

Nonlinear Photonic Device for Optical Communication

程, 曉楊

<https://hdl.handle.net/2324/2534473>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学) , 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : Xiaoyang Cheng

論 文 名 : Nonlinear Photonic Device for Optical Communication

(光通信用非線形フォトニックデバイスの研究)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、インターネットやクラウドサービスの高機能化さらにはデータセンターの大容量化などによって、情報通信技術は私たちの生活になくてはならない社会インフラとなっている。このような情報通信技術の急速な発展を支えている技術が高速・大容量通信を可能とした光通信である。最先端の光通信デバイス技術の中で、非線形光学デバイスは最も重要な基盤デバイスのひとつである。スマートフォンやタブレット型端末の普及、IoT 技術、および AI 技術の発展によって今後、通信技術はますます高機能化することが予測される。一方、情報通信量は大幅に増加しており、超高速化と大容量化に向けた高性能な光送信デバイスの開発は、通信の高機能化では鍵となる。特に電気光学(EO)を応用した光送信技術の開発では、従来の無機材料より広帯域の信号送信が可能な EO ポリマーを応用した光変調デバイスの研究が活発に進められている。また、デバイスの小型化に向けたオンチップ技術も重要となり、特にシリコン上に集積できる光デバイス技術の開発も重要となっている。本研究では、EO ポリマー変調器の高速化の他、4 光波混合の発生を目指した窒化シリコン光デバイスの作製について研究を行った。

第 1 章では、電気光学や波長変換など非線形光学にもとづくデバイス設計の理論的な背景について述べている。また、光導波路型デバイスの実現で重要となる光導波路の群速度や群速度分散、リング共振器型デバイス、マッハツェンダ型デバイス、さらには光導波路デバイスと光ファイバの光入出力技術についても述べている。

第 2 章では、本論文で研究対象となるシリコン系導波路材料と EO ポリマー材料について、これらの光学特性、さらにデバイス作製技術について述べている。シリコン系材料については、結晶シリコン、アモルファスシリコン、および窒化シリコンの詳細な非線形光学特性や導波路母材としての光学パラメータについてまとめている。本論文では、新規な窒化シリコン成膜方法として液相 CVD 法を用いた窒化シリコン基板の作製方法について検討し、特に成膜温度と屈折率の詳細な検討結果が示されている。さらに電子線描画法等を使ったリソグラフィによる導波路やリング共振器の作製について検討している。EO ポリマーについては、無機系電気光学材料との比較によって光学性能の特徴を示し、本論文で用いた材料研究の背景について述べている。

第 3 章では、EO ポリマー変調器の高速光データ伝送に関して理論的な帯域計算を行った結果、100GHz 以上の高周波数に対する優れた応答性を持つことを示している。特に本論文では、シリコンとポリマーを複合したハイブリッド型変調器の作製に向けた詳細の設計を行い、汎用的なポリマー導波路と比べて大幅に帯域拡大ができることを示している。さらに本論文ではハイブリッド型変調器の詳細な作製方法を示すと共に、得られた光学特性についても解析結果を示している。実験的に得られたバンド幅は 55-60GHz であり、信号損失をさらに低減することによって理論的に得られた 100GHz 級の帯域に近づけることができると結論している。

第 4 章では、ポリマー変調器を用いたビデオデータ伝送の実証研究について述べている。本章ではビデオドライバに EO ポリマー変調器を実装したモジュールを作製し、CMOS カメラから取得したビデオデータを 1GHz で伝送することに成功している。

第 5 章では窒化シリコン光導波路のリング共振器作製の検討と非線形光学特性について検討を行っている。

高性能なリング共振器を作製するためには、窒化シリコンの屈折率や波長分散など光学パラメータを適切に使ったデバイス設計が重要である。本章では、光学計測で得られた屈折率と波長分散、さらには理論的に推測される群速度分散を用いたデバイス設計を進め、リング共振器の作製実験に適応している。その結果、リング共振器の光閉じこめ効果を示す Q 値が 25 万以上の高性能デバイスを実現している。本論文では、さらに高 Q 値リング共振器を用いた四光波混合発生について検討を行っている。窒化シリコン共振器を用いた効率的な四光波混合発生について窒化シリコンの非線形光学定数やデバイス損失等の考察を行い、リング共振器の Q 値を 100 万程度まで上げることが必要と結論している。

第6章では、各章で得られた結果をまとめ、本論文の総括とした。