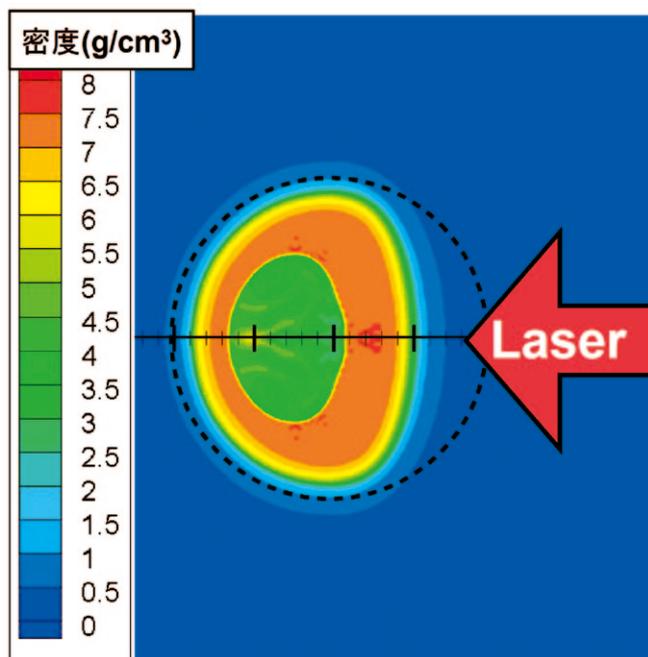


## CONTENTS

- 高出力化の課題を克服しつつある極端紫外(EUV)光源
- 第5回日米非破壊試験シンポジウム参加報告
- 【光と蔭】学会のことども
- 新入研究員
- 主な学会等報告予定



【表紙図】レーザー照射されたスズドロップレットの密度分布計算例

## 高出力化の課題を克服しつつある 極端紫外(EUV)光源

理論・シミュレーションチーム 砂原淳、竹内靖

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター 西原功修

### ■ 高まるEUV光高出力化への期待

波長13.5nmの極端紫外線(EUV)は、微細化を続ける半導体リソグラフィ用の光源として期待されている。現在は波長193nmのArFレーザーを光源に用い、液浸法や多重露光技術等を駆使した製造法が主であるが、多重露光では半導体製造コストが増大するため、よりシンプルな露光が可能なEUV光が求められている。しかし、EUV光源出力は量産機用光源としての当面の目標である180W-250Wに未だ到達しておらず、今年2月のSPIE Advanced Lithography国際会議でも、世界2大光源メーカー、米国のCYMER社と日本のギガフォトン社から出力70W、43Wがそれぞれ報告されるにとどまっていた。しかし、7月1日にギガフォトン社

から94W達成のプレスリリースがなされ、ここに来て、EUV光源実現の大きな壁であった光源出力の増大への期待が高まっている。

このギガフォトン社の成果を物理モデリングの観点から見ると、二つの要素から成り立っている。一つは炭酸ガスレーザーの出力向上であり、もう一つはレーザーからEUV光への変換効率の向上である。前者について、ギガフォトン社は三菱電機と共に炭酸ガスレーザーの出力を従来の8kWから倍以上に増大させた。また、変換効率についてもEUV発光に用いるスズプラズマのモデリングの進展により、4.2%程度まで向上した。これは我々が平成15～19年の文科省リーディングプロジェクトで示したEUV変換効率の理論限界6～8%に近

次ページへつづく▶

づくものである。

### ■理論計算によるスズプラズマ生成条件の最適化

レーザー総研では2003年以来、阪大レーザー研を始めとする大学、ギガフォトン社などの企業と協力して開発にあたってきた。現在はギガフォトン社を中心とするNEDOプロジェクトが進行中であり、光源出力の向上を目指し、高効率化に向けたモデリングを行っている。我々が考えているダブルパルス方式は、2段階に分けてスズドロップレットにレーザーを照射する。まず、プリパルスレーザーをスズドロップレットに照射し、適切な分布を持つスズプリプラズマを発生させてから、そこに炭酸ガスレーザーを照射するというものである。この方式を用いることにより、スズドロップレットに直接炭酸ガスレーザーを照射する場合に比べ、炭酸ガスレーザーの吸収率を倍増させ、結果として、高効率でEUV光を発生させることが可能になる。このダブルパルス照射方式による炭酸ガスレーザーの吸収率増大とEUV変換効率の増大は、輻射流体計算により理論的に示されてきた。これに対し、昨年度より、阪大レーザー研の松隈氏らにより、スズターゲットへの炭酸ガスレーザーの直接照射における吸収率評価が行われており、理論予測をサポートする結果が示されつつある。

また、「適切」な密度分布をもつプリプラズマを生成するため、レーザー照射されたスズドロップレットの挙動に関する研究も昨年度から本年度にかけて大きく進んだ。レーザー照射されたドロップレットが気体と液体の混合領域に入り、それによりドロップレットの

挙動は大きく影響を受ける。レーザー照射されたドロップレットは条件次第で中心部に低密度領域が形成される(表紙図)。目下、ダイナミクスの理解並びに制御法について見いだすべく、輻射流体シミュレーションコードの開発と共にコードを用いた計算に全力を挙げているところである。

### ■シミュレーション・実験比較による検証を開始

理論・シミュレーションと実際のプラズマの比較によるプラズマ条件最適化も新たな展開を迎えている。九州大学の内野教授、富田助教等により開発されてきた、スズEUVプラズマに対するトムソン散乱計測が実験現場に導入されつつあり、放射流体シミュレーションとトムソン散乱計測で測定された実際のプラズマが定量的に比較されようとしている。このトムソン散乱計測は解析次第で多くのプラズマの情報が得られる。即ち、プラズマの密度、温度、電離度、速度等の測定場所を変化させながらの計測が可能であり、輻射流体シミュレーションの計算結果を定量的に検証する事が可能である。これにより、我々は、スズプラズマの一段高い理解と更なる高効率化を目指して解析を進めている。

### ■さらなる高出力化にむけて

ギガフォトン社は今年度中に150Wの光源出力達成を目指す旨、プレスリリースにて発表した。炭酸ガスレーザーの出力増加とEUV変換効率の向上を合わせることで、量産機光源としての当面の目標、EUV出力180W-250Wを達成できるか否か、この一年が勝負の分かれ目となると認識している。

研究開発の展開が面白くなってきた。

# 第5回日米非破壊試験シンポジウム参加報告

レーザー計測研究チーム オレグ コチャエフ

2014年6月16日～20日にマウイ島マケナビーチ&ゴルフリゾート(ハワイ)で開催された第5回日米非破壊試験シンポジウム(The Fifth US-Japan NDT Symposium on Emerging NDE Capabilities for a Safer World)に参加する機会を得た。会議名に示される通り本シンポジウムは、より安全な世界の構築に寄与するため非破壊評価技術に関する進歩的で斬新なアイデアやアプローチを提示、議論することで、日米の

科学者やエンジニア、実務者間の科学的、技術的な情報を交換し交流を深めるとともに、関連研究の進捗状況と今後の方向性をまとめる場として位置づけられている。本シンポジウムは日本非破壊検査協会(JSNDI)と米国非破壊試験協会(ASNT)の共催で4～5年に一度のペースで開催されており、第5回を数える今回を含めいづれもハワイでの開催となっている。シンポジウムでは(複合)材料評価、金属疲労検査、X線撮影法、超音波

法、磁場による手法等、非破壊評価に関するさまざまなセッションが設定され、日米の研究者や技術者から60件以上の最新の研究成果が報告された。

筆者は“Actual Laser-based Methods for Remote Inspection of Shinkansen Tunnels and Highway Bridges”（レーザーをベースとした実用的手法による新幹線トンネルおよび高架橋の遠隔評価）と題し、「レーザー超音波」のセッションで研究発表を行った。セッションの司会は、レーザー超音波による検査技術開発のリーダーの一人である落合誠博士((株)東芝)で

あった。いつものように発表は注目を集め、有益で興味深い議論を行うことができた。続いて、当研究所が研究協力を行った東工大廣瀬壯一教授による道路橋の非破壊検査に関する講演があった。彼らは非破壊検査のための2ビームプローブレーザーシステムの開発に関し昨年当研究所で実験を行っており、このシステムに関する部分は筆者の発表と同様のものである。そのため筆者は講演後の議論に参加し、いくつかなされたトリッキーな質問への回答を補助することとなった。

我々が行った発表は、我々の研究チームが遠隔検査

山中千代衛



……207

## 学会のことども

高電圧工学・電気材料・物性物理学・放電工学・プラズマ核融合科学・

レーザー工学などを専門に研究していたから、長年多くの学会に所属してきた。

電気学会、電気通信情報学会、応用物理学会、物理学会、放電学会、原子力学会、プラズマ核融合学会、レーザー学会、IEEE Life Fellow、APS Fellow等である。

先日久しぶりに電気学会元会長会の呼び出しがあった。ここしばらく1年1回の元会長から意見を聴く会は途絶えていたのが、会長の方針が変わったのかこの度復活したようである。電気学会といえば2万人の会員の半数が東京支部に属し、残りの半分が関西支部、そして残りの1/4が全国に分布している。したがって会長も殆んど東京地区からの選出が多く、関西から今までに筆者を含めて3名しかない。筆者の場合は菅田栄治先生、山口次郎先生が推薦の労をとって下さり、電気学会創立百周年目の会長に選出された。百周年記念式典を当時の皇太子殿下同妃殿下をお招きして盛大に開催する栄に浴した。全く希有のことであった。

学会といえば、岡田 実先生、伏見康治先生が主催された超高温研究会に参加させて頂き、研究会合の必要性を実感した。昭和30年代岡田先生はいち早く核融合の重要性に関心を持たれ、伊藤 博氏を立てて超高温研究施設を作られた。荒田吉明君がリニアピンチの実験を行っていた。この会は後日、高温学会となり荒田教授の大活躍の場となった。レーザー学会はこのひそみに倣ったもので、昭和48年レーザー懇談会が発足し、4年後社団法人レーザー学会となった。これはレーザー専門の学会として阪大を中心に爾來大いに活動を続けている。数年おくれでプラズマ核融合学会が名大プラズマ研究所を中心に発足し、山本賢三先生の下で発展した。

最近では研究者の守備範囲が段々専門化し、周辺の分野に対する目くばりが不足勝ちである。研究はそれぞれの道を歩んでも、近隣の分野から新しい洞察をうることがしばしばある。須く周辺分野への関心を持ち続けることが望ましい。

岡田 実先生は電気工学の出身であるが、広い視野と新しい展望を兼ね備えられ、溶接研究所を創立し、阪大工学部の吹田移転を推進され、学長も務められた。伏見康治先生は阪大理学部の大重鎮であり、後に名古屋大学プラズマ研究所の所長を務められ、プラズマ核融合研究の司令塔になられた。また学術会議議長として日本の科学研究に多大の貢献を残された。

学会はまさにこのような人物と直接交流が許される貴重な場である。研究者はもっともっと学会の活動を重視し、広い分野から自らへの成長の糧を吸収し、将来への展望を拡大し、充実した研究を展開してほしいものだ。

【名誉所長】



【写真1】筆者の発表時の様子

技術に関していまだ主導的な地位にあることを示した。我々は原則として装置の開発だけでなく、実際の検査結果を提示しており、レーザーを用いた検査手法の実際の用途を実証している。我々の手法はすでにフィールド条件(新幹線トンネル、高架橋)での検査能力テストにパスしているのである。

本シンポジウムに参加し、参加組織や講演内容の水準が総じて高いと感じた。唯一残念だったのは民間の検査装置の展示がなかった点であるが、我々は今後もこのイベントに積極的に参加していくべきであると考えている。最後になるが、今回の会場は美しいハワイのビーチからわずか数百メートルという場所であった。良い会議は良い会場で、ということである。



【写真2】会議場近くのビーチにて

## 新入研究員

理論・シミュレーションチーム **竹内 靖**

たけうち やすし



平成26年6月26日をもってレーザー技術総合研究所に着任しました、竹内 靖と申します。理論・シミュレーションチームの研究員として、現在、砂原 研究員と共に、極端紫外(EUV)光源としての液滴スズ(Sn)のレーザーアブレーションの数値シミュレーションに主に従事しています。

竹内のこれまでの研究分野は、以下に大別されます；[1] 計算物理学、特に、分子動力学(MD)シミュレーションによる物質構造と物性の計算、[2] 非平衡統計力学、特に、凝縮系における輸送現象や緩和現象の統計力学、[3] (惑星内部に相当する)高温高压物質の物性物理学、特に、実験測定の困難な条件下にある物質の数値シミュレーション。大学院(東京大学)では地球惑星科学を専攻し、それ以来、マグマ(もしくは無機ガラス形成液体や熔融スラグなど)、すなわち液体シリカ( $\text{SiO}_2$ )およびシリケート( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ など)の高压構造転移や長時間構造緩和を主な研究テーマとしてきました。その他、(独)物質・材料研究機構(NIMS)在籍時に、水素吸蔵合金の研究に従事した経験も有します。以上の経歴から、幅広い分野の科学技術に親しみ、その経験と技能、知識を生かし、当研究所、ひいては当該分野のさらなる発展に寄与する所存です。加えて、その職務を通じ、自らの研究活動の領域を拡げることをも目指し、そのための御教示を研究所内外の皆様にお願ひする次第です。

以上で、簡単ながら、竹内の着任の挨拶とさせていただきます。

## 主な学会等報告予定

- 10月13日(月)~17日(金) IAEA Fusion Energy Conference 2014 (ロシア・サンクトペテルブルク)  
砂原 淳 「Direct heating of imploded plasma by fast-ions in the fast-ignition scheme」
- 10月19日(日)~23日(木) ICALEO 2014 (米国・サンディエゴ)  
藤田 雅之 「Micromachining of CFRP with Ultra-Short Laser Pulses」
- 10月27日(月)~31日(金) 56th Annual Meeting of the APS Division of Plasma(米国・ニューオリンズ)  
砂原 淳 「Irradiation of ultra-intense laser on the inner surface of CD shell to generate the hot spark」