非等分配型多モード干渉カプラによる小型 InP 光ユニタリ変換器の実証 Demonstration of compact InP optical unitary converter using nonuniform

multimode interference coupler

東大院・工, °(D2)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り、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]. これまで著者らは、作製誤差耐性に優れ る多面光波変換法に基づく OUC を提案し、Si [2] や InP[3]上に実証してきた.本方式では、多モー ド干渉 (MMI: multimode-interference) カプラと位相 シフタアレイを多段に構成することにより、作製 が容易な構造で OUC が実現できる.しかし一方 で、特に InP 系では、MMI カプラの占める面積が 大きく、大規模化に向けた課題になっていた.

本報告では、通常の等分配型 MMI カプラより も小型な非等分配型 MMI カプラを用いることで、 性能を損なうことなく素子全体の干渉計サイズを 半分まで削減した InP 4×4 OUC を初めて実証した ので報告する.

2. 構成方法

非等分配型 *N*×*N* MMI カプラを利用した多面光 波変換型 OUC の構成を図 1 に示す.素子全体の 伝達行列 T は

$$\mathbf{T} = \boldsymbol{\Phi}_N \cdot \mathbf{M} \cdot \boldsymbol{\Phi}_{N-1} \cdots \boldsymbol{\Phi}_0, \qquad (1)$$

と表される. ここで, M, Φ_iはそれぞれ MMI カプ ラと位相シフタアレイによる伝達行列を表す. 行 列 M の必要条件として, 密な行列であることが 求められる一方で[4], 等分配型 MMI カプラであ る必要はなく, 非等分配型 MMI カプラでも良い ことに注目する. 一般に非等分配型 MMI カプラ は, 等分配型 MMI カプラの半分の面積で実現で き,最も小型な MMI 型カプラである[5]. 従って, 非等分配型 MMI カプラを用いることで, OUC の 性能を劣化させずに干渉計部分を半分まで小型化 できる.

3. 素子作製と測定結果

設計した非等分配型 MMI カプラの構造と光伝 搬の計算結果を図 2 に示す.固有モード展開法に より設計を行い,幅を 15 µm,長さは等分配型 MMI の半分の 252 µm とした.分岐比は非均一で ある一方で,トータルの損失はなく出力ポートに 結合することが確認できる.作製した素子の光学 顕微鏡写真を図 3(a)に示す.図 2(b)のように,i-InGaAsP(Q 1.37)をコア層とする p-i-n ダブルヘテ ロ構造を用い,キャリア注入型位相シフタ部には p-InGaAs コンタクト層を利用した.



図 1. 非等分配型 MMI カプラを用いた InP OUC の模式図.



図 2. 設計した非等分配型 MMI カプラの(a)上面図と(b)断面 図. (c)(d) 1.55 µmの光を MMI カプラの異なるポートへ入射 した際の伝搬の様子.



図 3. (a) 試作した素子の光学顕微鏡写真. (b)-(d)測定された 透過光強度. (b)-(d)はそれぞれ In{1,2,3,4}を Out{1,2,3,4}, Out{1,3,2,4}, Out{4,3,2,1}~再構成した結果.

測定には 1550 nm 連続光を用い,素子全体が所 望のユニタリ変換となるよう調節した[4]. 例と して,3種類の行列に構成した結果を図3(b)-(d)に 示す.最適化後は所望の出力が得られていること が分かる.クロストークはそれぞれ-6.4 dB,-6.1 dB,-6.2 dB であり,等分配型 MMI カプラを用い た同規模の InPOUC の先行研究[3]と同等の性能を 示している.

以上より,非等分配型 MMI カプラを用いるこ とで,集積 OUC の性能を劣化させることなく, 干渉計サイズを大幅に削減できることが示された.

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] W. Bogaerts, et al., *Nature*, **586**(8), 207 (2020). [2] R. Tang, et al., *Opt. Lett.*, **43**(8), 1798 (2018). [3] R. Tanomura, et al., *Opt. Express*, **28**(17), 25392 (2020). [4] R. Tanomura, et al., *J. Light. Technol.*, **38**(1), 60 (2020). [5] M. Bachman, et al., *Appl. Opt.*, **34**(30), 6898 (1995).