

細貝 知直

大阪大学 光科学センター・特任准教授

光制御極短シングルの電子パルスによる原子スケール動的イメージング

§1. 研究実施の概要

研究のねらい

最終目標である光制御極短シングルの電子パルスによる原子スケール動的イメージングに向けて、高品質極短電子源レーザーバーチャルカソード(LVC)の構築、電子ビーム輸送／オプティクスを検討、物質ダイナミクス研究(標的材料／条件等の検討)を行った。

これまでの研究の概要／進捗状況／研究成果／今後の見通し

LVC を構築する為に昨年度より阪大光科学センターの高強度レーザー装置を高コントラストかつ外部装置との高精度同期が可能な40TW レーザー装置へのアップグレードをおこなってきた。これまでに、レーザー実験室のユーティリティの整備を含むフロントエンド部分の改修を完了しパルス幅 25 fs、ASE コントラスト比 $\sim 10^{-9}$ を得ている。現在、後段アンプとパルスコンプレッサーのアップグレードを実施中であるが、震災の影響でフランス人技術者の来日が決まらず改修作業が中断しており早期に再開し完了する必要がある。並行して行っているレーザーパルス真空伝送線路とレーザープラズマ相互作用部の真空容器装置の整備はほぼ終了し、光学素子の設置など最終作業を行っている。

また、日本原子力機構関西研究所の J-LITE-X レーザーを用いて LVC におけるプリフォームドプラズマのダイナミクスとレーザーパルスの伝播の相関を詳細に調べた。これまでに、プラズマオプティクスによる相対論的自己収束の臨界パワー以下のレーザーパルスの集光の過程を明らかにし、加えて今年度は、レーザー航跡場中での電子ビームの位相回転を実証する事ができた。これにより、電子ビームの位相回転によるエネルギースペクトルの狭帯化を、当初計画の高周波空洞に替わって、レーザー航跡場を採用することとした。現状においては、レーザー航跡場による位相回転を実証したのみで電子入射の位相制御には至っておらず、今後電子入射の位相制御を展開し技術を成熟させていく必要がある。本年度はレーザー航跡場への電子入射条件に関する詳細な数値計算を開始した。

また、昨年度より開始した階段型密度構造を持つ非対称超音速ガスジェット標的の開発を継続

し、標的内部の密度分布を干渉計 CT 法を用いて評価し三次元密度分布を得た。この計測の精度を向上させる為のアルゴリズム改良に着手した。

物質ダイナミクス研究では、シリコンの高圧相の凍結に成功した。シリコン高圧相の電子顕微鏡観察、X 線回折法による結晶構造解析、ナノプローブを用いた電気抵抗測定を行った。その結果、凍結されたシリコン高圧相は β -Sn 構造であること、またもとの半導体シリコンよりも電気抵抗値が低いことがわかった。

今後は、阪大光科学センターに LVC のプラットフォーム構築整備が完了次第 LVC 実験を開始し早期にイメージング実験に着手する。LVC は電子入射の位相制御を確立し高性能化を進める。これまで得られた技術／知見を集結し LVC を構築しフェムト秒・シングルショット電子イメージング研究を推進していく。

§2. 研究実施体制

(1)「レーザーバーチャルカソード研究開発」グループ

① 研究分担グループ長： 細貝知直(大阪大学 光科学センター、特任准教授)

② 研究項目

- ・レーザーバーチャルカソードの研究開発

① 研究分担グループ長： 荒河一渡(大阪大学 超高压電子顕微鏡センター、准教授)

② 研究項目

- ・電子輸送／光同期パルス駆動オプティクス研究開発

① 研究分担グループ長： 佐野智一(大阪大学 大学院工学研究科、准教授)

② 研究項目

- ・物質ダイナミクス研究

§3. 研究実施内容

(文中の引用番号等は(4-1)に対応する)

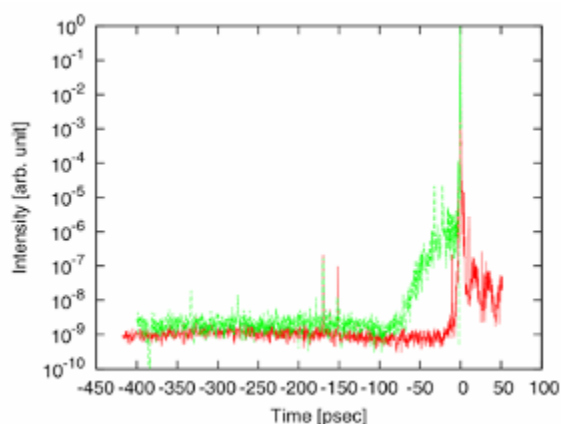
・装置／ユーティリティー整備

波形制御された高強度超短パルスレーザーで LVC プラズマを駆動するため、高コントラストかつ高周波との同期が可能な40TW レーザー装置へとアップグレードを行っている(図1)。レーザー装置のフロントエンド部分(発振器、ストレッチャー、再生増幅器、前段アンプ、テストグレーティングコンプレッサー)の改修を行い、フロントエンド部の出力パルス幅25~30fs、ASE コントラスト比 $\sim 10^{-9}$ を得た(図2)。引き続き、後段アンプとパルスコンプレッサーの改修を継続中である。また、並行して行っている実験室のユーティリティーの整備(冷却水設備、電気設備、空調設備、仮設クレーン設置等)を完了し(図1)、レーザーパルス真空伝送線路の整備とLVCのプラズマ相互作用部分の装置構築を継続中である。



図1 アップグレード中のレーザー装置と、ユーティリティー整備中の実験エリア

(a)



(b)

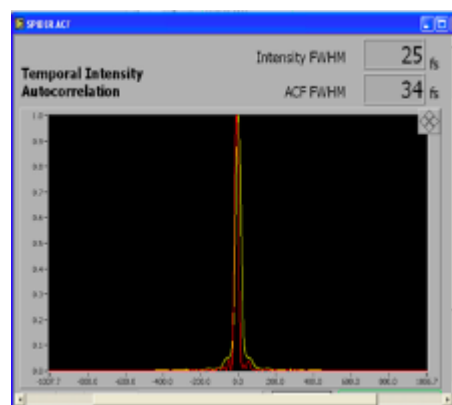


図2 フロントエンド部からの出力パルスの ASE コントラスト比 (a)、とパルス幅 (b)

- ・ プラズママイクロオプティクスによる光導波路チャネル形成

LVC プラットフォームの整備と並行して、日本原子力機構関西研究所の J-LITE-X レーザーを使用して駆動レーザーパルスの波形とプリフォームドプラズマのダイナミクス、レーザーパルスの伝播の相関を詳細に調べた。特に、ピコ秒スケールのパルスの加熱による低密度長尺チャンネル形成に注目した。プラズマオプティクスによる臨界パワー以下のレーザーパルスの集光と長尺伝播の過程を明らかにし、集光と導波路形成ダイナミクスおよび詳細な内部構造を干渉計とシャドウグラフにより初めて観測した。加えて、低密度長尺チャンネル中でのレーザー航跡場による電子ビームの位相回転を観測した(図3)。(結果の一部は昨年度末に論文を Appl. Phys Lett にて出版した。)

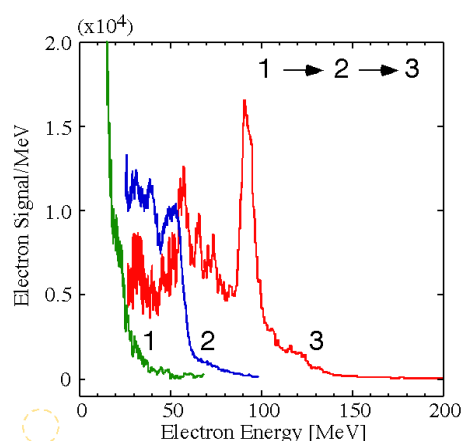


図3 低密度チャンネル中の電子ビームの位相回転によるエネルギースペクトルの狭帯化

・PIC シミュレーションによる電子入射過程の検討

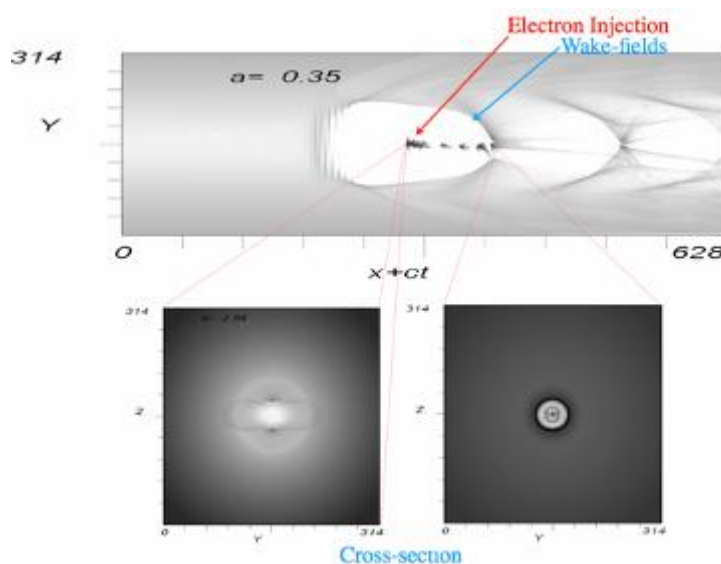


図 4 レーザー航跡場中の電子入射過程およびその断面 (3D-PIC 計算結果)

3次元プラズマ粒子法(PIC)シミュレーションによる電子ビームの高品質化の検討を継続し、レーザー航跡場におけるパラメトリック共鳴による電子入射機構を明らかにした(図4)。(A.Zhidkov, et.,al. “Characterization of electron self-injection in LWFA due to the parametric resonance”Phys. Plasmas,17, 083101 (2010))

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

1. A. Zhidkov, J. Koga, T. Hosokai, T. Fujii, Y. Oishi, K. Nemoto, and R. Kodama, "Characterization of electron self-injection in laser wake field acceleration due to the parametric resonance," Physics of Plasmas 17, 083101 (2010); DOI: 10.1063/1.3458669
2. S.L. Dudarev, M.R. Gilbert, K. Arakawa, H. Mori, Z. Yao, M.L. Jenkins, "A Langevin Model for Real-time Brownian Dynamics of Interacting Nano-defects in Irradiated Metals," Physical Review B 81, 224107 (2010); DOI: 10.1103/PhysRevB.81.224107
3. T. Amino, K. Arakawa, H. Mori, "Activation Energy for Long-Range Migration of Self-Interstitial Atoms in Tungsten Obtained by Direct Measurement of Radiation-Induced Point-Defect Clusters," Philosophical Magazine Letters 91, 86 (2010); DOI: 10.1080/09500839.2010.533133
4. K. Arakawa, T. Amino, H. Mori, "Direct Observation of the Coalescence Process between Nanoscale Dislocation Loops with Different Burgers Vectors," Acta Materialia 59, 141 (2011); DOI: 10.1016/j.actamat.2010.09.018

(4-2) 知財出願

- ① 平成 21 年度特許出願内訳(国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 0 件)