

氏 名	ぐぶた あとま らむ Gupta Atma Ram
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 3 2 5 号
学位授与の日付	平成 15 年 7 月 25 日
学位授与の要件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	Synthesis and design of Hadamard transformers by using multimode interference (MMI) optical couplers (主査)
審 査 委 員	教 授 中山 純一 教 授 久保田 敏弘 教 授 尾江 邦重 助教授 堤 喜代司

## 論文内容の要旨

光の短波長性と広帯域性は通信や情報処理に革新をもたらすものと期待され、光通信技術にその第一歩が印された。信号処理の分野においても、レーザの出現以来、光の活用が望まれてきた。一方、近年、MMI 導波路とアクセス導波路からなる MMI カプラが、光通信用のコンパクトなデバイスとして注目されている。本論文は、空間信号処理のための光デバイスの 1 つとして、アダマール変換器の新しい構成について論じている。移相器をもつ多モード干渉カプラ (MMI カプラ) を組み合わせる構成法を提案し、更に、アクセス導波路幅の最適設計指針を明らかにしている。

本論文は 6 章からなっている。第 1 章は緒言であり、本研究の背景と目的、MMI カプラの基礎となる導波路での自己結像現象、および本論文の構成について述べている。

第 2 章では、MMI カプラの入出力特性を見通しよく表現する伝達行列の導出について述べ、アダマール変換器を構成する和差演算素子および交換素子の実現法を提案している。和差演算素子および交換素子の実現には、アクセス導波路に移相器を設けた MMI カプラ構造を提案し、必要な MMI 導波路の長さや移相器の移相量を求めている。

第 3 章では、アダマール変換器を構成するための和差演算素子および交換素子の組み合わせ方を提案し、必要な和差演算素子および交換素子の段数と個数を求めている。更に、移相器を設けた MMI カプラのスラブ導波路モデルでの設計例を示し、アダマール変換器の寸法や出力パワーについて検討している。8 点アダマール変換器を例にとり、 $2 \times 2$  MMI カプラのみを用いる構成法と  $N \times N$  ( $N = 2, 4, 8$ ) MMI カプラを用いる構成法を示して、これら 2 つの構成法の比較を行っている。 $N \times N$  ( $N = 2, 4, 8$ ) MMI カプラを用いる方法では、交換素子が不要であることを明らかにしている。また、和差演算素子および交換素子について、MPA による光波伝搬の解析結果を示し、出力振幅について、伝達行列による値との差異を明らかにしている。

第 4 章では、MMI カプラの入力側および出力側導波路であるアクセス導波路の導波路幅の最適設定法を提案している。スプリッタおよび和差演算素子について FDTD シミュレーションを行い、MMI 導波路での位相誤差とアクセス導波路間結合の 2 点から、最適なアクセス導波路幅を決定できることを明らかにしている。

第 5 章では、第 4 章で得たアクセス導波路幅に設定すれば、和差演算素子の特性が向上することを示している。FD-BPM による光波伝搬の解析結果により、出力振幅の偏差が減少し、出力パワーが増加することを示している。

第 6 章は結言であり、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題を示している。

## 論文審査の結果の要旨

画像などの大量のデータを高速に処理するには、空間信号を並列に処理する光デバイスが将来必要になるものと思われる。そのような光集積デバイスとして、導波路レンズによる 1 次元フーリエ変換器およびそれを用いた高周波スペクトル分析器が作成され、また、方向性結合器と移相器を用いた光導波形アダマール変換器や離散ハール変換器、スター回路網によるアダマール変換器などが提案されている。

本論文は、近年光信号処理の新しい原理として注目されている、MMI 導波路（多モード干渉導波路）での自己結像を利用した光導波信号処理を検討したものである。最初に、MMI 導波路を用いたカプラ（結合器）による和差演算素子と交換素子の実現方法を明らかにしている。次に、MMI カプラの組み合わせによる、アダマール変換器の新しい構成法を提案した。この構成法は、方向性結合器を用いた従来の方法に比べて構造が簡単で、作成の許容誤差や特性の点で優れており、MMI カプラの新しい応用を示したものと見える。申請者の構成法は、離散フーリエ変換、離散ハール変換、離散コサイン変換などの直交変換器への応用が期待できる。

MMI 導波路の特性劣化に関しては、自己結像特性の観点から多くの研究がなされている。また、MMI カプラの特性に与えるアクセス導波路幅の影響が既に指摘されている。しかし、アクセス導波路幅の影響に関する具体的な議論はこれまでなされておらず、導波路幅の決め方も明らかでなかった。

本論文では、MMI カプラの特性を劣化させる物理メカニズムとして、MMI 導波路における位相誤差とアクセス導波路間の結合の 2 つに着目した。すなわち、アクセス導波路の幅を広くすれば、MMI 導波路の高次モードの励振が抑圧され実効的に位相誤差が減少するが、逆にアクセス導波路間の結合が増加することを指摘している。次に、コンピュータシミュレーションを行ない、MMI 導波路での位相誤差とアクセス導波路間結合の 2 つの特性から、最適なアクセス導波路幅を求めることができることを示した。これは、アクセス導波路幅の簡易な決め方を与えると同時に、MMI カプラの特性を左右する物理的メカニズムの一端を明らかにしたことに意義がある。

本論文の内容は、査読制度をもつ学術雑誌に 2 編の論文として公表されている。1 編は申請者が筆頭著者であり、他の 1 編は単著である。

1. A. R. Gupta, K. Tsutsumi, and J. Nakayama: Synthesis of Hadamard transformers by use of multimode interference optical waveguides, *Applied Optics*, Vol.42, No.15, pp.2730-2738, 20 May 2003.

2. A. R. Gupta: Optimization of access waveguide width of multimode interference (MMI) couplers, *Optics Communications*, Vol.221, No.1-3, pp.99-103, 1 June 2003