2017, Dec.
No. 357
LASER CROSS
ISSN 0914-9805

CONTENTS

レーザー核融合炉チェンバー内における金属蒸気同士の衝突シミュレーション
MTSA2017 - OptoX Nano - TeraNano8 国際シンポジウム報告
ILTの最新技術を紹介！光とレーザーの科学技術フェア2017
主な学会等報告予定

【表紙図】(左)高速点火レーザー核融合発電プラント「KOYO-fast」の液体壁チェンバーの概念図(ターゲットは150倍に拡大)　(右)チェンバー第一壁のタイル構造の概念図

レーザー核融合炉チェンバー内における金属蒸気同士の衝突シミュレーション

理論･シミュレーションチーム　古河裕之

■液体壁チェンバーの課題

高速点火レーザー核融合炉発電プラント概念設計「KOYO-fast」(表紙図(左))では、厚さ3 mmから5 mm程度の液体リチウム鉛が第一壁に沿って滝状に流下する液体壁構造により第一壁を保護している。液体壁は、核融合燃焼により生じたX線、α粒子及びデブリ粒子により、液体から中性気体、部分電離プラズマへと相変化を伴いながらアブレーションする。生成された金属蒸気がチェンバー中心付近で衝突すると、エアロゾル等が生じ、金属蒸気の排気、ひいては核燃焼反応にとって大きな妨げとなることが予想される。

「KOYO-fast」では表紙図(右)に示すように、第一壁から飛散した金属蒸気がチェンバー中心部に集中しないよう、第一壁は角度を付けたタイル構造としている。これまでの筆者らの研究により、一枚のタイルから吹き出す金属蒸気はタイルの表面に対して垂直方向にほぼ直進するため、チェンバー中心近傍での金属蒸気同士の衝突はほとんどないことが示されている。しかしながら、チェンバー内の液体壁近傍では、隣接する二枚のタイルから飛散する金属蒸気同士は15°の角度で衝突する。そこで上記の条件を取り入れ、粒子法を用いて金属蒸気同士の衝突のシミュレーションを行っ

次ページへつづく▶

た。「KOYO-fast」では液体壁材料としてLiPbを想定しているが、簡単のため鉛を用いてシミュレーションを行った。

■粒子法による金属蒸気同士の衝突シミュレーション

図1 は、金属蒸気同士の衝突の概略図である。衝突により金属蒸気のy 方向の速度が負になると、チェンバー中心へ向かう方向に速度を持つこととなり、金属蒸気同士がチェンバー中心付近で衝突する可能性が生じる。金属蒸気同士の衝突に関し、粒子法を用いたシミュレーションを行った。粒子法とは、流体を任意の大きさの塊に離散化し、それを粒子と仮定して計算する方法である。基礎方程式を以下に示す。

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt}=\frac{u_i^{k+1}-u_i^k}{\Delta t}=-\frac{\nabla P}{\rho}-\nu\mathbf{u}$$

パラメーターである質量密度(ρ)、圧力勾配(∇P)、粘性率(ν)はそれぞれ定式化し、それらを連立して粒子速度を求める。

衝突する二つの金属蒸気それぞれの速度の時間発展を求めた。蒸気圧力は0.05 Torr 、境界条件は、x y z すべての方向において周期境界条件とした。図2 に粒子の初期位置を示す。「赤○粒子」に x 方向の初期速度 v_0を、「青×粒子」に x 方向の初期速度 $v_0 \cos 15°$、y 方向の初期速度 $v_0 \sin 15°$を与え、シミュレーションを行った。図 3 に、$v_0=10^6$ cm/sの場合の「赤○粒子」と「青×粒子」の速度の統計平均の時間発展を示す。衝突により 二つの金属蒸気が一体となって運動することがわかる。図 4 には、y 方向の速度が負の「赤○粒子」の存在確率の時間発展を示した。この結果は、金属蒸気同士の衝突により0.3 μs 程度でy 方向の速度が負の「赤○粒子」が存在しなくなることを示している。

■まとめと今後

本研究では、粒子法を用いたシミュレーションにより衝突する二つの金属蒸気それぞれの速度の時間発展、およびy 方向の速度が負となる粒子の存在確率を求めた。得られた結果は、液体壁近傍での二つの金属

【図1】金属蒸気同士の衝突の2次元シミュレーションモデル

【図3】各粒子における速度の統計平均の時間発展

【図2】粒子法による金属蒸気の初期配置(0.05Torr)

【図4】y 方向の速度が負の「赤○粒子」の存在確率

蒸気同士の衝突は、チェンバー中心近傍での金属蒸気同士の衝突に大きな影響を与えないことを示唆している。一方、今回シミュレーションに用いた粒子法は、希薄分子気体において粘性を過大評価している可能性がある。今後、希薄分子気体の解析で有用な手法の一つである直接シミュレーション・モンテカルロ（DSMC）法などを用い、チェンバー内の金属蒸気の挙動について実際のサイズを考慮した評価を行う予定である。

REPORT

MTSA2017 - OptoX Nano - TeraNano8 国際シンポジウム報告

レーザーエネルギー研究チーム　李　大治

■テラヘルツ・ナノ科学に関する合同シンポジウム

去る11月19日～23日、岡山コンベンションセンター（岡山市）にて開催された、マイクロ波・テラヘルツ科学および応用に関する国際シンポジウム（4th Microwave / THz science and Application, MTSA2017）に参加した。本会議は、マイクロ～THz帯の電磁波発生技術から、分光・イメージングなどを用いた基礎科学、新たな機器開発およびそれらの応用に関する最新研究について議論することを目的に、東アジア地域で隔年開催されている。2015年からは、THz科学とナノ科学をつなぐ枠組みで組織された国際シンポジウム（TeraNano）との合同開催となったが、さらに今回は、ユビキタス技術やヘルスケアなど多くの応用に必要とされる高度なナノマテリアル / デバイスと、光・X線計測によるそれらの評価技術の最新動向について議論する1st OptoX Nano シンポジウムも同時開催となり、この研究分野においても応用に向けた動きが加速していると感じた。期間中には米国、欧州各国、中国、オーストラリア、韓国、日本から多くの研究者が集まり、約160の研究報告が行われた。

■水（液体）からのTHz波放射

固体、気体、プラズマはすべてTHz波の発生に利用されるが、THz光源としての液体の使用は困難とされている。特に液体の水はTHz周波数帯の強い吸収体であるため、テラヘルツ波の放射源には適さないと長く考えられてきた。これに対しロチェスター大学（米ニューヨーク州）の研究者らは、フェムト秒レーザーにより励起された水から広帯域THz波が発生することを実証したと報告した。試料には、重力落下を利用した流動性水膜が用いられた。2本の平行ラインによりガイドされ、ライン間の表面張力によって水膜が形成される。報告では、液体水から発生するTHz波は空気プラズマからのTHz放射と比較して異なることが示された。空気では、非線形光学効果が強いTHz場発生の起因となるため、励起パルスの時間幅はより短い方が有利であるが、これとは対照的に水から生じるTHz場は、より長いパルス幅で最大化されるとのことである。

■D2I法によるTHzインパルスの発生

ライス大学（米テキサス州）の研究者から、D2I（direct digital to impulse）法によるTHzインパルス発生に関する報告があった。D2I法では、超高速電流スイッチにより電流の急激な立ち上がりまたは立ち下がりを発生させ、THz発生用のアンテナに供給する。このアンテナは低周波でインダクタとして動作するよう設計されており、電流ステップがアンテナを直接通過した後THzインパルスが放射される。開始時間は外部から供給されるデジタルトリガによりロックされる。彼らはオンチップスロットボウタイアンテナを設計して実証実験を行っており、レーザーフリーで時間幅1.9psのTHzインパルスの生成に成功している。

【写真】発表会場の様子

■原子スケールの超高速THz顕微鏡

レーゲンスブルク大学(独)の研究者らは、ナノ / 原子スケールでのフェムト秒スナップショットを観測するため、走査型近接場光学顕微鏡(s-SNOM)およびTHz走査型トンネル顕微鏡(THz-STM)の二つの手法を提案し、実証実験を行った。彼らは近赤外励起 / マルチTHzプローブs-SNOMを用いてグラフェンのような層状物質として知られる黒リンのヘテロ構造体の計測を行い、5ピコ秒の励起寿命内に生じる過渡的なポラリトン干渉縞の観測に成功した。さらに彼らは、空間分解能向上のためTHz-STMを最先端の単一分子STMイメージング法と組み合わせ、ペンタセン単分子の軌道内電子密度のイメージングや、THz駆動の量子ポンプ-プローブ実験によりペンタセン分子フレームの超高速振動を時間ドメインで観測することに成功している。フェムト秒やサブサイクル(光波長の一周期以内)の高時間分解能と、ナノ・原子スケールの空間分解能をあわせ持つ計測手法は、高度なナノマテリアル/デバイスの評価に必要な技術であり、この報告はTHz波の利用が技術開発のための有力な手段となることを示している。

TOPICS

ILTの最新技術を紹介！
光とレーザーの科学技術フェア2017

去る11月14日～16日、科学技術館(東京都千代田区)にて「光とレーザーの科学技術フェア2017」(主催：オプトロニクス社)が開催されました。毎年春に開催される国際展示会(OPIE)とならび、本会はレーザー・光学技術に関する秋の目玉となる大展示会となっています。期間中は「オプティクスフェア」「レーザー科学技術フェア」など6つの展示会とともに、関連技術のセミナーも多数開催されました。当研究所では、研究成果報告会の開催、ならびにレーザー科学技術フェアへ出展し、当研究所の最新技術を紹介いたしました。

■平成28年度研究成果報告会(ILT2017)＜東京会場＞

11月14日、同会場にて研究成果報告会を開催いたしました。今回から形式をオープンセミナーとし、最新成果の報告に加えレーザー加工やパワーレーザー開発、光学素子の選定法、レーザー計測法の基礎知識について解説いたしました。当日は100名以上にご参加いただき、貴重なご意見を多くいただきました(写真)。

【写真】成果報告会の様子

■レーザー科学技術フェアへ出展

当研究所のブースでは、技術紹介ビデオの上映やパネル展示を行いました。期間中は多くの方々に来訪いただき、コンクリート健全性評価やレーザー加工技術への問い合わせを多くいただきました。また、光学素子のレーザー損傷評価試験に参画いただいている企業の方にもお立ち寄りいただきました。

主な学会報告

1月24日(水)～26日(金)　レーザー学会学術講演会第38回年次大会(京都市勧業館みやこめっせ)
染川　智弘「海上ラマンライダーの開発」
藤田　雅之「ゼロフォノンライン励起Yb:YAG TRAMレーザーの熱特性」
李　大治　「新型放射を用いたスミス･パーセル自由電子レーザー」
倉橋　慎理「屋外利用を目指したレーザーによるコンクリート構造物内部欠陥検出の高速化技術の開発」

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(E-mail:taniguchi@ilt.or.jp)までお願いいたします。