

パルスレーザー堆積技術と紫外レーザー光源

清水 宏¹

Coherent GmbH.¹,

E-mail: hiroshi.shimizu@coherent.com

要約

フォトンエネルギーが5~7.9eV、1パルスあたりのエネルギーが300~1200mJの高エネルギー特性を持つエキシマレーザーはパルスレーザー堆積技術(以下PLD)に高い柔軟性を与える。高いエネルギー密度により、ZnOのような高い結合エネルギー金属酸化物でも基板へ定比組成で正確にアブレーション制御することが出来る。入射ビームには短波長(一般的に248nm)、高いパルスエネルギー(100~1000mJ)、さらに均一な空間エネルギー分布が求められる。薄膜品質は1ショットごとのエネルギー密度変動に大きく左右され、空間ビームプロファイルと1ショットごとのエネルギー安定性は再現性ある結果を得るために重要になる。

1. 最近のエキシマレーザーの開発要素

1.1 セラミック予備電離(特許)

新採用のセラミック予備電離デザイン(効率の良い放電予備電離源とコロナ予備電離のようにスムーズで均一な予備電離状態を発生する技術を結合した技術)によりPLDに必要な均一な放電状況で大きなパルスエネルギーを得ることに成功した。

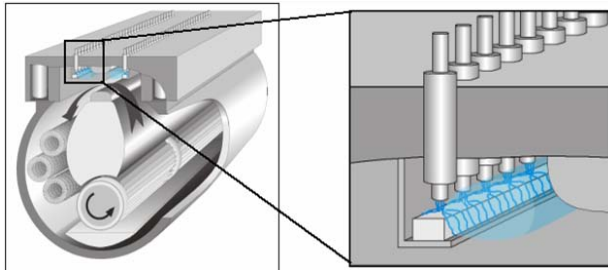


図1 セラミック予備電離の原理 均一な予備電離フォトン分布を発生しエネルギー安定性を大幅向上した。

1.2 最適化されたガスフロー

レーザーチューブ内側のガスフローと静電ガスフィルタリングシステムが最適化され効率的に不純物が除去されるため、長期の安定振振が可能となった。

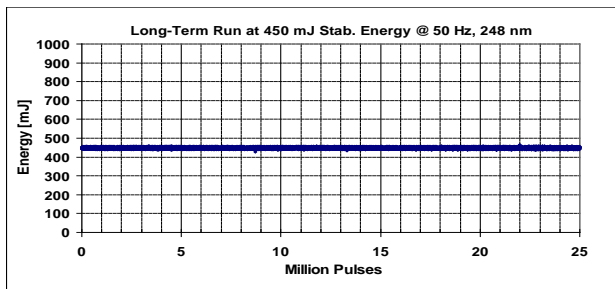


図2 一回のガス充填による5日連続(120時間) 運転での安定性 :COMPexPro 200シリーズ

2. ビームプロファイル及びパルス安定性の考察

エキシマレーザービーム形状はスムーズなトッププロファイル形状を持つため優れたアブレーション特性が得られる。固体レーザーでは媒体のもつ分極化によりアブレーションに本質的には不適当なガウシアンと波面をもつプロファイルができる。

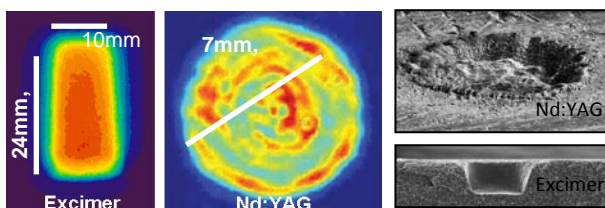


図3 高パルスエネルギーエキシマレーザー(左)とNd:YAGレーザー(右)の典型的な空間強度分布とそれぞれのアブレーション結果

表1にPLDで重要なレーザーパラメーターを示す。フラッシュランプ励起Nd:YAGレーザーのパルス安定性は短波長変換の回数により不安定になり繰り返し率などのPLDパラメータに制限がある。

表1 エキシマレーザーと Nd:YAGレーザー各々のフォトンエネルギー、性能の比較

Parameter	Excimer Laser	Photon Energy	Flash-Lamp Nd:YAG Laser
Wavelength	351nm, 308nm, 248nm 193nm 157nm	1.17eV	1064nm
		2.33eV	532nm
		3.53eV	355nm
		4.02eV	
		4.66eV	266nm
		5.00eV	
		6.42eV	
		7.90eV	
Output Energy	248nm: 100 to 1200mJ 193nm: 50 to 600mJ 157nm: 15 to 50mJ		355nm: 60 to 200mJ 266nm: 40 to 100mJ 213nm: 5 to 15mJ
Repetition Rate	variable, 1 to 200Hz		fixed, 10Hz (20Hz)
Shot-to-Shot Stability	0.5 to 1%, rms		8 to 12%, rms
Long Term Drift, 4hrs	0 to 1%, rms		10 to 15%, rms
Ablation Geometry	Flat-top profile		"distorted Gaussian"
Pulse Width, FWHM	15 to 20ns		5 to 8ns
Consumables	Gas bottle		Flash-lamps, crystals

3. レーザと物質の相互作用

3.1 物質の結合

一般的により高い光子エネルギーではターゲット表面の高速な加熱により良好なブルームにより定比組成で均一な薄膜形成を実現することが出来る。また短い波長ほど材料へのレーザー放射の到達深さは浅く193nmと248nmでは除去深さは100nm程度となる。

3.2 ターゲット上のエネルギー密度

エキシマレーザーのPLD装置ではフラットな部分のエネルギー分布をターゲット面に転写するため上述のクリーンな除去が出来る。エネルギーの少ないレーザーでは集光による不均一なアブレーションとブルームスポットサイズの減少をもたらす薄膜生成の効率と品質を制限すると考えられる。

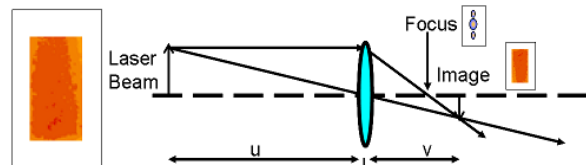


図4 PLD法で用いられるレーザービームの縮小投影面と集光点のビーム強度分布の違い



写真5 スポットサイズに依存するブルーム形状 絞られた焦点では球状(右写真)となる