

Photonics West 2011- LASE ショート速報 [先進レーザー技術]

藤田 雅之 (レーザー技術総合研究所)

会議名 : SPIE Photonics West 2011

開催期間 : 2011 年 1 月 23 日～27 日

開催場所 : Moscone Center, San Francisco, CA, 米国

*****要 約*****

Photonics West は 5 つの国際会議 (BiOS、LASE、MOEMS-MEMS、OPTO、GREEN PHOTONICS) の総称であり、巨大な展示会を併設している。今回は、主にレーザー光源開発/応用が報告される LASE に参加した。LASE の特徴として、NASA やアメリカの軍関係の発表が多い事があげられる。空軍、陸軍、海軍それぞれが独自の高出力レーザーの研究開発支援を行っており、その一部が垣間見られる貴重な機会である。とてもすぐには実用化できない技術に挑戦しており興味深い。

1. はじめに

Photonics West の LASE の特徴として、NASA やアメリカの軍関係の発表が多い事があげられる。空軍、陸軍、海軍それぞれが独自の高出力レーザーの研究開発支援を行っており、その一部が垣間見られる貴重な機会である。この手の発表はアブストラクトには数値があまり出てこず論文も出されないの、直接聞くことが重要である。とてもすぐには実用化できない技術に挑戦しており興味深い。ここでは、普段聞けないようなマニアックなトピックスを中心に報告する。百聞は一見にしかずであるが写真等と共に報告することが難しいので、帰国後に Web で調べた URL 情報とともに以下に紹介する。是非、URL へアクセスしていただきたい。少年心をくすぐるレアな写真・図・ムービーを見ることができる。

2. レーザー応用

2. 1 National Lidar Mapping Initiative

Fibertek 社と NASA は地形の計測用のファイバーレーザーを開発している。マッピングの仕様は水平分解能が 1～5m、垂直分解能が<10cm であり、これを実現するためにナノ秒パルスで多波長を時分割して送信できるレーザー光源が求められている。1060nm、1061nm、1064nm の (50ns のパルス変調) LD を種光として、それぞれ Yb ファイバーで増幅して、各波長 (繰り返し 333.3kHz) を結合し、1MHz、20W の出力を得ている。将来的には 16 波長まで拡張していく予定。 <http://www.fibertek.com/>

2. 2 Navy Laser Weapon System (LaWS)

PG 社の溶接用ファイバーレーザーを 6 本束ね、遠方に集光して無人飛行体を落とすことに成功している。2009 年には砂漠の China Lake で実験していたが (海軍のくせに砂漠かよと陰口をたたかれていたそうである)、2010 年にはカリフォルニア・サンタバーバラ沖の海軍が管理している San Nicolas Island で実験を行

い、洋上の無人飛行体を落とすことに成功した。レーザー出射の口径は約 50cm でその中に出射径 15cm の 6 本のレーザーが並んでいる。レーザー光の M2 は 7 程度で、標的上では約 15cm に絞り込まれている（飛行体までの距離は不明）。レーザー出射口の横には、標的を追尾するための望遠鏡と標的を照らす半導体レーザーを備えている。レーザー出力の報告はなかった。

（“Navy Laser Weapon System (LaWS) PR Video” で Google 検索すると、関連の YouTube 動画を見ることができる）

3. ビーム伝搬実験

水平方向 149km の距離に渡るレーザービーム伝送試験がハワイで行われている。プロジェクト名は Coherent Optical Multi Beam Atmospheric Testbed (COMBAT) で、空軍が支援している。ハワイ島の Mauna Loa (標高 2775m) からマウイ島の Haleakala までレーザー光 (波長 $0.53\mu\text{m}$ 、 $1.06\mu\text{m}$ 、 $1.55\mu\text{m}$) を伝送し、口径 3.6m の望遠鏡で受信してビームパターンの変化を観測し、大気伝搬のモデル化を試みている。ほとんど雲の上をビームが伝搬することになるが、そのパターンはスペckルだけであり、これをどうモデル化していくのかは理解できなかった。

実験の様子は、http://www.isr.umd.edu/news/news_story.php?id=4409 で見るることができる。

4. 高出力半導体レーザー

4. 1 National Lidar Mapping Initiative

Science Research Laboratory 社は EPIC と呼ばれるヒートシンク技術 (Heat Removal Capacity $3\text{kW}/\text{cm}^2$) を用いて効率 70%、kW クラスの 1cm-LD バーを開発している。波長は 940nm で駆動電流 900A は出力 940W を達成。バーには $115\mu\text{m}$ の emitter がピッチ $150\mu\text{m}$ で 65 個並んでいる。キャビティ長は 5mm。LD の両面から冷却している。

<http://www.mmdnewswire.com/press-release-distribution-8919.html>

4. 2 Active Heat Sink (AHS)

Science Research Lab.社は、Active heat sink (AHS)と呼ばれる技術をハイパワーLDの冷却に試している。AHSはハイブリッドカー等の車用の半導体チップの冷却への応用が考えられている技術である。AHSでは低融点の液体金属 (Ga-based liquid metal) を冷媒として用いる。ガリウムの融点は 29.8°C 、熱伝導率は水の 70 倍である。電磁的に液体金属を $5\text{m}/\text{s}$ で流し、半導体からの熱を奪い去り、ヒートシンクへ捨てる構造となっている。Funded by Air Force の研究である。 <http://www.aqwest.com/id4.html>

5. VCSEL 励起個体レーザー

通信分野では研究開発が盛んな VCSEL であるが、これを高出力化して固体レーザーの励起に適用した結果が報告されていた。Princeton Optronics 社は波長 808nm で GaAs の VCSEL で Nd:YAG を励起しているのだが、Q-CW の 500W で 2mm 厚の板状 Nd:YAG を側面から励起して、 $320\mu\text{s}$ の励起パルスに対して 34mJ の 1064nm パルスを得ている。スロープ効率は 40%。Q スイッチ動作では、 $220\mu\text{s}$ の励起パルスに対して $4.7\text{mJ}/4\text{ns}$ 、を得ている。946nm でレーザー発振させて二倍高調波をとれば、473nm のブルーを発生させることが可能となる。(この 450nm 近辺のブルーの波長は水中を伝搬しやすいため水中通信にとって

重要な波長である。) 両側面から励起したモジュールを3つ用いて Q-CW 励起で 60mJ 超のパルスエネルギーを達成。Q スイッチ動作では発振波長 946nm で 21mJ/23ns、BBO で波長変換して 473nm で 10mJ/17ns を達成している。スポンサーは Naval Research Laboratory。

Princeton Optonics 社の HP を調べると、軍用に出力 650W、発散角 20mrad の VCSEL 投光器を開発している。赤外の波長で煙や霧の中でも相手を認識できるようにするためのものである。

<http://www.princetonoptronics.com/technology/technology.php>

6. ポストデッドラインペーパー

6. 1 Spectral Beam Combining to 8.2kW

Fraunhofer IAO と Rheinmetall AG (ドイツの defense company) は反射型誘電体回折格子 (回折効率 >98%) を用いて、1040nm~1064nm の間で 8nm おきの 4 波長のファイバーレーザーからの光を結合し、4×2.1kW から 8.2kW のビームを得ていた。結合ビームの M2 は 4.3。ファイバーレーザーは線幅 100kHz、波長可変域 1010~1085nm で、最終アンプはコア/クラッド径が 42/500 μ m のラージモードエリア (LMA) ファイバーで最大出力は 2.2kW。German Federal Office of Defense Technology からの Funding。

6. 2 967W SM all fiber PM YB PCF Amplifier

LORC (Laser and Optics Research Center, US Air Force Academy) は、シングルモード (SM)、偏波保存 (PM) の Yb ドープフォトリック結晶ファイバー (PCF) を用いて、波長 1085nm で 967W を達成していた。PCF ファイバーはコア/クラッド径が 40/500 μ m、NA=0.55、長さ 20m を用いている。励起は 19 emitter/bar の半導体レーザー (LD) を 25bar スタックし、さらに偏波合成して、2×25bar からの出力をファイバー結合し、それを 3 本束ねて 1650W で行っている。コンバイナー部では最大 104°C の温度上昇が観測されていた。

6. 3 Power Scalable Internal Frequency Doubling Scheme for CW Fiber Laser

サザンプトン大学 ORC は 2 倍高調波を効率よく発生させるための Internal resonantly enhanced cavity を提案していた。固体レーザーではボウタイ型のリング共振器中にレーザー媒質と非線形結晶を置いて高効率で波長変換する手法が用いられることがあるが、共振器長をピエゾ素子で精密にコントロールする必要がある。本提案ではファイバー共振器に軽く結合させた (not strongly coupled) ボウタイ型のリング共振器中に非線形結晶を置いている。共振器の安定化も単一周波数の種光も必要としない。90W@975nm の励起で 19W のグリーン光出力を得ている。励起光からグリーン光への変換効率は 23%、波長変換効率は 63% である。回折格子を調整することで 540~560nm の範囲で波長可変となっている。

6. 4 Pump limited 23W monolithic single frequency amplifier

AFRL (Air Force Research Laboratory) は、Field で使うことを念頭に monolithic (= all fiber) なファイバー増幅器を開発している。増幅に用いているファイバーはコア/クラッド径が 25/400 μ m、長さ 7m の偏波保存ファイバーである。Two-Tone Concept と呼ばれている手法で、1035nm (3.6W) と 1064nm (40mW) を種光として用いる。波長 976nm で励起し、1035nm と 1064nm でレーザー増幅させる。1035nm は SBS が起こりにくい波長で、ファイバー内で先に増幅される。1064nm が立ち上がってくると、1035nm の光がフ

イバー内で 1064nm に power transfer し、最終的には 1064nm の単一周波数になる（とのことである）。長さ 6m、温度 10°C の cold spool と長さ 1m、温度 80°C の hot spool を組み合わせて SBS を抑制している。励起パワーの制限で 203W しか得ていないが、励起パワーを上げることでさらに高出力が得られる。

7. その他

NRL (Naval Research Laboratory) が CFRP (炭素繊維強化プラスチック) でできた望遠鏡を開発している。口径 16 インチ (約 400mm) と 1.4m のプロトタイプを製作している。これまで 16 インチタイプは重量が 50kg を越えていたが、CFRP を用いることで約 10kg まで軽量化できる。研磨されたガラスの型を用いて CFRP 製の主鏡を $\lambda/5$ 精度で製作している。現在は口径 1.4m の望遠鏡開発に移行しており、補償光学系と組み合わせて完成すれば約 70kg の重さになる見込みである。

詳細は、http://rsd-www.nrl.navy.mil/7210/7216/LW_Telescope.htm

NASA は宇宙でのレーザー利用を想定し、レーザー部品が宇宙で受ける影響を調べる実験を国際宇宙ステーションで行っている。MISSE (Material International Space Station Experiment) プログラムの MISSE6 の報告が行われていた。2008 年 3 月から 2009 年 8 月までの間、国際宇宙ステーションで 808nm-LD、LD バー、セラミック Y2O3 等 400 点以上のサンプルを宇宙空間に曝露し、主に紫外線や宇宙線によって受ける影響を調べていた。外観の大きな変化は見られておらず、現在デバイスとしての性能をチェックしているところである。

国際宇宙ステーションでの実験の様子は、下記 URL の pdf ファイルで見ることができる。

http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080034516_200803