

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、初年度はレーザーバーチャルカソードを大阪大学光科学センターのプラットフォーム上に構築する。また、実験装置整備と並行して日本原子力機構関西研究所のレーザー装置を用いてレーザーバーチャルカソード (LVC) 研究開発を開始する。

これまでの研究の概要／進捗状況／研究成果

レーザーパルス波形の制御を行う為に 20TW 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、グレーティングコンプレッサー) の改修に着手した。また、実験室の冷却水設備、電気設備、空調設備、仮設クレーン等の実験に必要なユーティリティの整備、レーザーパルス真空伝送線路を含む LVC のプラズマ相互作用部分の装置整備を行っている。光科学センターの 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にて LVC に関する実験を行い、駆動レーザーパルス波形とプリフォームドプラズマのダイナミクスを詳細に調べ、電子ビーム発生との相関を明らかにし、また、2段階レーザー電子加速による電子ビーム発生にも成功した。加えて、LVC に用いる非対称超音速ガスジェット標的を開発し、標的内部の密度分布の3次元評価を行った。さらに、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開始した。

また、物質ダイナミクス研究として、レーザーバーチャルカソードから発生するプローブ電子パルスのパラメータに対応する、観測対象とするターゲット材料 (単結晶シリコン) に対する衝撃波駆動のための最適なポンプ条件を決める実験を行った。波長 800 nm, パルス幅 130 fs, 集光径 100 μm 、パルスエネルギー 10 mJ のとき、従来圧縮法では凍結されないシリコン高圧相が残存することが確認された。パルスエネルギーを 1 mJ とした時は、高圧相は残存しないことが確認された。

今後の見通し

光科学センターにおける装置整備をできるだけ早期に完了し LVC 実験を開始する。並行して進めている日本原子力機構関のレーザー装置を用いた LVC 実験においても既に極短電子ビームの発生に成功しており、電子ビームの詳細計測の後には極短パルス電子によるイメージングの基礎実験を開始できる。LVC のビーム発生機構の詳細を明らかにし、制御パラメータを最適化する。基礎実験の結果を光科学センターの装置整備にフィードバックすることによって、フェムト秒・原子スケール・シングルショットイメージングに必要な高品質極短パルス電子源を構築することができる考える。

§ 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研究開発
- ・光同期パルス駆動オブティクス研究開発
- ・物質ダイナミクス研究

§3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する。)

シングル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、初年度はレーザーバーチャルカソード(LVC)を大阪大学光科学センターのプラットフォーム上に構築した。まず、レーザーパルス波形の制御を行う為に20TW 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、グレーティングコンプレッサー)の改修に着手した。加えて、実験室の冷却水設備、電気設備、空調設備、仮設クレーン等の実験に必要なユーティリティーの整備、レーザーパルス真空伝送線路を含む LVC のプラズマ相互作用部分の装置整備を行っている。

装置／ユーティリティー整備と並行して、日本原子力機構関西研究所にて LVC に関する実験を行っている。駆動レーザーパルス波形とプリフォームドチャネルのダイナミクスを詳細に調べ、準単色電子ビーム発生との相関を明らかにした。また、2段階レーザー電子加速による準単色電子ビーム発生にも成功した。我々は、この光パルス制御によるプリフォームドプラズマをプラズママイクロオブティクスと名付け提案した[1]。実験では、ポッケルスセルとパルスコンプレッサーの回折格子を調整することによってピコ～ナノ秒レンジのペデスタルパルスを付加された波形をもつ高強度超短レーザーパルス(～7テラワット、50フェムト秒)を磁場中に設置したガス標的に集光する。パルス波形制御と外部磁場の影響によりコーン形状のプレプラズマが形成され、これがメインのレーザーパルスに対して集光オブティクスとして振る舞うことで、焦点付近のレーザースポットサイズ程度の微小領域で強いプラズマ波破碎が発生するようになり、極めて安定に指向性の良い大電荷量の電子ビームを発生することを実証した。加えて、ピコ秒オーダーのペデスタルパルスの制御で

中空ファイバー形状の光導波路プラズマチャネルを作ることにも成功し、これとコーン形状プラズマと組み合わせることで二段階加速を効率的に行い高い指向性とスポットの位置安定性はそのままに、電子ビームの単色化に成功した。さらに、ピコ秒オーダーのペデスタルパルス制御と長尺の超音速ガスジェット標的を組み合わせることでプラズマチャネルを長尺化しエネルギー幅の狭帯化も示した。図1に典型的なコーン形状プラズマとプラズマチャネルおよび電子ビームプロファイルを示す。対応する電子ビームスペクトルを図2に示す。電子ビームパラメータは(最大エネルギー: $\sim 100\text{MeV}$ 、最大電荷量: $\sim 100\text{pC}$ 、単色性: $\Delta E < 10\%$ 、幾何学的横方向エミッタンス: $\sim 0.02\text{pmmrad}$)を達成した。

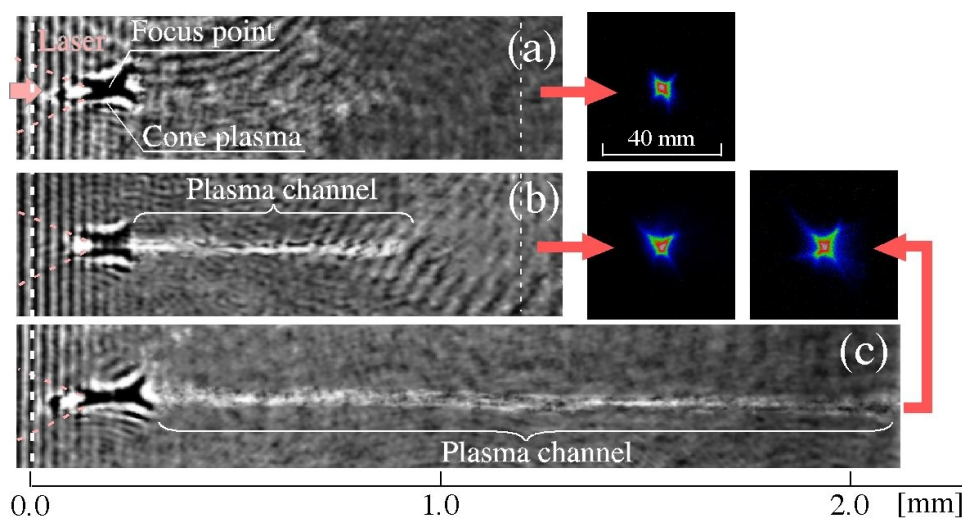


図1 典型的なコーン形状プラズマとプラズマチャネルおよび電子ビームプロファイル

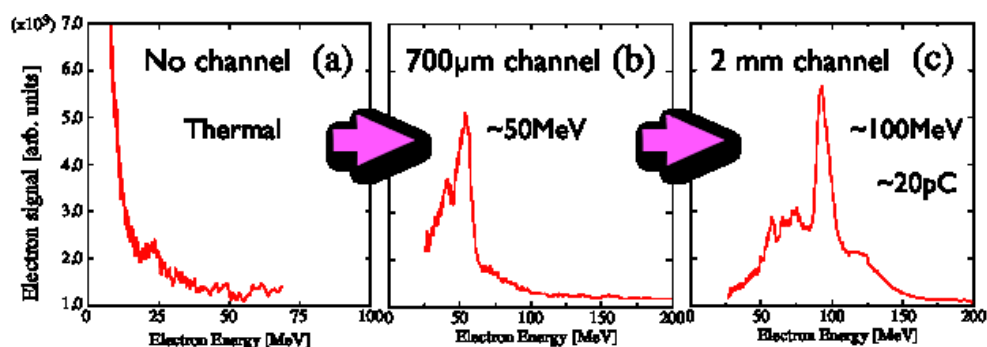


図2 典型的な電子ビームスペクトル

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

T. Hosokai, A. Zhidkov, A. Yamazaki, Y. Mizuta, M. Uesaka, and R. Kodama, “Electron energy boosting in laser-wake-field acceleration with external magnetic field $B \sim 1$ T and laser prepulses,” Applied Physics Letters 96, 121501 (2010); DOI:10.1063/1.3371709.