

1 Hzで動作する 8.8nm テーブルトップX線レーザー

米誌Laser Focus World 2011年7月号で報告したように、解像度25nmのイメージングをわずか30sで実現した13nm テーブルトップX線源のデモンストレーションは、従来光源による80minで30~50nmの解像度と対比して、実に印象深かった。しかし今や、全米科学財団 極端紫外線科学技術・工学研究センター (NSF EUV ERC) とコロラド州立大学の

研究チームは、米カリフォルニア大学バークレー校とオークリッジ国立研究所とのコラボレーションにより、1Hzの繰り返し率で動作する高パルスエネルギーの8.8nm テーブルトップX線レーザー源を開発した⁽¹⁾。プラズマベース方式でX線波長を10.9nm以下に短縮するこれまでの試みでは、一般に繰り返し率が1時間あたり数ショットに制限されてきた。

より低い励起エネルギー

最近まで、10nm以下の波長の軟X線レーザーは適切な材料を数十Jのエネルギーで励起して発生させた。しかし、この研究チームは1~2mm厚みの固体ニッケル様ランタン(La)ターゲットをわずか7.5Jの光エネルギーで励起することによって利得飽和8.8nm レーザを共振させた。

ポンプセットアップは800nmのTi:サファイアレーザーによる2つのパルスから成る(図1)。第1の垂直入射パルスは210psの半値全幅(FWHM)持続時間と $6 \times 10^{12} \text{W/cm}^2$ の強度をもち、球面

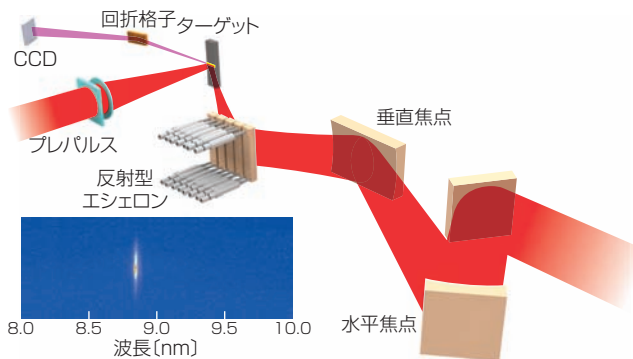


図1 低いポンプエネルギーを使って1Hzで動作する8.8nm軟X線レーザーの実験セットアップと対応するスペクトルを示した。(資料提供:コロラド州立大学)

レンズと円柱レンズで $30 \mu\text{m} \times 6.4 \text{mm}$ の線焦点を作った。このプレパルスはプラズマを急速加熱し、Ni様状態(La^{+29})のイオンをかなりのパーセンテージで生成した。プラズマ膨張後に、FWHM持続時間3psで4J、 $6 \times 10^{14} \text{W/cm}^2$ の第2のパルスを 35° のすれすれ入射角で供給することによって、プラズマを約850eVの電子温度に加熱し、レーザーの上準位へとイオンを効率良く励起させた。この入射角は、集光素子を使って均一な $30 \mu\text{m} \times 6.4 \text{mm}$ の線焦点を維持しながら、ポンプビームエネルギーがプラズマに効率良く結合するように屈折させ、X線発生を最大化した。

通常は、出力を制限するポンプパルスと増幅パルスの伝搬速度間の不整合を解消するために、5ミラーセグメント反射型エシエロンを使って準進行波励起とすることにより、レーザー出力がかなり向上した。

1Hzの繰り返し率での測定は、各レーザーショット後にランタンターゲットを $200 \mu\text{m/s}$ の速度で移動させることによって表面を更新しながら実施された。

8.85nmの軟X線レーザー源の動作は約 $2.7 \mu\text{J}$ のパルスエネルギー、 33cm^{-1} の利得係数、および14.6の利得長積で利得飽和に達した。

さらに短い波長

研究チームは、メインポンプのパルス幅をちょうど1.1psに狭めることによって、ニッケル様サマリウムにおける7.36nmのレーザー発振も実証した。

ダイオードポンプ光学式レーザー光源の改良を続けると同時に、超高速ナノスケール動力学現象の連続イメージングなどの応用を可能にする機器としてのサブ10nm テーブルトップX線レーザー源の改良も進められた。

以前NSF EUV ERCのジョージ・ロッカ氏の研究チームのメンバーであった、米ローレンス・リバモア国立研究所のデイビット・アレッシ博士研究者は、「これらの軟X線レーザー源は、高密度プラズマ診断などの高いパルスエネルギー、あるいはナノスケールイメージングやナノスケール動力学研究などの高い平均パワーを必要とするテーブルトップスケールの用途を可能にする能力をもつ」と言う。「NSF EUV ERCは、サブ10nmの軟X線レーザーの空間および時間特性を改善し、それらのパルスエネルギーを増大させることを目標として、研究と開発を続けるだろう」。

(Gail Overton)

参考文献

(1) D. Alessi et al. Phys. Rev. X, 1, 2, 021023 (Sept. 27, 2011).