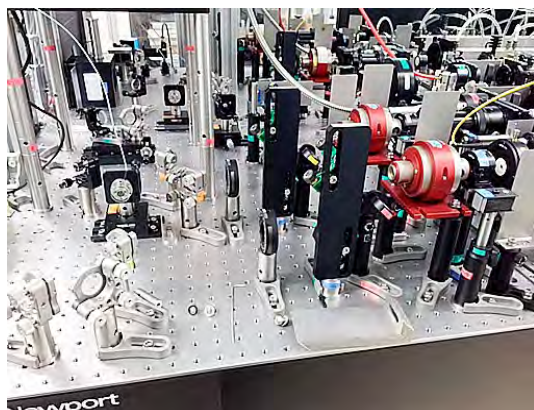
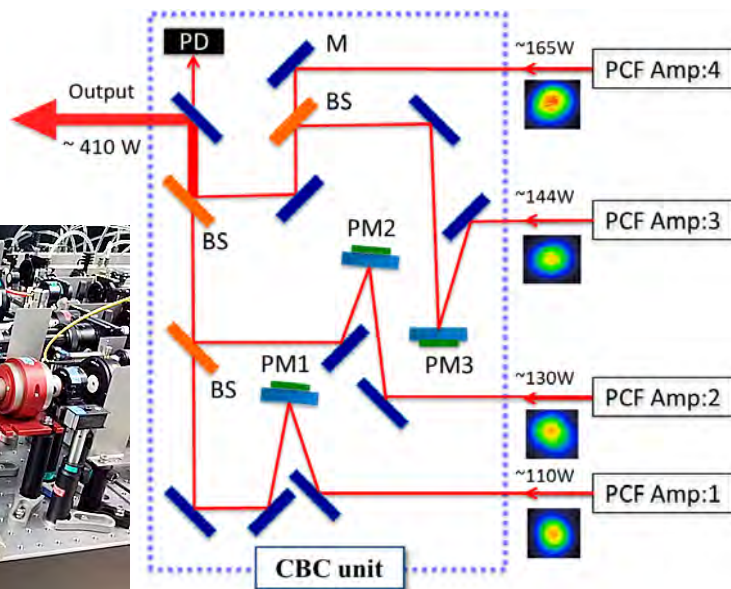


CONTENTS

- コヒーレントビーム結合技術を用いた
高出力レーザーの開発
- SPIE Advanced Lithography国際会議参加報告
- 【光と蔭】人生の言葉
- 主な学会等報告予定



【表紙図】重ねアパーチャ型コヒーレントビーム結合ユニットの模式図と装置写真(M：ミラー、BS：ビームスプリッター、PM1～PM3：ピエゾミラー、PD：フォトダイオード)



コヒーレントビーム結合技術を用いた 高出力レーザーの開発

レーザープロセス研究チーム

ハイク コスロービアン、北村俊幸

■はじめに

高輝度、高品質なキロワット級ハイパワーレーザーの開発は、近年世界的に行われている高出力レーザーの現実的な応用技術の進歩に伴い、今日ますますその重要性を増している。我々は、FRP材料の切削/開穴などの精密加工技術へのレーザー応用のため、サイドローブが発生しない重ねアパーチャ(filled-aperture, FA)方式による独自のコヒーレントビーム結合(coherent beam combining, CBC)技術を適用した、複数ビーム統合型高出力レーザーの開発を進めている。前回、低出力ビームを用いたCBCの原理検証実験について述べた(Laser Cross No.323, 2015 Feb.)が、本報告では、実際に高平均出力、高輝度ナノ秒パルスレーザーを光源に用いたCBC実験結果について述べる。

■CBCシステム概要

CBCの重要な課題は、環境要因などで個別に変化する複数ビームの位相を高速制御し結合ビーム出力を最大化、かつ安定化(フェーズロック)させることにある。表紙図にCBC実験(4ビーム結合)の光学配置図およびCBCユニットの写真を示す。フォトダイオード(PD)により検知した結合ビームの出力信号は、3本のビーム光路上にそれぞれ配置したピエゾミラー(PM1～PM3)のフィードバック制御信号として用いられる。4本目は参照ビームであり、位相制御は行わない。PD信号は、ベルヌーイ離散確率分布に基づく確率的並列勾配降下法(SPGD)アルゴリズムを用いたPMへのフィードバックループにより最大化される。また我々は、各ビームの位相制御を高速化するため100kHzのサンプリング周波数を持つFPGA(Field Programmable Gate Array,

次ページへつづく▶



コヒーレントビーム結合技術を用いた高出力レーザーの開発

NI社cRIO-9067)を新たに導入した。その結果、CBCシステム全体の制御速度を約4kHz(ピエゾミラー(アクチュエータ)の応答周波数)まで高速化することに成功している。結合用ビーム光源には、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターにおいて開発された、4台のYbドープファイバーレーザーMOPA(主発振器出力増幅器)システムを用いた。レーザー増幅システムの主な仕様は、シングルモード($M^2 \sim 1.2$)、パルス幅400ps $\sim$ 10ns(可変)、繰り返し周波数500kHz $\sim$ 1MHz(可変)、波長1040 $\sim$ 1060nm(可変)、平均出力120W $\sim$ 150W(レーザーシステムにより異なる)である。

■高出力レーザーを用いたCBC実験

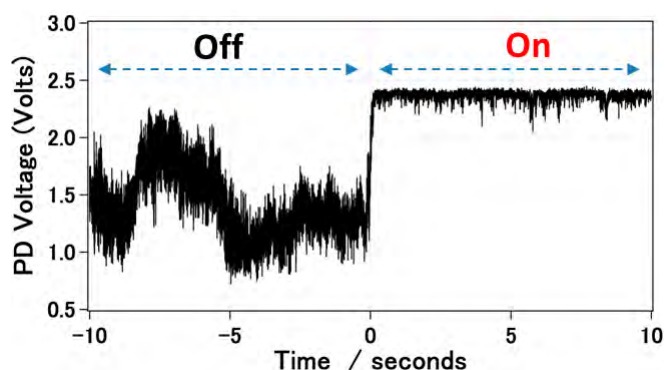
図1に、4ビーム結合実験におけるCBCユニット作動前後のPD信号強度の時間変化を示す。ユニット作動前($t < 0$ s)には信号強度は不安定でランダムに変化しているが、作動直後に4本のビームはフェーズロックされ、信号強度は最大値に収束、かつ安定化する。図2に、4ビーム結合時の結合ビーム出力の観測例を示す。観測開始から約1分後にレーザーを作動させ、その45秒後にCBCユニットを作動、4分30秒間動作を継続した。結合ビーム出力は約400Wで収束し、高い出力安定性を示すことがわかる。実験の結果、得られた結合ビームの最大出力は410Wであった。一方、出力値と入力値から算出したビーム結合効率は約75%であり、前回報告した低出力ビームでのCBC実験結果($\sim 90\%$)に比べても低い効率である。この主な要因には、ビーム結合最終段階での2本の結合ビーム出力のアンバランス(309W vs. 204W)、4台のレーザー増幅システムのうち1台ないしは2台でみられた高出力時のモード不安定性、レーザー媒質の自然輻射増幅光(ASE)の影響、ファイバー

プリアンプから発生する高周波(>5 kHz)ノイズがピエゾアクチュエータの制御(<4 kHz)に与える影響、などが考えられる。今後、これらの要因を補償しビーム結合効率の向上を目指す。さらに我々は現在、CBCユニット内の光学ミラー調整の自動化を考えている。これにより入力ビームのポインティング補正など光学系調整にかかる時間を大幅に短縮できる。

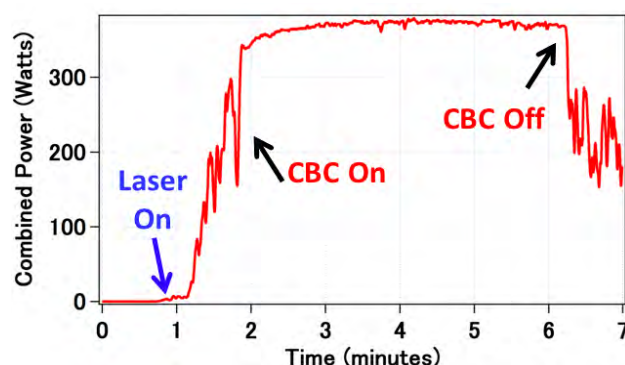
■まとめ

FRP材料の切削/開穴などの精密加工産業への高平均出力レーザーの応用のため、我々は単一の光検知器を用いたシンプルで低コストの重ねアパーチャ型コヒーレントビーム結合(CBC)技術を開発し、本研究において実際に高平均出力、高繰り返しナノ秒パルスレーザーMOPAシステムを光源に用いて4ビームCBC実験を行った。その結果、最大で410Wの安定な結合ビーム出力を得たが、結合効率は約75%であった。結合効率低下の主な要因の一つに、レーザーシステムのファイバープリアンプから発生する高周波(>5 kHz)ノイズのピエゾアクチュエータへの影響が挙げられる。この要因を補償するためにはアクチュエータの応答周波数の高速化や、EOM(電気光学変調器)などさらに高速の位相制御装置の導入が必要である。今後はこれらの要因を補償し、ビーム結合効率の向上を目指す。

謝辞：本研究の実施にあたり、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターコヒーレンス制御グループならびに高出力レーザーグループの多大な協力を得た。また本研究の一部は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援の下行われた。ご協力頂いた方々に深く感謝致します。



【図1】CBCユニット作動前後のPD信号強度の時間変化(4ビーム結合) Off: CBC非動作時、On: CBC動作時



【図2】高出力レーザー(4ビーム)結合実験時の結合出力観測例 Laser On: 入力レーザー作動開始、CBC On: CBCユニット作動開始、CBC Off: CBCユニット作動停止

SPIE Advanced Lithography

国際会議参加報告

理論・シミュレーション研究チーム 砂原 淳

◆リソグラフィーに関する国際会議

2016年2月21日から25日まで、米国サンノゼのコンベンションセンターで開催されたSPIE (International

Society for optics and photonics) Advanced Lithography 会議に出席した。この会議はリソグラフィー全般をカバーし、世界から多数の研究者が集まる国際会議

山中千代衛



人生の言葉

大学生生活50年にもなると色々の先生方、先輩、同僚、さらには教えた研究者その他との生活の中から人生の言葉が浮かんでくる。工学部の先生方では吹田徳雄先生、山村 豊先生には特にお世話になった。吹田先生の教えは得意のテニスになぞらえて「仕事には緩急をつけよ」であり、山村先生は「誠心誠意」である。

また、七里義雄先生には特別に指導を頂いた。竹山説三先生、熊谷三郎先生、菅田栄治先生、山口二郎先生からは大学人として必要な事項をお教え頂いた。

山村雄一総長には「レーザー核融合研究センター設立」以来、大学との打合せ、文部省との交渉等で特別にご指導してもらった。国内外からの視察者がきた時は必ず同席賜り、また色々の場で貴重な日頃の蘊蓄をお教え頂いた。

弟の山村好弘君とは航空学科以来の無二の友人で雄一先生のことはよく聞かされた。非常に優秀な人物で、阪大医学部を戦争で繰上げて卒業され、昭和17年海軍軍医となり、当初は駆逐艦文月で南方作戦に参加し、その後航空隊の軍医長として西部ニューギニア作戦に参加された。その時日米の科学技術力の差が質量共あまりにも大きいことを身をもって痛感された由である。

ある夜飛行隊長と話していた時「今度の戦では生きて帰れない。君は何とか生還して日本の再建に尽してくれ」といわれ、この言葉は一生耳から離れなかったそうである。

特に航空隊の搭乗員は皆素晴らしい連中で全く私がない人達だったという。その9割が戦死し、飛行機もなくなり、現地解散となって、残った飛行機で辛うじて台湾に脱出された。

復員後は、日本の再建に自分が出来ることは科学技術の発展に貢献することと信じ、阪大理学部赤堀研究室で「生化学の基礎」を学び、刀根山病院で「結核肺空洞形成」の研究を行い、九州大学医化学教授を経て、大阪大学第三内科教授として多くの優秀な後継者を養成すると共に、戦後の発展に多大の寄与をされたのである。

学長になられ「山中君細胞工学研究センターを作るからレーザー研究拡張計画はちょっと待ってくれ」と言われOKした。その後先生は退官され一層忙しくされていた。レーザー研の拡大は夢となった。

「地域に生き、世界に伸びる」がモットーでよく「夢みて行い、考えて祈る」と説かれていた。記念館には「天の時、地の利、人の和」の碑文が残されている。死ぬまで仕事に従事され全力疾走の一生であった。好弘君によれば遺骨は太平洋にと指示があったので、ハワイのマウイ島沖に散骨されたという。

残念なことにこの好弘君はこの1月13日に亡くなった。いつも愉快地に話が進んだ親友を失い残念この上ない。もう彼とも会えない。心より哀悼の念を捧げます。どうか安らかに。

ところでこの山村大先輩に見習って筆者の人生のモットーは「知天時 尽人事」である。 【名誉所長】

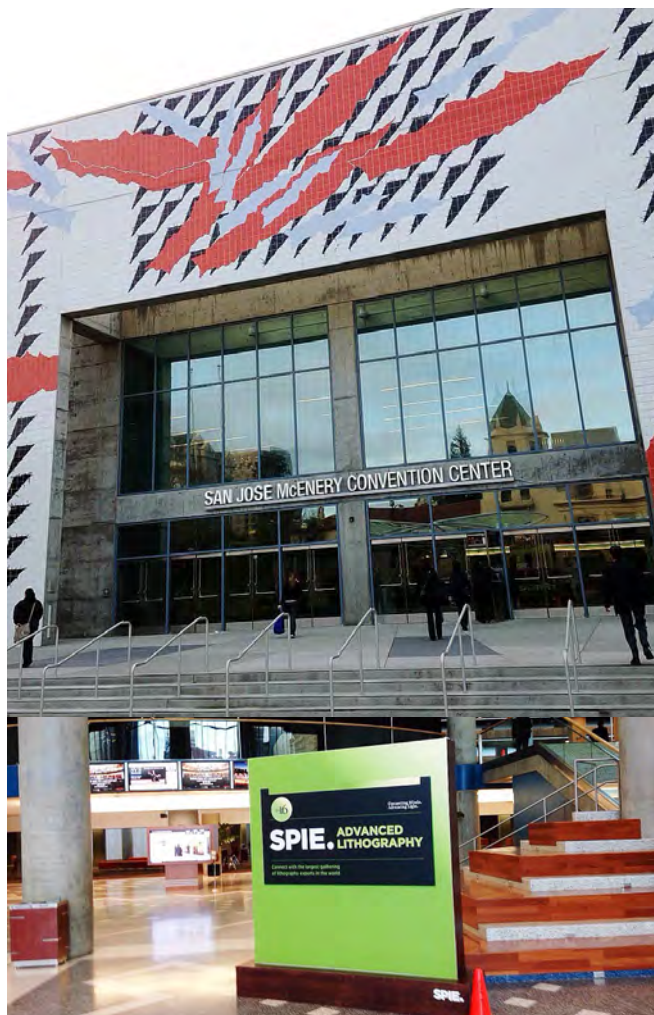
である。極端紫外光(Extreme Ultra Violet : EUV)を用いたEUVリソグラフィーも主要セッションの一つであり、Intel社やTSMC社など、世界の半導体製造のリーディングカンパニー、露光装置メーカー、大学や研究所の研究者が多数参加、このセッションだけで200名以上が集い、半導体製造へのEUVリソグラフィー導入に向けた光源システムやレジストの開発など開発課題が熱く議論された。

◆高まるEUVリソグラフィー実用化への期待

プレナリーセッションでは、TSMC社のAnthony Yenから“EUV Lithography: From the Very Beginning to the Eve of Manufacturing”と題した講演が行われた。EUVリソグラフィーの歴史を振り返りつつ、EUVリソグラフィーの今後の見通しが発表され、業界全体がEUVリソグラフィーに対してポジティブであることを印象づけた。最新の試算では回路線幅7nm以下では現在の液浸と多重露光の組み合わせよりもEUVリソグラフィーを用いた半導体製造コストの方が安くなるとのことである。EUV光源では米国Cymer社と日本のギガフォトン社がそれぞれ発表した。Cymer社からバーストモードで200WのEUV出力が発表された。これは“EUV光源パワーが足りない”とか、“光源開発計画(ロードマップ)が常に後ろに遅れる”といわれ続けてきたEUV光源開発の今までのネガティブな印象を打破する素晴らしい結果である。ギガフォトン社からは、EUV出力向上に加え、世界最高EUV変換効率5.5%が発表されるなど、ここに来て光源開発は新しいステージに入った印象である。Cymerの親会社ASMLからは今年250WのEUV出力達成の見込み、2018年からは250W以上、2021年には500Wを狙う計画が発表された。数年前だとこのようなロードマップはどうせ計画どおり行かないと見なされたかもしれないが、今や、光源パワーはon trackという人もいるぐらいであり、現実味を持って受け取られていた。またCymer社は2018年から、現在のギガフォトン社方式と同様にプリパルスレーザーをCO₂からYAGに変えることを発表した。ギガフォトン社を中心とする日本のEUV共同研究のやってきたことが間違っていなかったことを図らずも示す

ことになったのは痛快であった。

現実のEUVリソグラフィーにおいては光源出力の増加だけでなく、装置の利用効率(Availability)の向上も重要な課題である。ASML社ではドロップレットジェネレータの改良や、以前は丸1日かかっていたドロップレットジェネレータの交換を16時間に短縮するなど、さまざまな努力でAvailabilityの向上が図られ、現在最高で70%レベルのAvailabilityをさらに向上させることなどが発表された。EUV光源を使って14nmプロセスの半導体露光テストなどが世界で始まっており、1000 ウエハー/dayの量産レベルを超える成果も発表された。半導体製造へのEUVリソグラフィーの導入はますます現実のものとなりつつある。



【写真】国際会議会場(サンノゼコンベンションセンター)

主な学会等報告予定

3月24日(木)～27日(日) 日本化学会第96春季年会(同志社大学京田辺キャンパス)

谷口 誠治「ヒト由来D-アミノ酸酸化酵素の蛍光ダイナミクス：機能阻害効果の検討」

Laser Cross No.336 2016, Mar.

<http://www.ilt.or.jp>

発行／公益財団法人レーザー技術総合研究所 編集者代表／谷口誠治 〒550-0004 大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センタービル4F TEL(06)6443-6311 FAX(06)6443-6313

掲載記事の内容に関するお問い合わせは、編集者代表・谷口誠治までお願いいたします。
(TEL:06-6879-8761, FAX:06-6877-0900, E-mail:taniguchi@ilt.or.jp)