

分光計測に適した 広帯域集積 Mid-IR マツハツェンダ干渉計

多くのフォトニックアプリケーションが中赤外 (mid-IR) スペクトル領域の光の利用を基盤にしている。たとえば、 freespace 光通信は、3~5 および 8~13 μm の大気透過ウインドウを利用する。また、吸収帯域が、2~20 μm のいわゆるフィンガープリント域にある有機物質の分析に、多様性があって重要な分光技術領域が活用される。

Mid-IR 光計測器は一般にバルク光学システムをベースにしており、これは機能はよいが、大きく複雑で高価になる。Mid-IR のアプリケーション、特に分光計は、光集積回路 (PIC) への変更によって実現する光学系の微小化の恩恵を受ける。

多くの mid-IR PIC コンポーネントがすでに設計され実証されている。これらは、カルコゲナイドガラス、ゲルマニウム・オン・シリコン (Ge on Si)、シリコン・オン・サファイア、ゲルマニウム・オン・シリコンナイトライド、その他など、多様な光学材料で作製されている。これらのコンポーネントには、波長合波器 (MUX)、アレイ導波路グレーティング (AWG)、リング共振器、マツハツェンダ干渉計 (MZI)、その他が含まれる。とはいえ、これらのどれも 1 μm を超える mid-IR 波長範囲の機能がなく、従って、真にブロードバンドではない。

仏パリサクレー大と伊ミラノ工科大の研究者たちは、集積 mid-IR 導波路 MZI を作製することで 1 μm の帯域限界を破り、3 μm のスペクトル動作範囲を実現した⁽¹⁾。デバイスは、3 μm 全体で 10dB を超える消光比であり、傾斜 Si_{1-x}Ge_x 基板上に作製された Si_{0.2}Ge_{0.8} からなる。

研究者は、Si_{1-x}Ge_x アロイを用いる選択をした。その材料によりバンドギャップ、屈折率、光閉じ込め、分散を大きく制御できるだけでなく、Ge は 15 μm まで透明だからである。つまり、合金が Ge リッチであれば、mid-IR の長波長側が利用できるかもしれないということである。

長波長の可能性

Si_{1-x}Ge_x 基板は、低エネルギープラズマエンハンスド化学気相法で成長し、11 μm 圧で、Ge 濃度は、0 から 0.79 まで変わる。この上に 2 μm 厚 Si_{0.2}Ge_{0.8} ガイドコア層を成長させる。次に、種々の試験的マツハツェンダ干渉計 (MZI) で構成された 4 μm 幅導波路は、その構造深さ 4 μm のエッチングが特徴となっており、これにより TE と TM 基本モードの両方の優れた閉じ込めが得られる。形状はマルチモード干渉 (MMI) 構造であるが、干渉計の入力と出力 MMI 導波路はテーパ状になっていて、3 μm スペクトル動作範囲全体で基本モードだけの結合を確実にしている。

3つの異なる 9.4mm 長 MZI の特徴は、パス長の違いが、それぞれ 48、87、149 μm である。実験のためにパルス mid-IR チューナブル外部共振器量子カスケードレーザ (MIRcat) をデバイスに入力結合した。MIRcat は、5% デューティサイクル、6.5 μm 波長でピーク強度 300mW、100kHz パルス繰り返しレート、チューニングレンジは、5.5~8.5 μm だった。水銀カドミウムテルライド (MCT) デテクタを使って、デバイスの出力特性を調べた (バルクセ

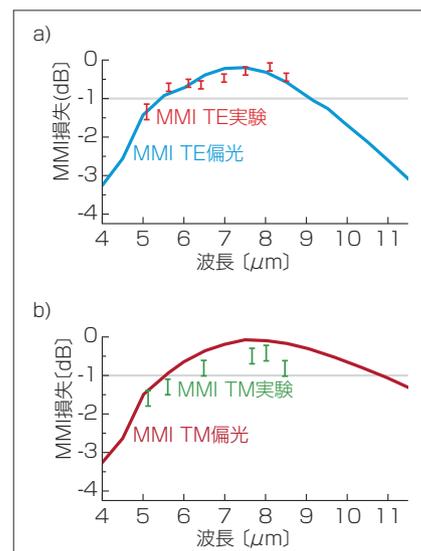


図1 Mid-IR集積マルチモード干渉 (MMI) マツハツェンダ干渉計 (MZI) の実験およびシミュレートした損失を TE (a) と TM (b) 偏光の両方でプロット。両方のチャート、-1.0dB 水平ラインがちょうど参照視線ガイドとなっている。

レン化亜鉛非球面レンズを入力と出力結合に使用)。

計測された導波伝搬損失は、両方の偏光で 3 μm 波長範囲にわたり 5dB/cm 以下、計測された伝送はその範囲で実質上、相対的にフラットであった (図1)。研究者は、MZI のブロードバンド特性を、グレーデッド Si_{1-x}Ge_x 基板における低い垂直閉じ込めと垂直屈折率勾配によるものと考えている。

研究者は、その構成の数値シミュレーションから、MZI のスペクトル動作範囲を TE 偏光では 9 μm 、TM 偏光では 11 μm に広げられることが示されたと特に言及している。

(John Wallace)

参考文献

- (1) V. Vakarin et al., Opt. Lett. (2017); <https://doi.org/10.1364/ol.42.003482>.