九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

導波路型マッハツェンダ干渉回路の高機能・高性能化に関する研究

橋詰，泰彰

https://doi.org/10.15017/1544010

出版情報：九州大学，2015，博士（工学），課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏　　名：橋詰　泰彰

論文題名：導波路型マッハツェンダ干渉回路の高機能・高性能化に関する研究

区　　分：甲

論　文　内　容　の　要　旨

近年の光通信システムにおいて、電気信号に変換することなしに、波長ごとに任意に経路設定するための ROADM（Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer）システムは将来の複雑な通信需要に対応するために開発が進められている。それを構築する上で、光スイッチはキーデバイスであり。これまでに光スイッチとしては様々なものが提案されている。中でも、石英系平面光波回路によるマッハツェンダ干渉計（以下、MZI）を用いた熱光学型光スイッチは可動部がないため信頼性に優れ、かつ、他の回路（波長合分回路等）との集積化が可能であるという利点を有しており、商用化され広く用いられている。しかし、他のスイッチング方式（MEMS 型、磁気光学型など）に比べ、その消費電力が大きく、課題であった。

また一方で、マッハツェンダ干渉計（以下、MZI）を用いた重要な回路として偏波ビームスプリッタが挙げられる。近年では、伝送容量拡大に向けた周波数利用効率の向上のために、デジタルコヒーレント技術を用いた偏波多重４値位相変調方式を用いた光伝送方式が主流となりつつある。この変調方式では、変調の多値化とともに、偏波多重分離技術を併用することで、従来の強度変調直接検波方式に比べ４倍の高密度化を実現している。この技術を支える光部品が偏波ビームスプリッタであり、他との集積化が可能で、高性能な導波路型偏波分離回路が望まれる。そこで本研究では、マッハツェンダ干渉回路を用いた光スイッチの低消費電力化および偏波ビームスプリッタの広帯域化・小型化、を目的に行う。

本研究では、光スイッチに関して、3 つの異なる低消費電力光スイッチに関して検討を行った。具体的には、サスペンディド狭リッジ構造石英系熱光学型光スイッチ、シリコン埋め込み石英系熱光学光スイッチ、そして折り畳み構成を用いたシリコン熱光学型光スイッチである。それぞれ新たな構成の提案、試作評価によってその有効性と実用性を実証した。また、PBS に関しては、2 つの異なる比屈折率差を有する幅変調 PBS に関して検討を行った。それぞれの目的を広帯域化と小型化に設定し、試作評価によって実証した。以下に各章の内容と成果を要約する。

第 2 章では、高効率にコアを加熱する断熱構造として、サスペンディド狭リッジ構造を用いた石英系熱光学型光スイッチについて述べた。これは、低消費電力化に効果のある 3 つの項目のうち、①断熱効果を高めたものである。試作した光スイッチの消費電力は 20mW であり従来の数百 mW の消費電力に比べ一桁程度低減することができた。また、応答時間は 5.1msec.であり、パス切り替え用途として実用上問題のない結果を得た。更に、導波路型光スイッチの特長である他のデバイスとの集積性について検証する目的で、16 個の本光スイッチと光タップ回路、そして、波

長合波器（AWG）を集積した 16 チャネル光減衰器つき波長合波器(16ch V-AWG)を試作した。チップサイズは 20×17mm であった。消費電力は 320mW、挿入損失は 5.0dB であり、波長毎の個別光調整機能を確認した。

第 3 章では、光導波路そのものの熱光学効果の改善を行った、シリコン埋め込み石英系熱光学型光スイッチについて述べた。これは、低消費電力化に効果のある 3 つの項目のうち、②熱光学効果を改善したものである。ここでは、光スイッチの消光比改善を目的に、課題であった偏波依存の位相誤差を補償するための位相補償技術を適用し、その効果を検証した。シリコン導波路幅の最適化を行い、導波路幅 500nm において、0.7mW という低消費電力なπ電力を得た。次に、8ch シリコン埋め込み石英系熱光学型光スイッチを試作し、全てのチャネルにおいて 15dB 以上の消光比を得た。また、8ch のπ電力は平均 0.7mW であり、安定して低電力で高消光比な光スイッチを実現した。

第 4 章では、薄膜ヒータによる加熱領域を有効活用する手法として、折り畳み構成を用いたシリコン熱光学型光スイッチについて述べた。これは、低消費電力化に効果のある 3 つの項目のうち、③導波路密度を増大したものである。具体的には、ヒータ直下に 3 本の光導波路を集積することによって、従来と同じ電力で 3 倍の位相変化を得ることができ、低消費電力化の効果が得られる。3 本の光導波路はシリコン導波路を用いており、2μm という極小曲げ導波路によって連結されている。π電力は 0.4mW という極低消費電力な光スイッチを実現しており、著者らの知る限り、これまでの熱光学型光スイッチの中で最も小さい特性を得ることができた。

第 5 章では、導波路設計の最適化のみで作製できる偏波ビームスプリッタ（PBS）として、幅変調 PBS について述べた。これは、MZI 回路からなり、複屈折率の導波路幅依存性を利用して、二つの偏波（TE 偏波、TM 偏波）を異なるポートに出力したものである。光導波路として 0.75%ΔGeO_2 添加光導波路と 5%ΔTa_2O_5 添加光導波路を用いて PBS を試作した。0.75%ΔPBS では広帯域化を目的に、実験的に設計値を最適化した。その結果、1513nm から 1670nm の波長範囲で 20dB 以上の偏波消光比を達成した。一方、5%Δ光導波路では、0.75%ΔGeO_2 添加光導波路に比べ大きな複屈折率の導波路幅依存性を生かし、PBS の小型化を目的に設計の最適化を行った。その結果、偏波間の位相差を付与する太幅導波路長は 0.75%Δ導波路に比べ約 1/5 にまで縮減できた。また、1515nm~1578 の波長範囲で 20dB の偏波消光比を達成した。5%ΔPBS の小型・集積性を検証する目的で試作した DPOH では、チップサイズは 3×7mm^2 という Si 導波路や InP 導波路を用いた DPOH に匹敵するサイズを実現し、小型・集積性を訴求した。また、光学特性では、IQ 位相ずれは±3 度以下、チップ損失は 1.7dB であり、これまでの石英系 PLC を用いた DPOH と同等の性能を達成し、100Gbps コヒーレンス受信に使用する上で問題のない光学仕様であることを明らかにした。