

高効率光合波用中空ファイバカプラの設計

Design of Hollow Fiber Coupler for Efficient Beam Combining

富山大理工¹, 東北大理², [○](M1)山川 涼¹, 中川 広務², 大嶋 佑介¹, 片桐 崇史¹

Univ. of Toyama¹, Tohoku Univ.²,

[○]Ryo Yamakawa¹, Hiromu Nakagawa², Yusuke Oshima¹, Takashi Katagiri¹

E-mail: katagiri@eng.u-toyama.ac.jp

1. はじめに

ハワイのハレアカラ山に MILAHI (MILAHI: Mid-Infrared LAsER Heterodyne Instrument) と呼ばれる天体観測装置が設置されている。これは望遠鏡を介して集光した惑星からの光と、中赤外レーザーの参照光を干渉させ、ヘテロダイン検波により超高波長分解能を得る分光装置である^[1]。現行機は、複数のミラーとビームスプリッタから成る空間光学系による構成であるが、将来の飛行体への搭載を目指した小型・堅牢化が必須であった。

我々の研究グループでは、中赤外光を低損失に伝送可能な中空光ファイバを基礎とした光ファイバカプラを開発し、全ファイバ系からなる光ヘテロダイン分光の基盤技術を提供している^[2]。本研究では高効率な光合波を実現するためのファイバカプラの設計指針を提案する。

2. 構造と原理

Fig. 1 に提案するデバイスの構造と結合部の断面図を示す。一定曲率で湾曲させた 2 本の AgI/Ag 中空光ファイバの一部側面を研磨し、貼り合わせることにより作製する。

Fig. 2 に本デバイスの原理を説明するための幾何学的モデルを示す。結合部の構造は、ファイバのコア半径 T 、曲率半径 R 、入射側曲げ角 θ_1 , θ_2 、および研磨深さ d により規定される。中空光ファイバでは低損失な低次モードが優先的に伝搬するため、入射ポートから入射した光は入射時のポインティングベクトルの方向を維持したまま概ね直線的に曲げの外側に向かう。また、曲率が急峻なエッジガイダンス近似が成り立つ範囲において、モードに対応する光線は、外側の境界のみで反射をし、内側の影響を受けなくなる^[3]。以上のことから、Fig.2 に示すように、Input port 1 側の曲げ角 θ_1 を入射光が直接結合部に入射するように、Input port 2 側の曲げ角 θ_2 を光線が結合部を避けるように設計することにより、高効率な光合波を実現することが可能である。 θ_1 , θ_2 はそれぞれ幾何学的に以下の式から求められる。

$$\theta_1 = \cos^{-1}\left(\frac{R}{R+T-d}\right) \quad (1)$$

$$\theta_2 = 2 \cos^{-1}\left(\frac{R}{R+T}\right) \quad (2)$$

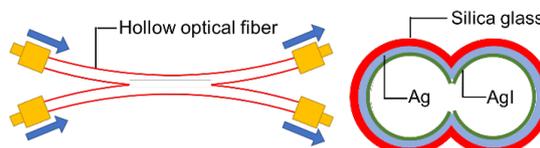


Fig. 1 Structure of hollow fiber coupler.

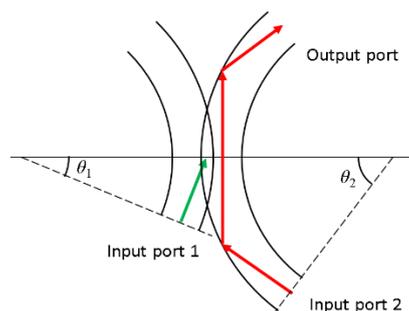


Fig. 2 Principle of beam combiner.

3. 数値シミュレーション

原理の確認のためビーム伝搬法による数値シミュレーションを行った。シミュレーションでは、 $T=0.5 \text{ mm}$, $R=2.5 \text{ m}$, $\Delta d=0.1 \text{ mm}$ とし、Input port 2 から波長 $10.6 \text{ }\mu\text{m}$ 、ビーム径 0.63 mm のガウスビームを入射したときの Output port における透過率を算出した。Fig.3 に結果を示す。透過率は、曲げ角 1.2 度および 2.2 度でそれぞれ最小値と最大値となるのが分かる、これらは(1), (2)式による幾何学的な予想と一致した。また、この結果より、本コンバイナの透過率は 78.5% が見込めることが明らかとなった。

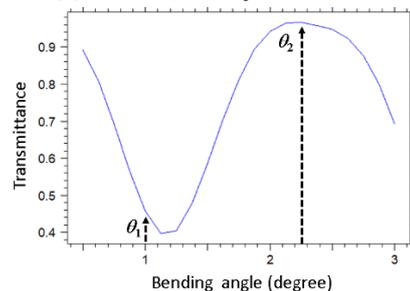


Fig.3 Transmittance as a function of bending angle.

参考文献

- [1] H. Nakagawa, et. al., Planet. Space Sci. 126, pp. 34-48 (2016).
- [2] 加藤仁教 他, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 8a-Z16-10 (2020).
- [3] M. Miyagi, et. al., Appl. Opt. 20, pp. 1221-1229(1981).