

レーザー技術の展望

サイバーレーザー(株)
住吉哲実

1 はじめに

本シリーズではこれまでに11回にわたりレーザー応用とそれを支える装置技術に関わる技術解説をおこなってきた。取り上げたレーザーはLD励起固体レーザーを中心として、第2回は基本波（レーザー結晶固有の波長で発振）、第3、4、9回は紫外波長域、第5、8回はフェムト秒レーザー、第10回は中赤外オプティカルパラメトリック発振器などである。第11回には製品としての信頼性評価・対策についての解説も行った。これらの応用については、主に産業応用上有用なレーザー加工を中心に解説を行っている。ポストゲノム技術と称されるタンパク、糖鎖の物性解析に、フェムト秒レーザーやOPO技術などが適用されていることも紹介させていただいた。

2000年までの光通信を中心とした過剰設備投資とその反動による経済活動の沈下は経済全体に閉塞感を与えてきたが、ここにきて緩和してきている。デジタル家電を中心とした消費材の売り上げ急進、半導体産業の活性化などが牽引している様子である。サイバーレーザー社が重点を置くレーザー加工技術はこのような産業活性化により今後必要とされる応用装置の中心にあり、従来技術では不可能であった領域へのブレークスルーを約束するものである。

本稿では、国内生産動向について最新の情報を光産業技術振興協会発表の数値をもとに検証し、新しいレーザー技術、要素技術を紹介するとともに、今後のレーザー

技術を展望したい。

2 市場動向

本シリーズ第1回で2002年見込みの光関連市場の動向を概観した。ここでは、レーザー応用生産装置が約15%の伸長が期待されると記した。2004年3月3日付で（財）光産業技術振興協会発行の「2003年度光産業国内生産額等調査結果について」では、そのトレンドが今後も継続すると予測している。レーザー応用生産装置の国内生産額は、2003年度見込みでは2032億円、前年度比14.5%増、2004年度予測では2351億円、前年度比15.7%増である。装置に搭載される固体レーザーの国内生産額は2003年度見込み280億円、15.2%増、2004年度予測349億円、24.4%増となっており、急伸が期待される。

これらの原動力となっているのがディスプレイ素子でありその成長率は、2003年、2004年でそれぞれ22.1%、11.8%としている。ユビキタスコンピューティングが指向される社会であれば、人と情報デバイスのインターフェースを司るフラットパネルディスプレイが必要不可欠であり、その生産量が増加することはきわめてリーズナブルである。その生産スピードの向上のためにレーザー加工技術に期待が集中しているが、レーザー加工技術の優れた点是非接触で対象材料に直接エネルギーを注入できることにある。言い換えると微細加工において機械的に消耗する刃がない。この特長は半導体産業におけるSiウエハや多層構造材料の加工にも同じことが言えて、高性能デバイスの発展・増産はすなわちレーザー応用生産

装置の重要性を高める。高出力レーザー分野の技術者にとってはこれからの10年、さまざまな局面においてまさしく腕のみせどころになるのではないかと思う。

3 新しいレーザー要素技術

今後のレーザー技術の発展を予測するには、最近の要素技術の進展を見ることが必要である。レーザー技術の新情報を得るには、CLEO (Conference on Laser and Electro-Optics) という学会が最適である。今年5月16日から21日に米国サンフランシスコで開催された。"Where Technology is BORN"と副題をつけるだけの質と量がそろっている大型の国際会議である。今回、高出力レーザー技術で多くの聴衆を集めたのはキロワット級の高出力ファイバーレーザーであった。このセッションには300程度の席が足りずに部屋の外まで立ち見がいたほどの盛況ぶりであった。レーザー発振器の技術では、ファイバーレーザーと対局にある薄ディスク型レーザーについては、高出力競争よりは高機能実証、すなわちフェムト秒レーザー技術への適用が印象深い。

レーザーの利得媒質の探索が幅広く行われており、その形状がファイバー、薄ディスクと従来のロッド型から変化すると同様にその材料もセラミックや半導体へと広がっている。光ファイバーは"Micro Structure Fiber"と総称されるフォトニクス結晶ファイバーの製造技術が向上してきており、適用範囲が拡大する様相を示している。ここでは、これら新技術の動向を解説する。

3.1 ファイバーレーザー

ファイバーレーザーはLD光のビーム品質変換器のようにとらえることができる状態にまで成熟してきている。その光特性としては、波長はLD: 915~980 nmから発振波長1060~1100 nmと長波長に変化すると同時にビーム品質がLDで M^2 値=数百であるものが10以下にできる。光-光変換効率が60%以上ときわめて高い。加工性能をビームの輝度(単位立体角あたりのレーザーパワー)で言い表すのであれば、LD光からファイバーレーザーにかえることで、100倍以上の性能向上が得られることになる。これは、同じパワーのLDとファイバ

ーレーザーを比較したときに、集光面積比や焦点深度比が100倍あるということである。

図1、図2にダブルクラッド型ファイバーの断面構造とLDを導入するための構造をそれぞれ示した。ファイバーレーザーを商業化して成功を収めているIPGフォトニクス社は図2(a)の励起ファイバーと利得ファイバーの融着方法を採用し、高輝度LDの結合によって高出力化を実証している。製品レベルでkWの出力を出しており、ファイバーレーザーが機械工業分野で実用化されようとしている。

具体的な例としては、Ybドープファイバーレーザーにおいて1.3 kW、 $M^2 \sim 3$ の高輝度・高出力が実現している¹⁾。ファイバーの特性としてはコア径38 μm 、NA=0.06で、励起クラッドの断面形状としてはD型を使っている。高出力動作では、非線形損失が懸念されてきたが、この高出力実証においてはそれが生じないという。非線形損失としては誘導ラマン散乱(SRS)を指している。また、出力の限界にはきていないので、さらなる出力増加が期待される。

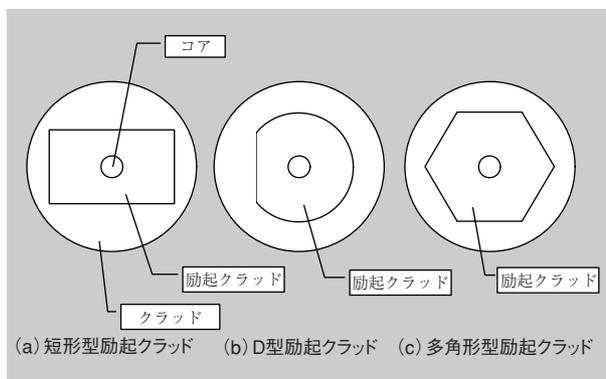


図1 ダブルクラッド型ファイバーの断面図

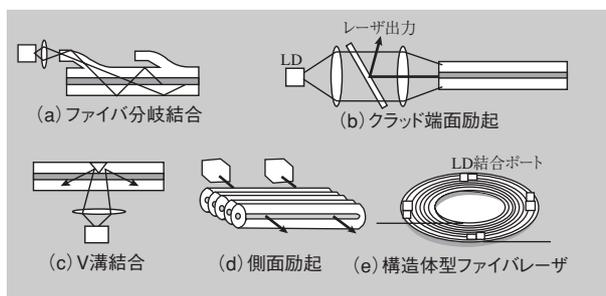


図2 励起光導入構造

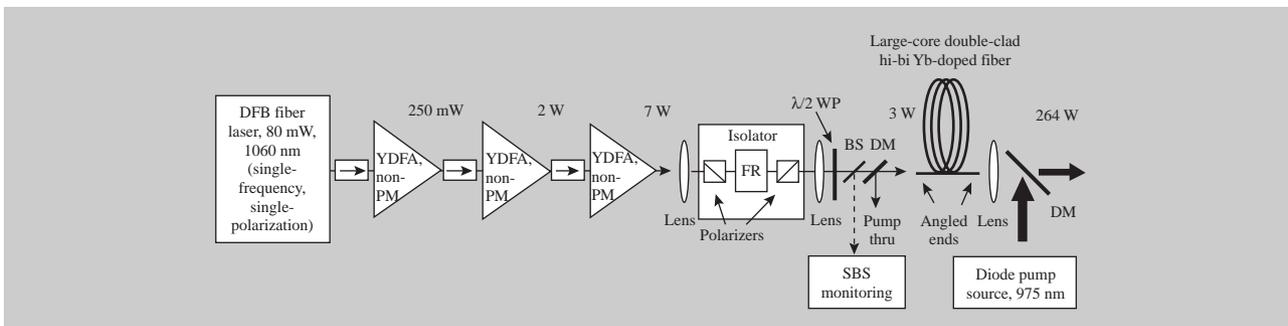


図3 単一周波数ファイバーレーザー

ファイバーレーザーにおいて単一周波数レーザーの高出力化も重要な技術と言える。1060 nmにおいて、単一周波数 (<60 kHz), 直線偏光, 264 Wの出力が得られている²⁾。図3には実験装置のブロック図を示した。単一周波数では、線幅が狭いために誘導ブリルアン散乱による反射損失がファイバー中で発生する懸念があるものの、Southampton大によればファイバー長全体の温度の不均一性などが幸いして顕著な損失としては観測されていないと言う。

このファイバーレーザーという形状は活性領域であるコアが細く長いという形状特性をもつために単位体積に対する表面積の割合が大きく、冷却能力が高い。そのためにこのような高出力動作実証につながった。

3.2 フォトニック結晶ファイバー (PCF)

ファイバー構造自体の進歩はめざましく、図4に示すようなエアホールを有するファイバーの研究開発・製品化が進められている (写真は blazephotonics 社製品)。コアが石英のものでは、一例として、高NAでシングルモード伝送が可能な特性が実現される。低い曲げ損失、分散特性の操作、高い偏波保持性能などで従来のシングル

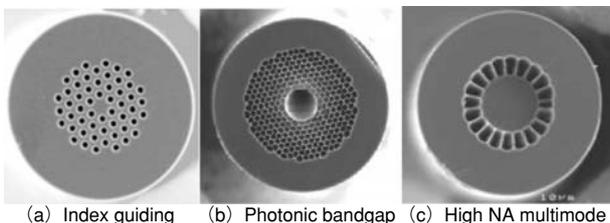


図4 フォトニック結晶ファイバーの断面図

モードファイバには実現できない特性が得られる。

これらのファイバーとフェムト秒レーザーとの組み合わせによって得られるスーパーコンティニュームと称する広帯域白色光は、バイオテクノロジーを支える顕微鏡システムで採用されている。使用されるファイバーの特長としては、ゼロ分散波長を800 nm近傍にシフトした高非線形タイプであり、フェムト秒チタンサファイアレーザーの入射によって、400 nm ~ 1400 nmの広帯域光が得られる。超短パルス領域の白色光源であり、材料の時間分解観察を可能としている。⁴⁾

PCFを使用した応用研究はさまざま、エアホールに微小流体を閉じこめ、その動きによってコアを伝搬する光に対する実行屈折率を変化させるなどして波長フィルタのようなアクティブデバイスを構築する研究も進められている。ファイバーレーザーの利得媒質として使用される可能性も十分あり、今後の展開が大いに期待できる。

3.3 セラミックマテリアル

利得媒質としてセラミック材料が高品質化してきている。Nd:YAGにおいてセラミックと単結晶のレーザー動作特性を比較したところ、両者の差がほとんどないことがわかった⁵⁾。CW出力110 W, LDパワーに対するスロープ効率41%である。

セラミック材料は単結晶材料と比較して製造コストを下げるだけでなく自由な形状創製が期待される材料である。従来LD励起固体レーザーの形態として、ロッド型、ファイバー型、薄ディスク型などが開発されてきているが自由な発想でその形状をかえることができるだろ

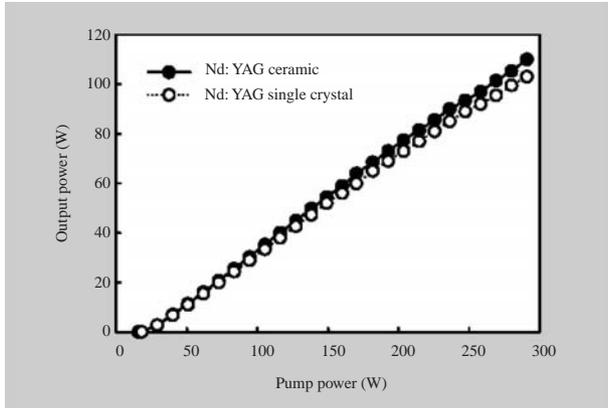


図5 セラミックNd:YAGレーザーの動作特性

う。熱特性を改善するためにレーザーイオンをドーブしない部分を有するコンポジット型や導波路型がすでに試験されており、励起光と出力のビーム特性にあわせた形状の利得媒質を作るための重要な素材になると期待される。

3.4 光励起半導体レーザー

利得媒質として重要な素材に「半導体」がある。通常電流駆動のLDをさして半導体レーザーと認識しているが、ここ10年の光励起半導体レーザーの高性能化は特筆すべきである。光励起LDの特長は薄ディスク型形状による熱特性の良さと発振波長の制御を材料レベルでできることと言える。熱特性の良さというのは厚み方向のみ一次元に温度勾配が発生し、利得媒質内に熱レンズが存在しないことを言う。さらに希土類イオンを利用した結晶レーザーでは、発振波長が限定されるのに比較して発振波長の設計自由度が高い。

OSRAM社は808 nmLD励起の半導体レーザーにおいて

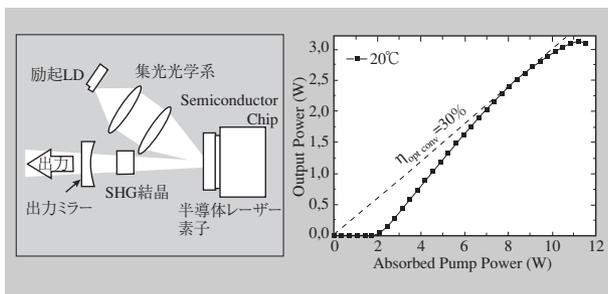


図6 光励起半導体レーザーの構成と入出力特性

て出力3 Wを実証した。発振波長は1050 nm、光-光変換効率は30%と高い。今後の高性能化が期待される。

4 レーザー技術の将来像

1960年Maimanがルビーレーザーの発振に成功して以来、ガスレーザー、半導体レーザーが次々に誕生し、発展をとげて来た。装置の進化を見ると小型化と高効率化・高出力化が経済的にみても重要な指標であるがそのいずれも、固体レーザー（LDを含む）で具現化されつつあることが実感される。特に本稿で紹介した要素技術の進展はレーザー装置の構成に自由度を与える重要なものばかりである。

本解説シリーズではレーザー応用生産装置（医療装置を含む）を念頭に高出力・高効率の固体レーザー技術・超短パルスレーザーおよびその波長変換技術に力点をおいて解説した。本稿で紹介した高出力ファイバーレーザーは今や機械・自動車産業における加工用レーザーとして台頭している。5年前にはまだこの状況を予測している人は少数だったに違いない。100 Wを超える出力では非線形損失が大きくなり高出力化は実現が難しいと考えられていた。それが今ではキロワット出力を競う状況であり隔世の感がある。波長変換によりその応用範囲はさらに拡大するだろうし、発振効率の高さからLDビームによる直接加工を凌駕するかもしれない。

ひと昔、LD励起固体レーザーの登場をレーザー技術のルネサンスともてはやした時期があった。このファイバーレーザーはフェムト秒レーザーと両輪をなして、固体レーザーの生産応用領域にルネサンス期をもたらさだろう。サイバーレーザー社はフェムト秒レーザーのリーディングカンパニーであるとともにファイバーレーザーを励起光源などに活用し新しい光源の創製によって時代を切り開く技術集団でありたいと考えている。

将来は生産や研究開発の現場ではなく個人ユースのレーザー装置が登場してくることは想像に難くない。現在はCDやDVDに搭載されている小型・小出力LDがもっとも身近にあるレーザー装置だが、小型・高出力のレーザー微細加工装置がカッターやナイフの代わりになり、家庭での医療が進めばレーザー治療器や診断装置が自宅

に置かれる日が来る可能性もある。

ユビキタスコンピューティング社会の実現には個人の認識がきわめて重要な位置を占めるだろうが、それを支える技術はレーザー技術抜きには考えられない。個人IDメモリがどのような形状になってもその微細加工技術にレーザーが関与するだろうし、その読み取りを非接触で行うようなシステムにはレーザーが使われてもおかしくない。現在、光センシングで使用されているアイセーフ波長領域（1.5～2.5 μm）のレーザー装置が町中いたるところに設置され、IDチェックを行う世界がやってくるかもしれない。最近の映画では2002年スティーブンスピルバーグ作品の「マイノリティリポート」でレーザー技術が日常に入り込んだ世界が描かれている。映画ではIDチェックに網膜を可視レーザーでスキャンする方式が使われていた。光メモリはキャッシュカードサイズのガラス板のような美しいデバイスで表現されており、光技術者であればその世界像に興奮するだろう。

レーザー技術が成熟し、出力、波長、時間（パルス幅）領域で自由な設計が可能になるのはまさに夜明け前という感がある。ブレークスルーの足音が聞こえてくる。聞こえている人は時代のエッジを歩いている。高機能化・高集積化を果たすレーザー技術をどのように夢見るか、自由な発想で未来世界を想像しその到達への道程を楽しみたいと考えている。

参考文献

- 1) A.Liem, et al., "1.3 kW Yb-doped fiber laser with excellent beam quality", Postdeadline papers of of Conference on Laser and Electro-optics, San Francisco, May 16-23, 2004, paper CPDD2.
- 2) Y. Jeong, et al., "Single-frequency, polarized ytterbium-doped fiber MOPA source with 264 W output power", ibid paper CPDD1.
- 3) ホームページ <http://www.blazephotonics.com/>
- 4) G.Genty, et al. "Spectral broadening of femtosecond pulses into continuum radiation in microstructured fibers", Optics Express 10,2002,1083.
- 5) J. Lu, et. al., "High power ceramic Nd3+:YAG laser", Technical digest of Conference on Laser and Electro-optics, San Francisco, May 16-23, 2004, paper CTuT1.
- 6) S.Lutgen, Sr.,et. Al., "3W cw output power from an optically pumped semiconductor disk laser at 1050 nm", ibid. paper CTUC4.

Future vision in the laser technologies

Tetsumi Sumiyoshi

Cyber Laser Inc. Vice president & CTO



スミヨシ テツミ

所属：サイバーレーザー(株) 取締役 副社長
連絡先：〒212-0054 神奈川県川崎市幸区小倉308-10 KBIC 101

Tel. 044-588-3854 Fax. 044-580-3808

E-mail : sumiy@cyber-laser.com

経歴：1996年日本電気(株)入社、光エレクトロニクス研究所勤務。2000年2月サイバーレーザー(株)を創業し現職。ガスレーザー、LD励起固体レーザー、ファイバーレーザーの装置開発・応用研究に従事。特に中赤外波長光源の装置化研究に興味を持ち、その産業応用ならびにバイオメディカル応用の研究を推進している。博士（工学）。