得られた実験結果とシミュレーションの結果を比較することにより、269 周期（約 57 μm）で約 7.5% の第二高調波変換効率が得られることを示した。これは、既存の SHG 素子に比べ、数百分の一の大きさで同程度の変換効率が得られることを示している。また、このような擬似位相整合とフォトニックバンド効果との相乗効果による増強は、他の波長変換技術である差周波発生、高次高調波発生やパラメトリック変換にも応用できるので、今後、この種のナノ構造多層膜物質を用いた応用研究への新たな展開も期待できる。

このように、本論文はフォトニックバンドの非線形光学効果に関する新しい物理概念を与えるとともに、波長変換素子の新しい材料・構造とその設計法についての基礎及び応用研究の発展に寄与するところが大きく、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。