

赤外域ファイバーオプティクス：要素技術開発および惑星探査機・着陸機 等搭載用小型分光器への応用検討

Broadband mid-IR fiber optics instruments for solar system exploration missions

東北大学 中川広務 他

本研究は、急激に進歩しつつあるファイバー技術を基礎とした中間赤外線ファイバーオプティクスの要素技術を開発・評価し、またこれを援用した惑星探査を目指す次世代中間赤外ファイバー分光器群の基礎検討を行うことを目的としたものである。

このファイバーは東北大・富山大チームが開発成功した中間赤外用中空ファイバーであり、チューブ内側面を銀コーティングして赤外光を反射伝送させることで高効率伝送（0.5 dB/m以下）を達成している。芯材の透過特性に依存せず赤外光に留まらず幅広い波長にも適用可能であることが特徴であり、医工学分野へ応用されつつあるものを将来惑星探査へ資する狙いである。本研究では、(1)ファイバー光路結合・分割技術および真空技術等の要素開発、(2)ファイバー技術を援用する小型・高安定の宇宙機搭載赤外分光器の基礎検討について成果を報告する。

ファイバーの直接結合による光路結合・分割技術の実現に向け、矩形中空導波路内における多モード干渉を利用した光分岐デバイスを提案し、その製作、評価を行った。このデバイスは、入力ファイバ径の2倍の幅をもつ矩形導波路の中央部にファイバを結合することで、導波路内に多モードを励振し、そのモード間干渉で分岐を行うものである。入射波長 $10.6\mu\text{m}$ に対する出射光ニアフィールドパターンを得ることができ、シミュレーション予測通りに導波路長により3分岐・2分岐していく様子が実証された。また、入射波長 $7.0\mu\text{m}$ に対するものと比較することで、光の波長によってパワー分布が大きく変化することが確認できた。

一方、中空ファイバを加工した合分光ファイバカップラを提案した。提案するファイバカップラは、2本の金属内装中空光ファイバの側面を研磨し、研磨した面を張り合わせるにより作製する。カップラを設計するにあたり、カップラに光を入射した時の電界分布をビーム伝搬法シミュレーションソフトウェア Rsoft Beam PROP を用いて解析したところ、一方のファイバから他方のファイバに安定したモードが移行し、約10mmの結合長において95%の結合効率を得られることから、実用的なカップラが実現できる見通しを得ることができた。

また、常温および真空用レンズホルダの設計・開発を行い、これを用いたファイバーの性能評価光学系の構築を進めた。複数ファイバ間を接続する低損失の「カップリング法」を確立し、長光路への適用可能性の拡大とより柔軟な光路設計を可能とした。具体的には、ファイバー内に物質が詰まっていない中空ファイバーの端面へ直径2mmのARコートGe窓を接着したSMAコネクタを装着し、「赤外透過窓材」による蓋で大気圧を遮断する構造とした。これにより、「SMAコネクタ同士の結合」という光軸間の安定性が保たれる方法でのファイバー連結が可能となり、またファイバー端面での真空保持も安定して可能となった。これらを用いて、ファイバー特性の改善検討にも着手した。具体には、 10^{-2}Pa に真空減圧ののち液体窒素を流入して77Kに冷却できる試験システムを構築したことで、冷却によって透過率は約10%程度改善がみられた。この結果は銀(Ag)薄膜の低温電気伝導度、および中空ファイバー内の光伝搬に関するドルーデモデルと整合的で、この手法の有効性を確認することができた。

本発表では、これら要素技術の援用先としての赤外分光器基礎検討として、東北大・ハワイハレアカラ観測施設において得られた地球大気初期観測成果についてもご紹介する。

【参考文献】

- 加藤 仁教, 松浦 祐司, 片桐 崇史, “中赤外レーザー用研磨型中空光ファイバカプラ”、レーザー学会学術講演会第40回年次大会, 仙台、2020年1月.
- 生田目浩至, 松浦祐司, “中赤外域で機能する矩形中空導波路多モード干渉型分岐素子”、レーザー学会学術講演会第40回年次大会, 仙台、2020年1月.
- Nakagawa, H., Y. Kasaba, Y. Hirahara, Y. Matsuura, T. Katagiri, R. Ito, Y. Yokoyama, K. Namatame, I. Murata, S. Tsukada, K. Takami, A. Yamazaki, “Broadband mid-IR fiber optics instruments for solar system exploration missions”, Space Science Symposium, ISAS/JAAXA, 2020年1月.
- Ito, R., Y. Hirahara, Y. Matsuura, K. Takami, H. Nakagawa, Y. Kasaba, A. Yamazaki, “Transmittance measurement of mid-infrared Hollow core fiber at cryogenic temperature”, Society of Geomagnetism and Earth, Planetary and Space Sciences: 2019 fall meeting, Kumamoto, 2019年10月.