

全結合型光干渉計によるロバストな光ユニタリ変換器の検討

Robust Optical Unitary Converter based on All-to-All-Coupled Interferometer

東大院・工, °(D1)田之村 亮汰, 唐 睿, 種村 拓夫, 中野 義昭

The Univ. Tokyo, °Ryota Tanomura, Rui Tang, Takuo Tanemura, Yoshiaki Nakano

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に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される[1]. 従来, 集積 OUC は, マツハツェンダー干渉計 (MZI: Mach-Zehnder interferometer) を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 の性能に敏感に依存するため, 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[3]. 一方, 誤差耐性の高い構造として多ポート方向性結合器 (MDC: multi-port directional coupler) による多面光波変換型 OUC が実証されているが[4], MZI 型 OUC との誤差耐性の差の起源は明らかになっていない[5].

本報告では, 一般化した OUC 構成を考えることで, MDC 型 OUC と MZI 型 OUC を統一的に扱い, OUC の誤差耐性の起源が各干渉計の規模にあることを示す. さらに全結合型干渉計を用いることでロバストな OUC が実現可能であることを示す.

2. 構成方法

今回考察する一般化した $N \times N$ OUC 構成を図 1(a) に示す. 各層は 2 つの干渉層と位相シフト層から成り, すべての位相シフトを適切に駆動することで再構成可能な OUC を実現する. 各干渉層は, $p \times p$ もしくは $q \times q$ の MDC [図 1(b)] により実現される. 例えば, MZI 型 OUC [2] は, $(p, q) = (2, 1)$ に相当する. この場合, 奇数段目と偶数段目の層では, それぞれ奇数番目と偶数番目のポートに位相シフトを有するため, 計 N^2 個の位相シフトを必要とする. 一方, MDC 型 OUC [4] は, $(p, q) = (N, 0)$ に相当する. この場合も位相シフトの数は N^2 となる.

3. 計算手法と結果

$N=16$ の規模について, 異なる (p, q) の OUC 構成の作製誤差耐性を数値計算により比較した. 厚み 220 nm, 幅 (W) 460 nm の Si 導波路を想定し, DC のギャップ (G) を 250 nm 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 の結合長は, 分岐比が 50:50 となる $20 \mu\text{m}$ とし, $p \times p$ ($q \times q$) MDC の結合長は $p(q) \times 10 \mu\text{m}$ とした. 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トを 8-bit DAC

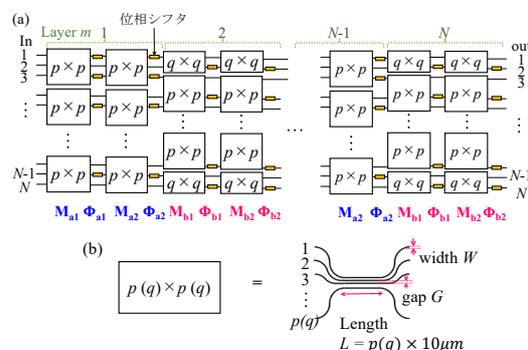


図 1 (a) 一般化 OUC 構成, (b) 各干渉計を構成する多ポート方向性結合器 (MDC) の構成.

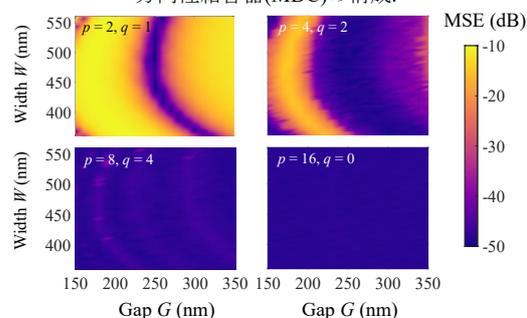


図 2 各 16×16 OUC の作製誤差に対する平均 MSE.

によって駆動する場合を仮定した. 各構成について 20 通りのランダムに発生した 16×16 のユニタリな行列を所望行列として与え, 実際に得られた行列と所望行列との平均二乗誤差 (MSE: mean square error) を評価指標とした.

いくつかの (p, q) 構成についての計算結果を図 2 に示す. $(p, q) = (2, 1)$ の場合 (MZI 型 OUC) は, MSE が小さく抑えられる W, G の領域が限定される一方, (p, q) の増大に伴い, この領域が大幅に広がるのが分かる. 特に, $(p, q) = (16, 0)$ では, 計算範囲内の誤差に対し MSE がほぼ無依存になる. これは, 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だと考えられる.

以上より, OUC の誤差耐性の起源が各干渉計の規模に由来することが明らかとなった. 本結果は, 大規模 OUC の実現に活用されると期待される. 謝辞 本研究は, 文部科学省科学研究費補助金 (20J221861) の助成を受けて実施された.

参考文献

[1] N.C.Harris, et al., *Optica*, **5**(12), 1623 (2018). [2] W.R. Clements, et al., *Optica*, **3**(12), 1460 (2016). [3] D.A.B. Miller, *Optica*, **2**(8), 747 (2015). [4] R. Tanomura, et al., *Journal of Lightw. Tech.*, **38**(1), 60 (2020). [5] R. Tanomura, et al., *Conference on Laser and Electro Optics (CLEO)*, JTh2B.28 (2020).