

多面光変換型光ユニタリ変換器における作製誤差耐性

Robustness of Optical Unitary Converter based on Multi-Plane Light Conversion

○田之村 亮汰, 唐 睿, 種村 拓夫, 中野 義昭(東大院・工)

○Ryota Tanomura, Rui Tang, Takuo Tanemura, Yoshiaki Nakano (The Univ. of Tokyo)

E-mail: ryota_tanomura@hotaka.t.u-tokyo.ac.jp

1. 背景

光ユニタリ変換器(OUC: Optical unitary converter)は多数の直交した入力光信号を任意の異なる直交基底へと変換する素子である。OUCをコンパクトな光集積回路上に実現することで、光通信、量子演算、光深層学習などの広範な分野への応用が期待できる。集積OUCは主にマッハツェンダー干渉計(MZI: Mach-Zhender interferometer)を「Clements方式」[1]等に従って多段にした構成で数多く実証されている[2]。しかし、OUCの性能は個々のMZIの性能に依存するため、実用的な回路規模を実現するには、高い作製精度が必要となる。冗長なMZIを挿入することで作製誤差耐性の向上が可能だが、消費電力、回路面積、複雑さの観点から好ましくない[3]。

本研究では、多面光変換(MPLC: multi-plane light conversion)に基づいた集積OUCが、従来型のOUCに対し、優れた作製誤差耐性と特有のスケーラビリティを有することを示す。MPLC型では全モード間の結合が繰り返し行われるため、個々の作製精度要求を緩和できるためと考えられる。

2. 原理

図1(a)にClements型 $N \times N$ 集積OUCの構成図を示す[1]。MZIを多段にすることで構成され、一つのMZIには 2×2 方向性結合器(DC: directional coupler)と位相シフタの組が2つ含まれる。全ての位相シフタを[1]に従って設定することで任意の変換を実現できる。 $N(N-1)/2$ 個のMZIに加えて入力ポート用位相シフタが N 個あるので、合計 N^2 個の位相シフタを有する。

図1(b)にMPLC型 $N \times N$ 集積OUCの構成図を示す[4]。多ポートDCと位相シフタアレイを多段にすることで構成される。Clements型と同じく N^2 個の位相シフタを有し、空間型MPLC素子[4]と同じく位相シフト量を適切に決定することで任意の変換を実現できる。

3. 計算手法と結果

2種の構成法に対し、数値計算により作製誤差耐性を比較した。厚み220nm、幅(W)460nmのSi細線導波路を想定した。DCのギャップ(G)を250nmとしたものを設計中心とし、作製誤差として、 W と G をそれぞれ ± 100 nmの範囲で変化させた。 2×2 DCのカプラ長は50:50の分岐比となる20 μm とし、 $N \times N$ DCのカプラ長は $N \times 10$ μm とした。

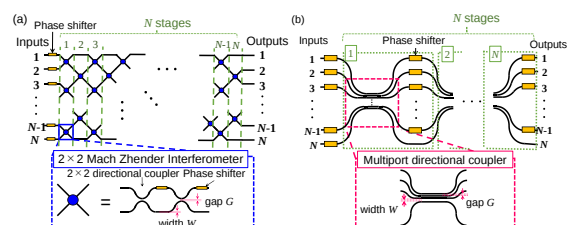


図1 OUC 構成法: (a)Clements 型, (b)MPLC 型.

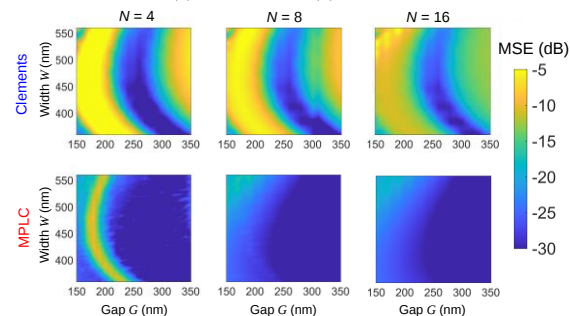


図2 ポート数 $N=4, 8, 16$ のOUCにおいて作製誤差があるときの平均MSE: (上段)Clements 型, (下段)MPLC 型.

各DCの伝達行列は固有モード伝搬法により計算し、損失のない理想的な位相シフタを8-bit DACによって駆動する場合を考えた。2種のOUCについて20通りの所望行列を実現する場合を考え、所望行列との平均二乗誤差(MSE: mean square error)の平均を評価指標とした。なお、MPLC型の位相シフタ値の決定には焼きなまし法を使用した。

図2に2種のOUCについて、計算結果を示す。Clements型OUCにおいては、MSEの小さい領域は限られた W, G の範囲内のみであり、ポート数増大に対しこの領域が狭くなるため、大規模化が難しいことが示唆される。一方MPLC型OUCでは、MSEが W, G にほぼ依存せず、ポート数の増大に対してもこの依存性が変化しない。このMPLC型における優れた作製誤差耐性とスケーラビリティは、 N ポートDCにおいて全モード間で結合が生じる結果、冗長性が付加されるためと考えられる。以上より、MPLC型OUCは、特有の作製誤差耐性とスケーラビリティにより、大規模OUCとその応用に活用されることが期待される。

謝辞 本研究は、文部科学省科学研究費補助金(26000010)の助成を受けて実施された。

参考文献

- [1] W.R. Clements, et al., *Optica*, **3**(12), 1460 (2016). [2] N.C.Harris, et al., *Optica*, **5**(12), 1623(2018). [3] D.A.B. Miller, *Optica*, **2**(8), 747 (2015). [4] R. Tanomura, et al., *Journal of Lightw Tech*, **38**(1), 60 (2020). [5] J. F. Morizur, et al., *J. Opt. Soc. Am. A*, **27**(11), 2524 (2010).