

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 福地 裕

本論文は“擬似位相整合ニオブ酸リチウム光導波路の縦続二次非線形光学効果を用いた全光超高速ゲートスイッチの研究”と題し、8章からなる。

光領域での時間分割多重 (OTDM) システムでは、全光学的信号処理技術の開発が重要である。なかでも、時間多重分離 (DEMUX) やリタイミングを行う全光ゲートスイッチは必須のデバイスである。これまで、光ファイバや半導体光増幅器の三次非線形光学特性を用いた光スイッチが研究されてきたが、実用には至っていない。これに対して本研究では、擬似位相整合 LiNbO_3 デバイスにおける縦続二次非線形光学効果を用いた全光超高速ゲートスイッチを提案し、超高速かつ高効率動作を実現している。

第1章は“序論”であり、まず、光領域での時間分割多重 (OTDM) システムで要求される全光学的信号処理技術について論じている。次に、OTDM システムにおける超高速・高効率の全光ゲートスイッチの必要性について述べ、これを実現するために、擬似位相整合 (QPM) ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) デバイスの縦続二次非線形光学効果が有力であることを指摘している。

第2章は“擬似位相整合全光ゲートスイッチの基礎理論”と題し、QPM デバイスの構造と作製法を説明している。次に第二高調波発生 (SHG) と差周波混合 (DFM) による縦続二次非線形光学効果を用いた全光ゲートスイッチの動作原理を示し、その非線形過程を記述する非線形結合モード方程式について論じている。

第3章は“擬似位相整合全光ゲートスイッチの性能限界”と題し、擬似位相整合全光ゲートスイッチのスイッチング速度限界を支配する要因を、実験および数値解析両面から明らかにしている。ゲートパルスとその第二高調波 (SH) 間には大きな群速度不整合 (GVM) が存在する。SH ゲートパルスは信号パルスより群速度が遅く、隣接する信号パルスの後方ビットをスイッチすることによってクロストークを生じさせる。ビット間隔を狭めるとクロストーク量もそれに応じて増加するので、本スイッチで処理できるビットレートはクロストークによって制限される。本研究では、数値解析および実験によりこの現象を確認した。

第4章は“擬似位相整合全光ゲートスイッチの性能改善”と題し、ゲートパルスを信号光パルスの前方にシフトして入力し、ゲートパルスと信号パルスのウォークオフを補償することによって、クロストークを低減する方法を検討している。これによりビットレートを大幅に改善できることを、数値計算により明らかにした。20mm 長導波路型 QPM- LiNbO_3 スイッチに対して、提案したウォークオフ補償法を適用した結果、6.25ps 間隔のツイン信号パルスの一方を、クロストーク無しでスイッチすることに成功した。この結果は、本スイッチが 160Gbps 超高速 OTDM 信号をクロストーク無しでスイッチできることを意味している。

第5章は“擬似位相整合全光ゲートスイッチの最適化”と題し、全光ゲートスイッチの最適化法を提案している。まず、クロストークとこれによって生じるパワーペナルティの関係を理論と実験の両方から明らかにした。それによると、クロストークを -17dB 以下に抑えることにより、パワーペナルティを 1dB 以下に抑えることができる。ビットレートとスイッチされた信号のパワーペナルティの許容値を定めると、この条件下でデバイス長つまり効率を最大化する設計が可能となる。数値解析により、パワーペナルティの許容値を 1dB とすると、ビットレートとデバイス長の積を約 $4\text{Gbps}\cdot\text{m}$ まで高め得ることが示された。

第6章は“擬似位相整合全光ゲートスイッチの実現”と題し、 160Gbps の信号を 10Gbps に時間多重分離する実験により、設計の妥当性を検証している。 30mm 長導波路型 QPM-LiNbO₃ スwitchの最適動作条件を実現し、 160Gbps の超高速 OTDM 信号から 10Gbps のタイムスロットをエラーフリーで時間多重分離することに成功した。

第7章は“擬似位相整合全光ゲートスイッチの実用化に向けた課題”と題し、高効率化、偏波無依存化など、本スイッチ実用化のための課題についてまとめる。

第8章は本論文の“結論”である。

以上のように本研究は、擬似位相整合 LiNbO₃ 光導波路における縦続二次非線形光学効果を用いた全光超高速ゲートスイッチのスイッチング速度を支配する要因を明らかにし、スイッチング速度を改善する手法を提案した。さらに、許容されるパワーペナルティとビットレートからデバイス長を最適化する手法を提案し、その有効性を 160Gbps 信号の時間多重分離実験により検証した。擬似位相整合 LiNbO₃ 光導波路を用いた超高速光ゲートスイッチの実現可能性を示しており、電子工学への貢献が多岐である。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。