30 W級2.8 μm帯Er:ZBLANファイバーMOPAシステム

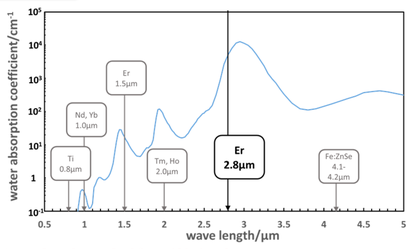
○佐原 諒[1], 小西 大介[1], 上原 日和[3], 合谷 賢治[4], 小田 晃一[1], 三澤 明日香[1], 都築 聡[1], 時田 茂樹[2], 村上 政直[1]
(三星ダイヤモンド工業(株)[1]，阪大レーザー研[2]，核融合科学研究所[3]，秋田県立大学[4])

研究背景

中赤外3 μm帯レーザー

3μm波長帯で水の強い吸収(OH伸縮振動)

水の吸収係数　G. M. Hale and M. R. Querry, Appl. Opt., 12, 555--563, (1973).



■学術用途
- ・他波長レーザーの励起光源 (e.g. Fe:ZnSeレーザー)
- ・波長変換
- ・ガスセンシング
- ・同位体計測

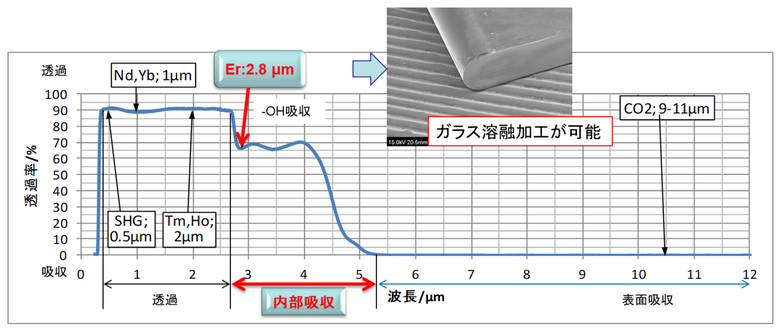
■産業用途
- ・ガラスや樹脂のレーザー加工（切断、溶融、溶着、微細加工）

■医療用途
- ・歯科治療、皮膚治療
- ・手術用メス

高出力, 高効率, 高ビーム品質でコンパクトな光源に需要がある

3 μm帯レーザーのガラスの吸収

2.7-5.5 μmの帯域はガラスには適度な透過率を有する
ガラス内部の光吸収により高効率な加工(切断、面取り、溶接など)が可能
新規加工手法の実現が期待される

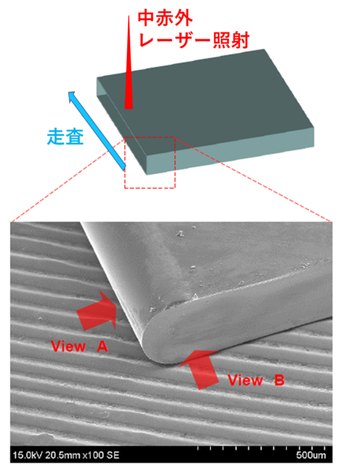


ソーダガラス 0.5 mmの光透過率と、レーザーの発振波長

ガラスの端面溶融加工(面取り)

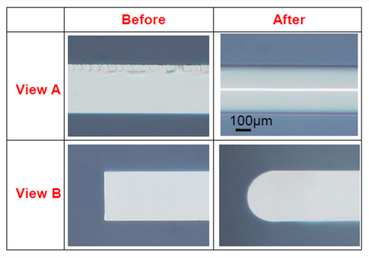
※特許登録番号:6324719

加工対象:FPD、モバイルディスプレイ用ガラス



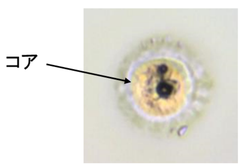
ダイヤモンドツールによる分断面に沿って、中赤外レーザーをガラス表面から照射し、端面を溶融することでガラスの強度を向上

レーザー波長とガラス(OA-10)の吸光係数:
中赤外レーザー(2.8 μm)　~1300 [1/m]
⇒ 内部吸収、端面を一様に加熱・溶融可能
CO_2レーザー(10.6 μm)　~36000 [1/m]
⇒ 表面で吸収、裏面の加熱が不足



フッ化物ガラスファイバーレーザー

■ZBLAN(ZrF_4-BaF_2-LaF_3-AlF_3-NaF)ファイバー
- ・波長4 μmまでの光を透過
- ・低フォノンエネルギー
- ・低分散
- ・石英ファイバーと比較して低い機械的強度、熱伝導率
- ・低いガラス転移温度(T_g~250℃)
- ・低い結晶化温度(T_x~350℃)
→ファイバーの冷却が必須
- ・水との高い反応性
$NaF + H_2O \rightarrow HF + NaOH$
→ファイバー端面の保護が必須



大気中の水分との反応により損傷したZBLANファイバー端面

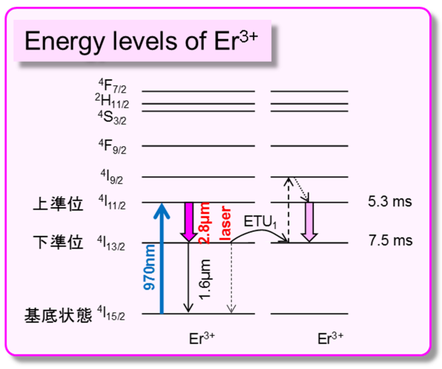
目的

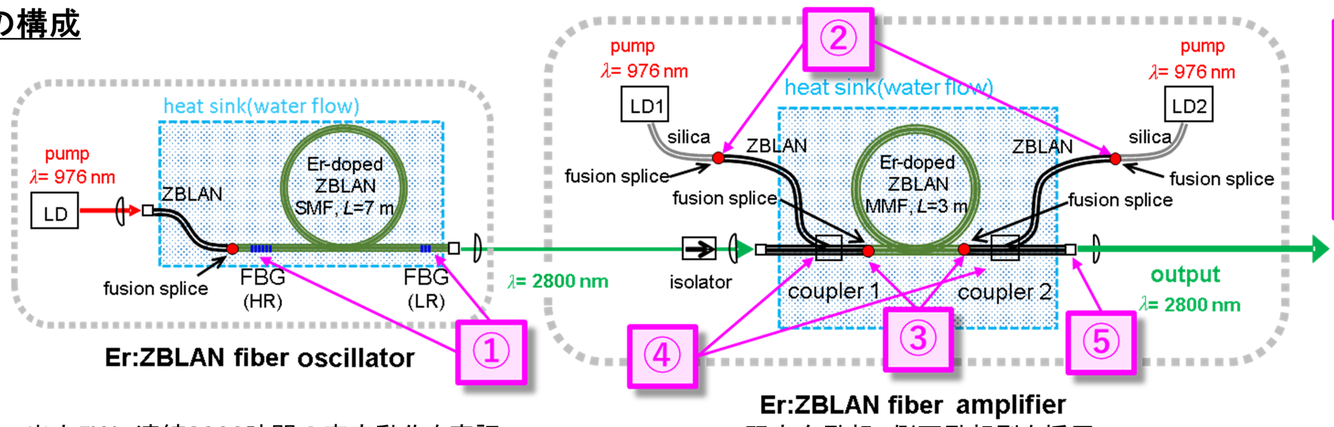
■高出力高安定な産業用2.8 μm帯レーザー光源の開発
CW 出力30 W、波長安定性 $\Delta\lambda < \pm 1\ nm$、実働5000 時間

■ガラスの端面溶融加工の高速化の実証
加工速度30 mm/s

我々の開発したファイバーレーザー

Er:ZBLANファイバーMOPAシステムの構成

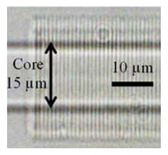




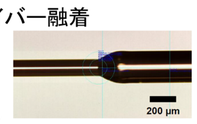
出力5W、連続2000時間の安定動作を実証

双方向励起、側面励起型を採用

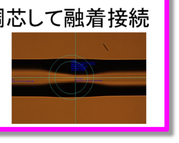
要素技術①: フッ化物ガラスファイバーへのFBG描画
※特許出願中
- ・波長安定化に成功(2800±1 nm)
- ・高い反射率
- ・アライメントフリーな発振器を実現



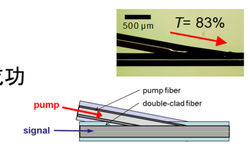
要素技術②: 石英-ZBLANファイバー融着接続
※特許出願中
- ・融点、熱膨張率が大きく異なる異種ファイバー融着
- ・融着損失　<0.2 dB
- ・比較的高い接着強度　約2 MPa
- ・励起光アライメントフリーな増幅器を実現



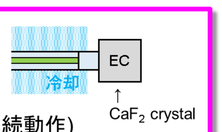
要素技術③:コアtoコア融着
- ・同形状のダブルクラッドZBLANファイバーのコア同士を高精度に調芯して融着接続
- ・コア融着損失　0.3dB
- ・クラッド融着損失　0.13dB



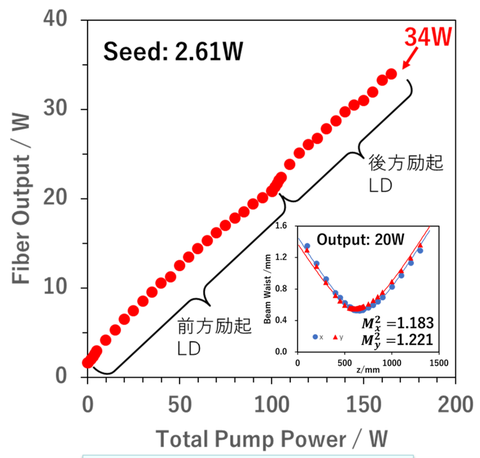
要素技術④:ZBLANファイバー光結合器
※特許登録番号: 6126562
- ・フッ化物ファイバーを用いた結合器の作製に初めて成功
- ・励起光結合効率　83%(最大93%)
- ・側面励起でコアの熱負荷を軽減



要素技術⑤:エンドキャップ融着
※特許登録番号:6579568
- ・ファイバー端の潮解と温度上昇を抑制
- ・レーザーの長寿命化に寄与(出力5 W、2000時間連続動作)
- ・ARコーティングにより端面での反射損失を抑制

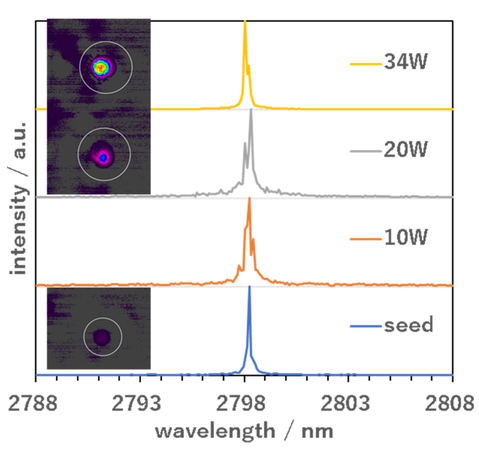


レーザー出力、ビーム品質



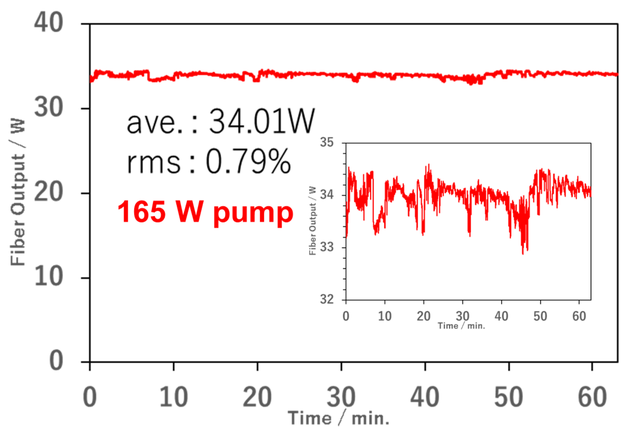
CW増幅出力34 W達成

ビームプロファイル、スペクトル



波長2800nmにおける出力増幅に成功

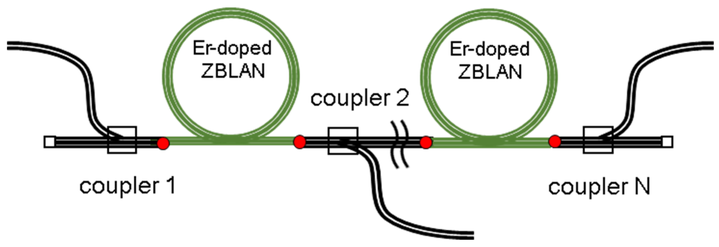
出力安定性



60分間の安定動作を確認

さらなる高出力化のために

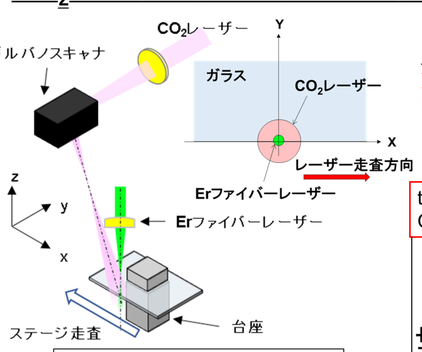
・多段結合器によるパワースケーリング

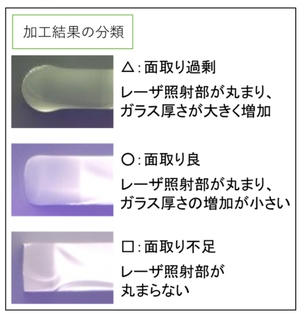


熱対策:
- ・コアtoコア融着部の冷却手法の改善
- ・Er^{3+}添加濃度を下げる
- ・コア/クラッド比を下げる

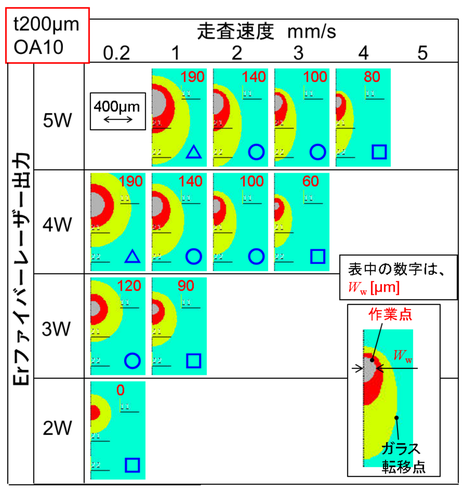
溶融加工検証系

CO_2レーザーアシストErファイバーレーザー面取り加工　※特許出願中





熱分布シミュレーションと加工マージンの比較
Erファイバーレーザーのみの加工の場合、計算した熱分布の作業点温度(約1290 ℃)以上の領域の幅が100～140 μmのときの加工条件で実験結果が○(面取り良)になる

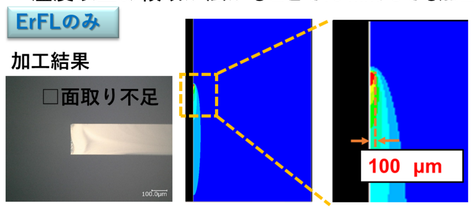


10 W 10 mm/s　CO_2レーザーアシスト面取り加工検証

Erファイバーレーザー(ErFL)10Wのみでは面取りされないが、CO_2レーザーの同時照射によって作業点温度以上の領域が広がることで10 mm/sでも加工が可能になったと考えられる

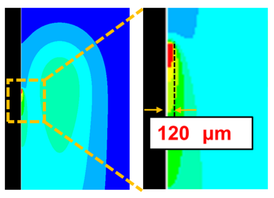
ErFLのみ

加工結果
□面取り不足



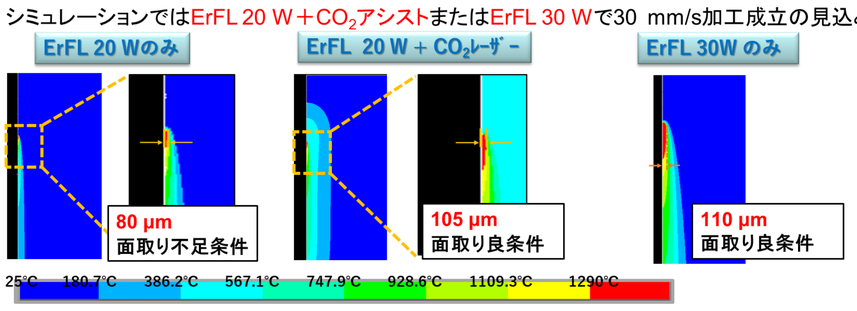
ErFL + CO_2レーザー

加工結果
○面取り良



30 mm/s面取り加工シミュレーション

シミュレーションではErFL 20 W＋CO_2アシストまたはErFL 30 Wで30 mm/s加工成立の見込み



まとめ

成果
- 各種要素技術を利用して高出力・高安定なEr:ZBLANファイバーレーザーMOPAシステムの開発に成功
→ CW 出力34 W、波長安定性 $\Delta\lambda < \pm 1\ nm$、1時間の連続運転を実証
- ガラスの端面溶融加工の高速化の検証
→30 W出力で走査速度30 mm/sの加工成立の見通し

展望
- 多段結合器によるパワースケーリング
- 産業用途に向けて長期実働試験
- 端面溶融加工の高速化の実証(目標加工速度30 mm/s)、CO_2アシスト加工によるさらなる加工高速化の検証
- 2.8 μm波長帯レーザーによるガラス・樹脂の新規加工法の開発

本研究は、「研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 企業主導フェーズ　NexTEP-Bタイプ」の研究助成を受けて実施された。