非冗長光フェーズドアレイによる超高分解能光偏向:提案と実証

High-resolution beam steering using non-redundant optical phased array: proposal and demonstration 東大院工 ⁰福井太一郎,田之村亮汰,小松憲人,山下大之,高橋俊,中野義昭,種村拓夫

Univ. of Tokyo¹, °Taichiro Fukui, Ryota Tanomura, Kento Komatsu, Daiji Yamashita,

Shun Takahashi, Yoshiaki Nakano, and Takuo Tanemura

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

光フェーズドアレイ(OPA: optical phased array)は,多数のポートから位相制御した光を出射することに より光偏光を行う素子である.小型な半導体チップに集積可能な非機械式の光偏向素子として機能し, 高信頼性・省電力性・省スペース性・高速性などの利点により注目されている[1]. 一方, 従来の OPA は ポート数程度の解像点数しか実現できないために、実用的な高い空間分解能を実現しようとすると、 位相制御が極めて困難になってしまうという課題があった. 今回, 非冗長アレイ(NRA: non-redundant array)[2]に従いN個の光出射アンテナを配置することで、アンテナ数Nの2乗オーダーの高い空間分解 能を実現できることを見出し、シリコン集積 OPA 素子を用いて実証したので報告する.

般に OPA は, 出射光が自由空間を十分伝搬したあとに得られるフラウンホーファ回折像, 即ち遠 視野像(FFP: Far-field pattern)を用いる. FFP は出射部の極近傍での電界分布, 即ち近視野像(NFP: near field pattern)のフーリエ変換で与えられる. 一方, 画像取得等で重要な FFP の強度分布は NFP のフーリ エ変換の二乗であるから、その空間周波数スペクトルは NFP の自己相関関数で与えられる. この自己 相関関数を広帯域化・平坦化することにより, 鋭い強度ピークを持つ FFP を形成することができる. 自 己相関を平坦化・広帯域化するためには, 各ポートのアンテナ位置の差分ベクトルが平坦かつ広帯域に 分布していればよい(詳細は当日議論する)

NRA とは、任意の要素の組の間の差分ベクトルが相異なるようなアレイ配置である.1 次元において はゴロム定規[3], 2 次元においてはコスタスアレイ[4]などが知られているが, これらを OPA の出射ア ンテナ配置に適用することで、高い空間分解能が実現できる.特に、NRA を用いると任意の要素の組が それぞれ別の空間周波数成分として寄与するため実現可能な空間分解能は, 要素の組の場合の数, 即 ち N²に比例して増大する.このため,空間分解能のスケーラビリティが従来の OPA 素子と大きく異る.

実験的に上記の効果を実証するため、 二次元 NRA であるコスタスアレイに基づき出射ポートを配置 したシリコン集積 OPA を作製した(N=127). 作製した集積素子を図 1(a)に示す.素子中で光は多段 1× 2 スプリッタにより 128 本の導波路に分配され(1 ポートはモニタ用に用いた), 127 ポートそれぞれに付 随する熱光学効果位相シフタ[図 1(b)]により位相制御された後, 微小回折格子カプラ型アンテナ[図 1(c)]により上方に出射される.素子の光偏向特性を図 2 に示す実験系を用いて評価した.4-f 系を介し て NFP を結像し, スリットで背景光を除去した後, 2-f 系により FFP を形成し, InGaAs カメラにより観 察した. 逐次的最適化により各位相シフタの駆動信号を最適化して得られた FFP の強度分布を図 3(a) に、その断面図を図3(b)に示す.図3(b)には実験結果(赤)と合わせて数値計算結果(黒)も示した.実験結 果が理論と非常によく一致していることがわかる. 得られた FFP の半値全幅は 0.0428° であった. これ とアレイ配置の基本間隔 15 μm から導かれる掃引可能範囲 5.92°×5.92°をもとに解像点数を算出する と~19,100 点(~№)となる. これは, 波長掃引を用いない OPA で得られた解像点数としては過去最大 の解像点数である.以上より、NRA を用いた OPA の有効性が示された.

謝辞 本研究は、文部科学省科学研究費補助金(18H03769, 21J11982)の助成を受けて実施された。 参考文献 [1] M. J. R. Heck, Nanophotonics 6(1), 93 (2017). [2] A. Moffet, IEEE Trans. Antennas Propag. 16(2), 172 (1968). [3] W. C. Babcock, The Bell Sys. Tech. J. 32(1), 63 (1953).[4] J. P. Costas, Proc. IEEE 72(8), 996 (1984).



図 1. 作製した OPA の顕微鏡写真. (a) 全体図. (b) 位相シフタ. (c) 光出射アンテナ.



図 2. OPA の FFP を観察するための実験系.



