

ITU-T グリッド(25 GHz)に照準を合わせたカーコムの発生

和田 幸四郎 (B4)

DWDM 光通信に用いられる波長帯は ITU-T グリッドと呼ばれる国際規格によってアンカー周波数とグリッド間隔が規定されている。一般的にそのグリッド間隔は 100 GHz が用いられているが通信量の飛躍的増加によってよりグリッド間隔が密な光通信への需要が高まっている。光周波数コムは精密に等間隔な周波数スペクトルを持つ光源である。微小光共振器内部で四光波混合を用いて発生させたものはマイクロコムと呼ばれ、その特徴から DWDM 光通信への応用が期待されている。本研究ではフッ化マグネシウムを用いた微小光共振器を用いて 25 GHz 間隔のカーコムを発生させ、光通信への応用に向けた特性評価を行った。

キーワード: 微小光共振器, マイクロコム, カーコム, DWDM 光通信

1. 序論

高密度波長分割多重(DWDM)光通信では、一本のファイバ中に波長の異なる光を複数同時に伝送することで大容量化・高速化を実現している。情報を載せる波長群は ITU-T グリッドと呼ばれる国際規格で規定されており、一般的にはアンカー周波数(波長)193.1 THz(1552.52 nm)を中心としてグリッド間隔 100 GHz のものが用いられている。近年の情報通信量の爆発的増加を考えると、よりグリッド間隔が密な方式への移行が必要となるだろう。チャンネル数が増加するとそれに応じた数の DFB レーザを用意する必要があり、コスト・制御面共に多くの問題があったが、これらは光カーコムを用いて解決できる。

光周波数コム(光コム)は精密に等間隔な周波数スペクトルを持つ光源である。微小光共振器を用いて発生させた光コムはマイクロコムと呼ばれ、その繰り返し周波数は DWDM 光通信のグリッド間隔をカバーしている。マイクロコムは微小共振器内部で光カー効果の一種である四光波混合を用いるので光カーコムとも呼ばれ、ポンプ波長を中心として共振器の FSR に対応した間隔でカーコムをカスケード的に生成する。よってグリッド間隔に合わせこんだ FSR の共振器を製作し、アンカー周波数付近に存在する共振モードをポンプしてカーコムを発生させれば DWDM 光通信のプラットフォームとして用いることができる。多数の DFB レーザを共振器一つに置換できるのでコスト・消費電力を削減できるほか、制御はグリッド間隔の精度が十分であればポンプ周波数をアンカー周波数に正確に合わせ込むだけでよいので容易である。

先行研究[1]では、シリコンナイトライド(SiN)を用いたチップによってグリッド間隔が 100 GHz, 50 GHz の DWDM 光通信が実証されている。ただグリッド間隔が 25 GHz の共振器はサイズが 3 mm 程度となるのでチップでは Q 値や分散特性からその実現が難しい。フッ化マグネシウム(MgF₂)結晶を用いた共振器では 25 GHz 間隔のカーコムを問題なく発生できるほか、テーパがファイバ等で直接結合できるので結合損失がほとんどないことが長所として挙げられる。また田邊研究室の共同研究先である柿沼研究室の精密加工技術を用いれば、実用性のある精度で MgF₂ 共振器を製作可能である。

本研究ではひとまず手研磨によってグリッド間隔 25 GHz に合わせこんだ共振器を製作し、DWDM 光通信への応用に向けた特性評価を行った。

2. 共振器の作製

共振器の製作工程を簡単に説明する。円柱状の MgF₂ 試料を真鍮棒に UV 硬化剤を用いて接着する。真鍮棒部分をスピンドルに挿入して全体を高速回転させる。次にダイヤモンドペーパーを擦り付けて共振器の概形を切削する。最後にダイヤモンドペーストの粒度を小さくしながら共振器の表面を研磨する。

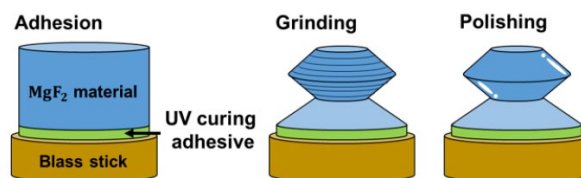


Fig. 1: 共振器の製作工程。

FSR が 25 GHz の共振器の径は 2.7 mm 程度なのでそれより少し大きく切削してから研磨を行うことで ITU-T グリッドに合わせこんだ共振器を作製した。

3. カーコムの発生

共振器への入力パワーが 300 mW 程度となるようにポンプレーザを増幅してカーコムが発生している共振モードを確認して、ITU-T グリッドで規定されているアンカー波長の少し短波側に存在するものを選定した。今回の共振器では 1550.1155 nm の共振モードでカーコムが盛んに発生していたのでアンカー波長を 1550.116 nm とした。この共振モードに対して短波長側からゆっくりと波長掃引を行うと Fig. 2 にあるようなスペクトルのカーコムを取得することができた。

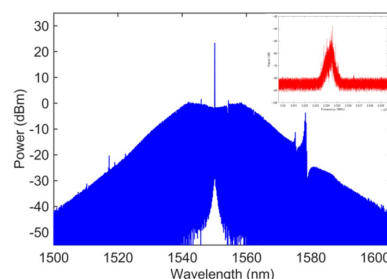


Fig. 2: カーコムのスペクトル。FSR は 25.25 GHz.

ポンプレーザの波長を 1550.121 nm まで掃引するとその付近のコム一本当たりのパワーが最大かつ包絡線が平坦となり、そのパワーは 0 dBm 程度であった。その部分のズームアップを Fig. 3 に示す。

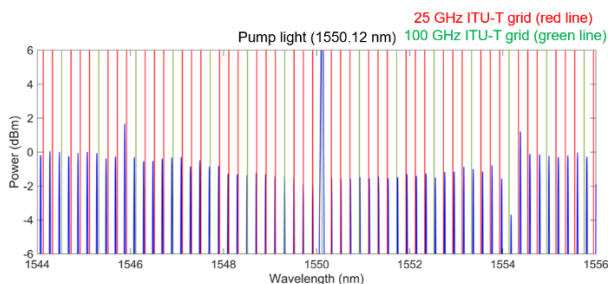


Fig. 3: 共振器の製作工程。緑線は 25 GHz 間隔の ITU-T グリッド、赤線は 100 GHz 間隔の ITU-T グリッド、青線がカーコムのスペクトルである。

アンカー波長が 1550.116 nm に対してポンプ波長が 1550.12 nm、グリッド間隔が 25 GHz に対して共振器の FSR が 25.25 GHz であった。ITU-T グリッドに対するカーコムのスペクトルの合わせこみ許容誤差を仮にコムが ITU-T グリッドの規定の間隔の中心をはみ出すまで(12.5 GHz) と考えたとき、片側 50 チャンネルは利用可能な範囲に入っていると考えられる。また合わせこみ許容誤差を 10% と考えた場合でも片側 10 チャンネルは利用可能な範囲に入っていると考えられる。

4. 結論

フッ化マグネシウム微小光共振器を用いて 25 GHz 間隔の ITU-T グリッドに合わせこんだカーコムを発生した。ITU-T グリッドとコムスペクトルの誤差許容量を 10% とした場合、両側 20 チャンネルについてカーコムを合わせこむことができた。またコム一本当たりのパワーは 0 dBm 程度を確保することができた。

参考文献

- [1] P. M. Palomo, *et al*, Nature **546**, 274 (2017)