



空間光位相変調器

# LCOS-SLM

応用例 (レーザ加工/マーキングなど) と 特長

**CONTENTS**

P.2	構成/仕様	P.12	イメージギャラリー
P.4	技術	P.13	特長
P.5	応用例	P.15	関連製品
P.10	加工用レーザと LCOS-SLMの対応表	P.15	よくある質問 (FAQ)
P.10	損傷の種類	P.17	関連論文/技術資料
P.11	レーザ照射実績		

# 構成／仕様

LCOS-SLM（空間光位相変調器）X15213シリーズは、反射型の液晶素子であり、位相変調によって高効率・高精度に光の波面を制御することができます。

フレキシブルケーブルで接続したヘッドとコントローラにより構成されています。

## ▶ 構成

### ■ ヘッド部

型名	画素数 (pixels)	画素ピッチ ( $\mu\text{m}$ )	有効エリアサイズ (mm)	開口率 (%)	質量 (g)
X15213シリーズ	1272 × 1024	12.5	15.9 × 12.8	96.8	152 (高出力レーザ向けタイプ: 552) (レーザ金属加工向けタイプ: 557)

### ■ コントローラ部

型名	電源電圧 AC (V)	電源周波数 (Hz)	質量		入力信号	DVI信号 フォーマット (pixels)	入力信号 階調数 (levels)	DVI フレームレート (Hz)	消費電力 typ. (W)
			本体 (g)	付属品含む (g)					
X15213シリーズ	100 ~ 230	50/60	910	1350	DVI-D/ USB-B (2.0 High-speed)	1280 × 1024	256	60	15

#### ・ X15213 シリーズ



## 概要

X15213シリーズでは、さまざまな波長のニーズに対応した豊富なラインアップを用意しています。高効率な位相変調をするため、全タイプにおいてガラス基板には反射防止膜・CMOSチップにはミラーが形成されています。いずれのタイプも、使用時の推奨ビーム径(1/e<sup>2</sup>)はφ8 mm以上です。

### ●広波長帯域タイプ (-01/-07/-08)

CMOSチップ上のアルミ電極による反射を利用しており、広域の反射波長域を有するため幅広い波長範囲で使用できます。

### ●特定波長向けタイプ (-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19)

レーザ波長に合わせて専用設計した誘電体多層膜が形成されています。広波長帯域タイプと比較して高反射率を実現したことで素子内部での吸収が低減されるため、高い光利用効率を得ることができます。

532 nm帯用の特定波長向けタイプには-13と-16があり、-16は-13に比べて短パルスレーザに対して耐光性が高い設計となっています。

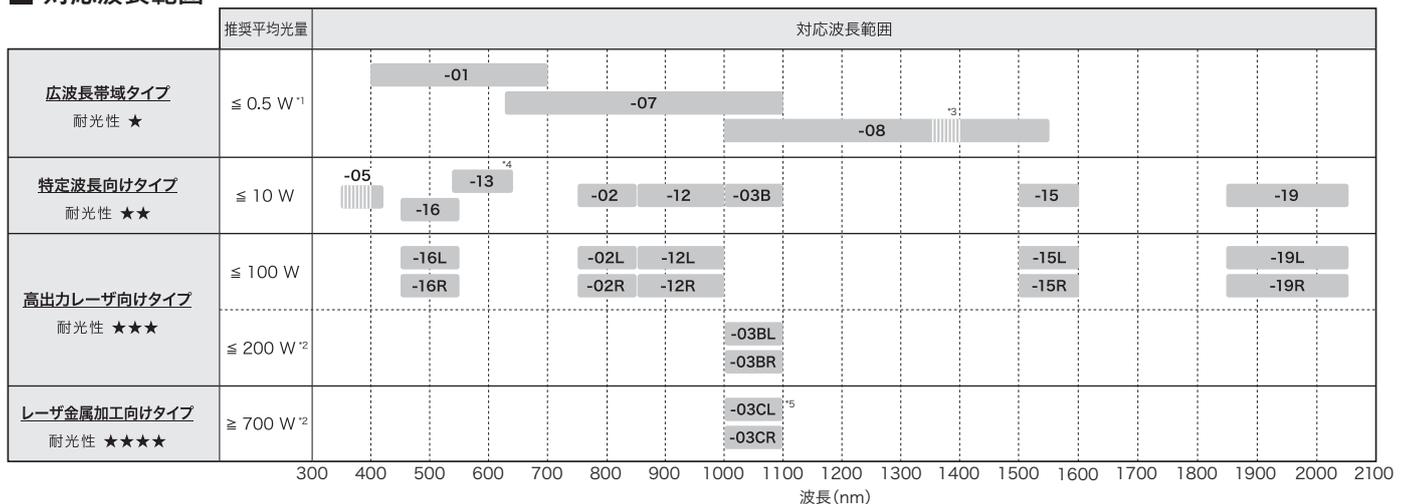
### ●高出力レーザ向けタイプ (-02L/-02R/-03BL/-03BR/-12L/-12R/-15L/-15R/-16L/-16R/-19L/-19R)

特定波長向けタイプのヘッド部に水冷ヒートシンクを搭載し、レーザ照射による温度上昇を抑制して、耐光性を向上させています。対応波長: 1050 nmの-03BL/-03BRは、平均光量200 WまでのYAGレーザなどへの対応が可能です。

### ●レーザ金属加工向けタイプ (-03CL/-03CR)

水冷ヒートシンクに加えて、ガラス基板に従来材料よりも熱伝導率が約30倍高いサファイアガラスを採用し、放熱性能を高めています。さらに、ヘッド部のパッケージ内部に熱伝導率が高い充填剤を封入し、内部構造を最適化することで耐光性を700 W以上に高めることに成功しました。金属加工に必要な高出力レーザへの対応が可能です。

## ■ 対応波長範囲



\*1 単位面積あたり500 mW/cm<sup>2</sup>以下を推奨。

\*2 照射条件に依存するため、詳細についてはお問い合わせください。

\*3 -08は1350 nm～1400 nmの波長帯でガラス基板の吸収により反射率が5%程度低下します。

\*4 -13と-16は532 nm帯レーザに対応可能です。-16は-13よりも短パルスレーザに対して耐光性が高い設計となっています。

\*5 -03CL/-03CRは金属加工に有効な700 W以上の耐光性を有しています。

## 電氣的および光学的特性

型名	対応波長域 (nm)	光利用効率 typ. (%)	上昇時間*1 typ. (ms)	下降時間*1 typ. (ms)
X15213-01	400 ~ 700	76	5	21
X15213-02/-02L/-02R	800 ± 50	97	33	85
X15213-03B/-03BL/-03BR /-03CL/-03CR	1050 ± 50	97	27	83
X15213-05	410 ± 10	97	7	17
X15213-07	620 ~ 1100	80	9	73
X15213-08	1000 ~ 1550	86	13	145
X15213-12/-12L/-12R	850 ~ 1000	97	38	109
X15213-13	530 ~ 635	97	10	21
X15213-15/-15L/-15R	1550 ± 50	97	26	135
X15213-16/-16L/-16R	510 ± 50	97	11	33
X15213-19/-19L/-19R	1850 ~ 2050	97 <sup>*2</sup>	30 <sup>*2</sup>	155 <sup>*2</sup>

\*1 各対応波長において、2π変調の10%から90%の変化に必要な時間。

\*2 発振波長 1950 nmのレーザに対する設計値。

注) 光利用効率、上昇時間、下降時間の測定に使用したレーザの発信波長は以下の通り。

発振波長 633 nm (X15213-01)

発振波長 785 nm (X15213-02シリーズ)

発振波長 1064 nm (X15213-03Bシリーズ/-07)

発振波長 405 nm (X15213-05)

発振波長 1550 nm (X15213-08/-15シリーズ)

発振波長 940 nm (X15213-12シリーズ)

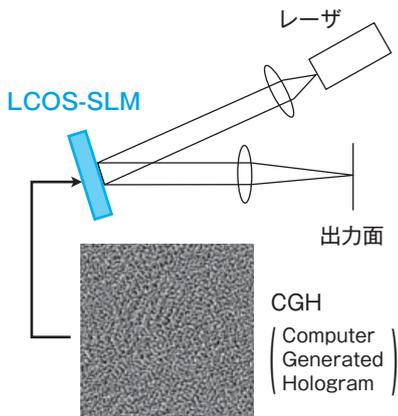
発振波長 532 nm (X15213-13/-16シリーズ)

# 技術

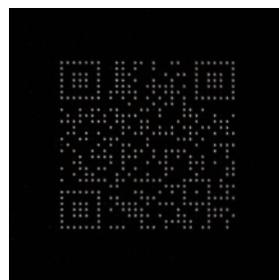
## ▶ 光ビームパターン成型技術

空間光位相変調素子であるLCOS-SLMによって位相型のホログラムを再生し、任意の光パターンを生成する技術です。任意の光パターンを生成する際に、マスクにより光を遮蔽するこれまでの強度変調方式とは異なり、光を位相型ホログラムにより分配することで、高効率なパターン生成ができることが大きな特長です。

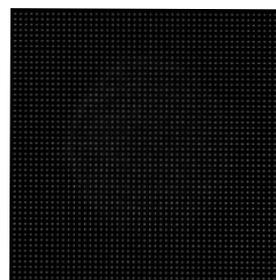
### ■ 光学系



### ○ マスクレスのため高効率



0次光を抑制した  
2次元コード再生像



0次光を抑制した  
50×50点生成



文字列再生例

## ▶ 収差補正技術

あらゆる光学系において、波面の歪み(ひずみ)である収差が存在すると、光学系の性能が大きく低下します。たとえば顕微鏡などにおいて分解能やコントラストが低下したり、レーザ加工などにおいて加工品質や加工効率の低下を招きます。光学系に収差が存在し、波面に歪みが生じると、いくら精度の良いレンズを使っても光を一点に集光することができません。LCOS-SLMは、問題となる収差による歪みを打ち消すように波面を制御することによって、理想に近い光学系を実現することが可能となります。

### 収差があると…

△ 収差 (波面の歪み) によって結像性能が大きく低下

- ・ 観察時には、分解能・コントラストが低下
- ・ 加工時には、加工品質・効率が低下

収差で波面が歪んでいると

1 点に集光せず  
ボケが発生

### LCOS-SLM で収差を補正

○ 収差を打ち消すように波面を制御することで理想に近い光学系を実現

波面の歪みを補正

理想に近い  
集光を実現

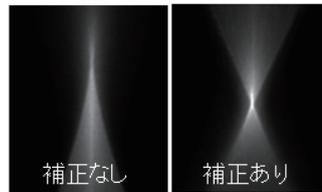
# 応用例

## ▶ 多点同時レーザ加工

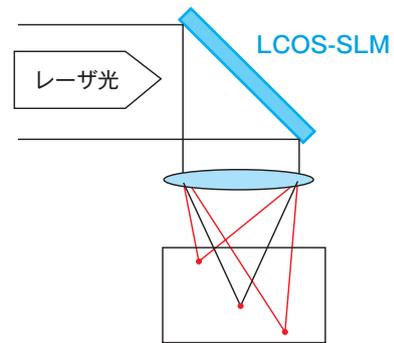
### 光ビームパターン成型技術を用いて多点を同時に加工

レーザ加工は従来は、1本のビームをスキャンすることにより実現していました。しかし、LCOS-SLMの光ビームパターン成型により任意に多数のビームを生成することが可能となるため、多数のビームによる同時加工によって工程時間を短縮することができます。また、加工点を2次元平面内で制御するだけでなく、深さ方向を含めた3次元空間で制御することが可能となり、これまでに無い新しいレーザ加工を実現できます。

- ・ 多点同時加工で高速化
- ・ 深さ方向の制御も可能
- ・ 同時に収差補正

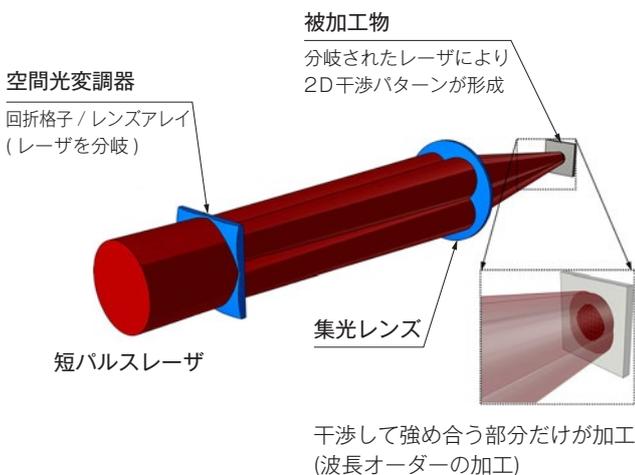


側面から観察した集光ビーム



※ NEDOプロジェクト「3次元光デバイス高効率製造技術」において、  
京都大学・ニューガラスフォーラムと共同研究

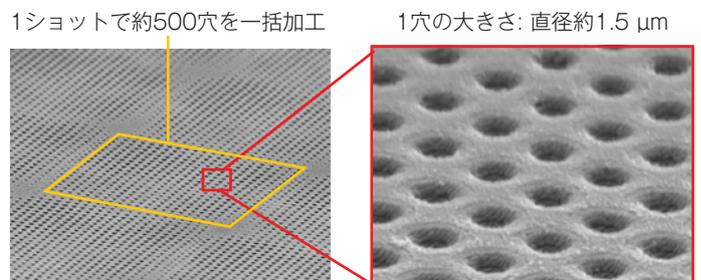
## ▶ 多光束干渉による超微細同時多点加工



### ■ 加工例

#### ITO膜の除去

レーザ：超短パルスレーザ 515 nm



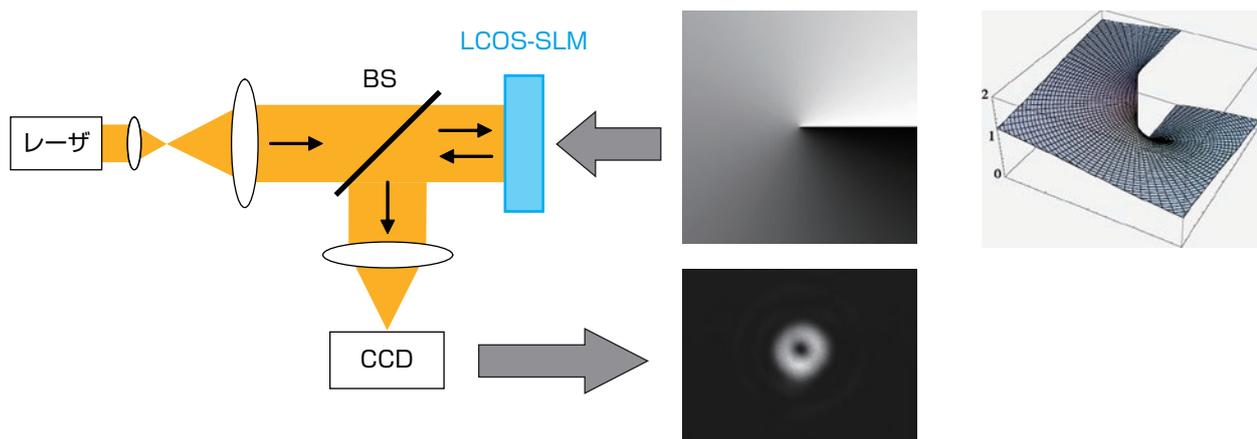
### ■ 関連論文

- 超短パルスレーザ加工への高精度波面制御技術の適応  
レーザ加工学会誌  
Vol. 20 No. 2 (2013)133-138

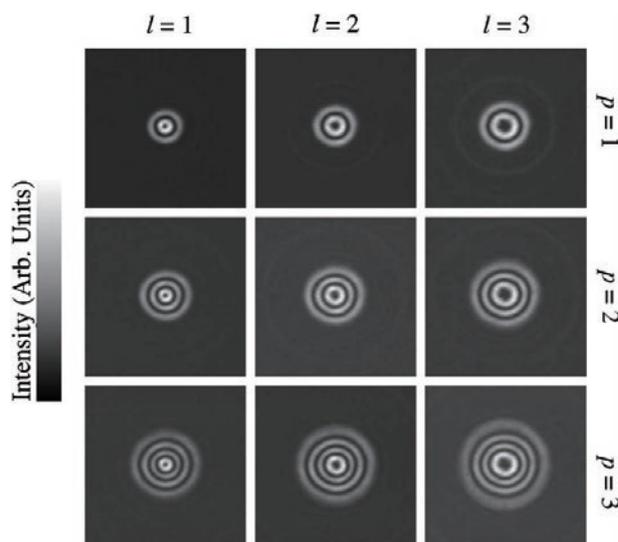
## ▶ Optical vortex (光渦) 生成

LCOS-SLMにらせん状の位相分布をPCからデータ入力することで、Optical vortexを生成することができます。

### ■ 光学系



### ■ 高次ビームの生成結果



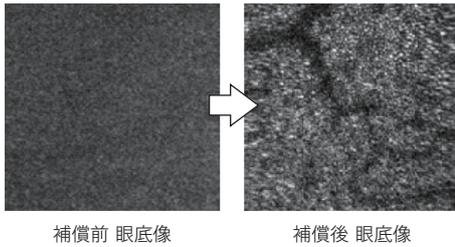
### ■ 関連論文

- Structure of optical singularities in coaxial superpositions of Laguerre-Gaussian modes  
Journal of the Optical Society of America A  
Vol. 20 No. 2 (2013)133-138

## 補償光学眼底イメージング装置

人の眼の収差を動的に除去し、高分解能の眼底イメージングを実現しました。

### ○ 視細胞まで判別可能

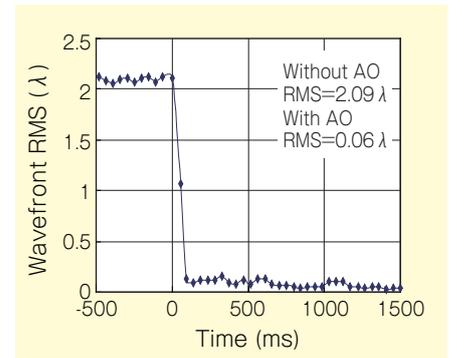
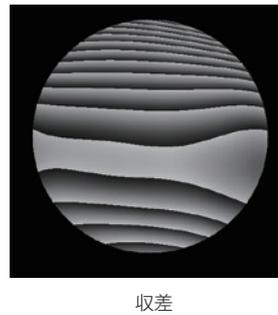
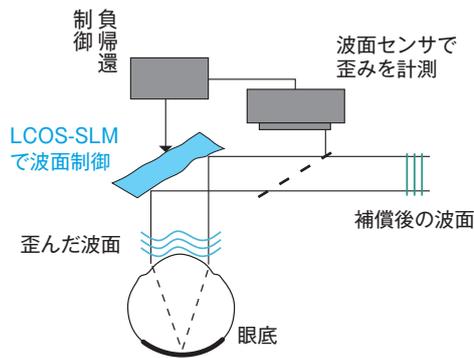
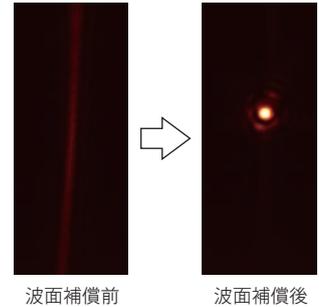


※ NEDOプロジェクトにおいて(株)ニデックと共同開発中

### ■ 動的な波面補償の実験例

#### 補償光学での改善

- ・ ビームサイズ <math>< 1/25</math>
- ・ ピーク強度 > 12 倍
- ・ PV 値 (Peak to Valley) >  $10 \lambda$



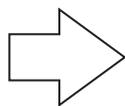
## 光マニピュレーション (光ピンセット)

波面制御により、高効率で自由自在なマニピュレートが可能です。

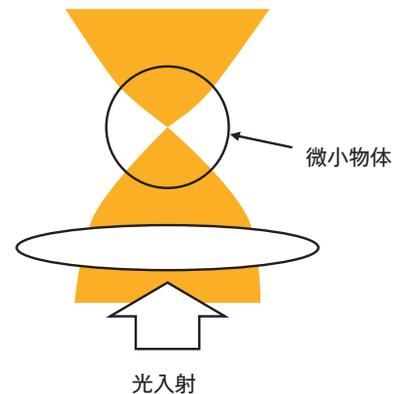
### 光圧により微小物体を捕捉する技術

生物・科学分野では、高精度かつ大量処理が可能な装置が必要

- ・ 多点制御
- ・ 3次元制御
- ・ ビーム制御



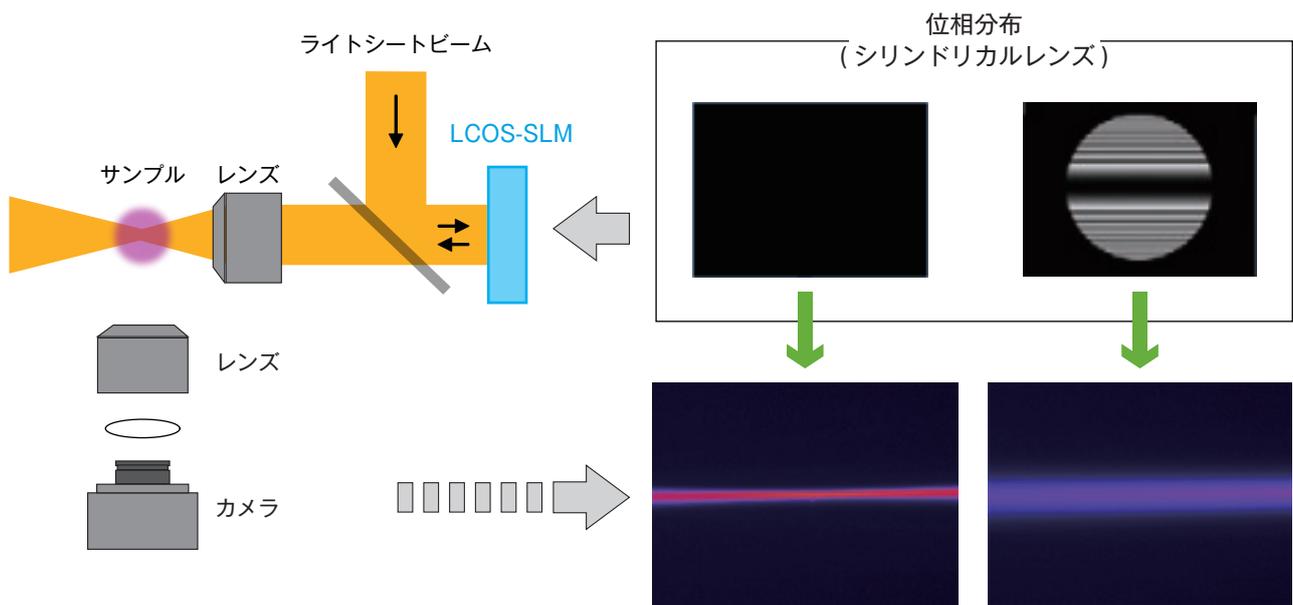
光マニピュレーション  
微小力の計測



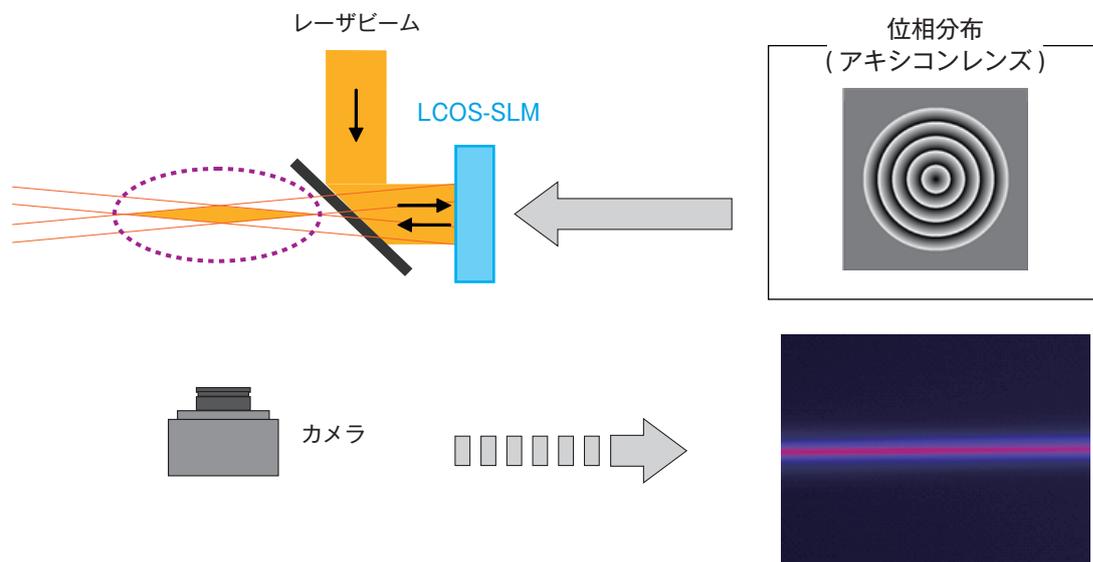
## ▶ ビーム制御: レンズ機能、非回折ビーム

レンズ機能やベッセルビーム生成などの位相分布をLCOS-SLMに入力することで、さまざまなビーム制御が可能になります。これらのビームは、ライトシート顕微鏡などへの応用が期待されます。

### ■ シリンドリカルレンズ効果

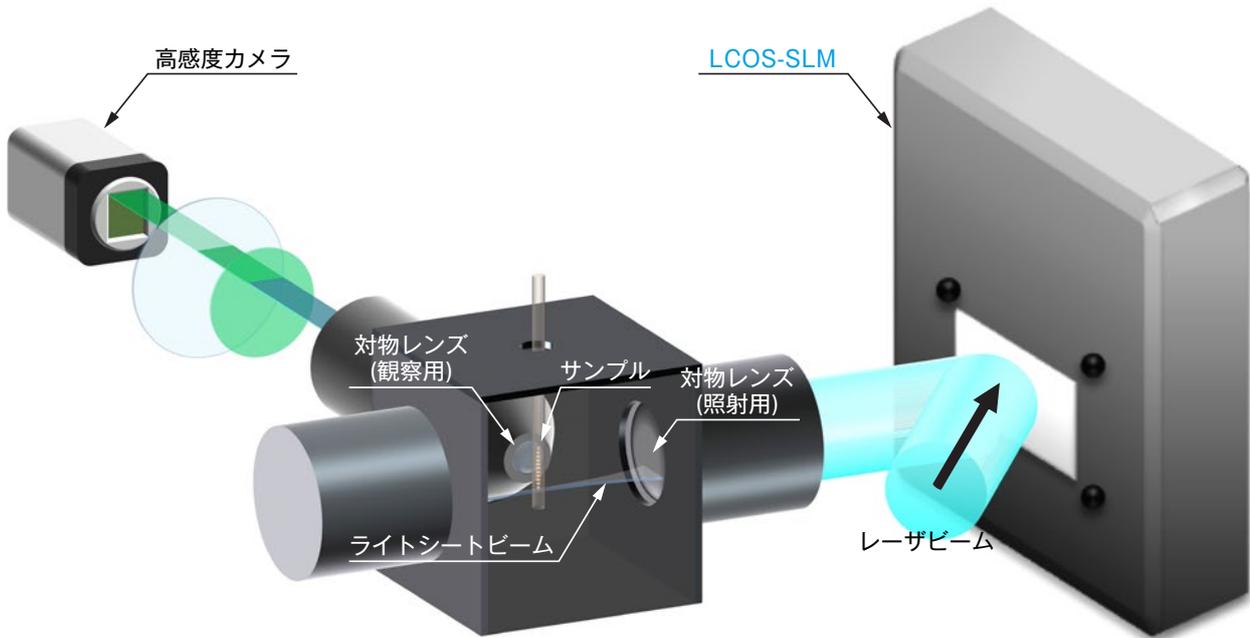


### ■ ベッセルビーム生成



## ▶ ライトシート顕微鏡

ライトシート顕微鏡は、ライブセルイメージングで注目されている蛍光顕微鏡技術の1つです。シート状の励起光を、サンプルの観察したい焦点面のみに照射するため、光毒性と光退色を抑制しつつ、3次元で高い空間分解能を得られます。



# 加工用レーザとLCOS-SLMの対応表

各種加工用レーザに対応するLCOS-SLMの対応機種を下表に示します。

加工点を2次元平面内で制御するだけでなく、深さ方向を含めた3次元空間で制御することが可能となり、これまでにない新しいレーザ加工が実現できます。

レーザの種類	波長 (nm)	特定波長向けタイプ	高出力レーザ向けタイプ / レーザ金属加工向けタイプ
Yb:YAG, Yb:Fiber	515	X15213-16	X15213-16L/-16R
Nd:YAG	532	X15213-13 X15213-16	X15213-16L/-16R
Ti:S	800	X15213-02	X15213-02L/-02R
Nd:YAG	1064	X15213-03B	X15213-03BL/-03BR /-03CL/-03CR
Nd:YVO4	1064	X15213-03B	X15213-03BL/-03BR /-03CL/-03CR
Yb:YAG, Yb:Fiber	1030	X15213-03B	X15213-03BL/-03BR /-03CL/-03CR

## 損傷の種類

LCOS-SLMの損傷には、主に以下の3つのタイプがあります。

- ・液晶層における熱的損傷
- ・誘電体ミラーおよびアルミミラーにおける侵食的損傷
- ・液晶材料の光化学的損傷

熱的損傷は、読み出し光の平均パワーが高すぎる場合に発生します。主な現象を順に示します。

- ① LCOS-SLMの各構成材料における光吸収
- ② 吸収された光エネルギーによる液晶層の温度上昇
- ③ 液晶の温度上昇による複屈折性の低下
- ④ 液晶温度が相転移温度に達した場合、複屈折性の消失
- ⑤ 温度上昇が極限に達した場合、液晶の沸騰による不可逆的変性

これらの熱的損傷は、複屈折特性をモニタすることにより防ぐことができます。

侵食的損傷は、読み出し光のピークパワーが高すぎる場合に発生します。読み出し光のピークパワーが損傷閾値を超えると本損傷が発生し、元に戻りません。

# レーザ照射実績

LCOS-SLMは高い信頼性を備えたデバイスですが、高出力レーザの使用により損傷を受ける可能性があります。例として、一部の製品に対するレーザの照射実績を下表に示します。

## ▶ X15213-02

種類	光源			ビーム径 (mm) [at 1/e <sup>2</sup> ]	照射時間	照射光量		ピークパワー		結果	
	波長 (nm)	パルス幅	繰り返し周波数 (kHz)			平均出力 (W)	単位面積当たり (W/cm <sup>2</sup> )	ピーク出力	単位面積当たり	損傷	特性変化
Ti:Sレーザ (パルス)	800	50 fs	1	φ9	3時間	2.7	4.3	108 GW	170 GW/cm <sup>2</sup>	なし	あり
Ti:Sレーザ (パルス)	800	50 fs	1	φ11	10時間	2.7	2.9	108 GW	114 GW/cm <sup>2</sup>	なし	なし
Ti:Sレーザ (パルス)	800	30 fs	0.01	φ18	6時間	0.05	0.02	333 GW	131 GW/cm <sup>2</sup>	なし	なし

## ▶ X15213-03B

種類	光源			ビーム径 (mm) [at 1/e <sup>2</sup> ]	照射時間	照射光量		ピークパワー		結果	
	波長 (nm)	パルス幅	繰り返し周波数 (kHz)			平均出力 (W)	単位面積当たり (W/cm <sup>2</sup> )	ピーク出力	単位面積当たり	損傷	特性変化
YAGレーザ (CW)	1064	-	-	φ2.5	1時間	2.0	40.7	-	-	なし	なし
YAGレーザ (パルス)	1064	200 ns	80	φ2.5	1時間	2.0	40.7	0.25 KW	5.1 KW/cm <sup>2</sup>	なし	なし
パルスレーザ	1030	670 fs	1	φ4.5	10時間	0.6	3.8	1.8 GW	11.3 GW/cm <sup>2</sup>	なし	なし
パルスレーザ	1030	1.37 ps	30	φ8.11	8時間	5.2	10.1	0.25 GW	0.49 GW/cm <sup>2</sup>	なし	なし
パルスレーザ	1030	11.4 ns	10	φ13	8時間	17.4	13.1	0.31 MW	0.23 MW/cm <sup>2</sup>	なし	なし

注) 本データは旧タイプによる試験結果です。後継機種種の-03Bシリーズでも同等以上の性能が得られます。

## ▶ X15213-03CL/-03CR

種類	光源			ビーム径 (mm) [at 1/e <sup>2</sup> ]	照射時間	照射光量		ピークパワー		結果	
	波長 (nm)	パルス幅	繰り返し周波数 (kHz)			平均出力 (W)	単位面積当たり (W/cm <sup>2</sup> )	ピーク出力	単位面積当たり	損傷	特性変化
ファイバレーザ (CW)	1070	-	-	φ5.5	10時間	743	3127	-	-	なし	なし <sup>*1</sup>

\*1 水冷条件によります。詳しくは弊社にお問い合わせください。

## ▶ X15213-13

種類	光源			ビーム径 (mm) [at 1/e <sup>2</sup> ]	照射時間	照射光量		ピークパワー		結果	
	波長 (nm)	パルス幅	繰り返し周波数 (kHz)			平均出力 (W)	単位面積当たり (W/cm <sup>2</sup> )	ピーク出力	単位面積当たり	損傷	特性変化
CWレーザ	532	-	-	φ8.45	8時間	10	17.8	-	-	なし	なし

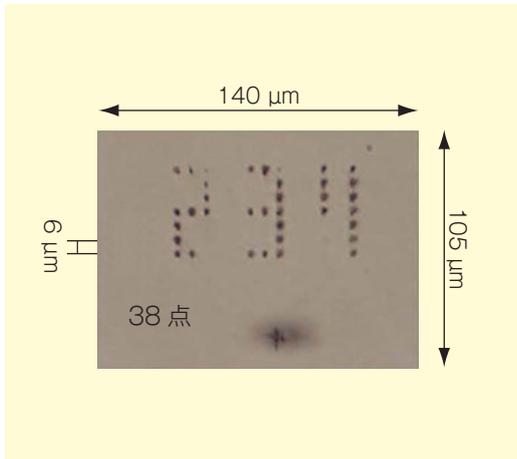
## ▶ X15213-16

種類	光源			ビーム径 (mm) [at 1/e <sup>2</sup> ]	照射時間	照射光量		ピークパワー		結果	
	波長 (nm)	パルス幅	繰り返し周波数 (kHz)			平均出力 (W)	単位面積当たり (W/cm <sup>2</sup> )	ピーク出力	単位面積当たり	損傷	特性変化
パルスレーザ	515	4 ps	25	φ3.7	27時間	0.162	1.5	1.6 MW	30 MW/cm <sup>2</sup>	なし	なし
					60時間	0.36	3.3	3.6 MW	67 MW/cm <sup>2</sup>	あり	あり

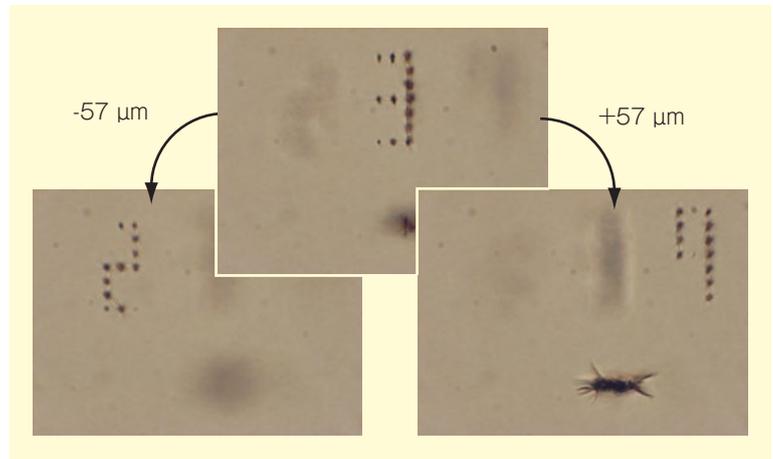
# イメージギャラリー

## ▶ CGHをLCOS-SLMに書き込み、フェムト秒レーザーでガラス内部を加工した結果

2次元加工



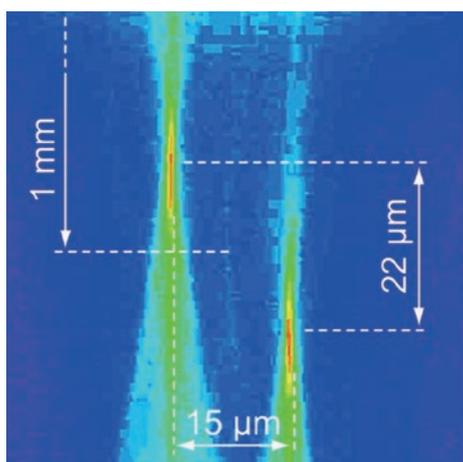
3次元一括加工



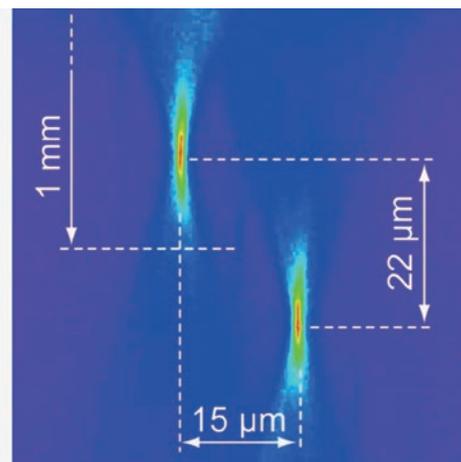
- ・対物レンズ: NA=0.3 (Nikon)
- ・入射光強度: 250 mW ( $\phi$ 8 mm 開口)
- ・BK7

## ▶ 透明材料内部のレーザービームの集光の様子

収差補正なし



収差補正あり



# 特長

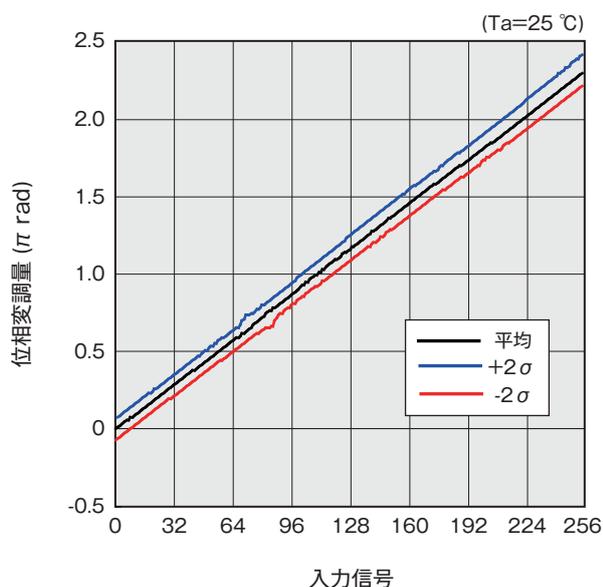
## 特長 1 高い光利用効率

X15213シリーズは、入射光強度に対する0次回折光強度の比で表される光利用効率が非常に高いという特長を持ちます。この光利用効率は、主に素子の反射率と画素構造による回折ロスに依存します。LCOS-SLMにおいては、CMOS技術を応用するとともに、その設計に細心の注意を払うことにより、回折ロスを5%以下と最小限に抑えることができました。-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19は誘電体多層膜ミラーを有しており、高い反射率を実現しています。-01/-07/-08は誘電体多層膜ミラーをもたないため反射率では劣りますが、広い波長範囲での利用が可能です。

## 特長 2 大きな位相変調特性と高い線形成

X15213シリーズでは、400 nm～2050 nmの波長範囲において、 $2\pi$ 以上の位相変調量を得ることができます。出荷時には、タイプごとに特定の波長範囲に合わせて高精度・高線形変調特性が得られるように調整されます。下図は位相変調特性の代表例です。 $2\pi$ 以上の位相変調量が高い線形性を実現していることがわかります。また位相変調特性については、有効面内の95%の画素における位相変調が $\pm 2\sigma$ の範囲に収まっており、ばらつきが小さいことを確認しています。

### ■ 位相変調特性 (代表例)



LEJ-F40002

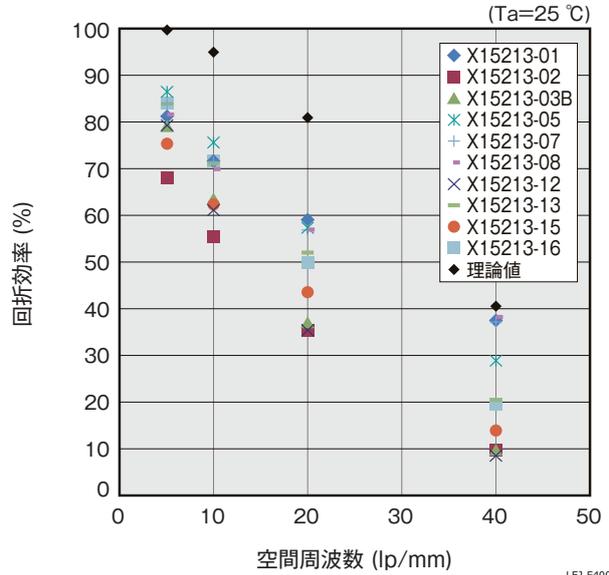
特長 3 高い回折効率

X15213シリーズは、高精度光位相変調が可能な空間光位相変調器で、理論値に近い高い回折効率を得られます。下図は多値位相格子を表示した際に得られる回折スポット像です。多値位相格子を利用することにより、たとえば(c)に示すように+1次のみに回折スポットを集中させることが可能となるため、高い光利用効率を得ることができます。また回折効率の代表的な例も示します。ここでの回折効率は、変調を行わない場合(パターンなし)の0次光強度に対する1次回折光強度の比です。

■ 回折スポット像



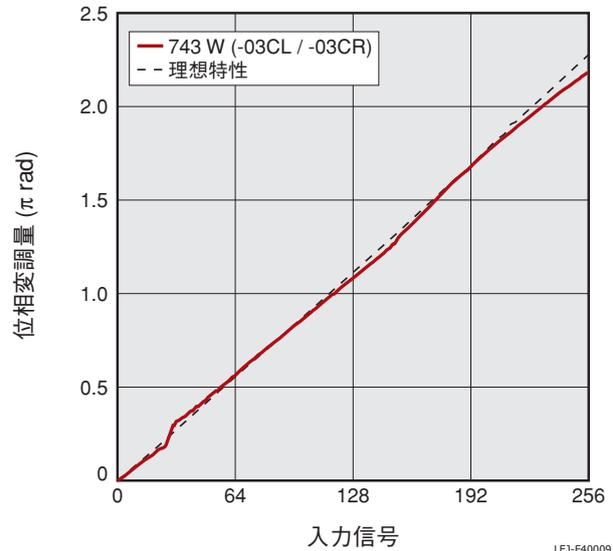
■ 回折効率 (代表例)



特長 4 優れた耐光性能

X15213シリーズは汎用性と高信頼性を実現していますが、高出力レーザー光を照射する際、ピークパワーや平均光量によっては特性変化が発生する懸念があります。ピークパワーが高い場合、2光吸収が発生するため特性変化や損傷につながります。平均光量が高い場合、発熱によって特性変化が発生します。この発熱起因の特性変化を抑制するには、放熱性能を向上させた高出力レーザー向けタイプやレーザー金属加工向けタイプが有効です。

■ 金属加工向けタイプの位相変調特性 (代表例)



注) 水冷条件によります。詳しくは弊社にお問い合わせください。

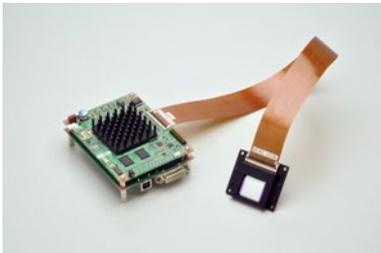
タイプ	型名	推奨平均光量
広波長帯域タイプ	X15213-01/-07/-08	$\leq 0.5$ W *1
特定波長向けタイプ	X15213-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19	$\leq 10$ W
高出力レーザー向けタイプ	X15213-02L/-02R/-12L/-12R/ -15L/-15R/-16L/-16R/-19L/-19R	$\leq 100$ W
	X15213-03BL/-03BR	$\leq 200$ W *2
レーザー金属加工向けタイプ	X15213-03CL/-03CR	$\geq 700$ W *2

\*1 単位面積当たり500 mW/cm<sup>2</sup>以下を推奨。

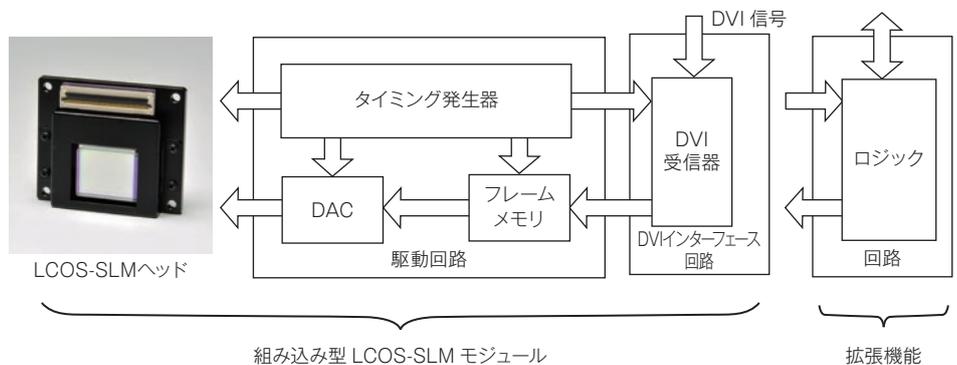
\*2 照射条件に依存するため、詳細についてはお問い合わせください。

# 関連製品: 組み込み型LCOS-SLM X15223シリーズ

小型で安価な本製品によって、より手軽に産業分野などへLCOS-SLMを応用できます。小型のヘッド部は、駆動回路とフレキシブルケーブルで接続されています。



## ■ ブロック図



## よくある質問 (FAQ)

Q: LCOS-SLMの開発は浜松ホトニクス (株)独自で行われたのでしょうか？

A: はい、そうです。CMOSバックプレーン、光学薄膜フィルムを含むシステム全体は弊社独自に設計・製造されたものです。このため、LCOS-SLMはレーザの検出などの用途に合わせて個々に最適化されたものとなります。

Q: カスタム品への対応は可能でしょうか？

A: すべての部品が社内設計されたもので、カスタム品については柔軟な対応が可能です。ご要望については最寄りの営業所へご連絡ください。

Q: デバイス個々の位相特性および平坦度の補正のために、実際の使用前に、これらの測定は必要でしょうか？

A: 必要ありません。優れた直線性の位相特性をもたせたLCOS-SLMを出荷をしています。また、個々の平坦度補正データを併せて提供しています。

Q: LCOS-SLMは、位相安定性の高いデバイスでしょうか？

A: LCOSチップ駆動のためのコントローラは入念に設計されており、駆動に伴う位相揺らぎは極めて小さくなっています。詳細に関しては、弊社までお問い合わせください。

Q: LCOS-SLM X15213シリーズの光利用効率は、どのような値でしょうか？

A: トータルの光利用効率はLCOS-SLMの反射率に加えて、画素構造に起因する回折ロスによって決まります。反射率はミラー特性で決まり、広波長帯域タイプのほかに97%といった高い反射率をもつ特定波長向けタイプ(-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19)を用意しています。また、開口率が高いため、良好な回折効率を実現しています。回折ロスは、LCOS-SLMの画素サイズ、開口率、液晶材質などに依存します。

Q: LCOS-SLMを駆動するために特殊なインターフェースが必要でしょうか？

A: 必要ありません。DVI出力の標準グラフィックカードのみで駆動が可能です。また、2ポート付タイプで、それぞれでモニタとLCOS-SLMの制御をすることが理想的です。

Q: レーザ損傷はどのレベルから起こるのでしょうか？

A: 広波長帯域タイプ(-01/-07/-08)と、特定波長向けタイプ(-02/-03B/-05/-12/-13/-15/-16/-19)の2種で異なります。特定波長向けタイプの方がCWおよびパルスレーザの照射において、高い耐性を持っています。各種レーザを使ったテストを実施しています。LCOS-SLM技術資料(営業所へご請求ください)を参照してください。お客様が使用するレーザについて技術資料に掲載されていない場合、レーザの仕様(波長、平均パワー、パルスエネルギー、パルス幅、繰り返し周波数)を伝えていただくとアドバイスをすることができます。

Q: LCOS-SLMはどの波長帯での使用を前提にしたのでしょうか？

A: 現在、400 nmから2050 nmの範囲でに対応したラインナップを取り揃えています。使用される光源に合ったタイプをお選びください。

Q: LCOS-SLMどのようなタイプの空間光位相変調器でしょうか？

A: 平行配向のネマチック液晶による変調部とCMOSバックプレーンを使ったアドレス部をもった反射型の空間光位相変調器です。

Q: デモ機を借りることは可能でしょうか？

A: 可能です。連絡をいただきましたら、スケジュールを調整いたします。なお通常、貸し出し期間は2週間です。返却時にはデモ機の評価に関して感想をお聞かせください。

Q: LCOS-SLMの価格表はありますか？

A: 価格表の提供は行っていません。ご要望の機種の種類については、営業所にお問い合わせください。

Q: 発注後の納期はどの程度でしょうか？

A: 標準的には6~8週間です。製造サイクルによっては、これよりも早く提供できる場合もあります。お急ぎの場合、その旨をご連絡ください。

Q: 保証期間はどの程度でしょうか？

A: 納入後12ヵ月です。

## ▶ Laser processing

- Modified Alvarez lens for high-speed focusing.  
Optics Express 25 (24): 29847-29855 (2017)
- Massively parallel femtosecond laser processing  
Optics Express 24 (16): 18513-18524 (2016)
- Three-dimensional vector recording in polarization sensitive liquid crystal composites by using axisymmetrically polarized beam.  
Optics Letters 41 (3): 642-645 (2016)
- Abruptly autofocusing beams enable advanced multiscale photo-polymerization.  
Optica 3 (5): 525-530 (2016)
- Laser material processing with tightly focused cylindrical vector beams.  
Applied Physics Letters 108 (22): 221107 (2016)

## ▶ Adaptive optics

- Adaptive optics scanning laser ophthalmoscope using liquid crystal on silicon spatial light modulator : performance study with involuntary eye movement  
Jpn. J. Appl. Phys. 56, 09NB02 (2017).

## ▶ Beam shaping/Pulse shaping

- 9-kW peak power and 150-fs duration blue-violet optical pulses generated by GalnN master oscillator power amplifier.  
Optics Express 25 (13): 14926-14934 (2017)
- Sub-diffraction-limited fluorescent patterns by tightly focusing polarized femtosecond vortex beams in silver-containing glass.  
Optics Express 25 (9): 10565-10573 (2017)
- Creating a nondiffracting beam with sub-diffraction size by a phase spatial light modulator.  
Optics Express 25 (6): 6274-6282 (2017)
- Vortex-free phase profiles for uniform patterning with computer-generated holography.  
Optics Express 25 (11): 12640-12652, 2017
- Realization of multiform time derivatives of pulses using a Fourier pulse shaping system.  
Optics Express 25 (4): 4038-4045 (2017)
- Diffractive fan-out elements for wavelength-multiplexing subdiffraction-limit spot generation in three dimensions  
Applied Optics 55 (23): 6371-6380 (2016)
- Fluid flow vorticity measurement using laser beams with orbital angular momentum.  
Optics Express 24 (11): 11762-11767 (2016)
- Comparison of beam generation techniques using a phase only spatial light modulator.  
Optics Express 24 (6): 6249-6264 (2016)
- Mode crosstalk matrix measurement of a 1 km elliptical core few-mode optical fiber.  
Optics Letters 41 (12): 2755-2758 (2016)
- Arbitrary shaping of on-axis amplitude of femtosecond Bessel beams with a single phase-only spatial light modulator.  
Optics Express 24 (11): 11495-11504 (2016)

- Mitigating self-action processes with chirp or binary phase shaping.  
Optics Letters 41 (1): 131-134 (2016)
- High-quality generation of a multispot pattern using a spatial light modulator with adaptive  
Optics Letters 37, 3135 (2012)

## ► Microscopy applications

- Raman imaging through a single multimode fiber.  
Optics Express 25 (12): 13782-13798 (2017)
- Transmission-matrix-based point-spread-function engineering through a complex medium  
Optica 4 (1): 54-59 (2017)
- Three-dimensional spatiotemporal focusing of holographic patterns.  
Nature Communications 7: 11928 (2016)
- Colored point spread function engineering for parallel confocal microscopy.  
Optics Express 24 (24): 27395-27402 (2016)
- Three-dimensional STED microscopy of aberrating tissue using dual adaptive optics.  
Optics Express 24 (8): 8862-8876 (2016)
- A V0 core neuronal circuit for inspiration.  
Nature Communications 8 (1): 544 (2017)
- An adaptive approach for uniform scanning in multifocal multiphoton microscopy with a spatial light modulator  
Optics Express 22 (1), 633-645 (2014).

## ► Optical manipulation/others

- Using back focal plane interferometry to probe the influence of Zernike aberrations in optical tweezers.  
Optics Letters 42 (15): 2968-2971 (2017)
- Vector assembly of colloids on monolayer substrates.  
Nature Communications 8: 15778 (2017)
- Cooperative Micromanipulation Using the Independent Actuation of Fifty Microrobots in Parallel.  
Scientific Reports 7 (1): 3278 (2017)
- Single-pixel digital holography with phase-encoded illumination.  
Optics Express 25 (5) 4975-4984 (2017)
- Single-shot incoherent digital holography using a dual-focusing lens with diffraction gratings.  
Optics Letters 42 (3): 383-386 (2017)
- Shaping of cylindrical and 3D ellipsoidal beams for electron photoinjector laser drivers.  
Applied Optics 55 (7): 1630-1635 (2016)
- Enhanced terahertz wave emission from air-plasma tailored by abruptly autofocusing laser beams.  
Optica 3 (6): 605-608 (2016)

製品の仕様は、改良などのため予告なく変更することがあります。本資料は正確を期するため慎重に作成されたものですが、まれに誤記などによる誤りがある場合があります。本製品を使用する際には、必ず納入仕様書をご用命の上、最新の仕様をご確認ください。

本製品の保証は、納入後1年以内に瑕疵が発見され、かつ弊社に通知された場合、本製品の修理または代品の納入を限度とします。ただし、保証期間内であっても、天災および不適切な使用に起因する損害については、弊社はその責を負いません。

本資料の記載内容について、弊社の許諾なしに転載または複製することを禁じます。

## 浜松ホトニクス株式会社

[www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com)

仙台営業所	〒980-0021	仙台市青葉区中央3-2-1 (青葉通プラザ11階)	TEL (022) 267-0121	FAX (022) 267-0135
東京営業所	〒100-0004	東京都千代田区大手町2-6-4 (常盤橋タワー11階)	TEL (03) 6757-4994	FAX (03) 6757-4997
中部営業所	〒430-8587	浜松市中央区砂山町325-6 (日本生命浜松駅前ビル)	TEL (053) 459-1112	FAX (053) 459-1114
大阪営業所	〒541-0052	大阪市中央区安土町2-3-13 (大阪国際ビル10階)	TEL (06) 6271-0441	FAX (06) 6271-0450
西日本営業所	〒812-0013	福岡市博多区博多駅東1-13-6 (いちご博多イーストビル5階)	TEL (092) 482-0390	FAX (092) 482-0550

レーザ事業推進部 営業推進グループ 〒438-0193 静岡県磐田市下神増314-5 TEL (0539)63-0230 FAX (0539)62-2205

Cat. No. LLAP3012J04  
Jun. 2024 IP