

# LASER CROSS

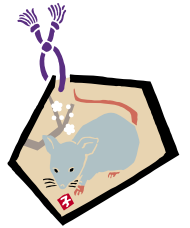
ISSN 0914-9805  
Institute for Laser Technology  
レーザー・クロス

2008, Jan.

No. 238

## CONTENTS

- レーザー技術総合研究所所員一同
- 【謹賀新年】年頭所感「運用の妙は一心に存す」
- レーザー核融合炉チェンバー液体壁の
- アブレーションブルームのダイナミクス
- EUVL2007出張報告



## 謹賀新年



レーザー技術総合研究所所員一同

### 【写真】

前列左より 藤田雅之、中塚正大、稲崎 登、山中千代衛所長、今崎一夫、毛利明博、田畑則一、又賀 昇  
中列左より 田中健一、坂井寛久、谷口誠治、島田義則、コスロービアン ハイク、コチャエフ オレグ、李 大治、小野田理恵、片岡紀子  
後列左より 佐伯 拓、砂原 淳、山浦道照、本越伸二、古河裕之、古瀬裕章、幸脇朱美

# 謹賀新年

## 年頭所感「運用の妙は一心に存す」

財団法人 レーザー技術総合研究所 所長 山中千代衛

2008年、平成20年戊子(つちのえね)の新年を迎え、皆様のご健康とご繁栄をお祈りし正月のご祝辞を申し上げます。

(財)レーザー技術総合研究所は昨年創立20周年を迎え盛大に記念行事を催すことが出来ました。光陰矢の如しと申しますが、まことに時のたつのは早いもので、光科学技術の運用に明け暮れた努力の二昔という20年の年月でありました。この間、関係者の皆様から不断のご支持、ご鞭撻を頂きお蔭様で成功裡に推進して参りました。ここに心より厚くお礼申し上げます。

わが国の経済も90年代の低迷を脱しようやく好況を迎えましたが、昨年来の米国サブプライムローンの破綻から世界の情勢に変化が生じ、景気の牽引力が米国から失われつつあるやに見受けられます。21世紀の新しい世界秩序が構成に向かう時代の胎動を感じます。BRIC'sが台頭し欧州連合が益々力を伸ばしつつある今日、わが国も自らの事は自らで決しアジアの一大勢力としての実力を貯えねばなりません。

今世紀は「光の時代」と言われますが、レーザーを中心とした光科学技術の進展に益々力を傾注して行くことが望まれています。産学官の連携により学術の発展を計り、科学技術の充実を進め、産業を振興することはまさにわが国の国是であります。このために大学はその基礎・基盤を教育・研究することが使命であり、産業界はその知見の上に新しい成果を産み出すことが求められます。当研究所はその中間に立って両者の橋渡しを果すこと、基礎研究から実用化へ向けて存在するいわゆるダーウィンの海を乗り越える難しい役割を担っています。

このため研究陣としてはレーザーエネルギー研究チーム、レーザー加工計測研究チーム、レーザーバイオ科学研究チーム、レーザー理論シミュレーション研究チームの4チームからなる20人余りの研究者が自主、共同、委託研究と5つのプロジェクト研究(太陽光励起レーザー、レーザー超音波探傷、EUV光源開発、MEMS技術開発、レーザーγ線による核廃棄物処理)に従事しています。またレーザー技術開発室を設け、皆様からの技術相談に応じております。

私達の目標とする処は大阪大学レーザーエネルギー学研究中心、(社)レーザー学会と力を合わせて、レーザー科学技術の振興を図り、三位一体の運用を心がけ、科学技術立国の一端を担うべく努力することです。

創立20周年の節目を迎え「運用の妙は一心に存す」をモットーとして初心に帰り体制を整えて前進します。つきましては今後とも相変りませず関係各位のご支援をお願い申し上げます。

# レーザー核融合炉チェンバー液体壁の アブレーションプルームのダイナミクス

理論・シミュレーションチーム 古河裕之

## ■レーザー核融合炉液体壁チェンバーにおける 研究課題

筆者は、大阪大学レーザーエネルギー学研究センター乗松教授との共同研究として、レーザー核融合炉の設計研究を行っている。IFE FORUM、及び大阪大学レーザーエネルギー学研究センター共催の「レーザー核融合炉設計委員会」において、レーザー核融合炉発電プラントの概念設計KOYO-fast[1]が提案された。それによると、プラントは4つの液体壁チェンバーを持つモジュラー設計となっており、1つのチェンバー内の動作の繰り返しが4 Hz とされている。液体壁チェンバーの課題としては、1) 液体金属流が安定に実現し得るか、2) 液体金属がどの程度アブレーションするか、3) アブレートした物質が、チェンバー内でどう振る舞うか(クラスター化、プルームの凝縮等)、4) 0.1 s 程度の時間で十分に排気できるか、(チェンバー内をクリーンに保てるか)が挙げられている。アブレーションした液体金属蒸気は、チェンバー内に飛散する過程で一部クラスター化(凝縮)しながら、液体壁表面で再凝縮する。

本研究では、上記課題の中から、高強度X線及び荷電粒子により液体金属がどの程度アブレーションするか、及びアブレーションプルームの凝縮、粒子のクラスター化等に焦点を絞って理論的研究を行った[2, 3]。

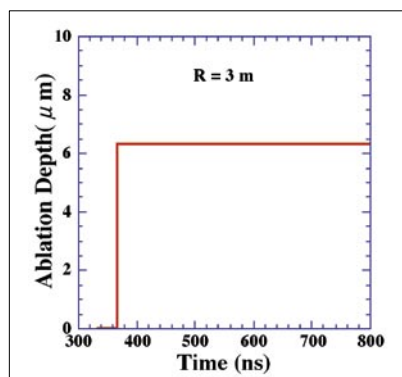
## ■最近の研究経過

筆者は、レーザークロス224号において「レーザー核融合炉設計研究」というタイトルで報告を行っている。その時点からの主な進展を以下に記す。

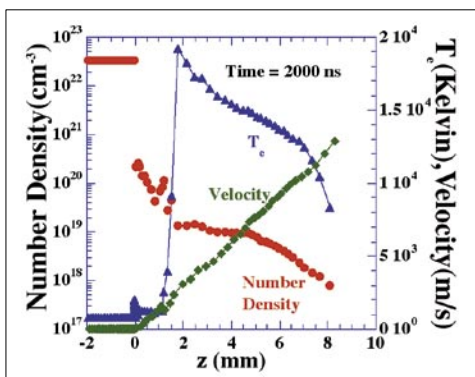
1) 高Z固体金属の荷電粒子に対する阻止能の理論モデルとしては、実験値を良く再現するモデルとして、Ziegler のモデル[4]がよく知られている。しかし、Ziegler のモデルをそのままプラズマに適用するには問題点がある。よって、アブレーションコードに取り込むプラズマの阻止能のモデルとして、広い温度・密度範囲でより正確なモデルを開発した。

2) 粒子のクラスター化、プルームの凝縮の解析モデルとしては、Luk'yanchuck のモデル[5]があるが、完全断熱球対称膨張の場合にのみ適用可能である。よって、一般的なプルームの場合に拡張する必要があった。粒子のクラスター化、プルームの凝縮は、プルームの温度・密度分布に非常に敏感であり、そのためアブレーションコードによるプルームのプロファイルの正確な評価と共に、それと結合した粒子のクラスター化、プルームの凝縮のモデルを開発した。

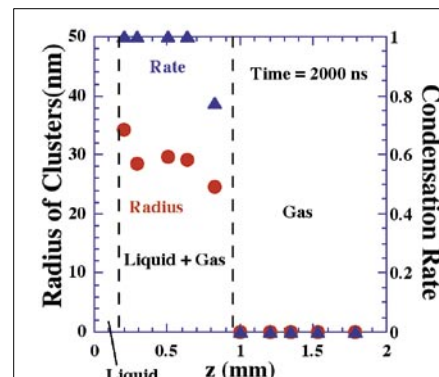
3) 上記1)、2)を取り込み、アブレーション(液体から気体への相変化)とプルームの凝縮(気体から液体への相変化)を同時に解析するシミュレーションコードを開発した。



【図1】液体壁のアブレーション厚さの時間発展



【図2】 $t=2000$  nsにおける数密度、温度、速度プロファイル



【図3】 $t=2000$  nsにおける、クラスターの半径と凝縮率の空間分布



## ■シミュレーション結果

図1は、シミュレーションにより得られた液体壁のアブレーション厚さの時間発展である。アブレーション厚さの時間発展が階段状になっているのは、液体金属の剥がれ現象を表しており、荷電粒子によるアブレーション特有の現象である。

図2は、 $t=2000$  nsにおける数密度、温度、速度プロファイルである。アブレートした物質が液体から剥がれて飛散していく様子が良く現れている。

図3は、 $t=2000$  ns における、クラスターの半径と凝

縮率の空間分布である。図3から、ブルームは液体部分、液体と気体の混合部分、及び気体部分から成る事が解る。クラスターの半径については、大阪大学レーザーエネルギー研究センターで行われた放電実験によるそれと良い一致を示している。

参考文献

- [1]レーザー核融合炉設計委員会成果報告書(2006)。
- [2]古河裕之 他: プラズマ核融合学会誌 **82** (2006) 617-627.
- [3] H. Furukawa.; submitted to IFSA 2007 Proceedings.
- [4] J. F. Ziegler, Stopping Powers and Ranges in All Elements.
- [5] B. S. Luk'yanchuk, W. Marine, S. I. Anisimov, and G. A. Simakina, SPIE **3618** (1999) 434-452.

TOPICS

# EUVL2007出張報告

EUV プロジェクト 砂原 淳

2007年10月28日から11月1日まで札幌コンベンションセンターでEUVL2007が開催された。本会議は次世代半導体露光装置開発に携わる世界の研究者が集まり、研究開発の最新の結果と動向について発表、議論する場となっている。毎年、日本、欧州、米国と持ち回りで開かれており、今年も日本の技術研究組合 極端紫外線露光システム技術開発機構(EUVA)、(株)半導体先端テクノロジーズ(Selete)の主催で開催された。EUVLに対する注目度の高まりを受けて昨年よりも約100名多い501名(アジア太平洋307名、米国108名ヨーロッパ86名)の参加があり、発表の内訳はソース(光源)が28%、レジスト18%、マスク14%と、まだまだソースが発表の多数を占めているが、近年、レジストの発表が増加傾向にある。我々レーザー総研からは島田、砂原が参加した他、大阪大学を中心とする文科省リーディングプロジェクト「極端紫外光源(EUV)開発等の先進半導体製造技術の実用化」の研究者が多数参加した。

初日のキーノートでは東芝セミコンダクター社長の齊藤氏より半導体戦略についての講演があり、二重露光による線幅の細線化では価格が高く、32nm以下の線幅に対する半導体露光でEUVL光が利用できれば、コスト面で有利であるとの発言があった。午後の講演では文科省リーディングプロジェクトを代表して大阪大学から2件の発表があった。大阪大学西原教授からはEUV変換効率倍増、即ち現状3-4%をダブルパル

スCO<sub>2</sub>照射により6-8%にする条件最適化について、また、磁場シールドによるデブリ抑制の発表が成された。大阪大学藤岡助教からは最新の実験結果の報告が行われた。日本開催ということもあるが、我々リーディングプロジェクトから2件の招待講演が採択されたことは光栄なことである。2日目には米国Cymer社からスズに炭酸ガスレーザーを照射することにより、バーストモードながら、中間集光点で100WのEUV出力を達成したとの報告があった。これは中間集光点で115Wの出力というEUV実用化光源の当初の目標値に匹敵し、今回の会議における一番のトピックであったと言える。日本のEUVAからも60WEUV出力達成の報告があり、プラズマ方式(LPP)によるEUV光源の技術の進展が実感された。我々がスズに炭酸ガスレーザー照射するのが良いと発表行ったのが3年前であり、この3年間の研究開発の進展には驚かされる。一方、放電方式を用いた光源については電極や光源サイズの問題を解決するため、レーザーアシスト放電方式に研究開発の主軸が移ってきており、放電方式でもレーザー技術が必要との共通認識になりつつある。実際、Philips、Extremeなどの放電メーカーは例年以上に我々の放射流体計算の結果に熱心に質問をぶつけてきた印象がある。最終日には最優先課題として今年も第一位は「光源」が選ばれた。より高効率、高出力、長寿命で信頼性の高い光源開発が求められている。