

# ファイバ出力を平面導波路に結合する GRIN マイクロレンズ

光ファイバと平面導波路の開発は数十年前に遡るが、数マイクロメートル( $\mu\text{m}$ )サイズの光ファイバビームを数百ナノメートル( $\text{nm}$ )サイズの平面導波路に結合する方法は厄介な課題のまま残されている。一般に、フォトリソグラフィ内に作製された回折格子結合器が使われているが、それらは少量生産のために高価であり、複雑なフォトリソグラフィ法が必要になる。外部集光レンズやエラストマ製の取外し可能な格子も試みられているが、結合効率が極めて低い。

最近、独ゲッティンゲンレーザー研究所(LLG)の研究チームによって、屈折率分布型(GRIN)レンズとその出口面の格子構造を組合せる、一つの有望なソリューションが開発された<sup>(1)</sup>。このコリメートマイクロレンズデバイスは取外して再利用可能なため、回折格子結合器と導波路の厚さに対する要求に関連するコストは解消される。例えば、1回限りのバイオセンシング用途に利用されているディスプレイブルタイプの導波路と結合させた多重回用の結合器としても非常に魅力的である。

## 結合効率

GRIN結合器が従来の微小光学結合器またはテーパ付ファイバ結合器に比して優れているのは、結合効率が平面導波路表面に作製された回折格子結合器のそれに匹敵するという事実による。この効率はGRINレンズの研磨面上の構造化された高周波数格子によって実現された。このレンズの構造化表面は、その後、導波路の極近く、もしくは接触させて設置される(図1)。

この結合方式は、シングルモード光ファイバからの光を拡大、平行化する0.25ピッチのGRINレンズからスタートする。ファイバ出力の共振結合は、回折されたビームの波数ベクトルと導波モードの波数ベクトルが一致する場合に起きる。導波路結合用の1次ビームを使用し、そのビーム角の精密な調節はGRINレンズの焦点面内でファイバ端面を横方向に移動させることによって達成される。

結合器の光学パラメータを最適化し、結合効率を定量化するために、ソフトウェアモデリングと物理実験を実施した。米コムソル社のソフトウェアMulti-physicsを使って、GRINレンズ(屈折率 $n=1.5$ )の終端面上の $200\mu\text{m}$ 幅、 $500\text{nm}$ 周期の正弦波構造化された格子の出力から格子と導波路表面間の様々なエアギャップ幅を仮定して、 $2\mu\text{m}$ 厚の基板( $n=1.52$ )上の $150\text{nm}$ 厚の導波路( $n=2.1$ )への結合効率をモデル化した。このシミュレーションでは、結合効率(結合器からのポート励起出力の導波路に方向付けられたパワーに対する比)は、 $100\text{nm}$ 以下のエアギャップで10%以上になり、エアギャップを $20\text{nm}$ にすると41%と高くなった。

物理実験は、ダイレクトレーザアブレーションを使ってその終端面上に構造化された $500\text{nm}$ 周期の格子( $200\mu\text{m}$ の幅による)をもち、 $20^\circ$ の角度で研磨された $1\text{mm}$ 径、 $2.58\text{mm}$ 長、 $0.25$ ピッチのGRINレンズを使用して実施された。 $633\text{nm}$ のヘリウムネオン(He-Ne)レーザからの光が、GRIN結合器にバットジョイントされたシングルモードクリープファイバに入力された。TE偏光とファイ

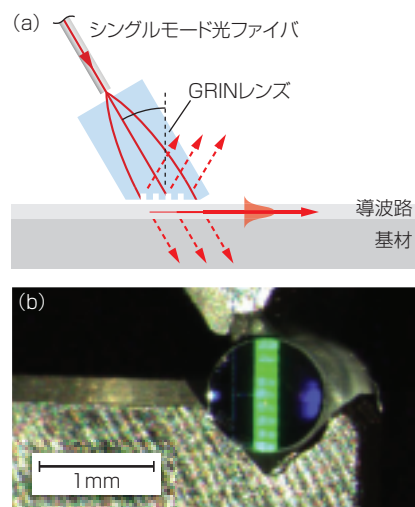


図1 GRINレンズは、取外して再使用可能なファイバ導波路結合器として作動する構造化格子をその終端面に有している(a)。写真はGRINレンズの研磨面上の回折格子結合器を明瞭に示している(b)。(資料提供:ゲッティンゲンレーザー研究所)

バの0.14の開口数によって約 $250\mu\text{m}$ 径の平行ビームが生成された。GRIN結合器は、その後、ガラス基板上の $159\text{nm}$ 厚の酸化タンタル( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ;  $n=2.1$ )層で構成された導波路チップ表面に直接置かれた。最大の結合効率13.4%が約 $100\text{nm}$ のエアギャップで測定された。

LLGのプロジェクトマネージャを務めるトーマス・フリッケベグマン氏は、「この研究はバイオセンシング用途に向けた妥当な価格のディスプレイブル式導波路の実現を目的に実施された。しかし、この結合方式は、標準顕微鏡または蛍光読取機上での内部全反射顕微鏡アプリケーションの実現にも利用できる」と語っている。彼は、「もちろん、通信用途への道も開こうとしている」と付け加えた。(Gail Overton)

## 参考文献

- (1) T. Fricke-Begemann and J. Ihlemann, Opt. Exp., 18, 19, 19860-19866 (Sept. 13, 2010).