

モード同期レーザーにおける偏波保持ファイバーの制御と光周波数コム安定化

日大生産工(院) 平澤 航生

日大生産工 石澤 淳 野邑 寿仁亜

さらにYDFを挿入している。励起光源には、EDF用に波長 1480 nm の半導体レーザー(LDAF4B150FA75L)、YDF用に波長 980 nm の半導体レーザーを用いた。出力ポートの後段は光アイソレータ、50:50 カプラ、99:1 カプラで構成し、99%出力を光スペクトラムアナライザ(OSA)へ、1%出力を電気スペクトラムアナライザ(ESA)へ入力している。モード同期は、NPS内に配置した $\lambda/2$ 波長板を調整して偏光状態を制御し、ファイバーに振動を与えることで発生させている[1]。本研究ではFig.1の⑤のファイバーの長さを共振器分散が0に近づくように調整して、波形がストレッチパルスになるようにモード同期をかけてスペクトルの評価を行った。また、空間系にEOMを入れた状態で波形がストレッチパルスになるようにPMFの調整を行った。

1. 背景

光周波数コムは等間隔に並ぶ楕型スペクトルを持つ光信号であり、高精度測定や光通信において重要な役割を果たしている。光周波数コムの安定化には、キャリアエンベロープオフセット周波数(fceo)と繰り返し周波数(frep)を制御することが必要であり、レーザー利得媒質に加える電圧を調整することでfceoを制御し、モード同期レーザーの共振器長を変化させることでfrepを調整している。

先行研究[1][2]では、イッテルビウム添加ファイバー(YDF)と非相反位相シフター(NPS)、偏波保持ファイバー(PMF)を用いたfigure-9型のモード同期レーザーを製作し、光スペクトルの測定を行っていたが、モード同期時の出力が低いことやノイズが出力が出現していたが課題となっていた。

本研究では[1][2]で製作した実験系を使用して、NPSの $\lambda/2$ 波長版(HWP)の位置を変えたときのモード同期の掛かりやすさを光スペクトルアナライザ(OSA)で調査した。その結果、波長 1560 nm の真横にスペクトルが出現しているときにモード同期が掛かりやすことが分かった。また、分散補償ファイバー(DCF)を共振器に挿入したところ、[1][2]ではモード同期が掛かっていたのに対し、本研究ではモード同期が掛からなかったため、共振器分散を0に近づけるようにエルビウム添加ファイバー(EDF)及びDCFの長さを調整した結果、EDF=0.905 m DCF=0.280 mのときに共振器分散が最も0に近づき、モード同期が掛かった。その後、PMFの長さの制御を行い、共振器分散の最適化及び光スペクトルの評価を行った。

2. 実験系の構成

本研究で用いたモード同期レーザーの構成をFig.1に示す。本実験ではFigure-9型を採用した。構成要素としては、NPS、PMF、EDF(Er80-4/125-HD-PM)、分散補償ファイバーDCF、WDMカプラ、50/50カプラ、低群遅延分散ミラー(UM05-45C)が含まれ、

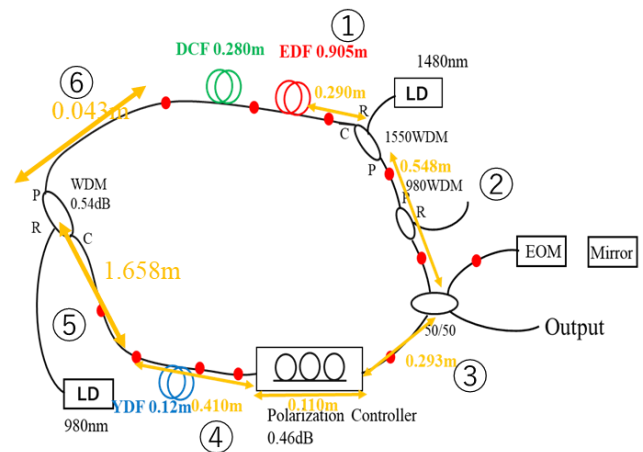


Fig.1 本研究で使用した実験系

3. 実験結果

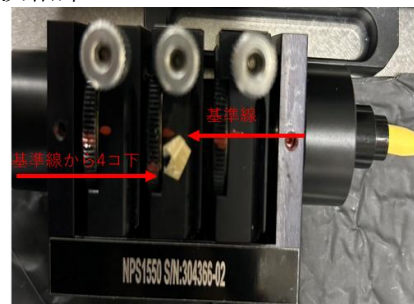


Fig.2 HWPの調整

Control of polarization-maintaining fibers in mode-locked lasers and stabilization of optical frequency combs

Koki HIRASAWA, Atsushi ISHIZAWA and Junia NOMURA

Fig.1 は、モード同期が最も容易に得られた際の HWP の位置を示す。先行研究で最も安定してモード同期が得られた位置を基準線とし、そこから上下に 10 箇所ずつ位置を変化させてモード同期時間を測定した。その結果、基準線から 4 つ移動した位置で最も短い時間でモード同期が得られ、3 回の測定における平均時間は 2.4 s であった。

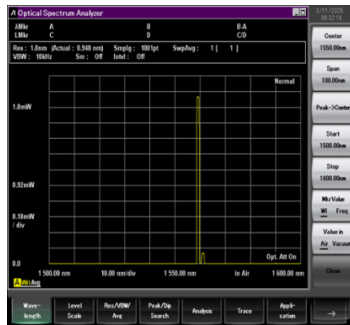


Fig.2 は、HWP を基準線から 4 つ移動させた際に得られたスペクトルを示している。このスペクトルでは、波長 1560 nm 付近の左側にピークが現れ、その右側にも小さなスペクトルが確認された。この条件下でモード同期を行ったところ、電流値が 400 mA までモード同期が維持され、350 mA ではモード同期が消失した。

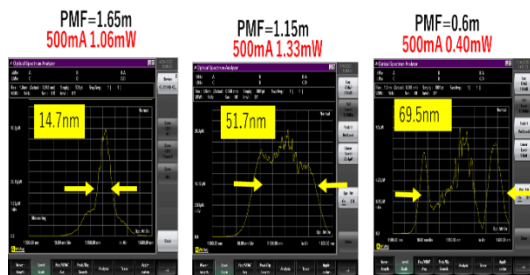


Fig.3 は電流値が 500 mA のときのモード同期レーザーのスペクトルを示している。それぞれの波形を比較すると、左はソリトンパルス、真ん中はストレッチパルス、右は散逸ソリトンの波形であった。また、Table.1 は 500mA のときの同期後のスペクトルの測定値を示しており、Table.1 の 1.000 m～1.150 m がストレッチパルスの範囲であった。この結果から、共振器分散が -0.018 ps^2 の範囲でストレッチパルスになることが考えられる。

Table.1 500mA のときの同期後の測定結果

長さ	frep(MHz)	net dispersion(ps ²)	power(mW)	FWHM(nm)
1.65m	38.29	-0.02825	1.06	14.7
1.35m	40.58	-0.02105	1.05	14.2
1.15m	42.26	-0.01626	1.33	51.7
1.05m	42.38	-0.01599	1.67	54.8
1.00m	43.62	-0.01266	1.23	54
0.85m	44.75	-0.00825	0.79	42.2
0.6m	46.27	-0.00465	0.4	69.5

Fig.4 は、電流値 500 mA、PMF 長 1.15 m の条件において、電気光学変調器 (EOM) を空間系に挿入した場合と挿入しない場合のモード同期レーザーのスペクトルを示している。両者を比較すると、EOM なしでは雑音が多くストレッチパルス波形を示したのに対し、EOM ありでは雑音がやや多く、ストレッチパルス波形は得られなかった。また、出力は EOM ありの場合で 45.9%低下した。

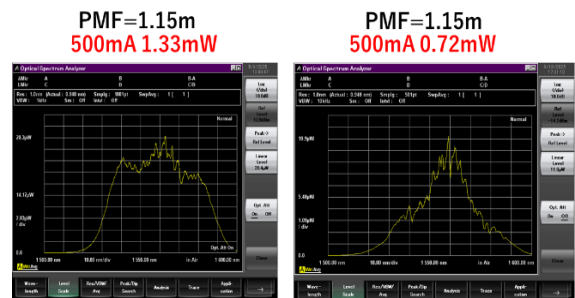


Fig.4 EOMを挿入したときと挿入していないときのスペクトルの測定結果

4. まとめ

参考文献 [1] [2] で製作した実験系にDCFを挿入してモード同期を行ったところ、DCF 長0.280 m、EDF長0.905 mの条件でモード同期が得られ、スペクトルの雑音が減少した。また、PMFの長さを調整してモード同期を行った結果、PMF長が1.000～1.150 m、共振器分散が -0.018 ps^2 の範囲でストレッチパルスが形成されることが確認された。今後は、空間系にEOMを挿入した状態で共振器分散を0に近づけつつ、PMFを調整してモード同期を安定化させ、ストレッチパルス波形の観測および10 W級のエルビウム・イッテルビウム添加光ファイバー増幅器(EYDFA)の作製を目指す。

5.参考文献

- [1]小原 健太郎, 日本大学生産工学部卒業論文(2025)
- [2]水原 啓介, 日本大学生産工学部卒業論文(2025)