

ASSP 2011 ショート速報 [最先端固体レーザー技術]

古瀬 裕章 (レーザー技術総合研究所)

会議名 : OSA Advanced Solid State Photonics 2011

開催期間 : 2011 年 2 月 13 日 - 16 日

開催場所 : Ceylan intercontinental hotel, (Istanbul, トルコ)

*****要 約*****

アメリカ光学会(Optical Society of America, OSA)のトピカルミーティングである Advanced Solid State Photonics (ASSP) に出席し、最先端のレーザー光源技術を調査した。ASSP は毎年開催で、2011 年はトルコ、イスタンブールにおいて 2 月 13 日 - 16 日の間、開催された。会場が一家所の単一セッションで進められるのですべての講演を聴講できる。発表内容は近赤外レーザー、中赤外レーザー、コヒーレントビーム結合、非線形光源、超短パルス光源等、多くの光源開発に関する最新の報告が行われた。

1. はじめに

Advanced Solid State Photonics (ASSP) は、今年で 26 回目を迎える OSA 主催の国際会議であり、毎年 2 月に行われている。ASSP では新規発振器、レーザー材料、非線形材料等、今後の発展が大いに期待されるような情報が盛りだくさんである。また高強度物理など学術用途を目的とした大出力光源開発に関する報告もあり、筆者にとっては非常に内容の濃い会議であった。ASSP は単一セッションで進められるため全ての発表を聴講することができ、各分野の最先端技術を知ることができる。今回の参加者は約 200 人程度であり、発表件数は全 131 件 (口頭 50 件 + ポスター 81 件) であった。ドイツの報告が最多で 33 件であり、米国 24 件、フランス 20 件、日本 11 件と続いた。

2. コヒーレントビーム結合 (Coherent Beam Combine: CBC)

近年盛んに CBC の研究が進められており、一昨年米国ノースロップグラマン社が 7 ビーム結合によって 105 kW を達成した。これまではバルク型高出力レーザーによる報告が多かったが、今回の会議では口頭発表報告 5 件のうち 4 件がファイバーレーザーを用いたものであった。そのうち 2 件はフェムト秒ファイバーレーザーを用いており、バンド幅 10 nm 程度のパルス結合に成功していた。

ドイツ、イエナ大学の Tunnerman 教授らのグループは偏光子を利用して 800 fs の超短パルス光を 2 ビームに分け、それぞれをロッド型ファイバーで増幅した後、再度結合し 120 μ J を達成した。片方ビームはピエゾミラーで光路差調整されており、結合後の 2 ビーム偏光度から位相が合うようにフィードバックする方法を採用していた。

フランス国立科学研究センターでも同様に偏光子を利用してパルスビームを 2 ビームに分けた後、各ビームを異なる長さ、コア径の Large Mode Area ファイバーで増幅した。2 ビームの分散量を合わせるために、片方ビームに無添加シングルモードファイバー 2.4 m を伝搬させ、調整した。位相制御には EO 変調器を用いており、RMS $\lambda/20$ の位相安定性を得ている。ビーム結合後、パルス圧縮して 485 fs を達成していた。

3. 近赤外レーザー

半導体レーザー(LD)の高出力化・高輝度化に伴い、LD 励起固体レーザーの開発が盛んに行われている。特に Nd や Yb 添加材料を用いた 1 ミクロン帯の高繰り返し・高エネルギー近赤外レーザーの競争が世界各国で行われており、レーザー核融合や高強度物理への応用が期待されている。近年では添加媒質が Nd から Yb 系材料に代わり、さらに室温から低温(100 K ~ 200 K)で用いた報告が多くなっている。

ドイツ、イエナのグループが低温冷却 Yb:YAG を用いてナノ秒パルスの増幅を行い、1.1 J, 1 Hz を得た。増幅効率は 45% と高く、この種の増幅器としては最高記録である。種光にはパルスエネルギー 100 mJ, パルス幅 6 ns, バンド幅 1.5 nm を用いており、わずかに角度を変えて 8 パス増幅している。試料サイズは ϕ 28 mm, 長さ 8 mm であり、110 K に冷却されていた。レーザー光伝搬のために高精度な像転送を行っており、球面ミラーの端の方で反射したビームの非点収差を補償するよう工夫していた。

一方、フランスのグループでは低温冷却 Yb:CaF₂ を用いて 100 W 級の出力が達成された。励起パワーは 245 W であり、吸収パワーに対する発振効率は 70% に及ぶ。レーザー発振波長は 1034 nm であった。また Yb:CaF₂ は幅広い蛍光幅を有しており、レーザー発振波長のチューニングを行った結果 993 – 1050 nm の広い範囲でレージングしていた。この際、励起波長 986 nm を用いて 993 nm の発振に成功しており、変換効率は 11% であったが、量子損失 0.7% の光源開発に成功していた。これはポストデッドラインセッションにおいても報告された。

4. 超高速レーザー

近年、可視・近赤外波長領域のレーザー開発が進み、パルス幅が光の振動時間程度の極短パルスの発生が可能となった。この極短パルス内の電界振動の位相をキャリアエンベロープ位相 (CEP) と呼ばれ、これがパルス毎に異なる強度時間分布を持つため、いかにして安定させるかが課題であった。今回の報告では CEP 安定化させた数サイクルパルスの OPCPA (Optical Parametric Chirped Pulse Amplification) 光源に関する口頭発表が複数行われた。

イタリアのグループは可視域から中赤外域の広範囲にわたって波長可変な数サイクルパルス発生を達成していた。種光にはチタンサファイアレーザー(800 nm, 80 μ J, 1 kHz)を用い、1 ビームをサファイアプレートに通して白色光とし、光パラメトリック増幅 (OPA) を行っていた。非線形材料には BBO (1000 – 1700 nm) あるいは PPSLT (1200 – 2200 nm) を用いており、中赤外 OPA (2500 – 4000 nm) には 2 段の OPA を行っていた。パルス幅は、近赤外域で 8.5 fs, 中赤外域で 25 fs を達成していた。

また、ドイツハノーファー大学では、テーブルトップのコンパクトな OPCPA システムが開発されていた。主発振器には CEP ロックのチタンサファイアレーザー(580–1200 nm)を用いており、近赤外の一部を Yb:YAG 再生増幅器の種光に用いている。OPCPA は 2 段準備されており、励起には Yb:YAG の Thin Disk 再生増幅器出力から SHG 変換(17.5 μ J, 515 nm)して利用していた。OPA にはそれぞれ長さ 3 mm, 5 mm の BBO 結晶を用いており、その後チャープミラー対を用いてパルス圧縮していた。パルス圧縮後のエネルギーは 3.3 μ J であり、バンド幅 400 nm 程度、パルス幅 5.7 fs を達成していた。CEP は 10 秒程度安定を保っていた。

5. ラマンレーザー

1.1 – 1.5 μ m の波長光源を実現するために、通常の 1 ミクロン帯レーザーからのラマンシフトを用いたラマンレーザーに関する報告があった。

イギリスのグループでは、面発光半導体レーザーVECSELを使って1136-1154.5 nmのCW波長可変ラマンレーザーを開発した。ラマン材料にはKGWを使っており、出力120 mWを得ていた。VECSELは1044-1061 nmでレーズング可能で、中に複屈折フィルターを入れて波長チューニングできる。その後ラマンシフトによって波長1135-1155 nmのレーザー発振を行っていた。

また同グループによって、高出力ダイヤモンドラマンレーザーが開発されていた。出力は1.6 Wでこの種のレーザーでは最大出力である。ラマン材料にCVD法で作製した人工ダイヤモンド(3.1 mm x 1.6 mm x 4 mm)を使用しており、低複屈折で熱伝導率が非常に高い(800 W/mK)点の特長である。発振波長は1240 nmであり、Qスイッチ動作では2.8 Wが達成されていた。

6. 超短パルス発振器

Yb系材料の開発が進み、1 μm帯の超短パルス発振器が多数開発されている。ファイバー、バルクを用いてそれぞれ28 fs, 35 fsが達成されており、今後は産業加工用の高出力超短パルス発振器が要求されている。

スイス、Keller教授のグループによって、Thin Diskレーザーを用いた超短パルス発振器の最近の動向に関するレビューがあった。発振器の高出力化の点では、Thin Disk方式は他の増幅方式(ロッド、スラブ等)よりも熱による影響を受けにくいいため高出力化が可能である。従来レーザー材料にはYb:YAGが主に用いられてきたが、バンド幅が広くないためワット級出力では700 fs程度が限界であった。彼女らは新しい材料としてLu₂O₃に注目し、140 W, 25 μJ, 738 fsの高出力超短パルス光源を開発している。また、短パルス化に重点を置いた場合は227 fs, 7.2 Wが得られている。今後は100 fs以下の新しいレーザー材料として、Yb:LuSCO₃やYb:KYW等が考えられている。

ドイツ、Konstanz大学ではパルスエネルギー30 μJのThin Disk発振器が開発されていた。励起光は試料を20パスするが吸収率は70%に満たない。最大平均出力は108 Wであり、パルス幅は1040 fsであった。光変換効率は励起光の吸収率が悪いにもかかわらず、30%を超えていた。

ドイツ、Tunnerman教授らのグループは、Yb添加Large Mode Areaファイバー内で非線形偏波回転を利用した超短パルス発振器を開発し、平均出力22 Wを達成した。これまでにシングルモードファイバーを利用した発振器がこれまでに開発されており、28 fsの記録が報告されているが、出力は100 mW程度である。彼らはファイバーコア径を広げることによって非線形による影響を低減し高出力化を試みた。ファイバー入力前にガラスブロック(30 cm)をPre-Strecherとして配置しており、またバンド幅16 nmの複屈折フィルターを用いてソリトン型安定発振器を試みていた。出力時のパルス幅は2.4 psが得られており、99 fsまで圧縮可能と見積もられている。

7. おわりに

筆者は奈良で行われた2008年会議から毎年参加しており、最先端レーザー技術の世界動向を目の当たりにしてきた。これまでの会議報告では透過性セラミックスを用いた高出力レーザーや新規材料に関する報告が目をつけたが、近年会議ではファイバーを用いた報告が多い。ファイバーレーザーの欠点是非線形やダメージ問題によって高強度化が制限される点であるため、産業応用分野ではCWはファイバーレーザーが、超短パルスではバルク型増幅器(特にThin Disk)が有効と考えている。しかし今回報告したように、LMAファイバーの使用や、ビーム結合技術によって出力限界値の向上を図った研究が増えており、今後の展開に注目したい。次回ASSPは2012年1月29日-2月1日の間、米国サンディエゴで行われる予定である。