

T20250430_02_chalmers

[スパイラル](#)導波路がアンプの帯域を増やす

スウェーデンのチャルマース工科大学(Chalmers University of Technology)の科学者たちは、フォトニックチップ上のシングルモードスパイラル形状導波路の非線形性を利用して、非常に高い帯域幅で通信波長のレーザ光を増幅する方法を示したと報告されている(Nature、doi:10.1038 / s41586-025-08824-3)。

研究チームによると、そのスキームはテレコムを改善し、医用画像や材料の特性評価にも適用できる。

非線形性の活用

ソーシャルメディア、ビデオストリーミング、人工知能(AI)の台頭により、インターネット上のトラフィックは今後数年間で大幅に増加すると考えられている。この要求を満たす上での障害の 1 つは、光増幅器の帯域幅がかなり限られていることであり、光増幅器は高い信号対雑音比(SNR)を維持するためにファイバリンクに沿って定期的に配置される。

誘導放出を使用して信号を増幅しようとするのではなく、研究者の中には、4 波混合(FWM)の非線形現象を利用しようとしているものも存在する。基本的な考え方は、弱い信号と強いポンプ ビームを 3 次非線形性の媒質に向けることである。これにより、出力でより強力な信号とアイドラービームの両方が得られる。

このように光を増幅するには、いくつかの基準を同時に満たす必要があるが、その 1 つが異常分散(入射放射線の波長が上がるにつれて媒体の屈折率が増加する)である。この条件は、信号とポンプ波の間の位相マッチングを確保するために必要であり、その結果、大きな利得と帯域幅が得られる。

多くのグループが、シリコン、アルミニウム、ガリウム、ヒ素、グラフェンなどの様々な材料を使用して、高屈折率コントラストの非線形統

合導波路で異常分散を達成する方法を示した。しかし、彼らは複数の光学モードを持つ導波路に依存していた。これらのモードは互いに結合する傾向があり、信号波とポンプ波の両方からパワーを奪うため、利得と帯域幅が減少し、変調信号が歪むことになる。

シングルモード異常分散

最新の研究では、チャルマース工科大学の Peter Andrekson と同僚が、1 つのモードだけで異常分散を達成できることを示している。チームの秘訣は、導波路の 3 次元形状を最適化し、断面だけでなく縦方向の経路にも集中することだった。その結果、導波路を螺旋状に曲げることで、異常分散を保ちながら高次モードを遮断できることを発見した。

コンピュータシミュレーションを行った後、研究チームはシリコンウエファ上に堆積した窒化ケイ素(SiN)の層から 2 種類の導波路をエッチングした。どちらのタイプも、厚さ 300nm、幅 1.9 μ m の 2 層構造のスパイラルを、短い直線部分でつなぎ合わせた同じ基本ユニットを複数コピーしたものだった。一方の導波管は、長さ 18cm の構造にわずか 12 本のスパイラルを備えていたが、もう一方の導波路は 68 本のスパイラルを持っており、全長 56cm だった。

Andrekson の研究グループは、長さ 56cm の導波路を 1551nm のポンプ波と可変波長の信号にさらした。チームは、約 1400nm から 1700nm までの幅広い信号波長で数 dB の利得が達成可能なことを示した。この約 300nm の帯域幅は、既存の光増幅器の約 10 倍である。

研究チームは、そのスキームがデータ伝送に及ぼす影響も研究した。信号ビームの強度を 10Gbps で変調すると、増幅によって信号波もアイドラー波も劣化しないことを確認した。

今後の方向性

研究チームは、この技術はまだ実世界のアプリケーションに対応する準備ができていないと指摘している。特に、増幅率を約 20dB まで大幅に押し上げることを検討している。Andrekson は、導波路の長さを少なくとも 2m に延長することで、かなり簡単に修正できるはずだと考えており、同氏とチームはすでに導波路の長さを 1.4m にしていると述べている。しかし、彼は何も当たり前だとは思っていない。

「われわれのような大学のクリーンルームでは、欠陥を引き起こし、パフォーマンスの歩留まりの問題を引き起こす可能性のある考慮事項が常にある」(Andrekson)。

研究チームはまた、同じウエファ上に追加のスパイラルを統合することにより、スキームを他の波長に拡張できると考えている。増幅器は、テレコムで使用されるシリカファイバの伝送スペクトルだけでなく、可視領域と赤外線領域でも作られる可能性があるというチームは主張している。そのため、この技術は、いつの日か、病気の診断、内臓の視覚化、外科手術の指導、材料や製造されたコンポーネントの検査などの医療用途に使用される可能性があるという彼らは主張している。



研究チームは、窒化ケイ素チップにエッチングされた一連のスパイラルから導波路を構築し、現在のデバイスの 10 倍の帯域幅で近赤外線レーザー光を増幅できることを示した。[Image: Chalmers University of Technology, Vijay Shekhawat]