SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

# カー非線形媒質を含む導波形の光スイッチ及び第2高調波発生素子に関する研究



| メタデータ | 言語: Japanese |
| --- | --- |
| | 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 |
| | 公開日: 2008-04-17 |
| | キーワード (Ja): |
| | キーワード (En): |
| | 作成者: 孟, 学軍 |
| | メールアドレス: |
| | 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/10297/1706 |

| | |
|---|---|
| 氏名・（本籍） | 孟　　学　軍（中　国） |
| 学位の種類 | 博　士　（工　学） |
| 学位記番号 | 工博甲第　83　号 |
| 学位授与の日付 | 平成 5 年 3 月 24 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 |
| 研究科・専攻の名称 | 電子科学研究科　電子応用工学専攻 |
| 学位論文題目 | **カー非線形媒質を含む導波形の光スイッチ及び第 2 高調波発生素子に関する研究** |
| 論文審査委員 | （委員長）<br>教授　神藤正士<br>教授　水品静夫　　教授　岡本尚道<br>助教授　小楠和彦　　助教授　杉浦敏文 |

# 論文内容の要旨

近年、情報量の増大と共に高速情報処理の必要性が高まり、光の高速性と並列性を利用した光機能素子の開発が活発化している。中でも非線形媒質を含む導波路で構成される光デバイスの研究が盛んに行われている。3次の非線形効果の一つである光強度依存屈折率変化を利用した非線形光方向性結合器、及び2次の非線形効果を利用した第2高調波発生（SHG）素子は、光のみで動作する高速光スイッチ、光論理ゲート、さらに光記録用光源等への応用が期待されている。本論文は、従来不十分であった非線形方向性結合器に対する解析法を新たに提案し、その特性を明らかにすることと、カー非線形媒質をクラッドに用いたSHG素子を提案し、光電力の調整によって位相整合をとり、かつ変換効率を増加できる可能性を示すことを目的とする。

第1章では、非線形光導波路で構成される光デバイスの研究に関する歴史的背景、本研究の必要性と目的及び内容について述べる。

第2章では、本研究に関連する非線形光学の基礎と光導波路理論について述べる。まず、基礎となる非線形光学、特にカー非線形効果と2次の非線形光学効果について解説する。次に、光スイッチ及びSHG素子に用いられる主な非線形光学材料を述べ、最後に非線形光導波路に関する理論を述べる。

第3章では、光のみで動作する高速光スイッチへの応用が期待される非線形方向性結合器に対して、相反定理に基づく改良されたモード結合理論を提案している。摂動法に基づく従来のモード結合理論では、結合器内の電磁界を孤立した線形媒質の導波路の界で展開しているため、結合係数が導波電力

に依存しない定数になってしまい、弱非線形の場合にしか適用されなかった。これに対して本理論では、結合器内の界を孤立した非線形導波路の界で展開しているため、結合係数が導波電力に依存する結果となり、弱非線形の場合から中程度の強非線形の場合にまで適用できる。この理論を用いて、自己集束型のカー非線形媒質を結合層とする方向性結合器の結合係数、結合長、スイッチング電力を詳細に調べている。スイッチング電力は、導波路間の間隔が大きい場合に従来のモード結合理論による結果とほぼ一致するが、間隔が小さくなって非線形性が強くなると、従来の結果よりかなり小さくなることが明らかにされている。

第4章では、ガラルキン有限要素法と予測子修正子法を組み合わせた数値回析法が提案されている。この方法を用いて、強結合で損失を含む非線形方向性結合器、即ち多重量子井戸構造を用いた結合器の特性を調べている。この方法による電力保存則の誤差は、従来のビーム伝搬法による誤差より遥かに小さく、光波の伝搬と共に累積しないことが明らかにされている。多重量子井戸構造を結合層とすると、光波の伝搬損失をそのバルク中の損失より極めて小さくでき、このデバイスの伝搬損失の減少に有効であることが示されている。材料に損失があると、導波電力が光波の伝搬と共に減少していくので、非線形効果が低下し、結合長が短くなりスイッチング電力が増加する。さらに損失があると、二つの導波路の電力が、無損失の場合と異なり、同じ伝搬長で同時に極大値と極小値になることがない。スイッチングの消光比は、無損失とか大きな損失の場合ではなく、中程度の損失の場合に最大となる興味ある結果が得られている。

第5章では、自己集束型のカー非線形媒質のクラッドを用いた導波形SHG素子を提案し、その特性を検討している。高調波に導波モードを用いる従来のSHG素子では、位相整合のとれる膜厚を正確に作製することは精度上困難であり、さらに基本波の最低次モードから高調波の奇数次モードへの変換に対する界分布の重なり積分が小さいので、変換効率が極めて低い。それに対して、提案された新SHG素子は、導波光電力によってクラッドの屈折率が変化し、位相整合のとれる膜厚を変えることができる。従って、作製された膜厚に対して、光電力を調整することによって位相整合がとれ、効率的な高調波発生が可能となる。さらに、光電力の増加と共にクラッド層の屈折率が増加し、基本波の最低次モードから高調波の奇数次モードへの変換に対する重なり積分が極めて大きくなる。即ち、基本波の最低次モードから高調波の奇数次モードへの変換効率がかなり増加する特長が明らかにされている。

第6章では、本論文の結論及び今後の課題について述べる。

本研究の結果は、カー非線形媒質を含む導波路を全光型スイッチ及びSHG素子に応用する有効性を示す。本研究で得られた結論は、上記光デバイスの設計、構造、及び特性の改善と最適化に役立つと考えられる。

# 論文審査結果の要旨

光強度によって屈折率の変化するカー非線形媒質を用いた非線形光方向性結合器、及び2次の非線形効果を利用した第2高調波発生（SHG）素子は、光のみで動作する高速光スイッチや光記録用光源などへの応用が期待されている。本研究は、従来不十分であった非線形方向性結合器に対する解析法を新たに提案し、その特性を明らかにすることと、カー非線形媒質クラッドに用いたSHG素子を提案し、光電力の調整によって位相整合をとり、変換効率を増加することを目的としてなされた。

非線形方向性結合器に対して従来用いられてきたモード結合理論は、非線形性が弱い場合にしか適用できなかったので、相反定理に基づく改良されたモード結合理論が提案された。この解析法では、電磁界を孤立した非線形導波路の界で展開するために、結合係数が入射電力に依存し、中程度の強非線形の場合にまで適用できる。自己集束型の非線形媒質を結合層とした場合には、その屈折率が入射電力とともに増加し結合係数が増加する。入射電力が増加すると、結合長は始め減少し極小値になるが、臨界電力付近で急激に無限大に増加する。導波路間隔が小さい場合には、従来のモード結合理論の結果より臨界電力が大幅に小さな値になることが示された。

最近、非線形性の大きな多重量子井戸（MQW）構造が、非線形方向性結合器に実験的に用いられたが、MQWは損失もかなり大きいので、総合層を薄いMQW構造として強結合とする提案がなされた。しかし、このような結合器に対する解析法がなかったので、ガラルキン有限要素法と予測子修正子法を組み合わせた数値解析法が提案された。損失があると、二つの導波路内の光電力が異なる伝搬長で極大と極小になる。損失の増加とともに導波電力が減少し、結合層の屈折率が増加して結合が強まる。従って、結合長が減少し、スイッチング電力が増加する。スイッチングの消光比は、中程度の損失の場合に最大となることが明らかにされた。

基本波と高調波に導波モードを用いる通常のSHG素子は、位相整合の導波路膜厚で正確に作製することが精度上困難であり、基本波の最低次モードから高調波の奇数次モードへの変換効率が低いという問題があった。本論文では、カー非線形媒質のクラッドを用いた導波形SHG素子が提案された。この素子では、基本波電力の増加に伴って位相整合膜厚を変えることができ、さらに基本波の最低次モードから高調波の奇数次モードへの変換に対する重なり積分が急速に増加する。即ち、作製された膜厚に対して位相整合がとれ、変換効率がかなり増加する特長が明らかにされた。

以上の成果は、非線形方向性結合器と導波型SHG素子の研究分野において重要な知見を与えるものであり、本論文は博士（光学）の学位に相当する充分な内容があるものと認定する。