

集積フォトニクスによるワンチップ近赤外コンピューターショナルイメージング

	研究代表者	東京大学・大学院工学系研究科 (工学部) ・准教授 種村 拓夫 (たねむら たくお)	研究者番号: 90447425
	研究課題情報	課題番号: 23H05444 キーワード: 集積フォトニクス、コンピューターショナルイメージング、光フェーズドアレイ、波面計測	研究期間: 2023年度~2027年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

数ミリ角の半導体の“チップ”に多数の光素子を高密度に搭載する集積フォトニクス技術は、これまでは主に光通信用途で活発に研究開発が進められてきた。しかし昨今、シリコンフォトニクスに代表される各種フォトニクスファウンドリサービスの拡充に伴い、従来の光通信に留まらない様々な分野への展開が加速している。特に、全てのモノがインターネットにつながる Internet-of-Things (IoT) 時代の到来に向けて、集積フォトニクスを駆使した小型かつ安価なセンシング/イメージングデバイスの需要が高まっている。

なかでも光フェーズドアレイは、アレイ状に集積した多数の光アンテナから位相制御した光を射出するデバイスであり、所望の光波面を高速に合成/検出できる技術として期待されている。しかし、従来の光フェーズドアレイは、チップ内で大量の光位相制御を正確に行うことの難しさから、スケーラビリティや空間分解能の観点で、実用化に向けた課題が残されている。

一方、イメージングシステムにおける光学系の負荷軽減や高性能化を実現する技術として、光学系と信号処理系を協調設計するコンピューターショナルイメージング手法が、近年注目を集めている。なかでも、安価かつ高性能なカメラが存在しない近赤外波長帯では、単画素のフォトディテクタを用いて波面計測ができるコンピューターショナルイメージング手法は魅力的である。しかしこれまでは、多くのバルク光学部品からなる大がかりなシステムによる実証実験に留まり、小型化・低コスト化・高速化が求められている。

そこで本研究では、光フェーズドアレイ素子にコンピューターショナルイメージング技術を組み合わせた新しいイメージング手法を構築し、小型化と高性能化を両立させたワンチップ近赤外イメージングデバイス (図1) を創出することを目的とする。

●研究内容・方法

まず、これまでの研究で開発した非冗長アレイを活用することで、光フェーズドアレイ内の位相制御器数を最少に留めながら高分解イメージングを達成する。従来の光フェーズドアレイでは、基本的に解像点数が位相制御器数に比例するため、実用上十分な空間分解能を得るには、数千~数万の大量の位相制御器を精密に調整する必要があった。これに対して、「非冗長アレイ」と呼ばれる特殊アレイ配置を適用することで、空間分解能を位相制御器数の二乗オーダーで増加させることが可能になる (図2)。本研究では、光波合成部と検出部にそれぞれ非冗長アレイを採用することで、現実的に制御可能な位相制御器数に留めながら実用レベルの高解像化を達成する。

また、従来の光フェーズドアレイ型イメージングでは、良質なビーム形状を保ったまま射出方向を走査する必要があり、大規模化を妨げる要因になっていた。本研究では、オンチップ位相モニタ (図3) を集積することで、素子の作製誤差と使用環境変化による位相揺らぎをリアルタイムに補償する。その上で、高度なコンピューターショナルイメージング手法を適用することで、ロバストかつ高速なイメージング動作を実現する。

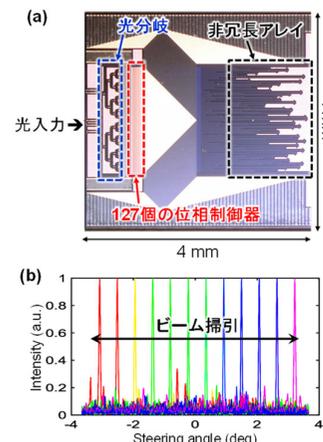


図2 非冗長光フェーズドアレイによる高分解ビーム形成機能の実証例

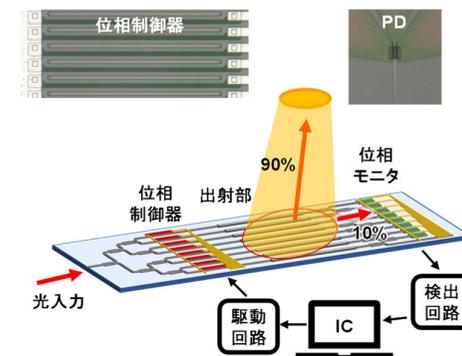
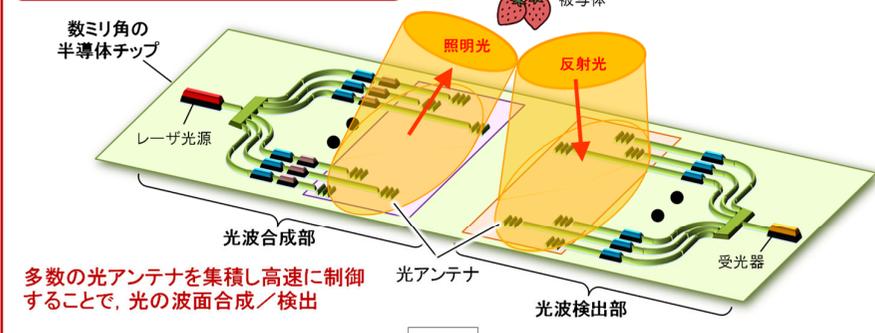


図3 オンチップ位相モニタを集積した光フェーズドアレイによる位相揺らぎ補償

ワンチップ光フェーズドアレイ(OPA)



コンピューターショナルイメージング(CI)

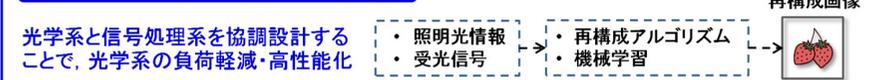


図1 本研究で実現を目指すワンチップ近赤外イメージングデバイス

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

光フェーズドアレイとコンピューターショナルイメージングは、いずれも「イメージングシステムにおける光学系の簡略化」という共通の目標を掲げ、デバイスとアルゴリズムという異なる切り口から独立に研究が進められてきた経緯がある。その結果、それぞれが固有の課題に直面している。光フェーズドアレイは、小型かつ高速な素子が実現できるものの、多数の光位相制御器の調整を要し、実用上十分な空間分解能と波面精度が得られていない。一方、コンピューターショナルイメージングは、進化を続ける機械学習技術を駆使することで、強散乱環境下での画像認識や波面計測など、これまでない機能が実証されている反面、波面制御に用いるハードウェアの小型化と高速化が、実用化に向けた課題になっている。両者の技術を掛け合わせることで、これらの問題を相補的に解決できる可能性が期待されるものの、そのような取り組みはほとんど報告されていなかった。

本研究では、この未解明の「問い」に取り組み、「光フェーズドアレイに適したコンピューターショナルイメージング手法」、および、「コンピューターショナルイメージングに適した光フェーズドアレイ構造」を探求することで、集積フォトニクスと情報科学を融合した新しい研究領域を切り拓くものである。その上で、小型化と高性能化を兼ねそろえたワンチップ近赤外イメージング素子を創出し、次世代IoTデバイスに展開することを目指す。