

500倍低吸収グレーティング コンプレッサ用の新グレーティング

米ローレンスリバモア国立研究所 (LLNL) の先端フォトンテクノロジー (APT) プログラムのチームは、超短レーザーパルスの圧縮のためのグレーティング設計でブレイクスルーを達成した。研究チームは、56nm帯域幅、中心波長810nmで97%を上回る効率で1480ライン/mmグレーティングを作製した⁽¹⁾。

独自の多層誘電体 (MLD) 設計を用い、研究チームは、広く利用されているゴールドグレーティングに対して2つの大きな進歩を達成した。まず、広い帯域で大幅に強化された回折効率、2番目に高い平均パワーの超高速レーザーアプリケーションに重要な品質、500倍低吸収である。同時にナノ秒領域の損傷しきい値は>4Xに大幅強化されており、フェムト秒パルス幅では、ゴールドグレーティングに匹敵する。

研究チームの実際的目標は、高繰り返しレート、メガワット平均パワーのフェムト秒パルス増幅スキームでのパルス圧縮用グレーティングの作製であった。わずか数年前、同じチームがダイオード励起高繰り返しレートの先端的ペタワットレーザーシステム (HAPLS) をチェコのELI研究所に導入した。HAPLSは、繰り返しレート10Hz、30Jエネルギーで、30fsパルスを生成するように設計されている。これは、平均出力300Wに相当し、圧縮前では420W相当である。

そのシステムは、回折効率が強化されたゴールド被覆誘電体リッジグレーティングを採用した。しかし、ゴールド層は約3.5%の吸収があり、これはグレーティングあたり約15Wの熱負荷になった。グレーティングは真空内にあったので、能動

冷却が必要とされた。HAPLSグレーティングは、大きな進歩を示すものだった。グレーティングに適用されるパワーを大きく制限する、下層のゴールドオーバークートフォトレジスト層を排除した新技術を用いて製造されたからである。

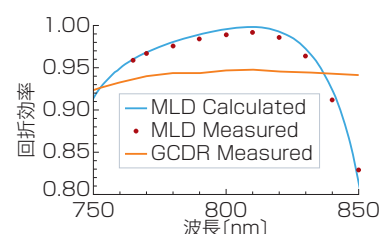
導波モード共鳴の最小化

一方、新しいMLDグレーティングは、最終のゴールド層のない多層誘電体被覆を利用する。実際の被覆層の設計は、導波モード共鳴 (GMR) を最小化するように最適化された。GMRとは、導波路と同様に、レーザーパルスの一部がグレーティング多層スタックと結合する効果である。この効果は、ロスチャネルの機能を果たし、したがってMLDスタックへのレーザー誘起損傷を促進する。

新しいコーティングでは、多層スタックと溝寸法の両方を変更することでGMRは除去された。これは、ナノ秒パルスの損傷しきい値を大幅に改善する結果となり、これは<80fsパルスでゴールドに匹敵する。

シングルグレーティングの反射性を94%から約99%に高めることで、グレーティングコンプレッサの全効率は、30fsパルスで約73%から93%に向上し、熱損失は、500X縮小される(図参照)。これにより、エネルギースループットは著しく改善され、冷却要求は大幅に低減する。その効果は、ナノ秒パルスでは、一段と劇的である。

この成果は、複数のアプリケーション分野で数多くの機会を開く。まず、すべての標準チャープパルス増幅器 (CPA) は、その新技術を採用することで効率が20%程度向上する。2番目にマルチキロワット領域の産業用フェムト秒CPAレ



新しいブロードバンド多層誘電体 (MLD) グレーティングは、30fs短パルス、一貫した帯域幅で>98.5%のスペクトル的に完全な回折効率に達している。この性能は、金被覆誘電体リッジ (GCDR) グレーティングの性能よりもはるかに優れている。(画像提供:LLNL)

ーザは、効率が改善され、冷却要求が大幅に低減されるため、著しく簡素化され、費用効果がさらに向上する。

恐らく、最大のブレイクスルーは、高い平均パワーのペタワットエネルギーシステムに適用される。HAPLSなどの10Hzシステムは、コンプレッサグレーティングで、能動冷却不要の動作が可能であるが、能動冷却とこれらの新しいグレーティングを使うと、平均出力100kW超のCPAレーザーが、直ちに実現可能になる。これは、LLNLのAPTプログラムが取り組んでいるハイパワー超高速レーザーのさらなる開発促進の大きな障害を取り除くことになる。マルチ100kW超高速レーザーは、レーザーベースの粒子加速器など、新規開発のカギとなる。

インタビューで、共著者でプログラムディレクターのコンスタンティン・ヘフナー氏 (Constantin Haefner) は、チームは現在、そのコンセプトを他の波長に拡大し、真のマルチ100kW設計に取り組みたいと話していた。(Andreas Thoss)

参考文献

- (1) D. A. Alessi et al., Opt. Laser Technol., 117, 239-243 (2019); <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.04.005>.