

PREPULSE CONTROL OF AN INTENSE FEMTOSECOND LASER PULSE BY PROPAGATION THROUGH A THIN FOIL PLASMA

K. Kinoshita^{1,A)}, T. Hosokai^{B)}, A. Zhidkov^{A)}, T. Ohkubo^{B)}, M. Uesaka^{B)}

^{A)} Department of Accelerator Physics and Engineering, National Institute of Radiological Sciences,
Anagawa 4-9-1, Inage, Chiba, 263-8555 Japan

^{B)} Nuclear Engineering Research Laboratory, University of Tokyo,
Shirakatashirane 2-22, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1188 Japan

Abstract

Interaction between an intense laser pulse and laser-produced plasma strongly depends on the level of the prepulse. The prepulse affects on the preplasma condition with which the main pulse interact. Prepulse control is necessary to optimise the X-ray, ion, and electron generation via an ultraintense ultrashort laser pulse. Improvement of the laser contrast is desirable for this optimisation. In order to reduce the nanosecond prepulse of the intense laser pulse, effects of the thin foil filter was investigated.

薄膜プラズマ中での伝播による高強度フェムト秒レーザーのプリパルス 制御

1. はじめに

高強度レーザー照射プラズマは電子、イオン、X線等の高エネルギー粒子を発生する一つの効果的な手法である[1-5]。それによって発生する粒子はピコ秒からサブピコ秒の時間幅を持つ。この高エネルギー粒子発生過程は高強度レーザーパルスに先行するレーザープレパルスに強く依存する。フェムト秒レーザーにおけるレーザーコントラスト、即ちメインパルスとレーザーの裾野との強度比はナノ秒前で 10^{-6} 程度である。メインパルスの集光強度が $10^{19}\text{W}/\text{cm}^2$ 程度であるとすればプリパルス強度は $10^{13}\text{W}/\text{cm}^2$ となり、プラズマ生成に十分な強度となる。メインパルスはプリパルスによって生成されたプリプラズマと相互作用する。しかしこのようなプリプラズマは高エネルギー粒子発生にとって必ずしも最適ではない。従ってプリパルスの低減が望まれる。プリパルスの遮断法には、ポッケルスセル[6-8]、プラズマミラー[9]、増幅用種パルスの整形[10]などいくつか存在する。ここでは薄膜上に生成したプラズマと高強度フェムト秒レーザーとの相互作用を用いたプリパルス制御を検討する。

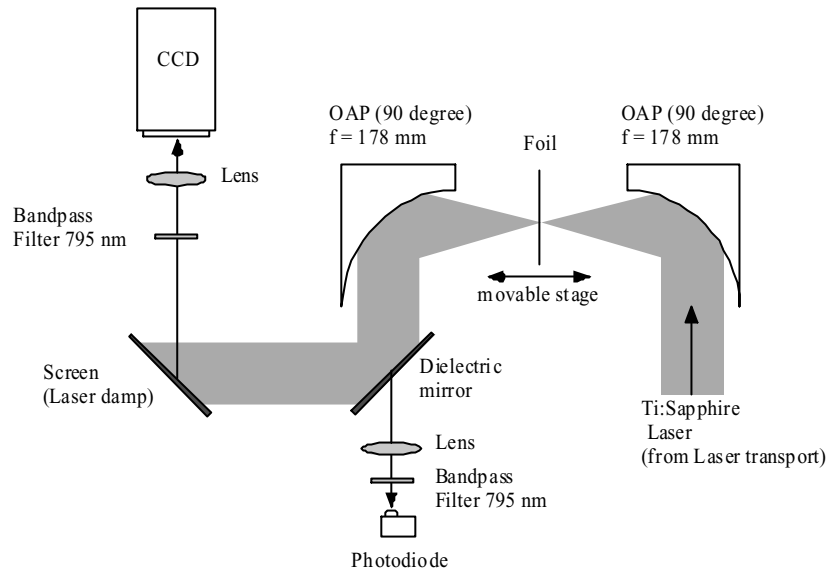
薄膜フィルター法の概要は以下の通りである。テラワットレーザーの相互作用時の強度は $10^{18}\text{W}/\text{cm}^2 \sim 10^{19}\text{W}/\text{cm}^2$ を超える。レーザーコントラストが 10^{-6} とすればこれは $10^{12} \sim 10^{13}\text{W}/\text{cm}^2$ のプリパルスレベルをもたらす。このプリパルスは標的にプラズマを生成するのに十分な強度であり、生成されたプラズマはさらにこのプリパルスによって加熱される。初期プラズマ密度は臨界密度を超

えているためレーザーはプラズマ中を伝播できない。その後プラズマの膨張によって密度が臨界密度より下がる。メインパルスがこの膨張後にプラズマに到達すれば、それはプラズマを透過する事ができる。このようにレーザーパルスが薄膜を通過する事で、メインパルスの消耗を抑えてプリパルスを低減する事ができると期待される。初期プラズマの大きさが十分小さければナノ秒時間領域での3次元的急膨張が起きると考えられる。この技法は、X線発生、イオン発生、電子発生、中性子発生など様々なレーザープラズマ応用実験のプリプラズマ条件を最適化するのに役立つと期待される。

2. 実験

この実験で使用されるレーザーはチャープパルス増幅に基づいたテラワットレーザーである。そのシステムはオシレーター、ストレッチャー、再生増幅器、マルチパス増幅器、圧縮器から較正される。中心波長790nm、最大パルスエネルギー600mJ、圧縮後のパルス幅50fs、ナノ秒領域でのレーザーコントラストは 2×10^{-6} である。実験体系は以下の通りである。二つの軸外し放物面鏡(OAP)を焦点を共有するように対向して設置する。軸外し角は 90° 、焦点距離は178mmである。レーザーは第一のOAPによって標的に集光される。集光点を通過したレーザー光は第二のOAPによって平行化され測定部に導かれる。薄膜標的は垂直入射の角度で焦点近傍に設置される。標的面を更新するために標的は自動ステージによって標

¹ E-mail: kino@utnl.jp



的な面方向にスライドする。集光部は約 1×10^{-4} Torr の真空中に置かれる。薄膜を透過したレーザー強度はフォトダイオードによって測定される。フォトダイオードはレーザー光を減衰させるための誘電体多層膜ミラーの背後に設置される。レーザー光を集めるためのレンズが誘電体ミラーとフォトダイオードの間に設置される。プラズマ光を遮断するために中心波長795nm、バンド幅10nmのバンドパスフィルターがフォトダイオードの前に設置される。誘電体ミラーに反射されたレーザーはレーザー止めの白板上に投影される。白板上に映った横方向レーザー分布はCCDカメラで測定される。実験体系図を図1に示す。

まずナノ秒パルスの薄膜標的に対する影響を調べた。シードパルスがない場合、再生増幅器はナノ秒パルスを生じさせる。それらナノ秒パルスを標的に集光する。図2は薄膜透過強度の時間変化である。標的と集光点との距離は(a)450 μm 、(b)250 μm 、(c)50 μm 、(d)0 μm である。集光強度の見積りは(a) $1.4 \times 10^{11}\text{W}/\text{cm}^2$ 、(b) $4.5 \times 10^{11}\text{W}/\text{cm}^2$ 、(c) $5.5 \times 10^{12}\text{W}/\text{cm}^2$ 、(d) $1.0 \times 10^{13}\text{W}/\text{cm}^2$ である。(d)における集光強度はフェムト秒高強度レーザーを集光した際のプリパルスレベルに対応する。標的の材質は厚さ10 μm のポリ塩化ビニリデンである。破線は薄膜がない場合の透過強度である。実線は薄膜がある場合である。ナノ秒パルスのパルス幅は8nsである。図2の(a)および(b)からプラズマ生成に必要なレーザー強度を読み取る事ができる。標的はプラズマが生成される前はレーザーに対して透明である。従って、レーザー強度が低いパルスの前部は標的を透過している。レーザー強度がプラズマを作るのに十分な強度に達した時点で標的は不透明になりレーザー透過率が下がる。その強度は約 $8 \times 10^{10}\text{W}/\text{cm}^2$ と見積もられる。図2の(c)と(d)ではパルスの前部に透過率の抑制が見られる。プラズマは数ナノ秒の間不透明であった後、膨張によって低密度化が起こり、パルスの後部が

薄膜を透過する。透過率の回復はレーザーの入射から約10ns後である。これにより、高強度レーザープリパルスに対応するナノ秒レーザー照射によって、ナノ秒時間領域でプラズマの生成、拡散、低密度化およびそれによるレーザー透過が起きる事が確認された。

次にフェムト秒パルスに対するプリパルス抑制の効果を調べるために、フェムト秒ダブルパルスを用いた測定を行った。図3はダブルパルスによるフォトダイオードの波形である。破線は薄膜が

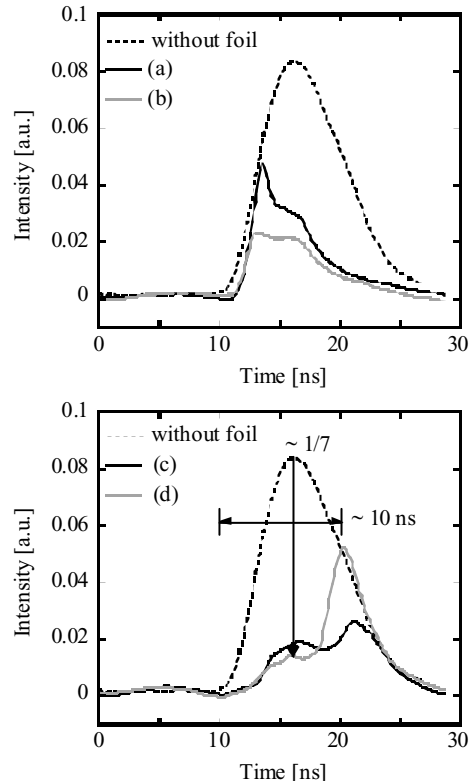


図2: ナノ秒パルス薄膜透過の時間変化。

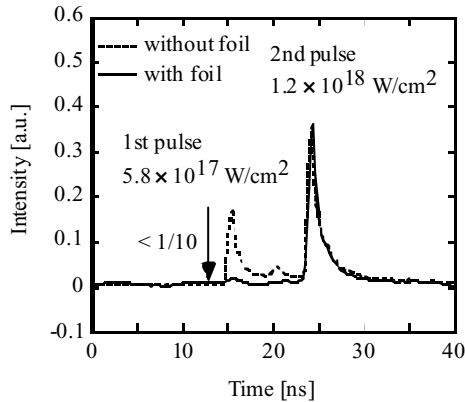


図 3: フェムト秒ダブルパルスの薄膜透過率

ない場合、実線は薄膜がある場合である。集光点における強度は第一パルスが $1 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ 、第二パルスが $2 \times 10^{18} \text{ W/cm}^2$ である。標的の材質は厚さ $4 \mu\text{m}$ のポリプロピレンである。第一パルスと第二パルスの時間間隔は約 8 ns である。薄膜透過によって第一パルスは $1/10$ 以下に減少している。第一パルス到達時にはプラズマ密度が臨界密度以上であり、そのプラズマによってレーザーが遮断されたためと考えられる。第二パルスはほぼ減衰せずに透過している。従って、 10 ns 程度の拡散時間であっても薄膜プラズマ透過時におけるフェムト秒レーザーの消耗は大きな問題とはならないと考えられる。

薄膜透過によって横方向レーザー分布が影響を受ける事が考えられる。図4にナノ秒パルスにおける横方向レーザー分布の変化を示す。白板位置

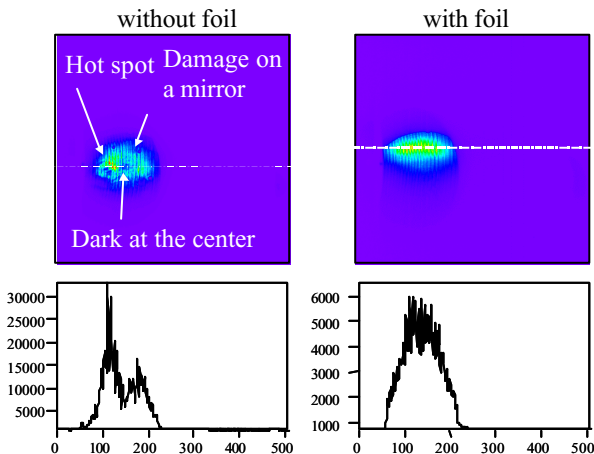


図 4: 薄膜透過によるレーザー空間分布の変化

で観測される薄膜なしでの横方向レーザー分布はレーザー輸送光学系におけるミラーの損傷などの影響でホットスポットや窪みを持った分布となっている(図4左上および左下)。薄膜プラズマ透過後のナノ秒パルスの空間分布は初期分布と比べて滑らかで、よりガウス分布に近い形状となる。これは焦点位置におけるプラズマ透過が空間フィルターの役目を果たしているためと考えられる。焦点位置に置かれた微小ピンホールはレーザー分布の高次成分を遮断し遠方での分布をガウス分布に近づける働きを持つ。図4の結果は薄膜プラズマがレーザー透過時に微小ピンホールとなっている可能性を示唆する。

3. まとめ

高強度超短パルスレーザーによるX線発生、イオン発生、電子発生等を最適化するためにはナノ秒プリパルスの制御が必要である。そのために我々は薄膜フィルターによるレーザーコントラスト向上について研究を行い、薄膜標的上へのナノ秒レーザーパルスの集光とプラズマ生成、レーザー透過、フェムト秒パルスとの相互作用について実験的に調べた。初期高密度プラズマによるナノ秒パルスの遮断と膨張低密度化によるパルス後部の透過が確認された。フェムト秒パルスが薄膜プラズマを透過可能であることを確認した。薄膜プラズマの空間フィルター効果によってナノ秒パルスの横方向レーザー分布が変化する事を確認した。今後、空間分布やスペクトル変化等、メインパルスと薄膜プラズマとの相互作用のさらなる調査を行う予定である。

参考文献

- [1] J. A. Cobble, et al., J. Appl. Phys. **69**, 3369 (1991).
- [2] T. Feurer, et al., Phys. Rev. E **56**, 4608 (1997).
- [3] F. N. Beg, et al., Phys. Plasmas **4**, 447 (1997).
- [4] M. Yoshida, et al., Appl. Phys. Lett. **73**, 2393 (1998).
- [5] E. L. Clark, et al., Phys. Rev. Lett. **85**, 1654 (2000).
- [6] M. Nantel, et al., IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. **4**, 449 (1998).
- [7] A. V. V. Nampoothiri, et al., Rev. Sci. Instrum. **69**, 1240 (1998).
- [8] M. D. Perry, et al. Opt. Lett. **24**, 160 (1999).
- [9] Ch. Ziener, J. Appl. Phys. **93**, 768 (2003).
- [10] J. Itatani, et al., Opt. Commun. **148**, 70 (1998).