

| 最新のレンズ精密加工

原材料

光学材料からなるレンズブランクスを、丸板、プリフォームの 形で受け取ります。合成石英、フッ化カルシウム、ゲルマニウ ム、硫化亜鉛およびフィルターガラスなどの約120種類の光学 品質レンズを使用しています。

粗研削

レンズブランクス(丸板、プリフォーム)は、それぞれ曲面が 異なるため、各面をダイヤモンド付き工具で別々に事前研削し ています。後の精研削および研磨のために全ての面で0.1mm から0.2mmの公差に保たれています。

精研削

ペレットが接着された特殊工具を使用してレンズ曲面の精研削 を行います。ペレットには5µmから25µmのサイズのダイヤモ ンド粒子が焼結されています。試作品の製造においては、ふた つの工具を搭載する特殊CNC研削機を使用し、粗研削と精研削 をひとつのチャックで行います。

研磨

表面をポリウレタン膜で覆ったアルミニウム製工具を用いて、 レンズの曲面を研磨します。工具に接着された膜は要求精度を 出すために特殊カウンター工具により施されています。研磨剤 は、主に酸化セリウムが用いられています。機械および工具を 最適化することにより、研磨工程において同時に干渉試験手法 を用い、非接触でレンズ表面の面精度を正確に計測していま す。

センタリング

レンズの両面研磨の後、光学的な中心出しをする必要がありま す。そのために、レーザービームを当てて装置内でレンズの光 軸に合わせた高精度位置合わせを行います。その位置をチャッ クで固定し、1枚または2枚のダイヤモンド製研削ディスクを使 用してレンズの縁を同心状に研削します。同時に面取りも行い ます。

研磨テクノロジー

我々の新しい設備では粗研削、精研削、研磨およびMRF研磨テ クノロジーの生産ラインを導入しています。「磁性流体仕上 げ」工程が、レンズの理想の曲率からごくわずかな逸脱でも ゾーンごとに修正するだけで済みます。この技術により、コン トロールされた条件下で非球面でもλ/10未満の面精度で生産す ることができます。

Modern precision manufacturing of lenses

コーティング

コーティングされていないレンズは表と裏の両面の反射がある ため透過率は約96%です。このため、より透過率を上げるため にレンズ表面には薄い誘電性フィルムがコーティングされてい ます。このコーティングは5層から11層で(特殊な場合は最大 50層)、ガラス/空気(または空気/ガラス)の表面のロスを 防ぎます。反射を最大0.05%まで減少させるには、このコー ティング層を要求される波長および硝材に合わせて反射させる 必要があります。我々の標準的な反射防止(AR)コーティング は、193nmから2000nmまでの波長域をカバーしています。

品質管理

全ての生産工程が完了した後、拡大鏡または顕微鏡を用いてレンズ表面の品質管理を行います。製品の高い品質を保証するため、Sill OpticsはDIN EN ISO 9001:2008認証を取得しています。これは作業員が高い品質意識を維持するモチベーションとなっています。

ハウジング

試作品および少量生産向けハウジングの旋削および研削専用の 作業場があります。精密旋削機および3D CNC研削センタ ーを 導入しています。使用する材料としてはアルミニウムが望まし い(RoHS準拠)のですが、チタン等のその他の材料にも対応可 能です。機械加工後は、内面反射を防ぐために全ての部品には 黒色アルマイト処理仕上げ、またはその他の表面仕上げが施さ れます。

アセンブリ

光学システム(レンズ)は、1本のハウジング内にいくつかのレ ンズエレメントを組み合わせて出来上がります。これらのレン ズは、いかなる汚れやほこりもつかないように徹底的にクリー ニングされます。これらの各レンズエレメントがマウントに対 してきちんと中心に取り付けられるよう細心の注意を払う必要 があります。モジュラーシステムにより、費用効率の高いアセ ンブリと効果的な在庫管理が可能になります。この方法で、年 間20,000本のレンズを組み立てています。

試験能力

-干渉計	-ゴニァ	オメーター	
-波面センサー	-オート	-コリメー	ター
-MTF測定器	-3D測	定センタ-	-
-レーザー(1064 nm、	633nm、	532nm、	355nm)





Beam Expanders

Aspheres

Als neueste Fertigungsstraße wurde eine Einheit mit Vor-Feinschleifen, Polieren und MRF-Poliertechnologie eingerichtet. Das "Magneto-Rheological-Finishing" Verfahren ermöglicht eine zonale Korrektur auch feinster Abweichungen vom Nominalradius. Diese Technologie erlaubt es uns, Asphären als auch Oberflächen mit einer Güte von kleiner lambda/10 unter kontrollierten Bedingungen herzustellen.

Vergütung

Linsenoberflächen transmittieren nur ca. 96% des Lichtes. Aus diesem Grund beschichtet (vergütet) man die Fläche mit einem dünnen dielektrischen Material. Diese Schicht aus 5 bis 11 Lagen (in besonderen Fällen bis zu 50 Lagen) vermindert die Reflexionen am Übergang von Glas zu Luft (oder Luft zu Glas). Eine besondere Abstimmung der Schicht zur verwendeten Wellenlänge und Glassorte ist erforderlich, um die Verluste auf bis zu 0,05% zu reduzieren. Unser Standard-Spektrum umfasst Antireflexschichten für den Wellenlängenbereich von 193 nm bis 2000 nm.

Kontrolle

Wenn alle Produktionsschritte beendet sind, werden die Linsen mit einer Lupe oder einem Mikroskop auf vorhandene Oberflächenfehler untersucht. Um die hohen Qualitätsanforderungen der Produkte zu gewährleisten, ist Sill Optics nach DIN EN ISO 9001:2015 zertifiziert und motiviert alle Mitarbeiter zu höchstem Qualitätsbewusstsein.

Fassungen

Sill Optics besitzt eine eigene Fertigung zur Herstellung von Fassungen für Prototypen und Kleinserien mit Präzisionsdrehmaschinen und einem 3D-CNC-Bearbeitungszentrum für Sondermechaniken. Bevorzugtes Material ist Aluminium (RoHS konform), jedoch sind auch andere Materialien wie z.B. Titan bearbeitbar. Nach der Bearbeitung werden die Teile schwarz eloxiert oder anderweitig behandelt, um Reflexionen zu vermeiden.

Montage

Optische Systeme (Objektive) bestehen aus mehreren Linsen, welche in die Objektivfassungen montiert werden. Die Linsen werden dabei sehr gründlich gereinigt, randlackiert und staubfrei in die Fassungen zentrisch eingebaut. Modulare Systeme gewährleisten eine kostengünstige Montage und effektive Lagerhaltung. Alle Objektive werden im Labor geprüft. In der Abteilung sind qualifizierte FacharbeiterInnen beschäftigt. Dabei werden bis zu 100.000 Objektive pro Jahr montiert und geprüft.

Testmöglichkeiten

- Interferometer
- Wellenfrontsensor
- MTF Messung
- Goniometer
- Autokollimatoren
- 3D-Messmaschine
- Laser (1064 nm, 980 nm, 635 nm, 532 nm, 515 nm, 405 nm, 355 nm)

MRF technology

Our latest establishment is a production line for pre-fine grinding, polishing and MRF polishing technology. The "Magneto-Rheological Finishing" process ensures a zonal correction of smallest deviations from the nominal radius. This technology allows the production of aspheres as well as surfaces with an accuracy of less than lambda/10 on controlled conditions.

Optical coating

Lens surfaces transmit approx. 96% of the light (due to reflection). For this reason the surface is coated with a thin dielectric film. This coating consists of 5 to 11 layers (in special cases up to 50 layers) and prevents losses on the glass/air (or air/glass) surface. To reduce reflection up to 0.05% the layer has to be adapted to the required wavelength and glass type. Our standard range covers anti-reflective coatings for a wavelength range from 193 nm to 2000 nm.

Quality control

After all production steps the surface quality of our lenses is controlled with a magnifying glass or a microscope. In order to assure the high quality of our products, Sill Optics has been certified according to DIN EN ISO 9001:2015. This motivates all our employees to maintain maximum quality awareness.

Housings

Sill Optics runs its own shop floor for turning and grinding of housings for prototypes and small quantities. We have installed precision turning machines and a 3D-CNC grinding center. Favorable material used is aluminum (RoHS conform), but other materials like titanium are possible as well. After machining all parts receive a black anodized finish or some other varnish to avoid internal reflections.

Assembly

Optical systems (objectives) consist of several lenses that have to be assembled into an objective mount. The lenses must be thoroughly cleaned to avoid any dirt or dust. Attention must be paid to make sure they get centrically set into their mount. Modular systems ensure cost-efficient assembly as well as effective stock keeping. Here, we assemble up to 100,000 objectives per year.

Testing capabilities

- Interferometer
- Wavefront sensor
- MTF measurement
- Goniometer
- Autocollimators
- 3D-Measuring center
- Laser (1064 nm, 980 nm, 635 nm, 532 nm, 515 nm, 405 nm, 355 nm)



専門知識と特注開発

レーザプロセス観察用レンズ

観察用レンズ

典型的には、走査ヘッドおよび走査レンズ自体を介し て行われるレーザプロセス観察(1)。観測波長と作動波 長に差があると、単色補正したレーザレンズによって 生じる横方向と縦方向の焦点シフトが生じます。ス キャナアパーチャは、解像度を低下させる結像レンズ の最大使用可能アパーチャを制限する可能性がありま した。

あるいは、反対側(2)から透明な作業面を観察することができます。

高解像度仕様および不透明な作業面を有する用途の場 合、観察は、f0レンズ(3)の隣に設置することができま す。光軸とオブジェクト面の向きの間の傾きが結果と して得られます。視覚レンズの視野の深さに応じて、 高解像度で想像できる焦点には1つの縞のみがありま す。この定義の欠如は、カメラと観測レンズの間に取 り付けられた適当なアダプタによって補償することが できます。

Additional expertise and custom specific development

Lenses for laser process observation

Observing lenses

Typically laser process observation in done through scan head and scanning lens themselves (1). If there is a difference between observation and working wavelength, a lateral and longitudinal focus shift, caused by monochromatically corrected laser lenses, arises. The scanner aperture could limit the maximum usable aperture of the imaging lens which decreases the resolution.

Alternatively a transparent working plane can be observed from the opposite side (2).

For applications with high resolution specifications and an opaque working plane the observation can be installed next to the f-theta lens (3). A tilt between the optical axis and the orientation of the object plane results. Depending on the depth of field of the vision lens there is only one stripe in focus which can be imagined with high resolution. This lack of definition can be compensated by a suitable adaptor which is mounted between camera and observing lens.





光干涉断層撮影

従来の観察レンズでは三次元スキャンフィールド測定には不十 分でした。光コヒーレンストモグラフィーは非接触法であり、 この種のプロセス観察のための解決策です。

基本的な考え方は、二つのビーム経路の波長の重ね合わせで す。生成された干渉図形は、参照ビーム経路と測定ビーム経路 との間の距離差を計算するのに役立ちます。基準距離と距離差 が既知であれば、測定ビーム経路の距離を計算することができ ます。xおよびy方向に変位される他の測定は、走査場の三次元 マップを作成します。数マイクロメートルの範囲の精度に達す ることができます。

Optical coherence tomography

Conventional observation lenses do not suffice for three dimensional scan field measuring. Optical coherence tomography is a contactless method and the solution for this kind of process observation.

The basic idea is the superposition of the wavelength of two beam paths. The generated interferogram helps to calculate a distance difference between reference and measuring beam path. If reference distance and distance difference are known the distance of the measuring beam path can be calculated. Other measurements, which are displaced in x- and y direction create a three dimensional map of the scan field. Accuracies in the range of some micrometers can be reached.



ポリゴンスキャナー用fθレンズ

ガルバノスキャナは、極端に高い繰り返し率を有す るレーザに対して十分に高速ではありません。超高 速多角形スキャナは、この場合、非常に適した代替 物です。それらはライン走査システムであり、ガル バノメータスキャナよりはるかに高速であり、レー ザ加工時間を大きく減少させる。多くの既存のf0レ ンズは、性能に大きな影響を与えることなく適切で す。しかし、Sill Optics社は、ポリゴンスキャナの 可能性の最大限の利点を活用するために、カスタム レンズを販売しています。

結像光学用レンズ

レーザーによるマイクロストラクチャリングでは、 通常、集光光学系と結像光学系のマスク投影法が用 いられます。

マスク投影法の利点は均一性と歪みレスです。一般 的にエキシマレーザで使用され、マスクパターンは サブマイクロメートルスケールをフィーチャサイズ に到達するため、特定の係数によって縮小されま す。

F-theta lenses for polygon scanners

Lenses for mask imaging

and distortion free features.

maskless or direct write and mask projection.

Standard galvanometer scanners are often not fast enough for lasers with extremely high repetition rates. Ultra fast polygon scanners are a highly suited alternative in this case. They are line scanning systems and much faster than galvanometer scanners, which highly decreases the laser processing time. Many existing f-theta lenses are suitable without significant impact on the performance. However, Sill Optics offers custom lenses to exploit the full advantage of the possibilities of polygon scanners.

There are two methods usually used for micro-structuring with lasers,

Flexibility, ease of use and cost effectiveness are the features of the

direct laser process with DPSS laser for feature sizes on a micrometer

Mask projection systems usually use excimer lasers where a mask

pattern is de magnified by a certain factor to reach feature sizes on a

sub-micrometer scale. Additional benefits are good depth uniformity

La 太平貿易株式会社 TEL 03-3270-4826 tokyo@taiheiboeki.co.jp

scale.

Accessories



両方の技術の組み合わせものが「スキャニング・マス ク・イメージング(SMI)」です。拡張され、均質化さ れ、整形されたビームは、2Dスキャナとテレセント リックf θ レンズを使用してマスクを走査します。マス クの照射エリアは、低歪みの両側テレセントリックレン ズによって倍率を変えて結像します。

Sill Optics社は、お客様の要求に応じて、スキャンおよ び歪みのないイメージング用のテレセントリックレンズ を設計しています。

UV用レンズへのハウジング材

黒色のアルマイト処理されたアルミニウム製 ハウジング部品を紫外線に長時間さらすと、 白化現象に至る可能性があります。最終的に 放出された破片は、レンズ表面を汚染し、光 学部品の寿命を低下させることがありま す。Sill Optics社では、コストパフォーマン スに優れた標準仕様のアルマイト処理された アルミニウム製から高耐性ステンレス鋼を使 用したハウジング部品へセミカスタマイズす ることができます。

ダイナミックZ軸レンズ

fθレンズはガルバノスキャナ用のスキャンレンズとして 使用されあます。このfθレンズの他に、Z軸レンズが焦 点距離の可変・調整を有するレンズシステムとして使用 されることがあります。これのZ軸レンズでは可動レン ズとフォーカシングシステムが組み込まれています。集 光レンズに対する可動レンズの位置は、球面走査フィー ルドを回避するためにスキャナの動きと同期させなけれ ばなりません。したがって、均一な走査フィールドを作 成することは可能ですが、ビームスポットの直径は、そ の位置に依存し、fθレンズに関してフィールドにわたっ てより多く変化します。それにもかかわらず、z軸光学 系で三次元で加工することの大きな利点を利用するアプ リケーションがいくつかあります。 A combination of both techniques is the so-called "Scanned Mask Imaging (SMI". An expanded, homogenized and shaped beam scans a mask using a 2D scanner and a telecentric f-theta lens. The illuminated area of the mask is de-magnified with a double side telecentric low distortion lens onto the substrate area.

Sill Optics designs telecentric lenses for scanning and distortion free imaging on customers' requirements.

Diff erent housing material for UV lenses

Long term exposure of black anodized aluminium housing parts to ultraviolett light can lead to bleaching. Eventually released debris might contaminate the lens surfaces and result in a decreased lifetime on the optical components. Therefore it is possible to buy UV lenses from Sill Optics with high resistant stainless steel housings. Another cost effi cient alternative are colorless anodized aluminum housings with the same price as the standard version.

Dynamic z shifting optics

Besides the well-known f-theta lenses for galvanometer scanners where the scanner is prior to the scan lens, lens systems with adjustable focal length could be used for processing fl at fi elds. These lens systems incorporate a moving lens and a focusing system. The position of the moving lens in respect to the focusing lens has to be synchronized with the scanner movement to avoid a spherical scan fi eld. So it is possible to create an even scan fi eld, but the beam spot diameter depends on its position and changes more over the fi eld in respect to f-theta lenses. Nevertheless there are some applications which utilize the big advantage of working in three dimensions with z shifting optics.



2 dimensional spherical scanÿeld



3 dimensional scanÿeld



アライメントターニング

アライメントターニングは、レンズ軸と光軸間の最小傾斜

を可能にする高精度生産技術です。この工具では、生産精 度は約1マイクロメートルです。プロセスを開始する前

に、カール、固着、またはローレットリングを使用してレ

その後、レンズは光軸と機械軸が正確に一致するように機

械内部に配置されます。セラミック工具の助けを借りて、

外面並びに前後の軸受面が中心に位置します。わずか数ミ

クロンの外径公差が製造可能です。レンズのセンタリング

に高い仕様がある場合、Sill Optics社で高精度光学系を生

ンズをハウジングに固定する必要があります。

産するためにこの技術を使用します。

Alignment turning

Alignment turning is a high precise production technique which enables a minimum tilt between lens axis and optical axis. Production accuracy is about one micrometer with this tool. Before starting the process it is necessary to fix the lens into its housing by curling, sticking or using knurled rings. After that the lens becomes positioned inside the machine so that optical and mechanical axis are exactly in line with each other. With the help of ceramic tools, the outer surfaces as well as the front and rear bearing surfaces are centered. Outside diameter tolerances of just a few microns are producible. If there are high specifications on lens centering, Sill Optics uses this technique for producing modern high precision optics.



Herkömmlicher Aufbau als Linsenstapel conventional mounted lens stack

⊄来の装着レンズスタック

ビーム操作

スループットと精密さに対する絶えず増大する要求の ために、多くの産業用途において、ビームスプリッタ およびビーム整形器が使用されています。

ビームスプリッタは、ビームを、一定の角度間隔を有 する2つ以上のビームに分割する光学素子です。この 素子では、一般的にDOE(回折光学素子)が使用されま す。DOEは、1Dまたは2Dパターンを生成することが できます。隣接する次数間の角度は、次数に依存し、 線形ではありません。この非線形性は、標準レンズが 使用される場合、焦点の非等距離間隔をもたらしま す。このスキャンレンズを補正するために、特別な方 法で設計することができます。

ビームシェイパーは、単一モードガウスビームを均一 なエネルギー分布を有するビームに変換します。これ を達成するために、回折または非球面光学素子が使用 されます。

Beam manipulation

Due to the constantly growing requirements for throughput and precision, in many industrial applications beam splitters and beam shapers are in use.

Beam splitters are optical components that split a beam into two or more beams with a certain angular spacing. To realize this, so-called DOEs, diffractive optical elements are often used. DOEs can generate 1D or 2D patterns. The angles between neighboring orders depend on the order numbers and are not linear. This nonlinearity results in non-equidistant spacing of focal points if standard lenses are used. To compensate this scan lenses can be designed in a special way.

Beam shaper transform a single mode Gaussian beam into a beam with uniform energy distribution. Diffractive or aspherical optical elements are used to achieve this. It should be noted that in subsequent optical systems such as beam expanders or f-Theta objectives, more than twice the beam diameter is often required as a free aperture. In addition, the imaging power must be diffraction limited to obtain the beam shape.



特殊形状

Sill Optics社は、「ドイツ製100%」という理念で、 異なる回転対称レンズを製造しています。 製品ポートフォリオは、球面レンズ、非球面からセ グメント化レンズ、ドームおよび長方形レンズに至 ります。特にお客様の用途に合わせて設計された特 注のレンズへのご要望をお待ちしております。

研究プロジェクト

Sill Optics社は、研究プロジェクトにおけるパートナーシッ プのために常に開かれます。過去に、私たちは異なるプロ ジェクトを結びました。中心的なテーマは、USPレーザによ るレーザベースの微小材料加工、またはレーザ加工用のマル チスペクトルレンズでした。他のプロジェクトは、例えば、 レーザ放射のための光ガイドとしての水ビームまたは熱 フォーカスシフトのための補償要素のような話題に焦点を当 てました。

弊社の研究プロジェクトに関する詳細情報は、ホームページ www.silloptics.de/enをご覧ください。同社では+研究活動 を行っています。あなたの研究プロジェクトのための光学製 品製造における工業パートナーを探している場合、Sill Opticsに自由に依頼してください。

MultiSpot MAShES NextGen3DBat Adalam InScanFoLa SolderScan Sill Optics produces different rotationally symmetric lenses with the philosophy "100% made in Germany". The product portfolio reaches from spherical lenses, aspheres to segmented lenses, domes and rectangular lenses. We are looking forward to your request on a custom specific lens which is designed especially for your application.

Research projects

Sill Optics will always be open for a partnership in research projects. In the past we concluded different projects. Central themes were laser based micro material processing with USP lasers or multispectral lenses for laser processing. Other projects focused topics like e.g. water beams as light guides for laser radiation or compensation elements for the thermal focus shift.

You can find more information about our research projects on our homepage www.silloptics.de/en at company \rightarrow research activities. If you are looking for an industrial partner in optics production for your research project, please feel free to request at Sill Optics.

MultiSpot
MAShES
NextGen3DBat
Adalam
InScanFoLa
SolderScan









10

Lens Systems

La 太平貿易株式会社 TEL 03-3270-4826 tokyo@taiheiboeki.co.jp





ノート *Notes*



概略説明

型式

型式はすべてのレンズごとに付けられてます。カタログ品から仕様を変更したカスタム品においても新しい型式が割り振られます。そのため、同じ仕様の製品を再度ご購入いただける際にもわかりやすくなっています。型式はレンズの種類により5桁の英数字(例 S4LFT=f0(エフシータ)レンズ)、4桁の設計番号、および3桁の波長とコーティング仕様により構成されます。Sill Optics社では製品の改良のため外観および仕様を変更する権利を有します。

General explanations

Part number

The part number is unique for every lens design. Special requests with changes to catalog lenses are assigned a new part number, so repeated purchase with the same specifications is easily possible. The complete part number consists of a 5-digit lens type declaration (e.g. S4LFT = f-theta lens), a 4-digit design identifier number and a 3-digit wavelength and coating specification. Sill reserves the right to make constructional changes in the course of product improvement.



データシート、技術図面、CADファイル

各レンズの個別のデータシートは、ウェブサイトwww. silloptics.deからダウンロードできます。トップメニューの 「Products」を選択してください。カテゴリー「Laser optics」をクリックし、次に目的のレンズ(f-theta lensesな ど)のサブカテゴリーをクリックします。f0レンズに関する 基本的な説明が表示され、上部にある「product overview」 をクリックすることにより、カタログ製品の一覧を仕様のカ テゴリー別に表示させることができます。また、各製品仕様 の右側にある「download」のボタンからデータシート、図 面(PDF、STEPファイル)をダウンロードすることができま す。

Datasheets, technical drawings and CAD-files

Individual datasheets are available for each lens via download from our homepage www.silloptics.de . Just go to "Products" on the top menu. Then click on the category "Laser optics" and then the subcategory of the needed lens, e.g. "f-theta lenses". You see a basic explanation about f-theta lenses and on the top a button called "product overview", which leads to an interactive table with all catalog products of the specific category. On the right of each entry, you can find the download-button for the datasheet. Technical drawings, so-called outlines, and 3D CAD-files also available for download.









反射防止(AR)コーティング / 低吸収コーティング

反射防止(AR)コーティングは、特定の波長または波長帯域に対して最適化されます。特定の波長に対して、レンズによるレー ザー光のエネルギー吸収を抑え、高い透過率を可能にします。 低吸収コーティングは、熱影響を最小限に抑えるため、高い ピーク出力を有するレーザーでの使用を推奨します。また、低 吸収コーティングは合成石英レンズにのみ適用可能です。標準 コーティングに加え、ご要望に応じてカスタマイズしたコー ティングもご提供可能です。損傷閾値に関する詳細は、他の章 で説明します。

Anti-reflective and low-absorption coatings

Our anti-reflective coatings are optimized for a certain wavelength or wavelength ranges. They allow a high transmittance of the laser light and less absorption of energy in the lens for specific wavelengths. Low-absorption coatings are recommended for lasers with a high average power, as they minimize thermal effects. These coatings are only available for fused silica lenses. Beside our standard coatings we also offer customized coatings. For detailed information about damage thresholds, an extra chapter follows on the next pages.

ext.	type	wavelength	specification
/008	anti-reflective	1500 nm - 1600 nm	R<0.25%
/065	broadband	400 nm - 900 nm	R < 0.5 %, avg.
/075	anti-reflective	355 nm	R<0.2%
/081	anti-reflective	1064 nm 532 nm	R<0.2% R<0.25%
/094	anti-reflective	800 nm - 980 nm	R<0.2%
/121	anti-reflective	532 nm	R<0.2%
/126	anti-reflective	1064 nm	R<0.2%
/159	anti-reflective	1850 nm - 1980 nm	R<0.25%
/173	anti-reflective	400 nm - 410 nm	R<0.2%
/199	anti-reflective	255 nm - 266 nm	R<0.2%
/292	low-absorption	515 nm - 545 nm	R<0.2%
/328	low-absorption	1030 nm - 1090 nm	R<0.2%
/373	anti-reflective	420 nm - 480 nm	R<0.2%
/449	low-absorption	900 nm - 1070 nm	R<0.25%
/450	anti-reflective	1000 nm - 1100 nm	R<0.25%
/574	low-absorption	343 nm - 355 nm	R<0.2%









F-Theta Lenses

概略説明 General explanations







設計波長

すべての光学系、特にレンズのコーティングでは、特定の波 長または波長帯域に基づいて設計されています。単一波長に 対する仕様になっているため、設計波長以外の透過波長帯域 では適合しません。S4LFT4010/292の設計波長では532nm と表記しておりますが、515nm~545nmの波長帯域で問題 なくf0(エフシータ)レンズとしてご使用いただけます。

熱影響による焦点シフト

基本的な問題

利用可能なレーザのパワーが増加するにつれて、一般的に使用される光学ガラスは、許容可能な熱効果に関して、その限界に達しています。すなわち、レーザのビームエネルギーの一部がレンズ硝材に吸収されます。これは、光学的性質に及ぼす熱レンズ効果につながります。第1に、加熱はガラスの屈折率を変化させ、第2に、熱膨張は表面曲率の変化をもたらし、レーザビームの屈折を変化させます。アプリケーションでは、1064nmでの平均レーザー出力が約50Wである場合、焦点位置のシフトが、プロセス品質の低下につながり、オンライン調整が必要になる可能性があります。

可能な解決策

別の選択肢は、レンズ硝材として溶融シリカを使用することです。光学ガラスに比べて非常に低い吸収係数も持ち、非常に抵抗性の高い硝材です。一般的に熱効果を最小限に抑えるために使用されます。Sill Optics社では、特別な低吸収コーティングを使用することにより、熱効果をさらに最小限に抑えし、損傷閾値を高めています。

Design wavelength

All optical systems, especially the coating of the lenses, are designed for a special wavelength or wavelength range. The specifications are demonstrated for a single wavelength and can deviate for a different wavelength in the wavelength transmission band. For the S4LFT4010/292, the specifications are declared for 532 nm but it is possible to use this f-theta objective in a wavelength range from 515 nm to 545 nm without concern.

Absorption and thermal focus shift

Basic problem

With the increasing powers of available lasers, commonly used optical glasses have been pushed to their limits in respect to acceptable thermal effects: Via the exposure of optical glasses to laser radiation, parts of the beam energy are absorbed into the material. This leads to a heating effect with two mayor influences onto optical properties. First, the heating changes the index of refraction of the glass and second, thermal expansion leads to changes in the surface curvatures and therefore changing the refraction of the laser beam. In the application, starting from average laser powers of about 50 W at 1064 nm, a resulting shift of the focal position can lead to decreasing process quality and make online adjustments necessary.

Possible solution

Another option lies in the use of fused silica as lens element material. It is a very resistive glass type which has also a very low absorption coefficient compared to optical glasses. Therefore it is commonly used to minimize thermal effects. Sill also uses special low-absorption coatings to minimize thermal effects further and increase typical damage thresholds.

吸収に対する影響

光学部品の清掃度も、吸収、熱効果に対して重要な役割を果たします。もちろん、より大きなダスト粒子(例えば、指紋)は、レーザ放射の極端な吸収体です。しかし、時間もまた、微粒子または他の汚染をもたらします。

測定結果は、最後の洗浄までの時間とともに吸収が増加することを示してます。新しいレンズクリーニングにより、吸収値が 元の状態にリセットされます。

したがって、環境にさらされているレンズ表面の定期的な清掃 を推奨します。この効果は、内部レンズエレメントについては 示されなかったので、内部レンズエレメントはクリーニングす する必要はありません。

レンズおよびレンズエレメントの清浄度の詳細については、 Sill Optics社のウェブサイトをご覧ください:

www.silloptics.de \rightarrow products \rightarrow Sill Encyclopedia \rightarrow Correct Lens handling and cleaning

ワーキングディスタンス(WD)

WDとは、レンズの鏡筒端から物体までの焦点またはスキャン (走査)面までの距離と定義されます。有効焦点距離(EFL)と混同 しないようにご注意ください。

Other influences on absorption

Cleanness of the optical components plays also an important role for absorption and therefore thermal effects. Of course there are any larger dust particles (e.g. finger prints) are an extreme absorber of laser radiation. But also time brings micro particles or other contaminations onto lens surfaces. These are not visible to the human eye, but they can be measured.

Measurements show that the absorption increases with the duration to the last cleaning. A new lens cleaning resets the absorption values to the original state.

Therefore regular cleaning of surfaces exposed to the environment is recommended. This effect could not be shown for internal lens elements, thus cleaning them is not necessary!

Please visit our website for further details on cleanness of lenses and lens elements:

www.silloptics.de \rightarrow products \rightarrow Sill Encyclopedia \rightarrow Correct Lens handling and cleaning

Working distance

The working distance is defined as the distance from the front edge of the housing of the lens to the focal or scanning plane of the objective. Be careful to not mix this up with the effective focal length (EFL) of an objective. This is measured from the principle plane, which is a hypothetical plane were the refraction of the complete lens system can be assumed to occur, to the focal plane of the optical system.

ビーム伝搬率 M2(エムスクエア)

レーザー光の集光特性はISO規格11146によって定義づけられ、ビーム伝搬率M2によって表されます。このパラメーターは、レーザービームの拡がり角と理想的なガウシアン ビームの拡がり角との比として定義されます。理想的なガウ シアンビームは最小の集光径を可能にし、M2値は1になりま す。また、レーザービームの品質は、M2の逆数であるパラ メーターKによっても表されることがあります。ファイバー レーザーの品質は、ビームパラメータ積(BPP)で定義され ます。この値は、波長λをπで割った値にビーム伝搬率M2を 掛けて求めることができます。Sill Optics社では、データ シートなどのスポットサイズについてはM2の値を1で算出前 提してます。実際のスポット径の算出では、レーザーのM2 値を掛けて求めてください。

Diffraction value M²

The ability of focusing laser light is defined by ISO standard 11146 and is described by the diffraction value M^2 . This parameter is defined as the ratio of the divergence angle of the laser beam as compared to the divergence angle of an ideal Gaussian beam. An ideal Gaussian beam would provide the smallest possible focus diameter and would have an M^2 value of 1. Sometimes the quality of the laser beam is also described by a parameter K which is the reciprocal of M^2 . The quality of a fiber laser is often defined by the Beam Parameter Product (BPP). This value is given by the product of the diffraction value M^2 and the wavelength λ divided by π . Sill assumes an M^2 values of 1 in all statements about spot sizes. Multiply the spot diameter by the actual laser M^2 value to obtain an actual spot diameter.

リバースモード

用途によっては、ビーム径を拡大するのではなく、縮小する必要があります。順方向と逆方向のモードでは光の挙動が同じであるため、xの倍率をもつビームエキスパンダーは1/xの倍率 に達するように向きを変えて使用することができます。また、f0レンズにおいても逆方向で使用する用途もあります。逆方向で使用される場合、レンズ配置は順方向で使用される場合 と反転するため、順方向ではゴースト光が発生しない仕様になっていたとしても、逆方向でしようすることによりゴースト光が発生する可能性があります。

ビームエキスパンダのデータシートには、レンズに内部ゴース トがなく、反転モード用のUSPレーザに適している場合の情報 が記載されています(「内部ゴーストなし、反転使用」)。レン ズが用途に適しているかどうかわからない場合(前方または逆 方向の使用)、お問い合わせください。お使いのシステムデー タ(波長、入力ビーム径、パルス持続時間、パルスエネル ギー、cwパワー)に基づいて、レンズとレーザが一致している かどうかを確認することができます。

ビーム径dL (1/e²)

ビーム径は、ビーム強度が1/e²まで減少した値の位置を基準とし、ピーク強度に対して13.5%まで低下した位置になります。この位置でビーム径を遮断した場合、全強度の13.5%が 失われます。損失を1%未満に抑えるためには、一般的に(フル サイズの)レーザービーム径は1/e²でのビーム径よりも1.5倍 以上になるよう設計します。

Reversed Mode

In some applications it is necessary to reduce the beam diameter instead of expanding it. Because of the same behavior of light in forward and reversal mode beam expanders with a magnification of x can be turned around to reach a magnification of 1/x. There are also some applications for the reversal mode of f-theta lenses. Due to the changed lens order, a beam expander or f-theta lens, which is normally free of critical back reflections, is not necessarily ghost free in reversed operation.

In the beam expander datasheet there is an information if the lens is free from internal ghosts and suitable for USP lasers for the reversed mode ("no internal ghosts, reversed usage"). If you are not sure if a lens is suitable for your application (forward or reversed usage) feel free to ask. Based on your system data (wavelength, input beam diameter, pulse duration, pulse energy and cw power) it is possible to check if lens and laser match.

Beam diameter d, (1/e²)

The beam diameter is referenced to the drop of beam intensity to the $1/e^2$ point, i.e. to a point where the intensity has fallen to 13.5% of the peak intensity. If the beam diameter is cut at that point, the 13.5% of the total intensity would be lost. If the clipping occurs at the 1.5-times beam diameter, the loss is only approximately 1%.

F-Theta Lenses

Beam Expanders

Aspheres

アポダイゼーション係数

レンズ透過後のビーム形状と集光されるスポットサイズは、 入射瞳と入射ビームの断面形状に大きく関係します。一般的 に切断面比Tで表し、入射ビーム径dLを有効径(入射瞳)dEPで 割ることにより求めることができます。典型的な例を以下の 図に示します。切断面比が0.5未満では、ビームはほぼケラ レることはありません。T=1では、1/e²における入射ビー ム径はレンズの入射瞳と等しくなります。一般的には、低い 強度損失、小さいスポットサイズ、大口径によるコストなど を考慮して、用途に合わせて選定します。

Apodization factor

The beam shape and focused spot size after transmission through a lens is strongly dependent on its entrance profile in comparison to the entrance pupil. A common description is given by the truncation ratio T, which is the entrance beam diameter d_L divided by the clear aperture d_{EP} Typical examples are shown in the following sketch: Below a ratio of 0.5, the beam is approximately untruncated. If the entrance beam diameter at $1/e^2$ is equal to the clear aperture of the lens then T=1. Typical applications are located in between those values, as a compromise between low intensity losses or small spot sizes and high costs due to large diameter lenses.

Accessories

スポットサイズ(1/e²)

調整可能な最小集光スポットサイズは、レーザーの波長、ス キャン(走査)レンズの焦点距離、APO係数およびレー ザーの回折のパラメーターであるM2を掛けた値を1/e2ビー ム径dLで割ることによって計算できます。

 d_{EP}

$$d_{\rm F} = \frac{\lambda \cdot f' \cdot \rm{APO} \cdot M^2}{d_{\rm L}}$$

Spot size (1/e²)

The minimal attainable focal spot size is calculated by the wavelength of the laser multiplied with the focal length of the scan lens, the APO factor and the diffraction parameter M² of the laser divided by the $1/e^2$ beam diameter d_1 .

 $d_{\rm F} = 集光スポット径$ *d*_{EP} = スキャンレンズの入射瞳径 $d_{\rm L} = 入射ビーム径 (1/e^2)$ f'= スキャンレンズの焦点距離

d, Calculation example dL=6.0mm、dL=10.0mmのガウシアンビーム In this example, the focal spot size will be calculated for a Gaussian

beam with $d_1 = 6.00 \text{ mm}$ and $d_1 = 10.0 \text{ mm}$. We assume the use of a f-theta lens S4LFT4010/292 with a frequency doubled Nd:YAG laser at 532 nm and a diffraction value $M^2 = 1.2$. The lens has an effective focal length of f' = 100 mm. Another very important value to determine in addition to the truncation ratio T is the clear aperture or entrance pupil. This is not the clear aperture of the f-theta lens (Ø35mm), but typically the limiting factor is the beam entrance diameter or aperture of the scan system. Assume a very common value of $d_{ep} = 10.0$ mm in this case.

 $T = \frac{6.00 \,\mathrm{mm}}{1.33} = 0.600 \xrightarrow{\mathrm{graph}} \mathrm{APO} \approx 1.33$

例として、	С
について集	≣>

計算例

17 光スポットサイズを計算します。fθ(エフシータ) レンズ、S4LFT4010/292をNd:YAGレーザーの第2高周波 (532nm) とビーム伝搬率M2=1.2で使用すると仮定しま す。レンズの有効焦点距離はf'=100.0mmです。切断面の比 Tを求める重要な値は、有効径または入射瞳です。ここでの 有効径はfθレンズの有効径(前玉径、Ø35mm)ではなく、入 射ビーム径またはスキャンシステムのアパーチャーサイズで す。ここでは、dEP =10mmと仮定します。

10.0 mm $d_{\rm F} = \frac{\lambda \cdot f \cdot \text{APO} \cdot M^2}{2} = \frac{532 \,\text{nm} \cdot 100 \,\text{mm} \cdot 1.33 \cdot 1.20}{2} \approx 14.2 \,\mu\text{m}$ $f' = 100 \text{ mm}, \lambda = 532 \text{ nm}, d_{_{EP}} = 10.0 \text{ mm}, M^2 = 1.2, d_1 = 6.00 \text{ mm}$ 6.00 mm $T = \frac{10.0 \,\mathrm{mm}}{10.0 \,\mathrm{mm}} = 1.00 \xrightarrow{\mathrm{graph}} \mathrm{APO} \approx 1.83$

例2

例1

 $f' = 100 \, mm$, $\lambda = 532 \, nm$, $d_{_{FP}} = 10.0 \, mm$, $M^2 = 1.2$, $d_1 = 10.0 \, mm$

レイリー長

光学、特にレーザー科学において、レイリー長またはレイリ -レンジは、ビームウェストからビーム断面積が2倍になる 面までのビーム伝播方向に沿った距離のことを指します。レ イリー長は、集光スポットの面積に係数(APO係数による) を掛けた値をレーザーの波長およびビーム伝搬率M2で割るこ とによって求めることができます。

Rayleigh length z

10.0 mm

In optics and especially laser science, the Rayleigh length or Rayleigh range is the distance along the propagation direction of a beam from the waist to the position where the area of the cross section is doubled.

 $d_{\rm F} = \frac{\lambda \cdot f' \cdot \text{APO} \cdot M^2}{d_{\rm L}} = \frac{532 \,\text{nm} \cdot 100 \,\text{mm} \cdot 1.83 \cdot 1.20}{10.0 \,\text{mm}} \approx 11.7 \,\mu\text{m}$

The Rayleigh length is calculated by the focus area multiplied by a factor (depending on the APO factor) divided by the wavelength and the diffraction value M² of the laser.

$z_{\rm R} = \pi \cdot \left(\frac{d_{\rm F}}{2}\right)^2 \cdot \frac{\left(\text{APO}/1.27\right)^2}{2 - M^2}$

スキャンレンズの焦点深度は、レイリー長の2倍と推定でき ます。ただし、この値はあくまで概算です。近年の多くの用 途では、このスポット径の値は必要なスポット径に対して大 きすぎる可能性がありますので、ご注意ください。

The depth of focus of the scan lens can be estimated by a doubled Rayleigh length. Be aware, that this is just a rough estimation and in many modern applications this value can be too large to still fulfill needed spot diameter requirements.

ファイバーイメージング

大きな集光スポットは溶接のような多くの用途において有効 です。コリメータとして非球面レンズが使用されるます。Sill Optics社では標準およびカスタムとして非球面レンズを提供 してます。カッティングヘッドでは、集光径で非球面レンズ が使用され、、スキャンシステムでは、f0レンズの光学系が 使用されます。

焦点距離f2とコリメータ焦点距離f1の比率を使用すると、M = f2 / f1の比率でおおよそのスポットサイズを簡単に計算で きます。

Fiber imaging

A large focal spot is an advantage in many applications, like welding. Here, fiber-guided lasers are often used which, in contrast to fiber lasers, have a rather poor beam quality (M² value). As collimator aspheres are used, where Sill offers standard and custom solutions. In cutting heads the focusing is realized by aspheres, in scanning systems an f-theta optic is used.

Using the ratio of focusing focal length f_2 to collimator focal length f_1 provides an easy way to calculate the approximate spot size by the ratio $M = f_2/f_1$. Usually, the fiber core is magnified. In a few applications a demagnification could be used but is limited due to physics.

焦点距離を使用した計算例:

■ファイバーコア径: d_{fiber} = 200 µm ■コリメーターレンズの焦点距離e: f₁ = 50,0 mm ■ファイバーのNA: NA_{fiber} = 0,22 ■ フォーカスレンズの焦点距離: f₂ = 150,0 mm

$$d_{\text{focus}} = M \cdot d_{\text{fiber}} \approx \frac{f_2}{f_1} \cdot d_{\text{fiber}} = 600 \,\mu\text{m}$$

上記は大まかな計算値であり、両方の焦点距離が互いに近 い場合に有効です。 より正確な値は開口数を使用して推 定できます。

$$\alpha = \sin^{-1} (NA_{\text{fiber}}) \approx 12.7^{\circ}$$

$$d_{\text{coll}} = 2 \cdot f_1 \cdot \tan(\alpha) \approx 22.6 \text{ mm}$$
$$NA_{\text{focus}} = \sin\left[\tan^{-1}\left(\frac{d_{\text{coll}}/2}{f_2}\right)\right] \approx 0.0750$$
$$M_{\text{NA}} = \frac{NA_{\text{fiber}}}{2} \approx 2.94$$

$$d_{\rm focus} = M_{\rm NA} \cdot d_{\rm fiber} \approx 587\,\mu{\rm m}$$

 NA_{focus}

The stated calculation is only a rough estimation, that is valid when both focal length are close to each other. A more precise value can be estimated using the numerical apertures:

 $\alpha = half beam cone angle$

Example using the focal lengths:

fiber NA: NA_{fiber} = 0.22

fiber core diameter: d_{fiber} = 200 µm
 focal length of collimator: f₁ = 50.0 mm

focal length of focusing lens: $f_2 = 150.0 \text{ mm}$

d_{focus} = 集光スポット径

 $d_{\rm coll} =$ collimated beam diameter

 $N\!A_{\rm focus} =$ numerical aperture on focusing side

 $M_{_{\rm NA}}=$ more precise magnification via NA calculation

概略説明 General explanations

aperture stop

■レーザー誘起損傷閾値 (LIDT)

概略説明

より高出力なレーザーシステムの増加に伴い、従来の光学機器についても高出力に耐うる必要があります。このような動作を規定するため、LIDT(レーザー誘起損傷閾値)という用語が導入されました。これはレンズのバルク材またはコーティングが耐えることができない臨界のレーザーパワー、またはピークフルエンスを表し、レーザー放射により光学特性に変化が生じ、レンズが恒久的に損傷する原因になります。レーザーの種類は様々であり、異なるLIDTの閾値が存在するため、極めて複雑で曖昧な項目になります。そのため、以下の項でその概要と説明を行います。この情報は国際規格ISO 21254に基づいています。

エネルギー密度/フルエンス

LIDTの最も一般的な定義としては、使用している材料が耐 えられる最大エネルギー密度(フルエンス)で表します。フ ルエンスとは、集光スポット面積あたりのレーザーパルスエ ネルギーの単位で、通常はパルスレーザーに使用されま す。LIDTをより明確に表すためには、フルエンスだけでな く、レーザーのパルス幅、繰り返し周波数と波長を含んだ測 定条件も必要になります。

Laser induced damage threshold (LIDT)

Principal description

With the increase of more and more powerful laser systems, conventional optics have to withstand these increasing powers. To specify this behavior, the LIDT (Laser Induced Damage Threshold) was induced. It defines a critical laser power or peak fluence, which the lens bulk materials or the coatings cannot withstand and therefore the laser radiation causes permanent changes in the optical characteristics, permanently damaging the lens. With the broad variety of lasers and different thresholds for the LIDT, it is often a very confusing and vague topic. Therefore we will provide some overview and explanations in the following pages. The basis for this information is the international ISO 21254.

Energy density / Fluence

The most common LIDT declaration is given as the max. energy density - also called fluence – which the used material can withstand. The fluence is a unit of laser pulse energy per focal spot area and mostly used for pulsed lasers. For an expressive declaration of the LIDT, not only the value itself, but also the measurement conditions should be given. This includes laser pulse duration, pulse repetition rate and the wavelength.

フリアンフ	J] レーザーパルスエネルギ [J]	
ノルエンス	$F[\overline{cm^2}]^=$ 集光スポット面積 [cm]	

出力密度/放射照度

CW(連続波)レーザーを検討する際は、パルスエネルギー によるLIDTを定義しても意味がありません。そのため、この 場合のLIDTは放射照度として定義され、有効面積あたりの レーザーピーク出力として表されます(単位はW/cm2または W/mm2)。また、損傷閾値を線形出力密度(単位はW/cm またはW/mm)として定義することもできます。この値をレ ーザーに使用する場合は、ビームサイズの尺度が関係してき ます。

出力密度=放射照度

出力はレーザーのパルス幅あたりのパルスエネルギーとして 定義されますが、フルエンスでのLIDTから強度としてのLIDT への変換はそのままでは有効とは言えません。その理由は、 多様なレーザーの種類および使用環境からコーティングの破 壊メカニズムが異なるためです。

LIDTの影響

レーザーによる損傷は極めて多くの要因があります。そのため、考えられる全ての環境下で性能を保証することはできません。したがって、本章での説明は単なる推定値です。レンズの高い品質を安定的かつ恒久的に保証するためには、LIDTの50%未満でレンズを使用することを推奨します。LIDTに近い値での使用は、経年劣化の原因になるためです。また、定期的に清掃を行うことも重要です。これらについては別の章で説明します。LIDTの値は、パルスエネルギーやピークパワー以外に、レーザー波長入[nm]、パルス繰り返し周波数R[typ.Hz~MHz]、パルス幅T [fs~ms]、レーザースポット径dL [µm~cm]/レーザースポット面積A [µm2~cm2]、およびパルス形状に依存します。もちろん、これらはパルスレーザーの値であるため、フルエンスでのLIDTにのみ影響を与えま

す。CWレーザーに関しては、波長、パルス形状およびスポッ トサイズが重要です。

以下のLIDTの依存性についての説明では、例として1J/cm2 のLIDTを仮定し、1nsのパルス幅と50Hzの繰り返し周波 数、1064nmで計測してます。 Power density / Irradiance

When considering cw (continuous-wave) lasers, a definition of the LIDT by a pulse energy does not make any sense. Therefore it is declared as an irradiance, which is described by the laser peak power per effective area (units W/cm² or W/mm²). It is also possible to define the damage threshold by a linear power density (units W/cm or W/mm). If this value is given for the laser, a measurement of the beam size is relevant.

召在	I	W	_	レ-	ーザ	<u>ا</u> – ۱		ク出	力	[W]	
R/X	1	$\left[\text{cm}^2 \right]$	_	集	光	ス	ポ	ツ	\mathbb{P}	面	積	[cm ²]

Although the power is defined as laser pulse energy per pulse duration, a conversion between a LIDT in fluence to a LIDT in intensity is not automatically valid. The reason lies in the different destruction mechanisms of the coatings from various laser types and test conditions.

Dependencies of LIDT

Laser induced damage is dependent on very many factors and therefore it is not possible to guarantee the performance under all possible circumstances. The given conversions in this chapter are therefore just estimates. To ensure a stable and permanent high quality performance of the lenses, we recommend a usage below 50% of the LIDT. Close operation to the LIDT could cause long-term damage. Another important influence originates from tidiness and periodic cleaning, which will be addressed in an extra chapter.

LIDT values depend – beside the pulse energy or peak power - on the laser wavelength λ [nm], pulse repetition rate R[typ.Hz–MHz], pulse duration τ [fs–ms], laser spot diameter $d_{L}[\mu m - cm]$ / laser spot area $A[\mu m^{2} - cm^{2}]$ and the pulse shape. Of course, most of these values only affect the fluency LIDT, as they are pulsed laser values. For cw lasers, only wavelength, pulse shape and sport size are important.

In the following explanations of LIDT dependencies, examples given assume an LIDT of 1 J/cm², measured at 1064 nm with a pulse duration of 1 ns and a repetition rate of 50 Hz.

レーザー波長が変更された場合は、必ずLIDTの値も修正する 必要があります。光子のエネルギーは波長(E=ħω=2ncA) に依存するため、短い波長のレーザー光はエネルギーの光子 が多くなります。この関係性はLIDTの変動にも反映され、波 長が半分になるとLIDT値も半分になります。より短い波長で は細心の注意が必要です。これらの光子は多くのエネルギー を運ぶため、実際のLIDT値は推定値よりもはるかに低くなる ことがあります。このようにLIDTは使用される波長帯域によ って大きく変動します。

Wavelength λ

For any change in the laser wavelength, the LIDT value has to be adjusted. The energy of a photon depends on the wavelength $E = \hbar \omega = 2 \pi c / \lambda$, so shorter-wavelength laser light carries photons with higher energy. This relation also reflects the behavior of the LIDT: Half the wavelength results in the half LIDT value. Great care must be taken with shorter wavelengths. These photons carry much more energy and therefore the actual LIDT value can be much lower than estimated! Thus declarations of the LIDT are meaningfully specified in the wavelength region of their use.

パルス幅т

パルス幅に対する依存性は平方根に比例します。例え ば、100nsパルスは同じパルスエネルギーを有する1nsパル スに比べ、LIDT値は約√100=10倍高くなります。このこと は人によっては違和感があるかもしれません。これは、面積 要素に比較して時間要素が分離されていることから生じま す。レーザービームのフルエンスを計算する場合、レーザ・ のパルスエネルギーをビーム面積で割ることにより得られま す。しかし、この計算では、レーザーパルスがそのパルス幅 (持続時間)内でレーザーパルスエネルギーを圧縮している点 への考慮がありません。これは、より短いパルス幅のパルス があった場合、レーザーのパルスエネルギーの総量が同じで あれば、同量のエネルギーを短い時間間隔に圧縮する必要が あることを意味します。このことは、高いピーク強度をもた らし、損傷の可能性が非常に高くなります。しかしながら、 「フルエンシー」に含まれておらず、LIDT値は特定のパル ス幅のみが対象となります。

したがって、短パルスレーザーは高いピーク強度になり、材料に損傷をあたえる可能性が増すため、LIDT値が低くなります。このように、LIDT値の変換では直接考慮されないため、 異なるパルス幅に対して必要です。

なお、この変換は約30 psからmsの範囲でだけ有効であることにご注意ください。30ps以下では、多光子吸収が起こり始め、新しい破壊メカニズムを進行させます。そのため多くの光学部品では閾値が低くなります。

0.1msを超えるパルス幅では、放射照度のLIDTも考慮しなければいけません。

Pulse duration τ

The dependency on the pulse duration scales with the square root. For example, a 100 ns pulse has an approx. LIDT $\sqrt{100} = 10$ times higher LIDT than that for a 1 ns pulse with comparable pulse energy. This can be counter intuitive! This confusion comes from the separation of the time factor in comparison to the area factor. When calculating the fluency of the laser beam, one does divide the laser pulse energy by the beam area. But at no point in this calculation there is a consideration that laser pulses compress the laser pulse energy in their pulse duration. This means, that a pulse with a shorter pulse duration, but the same overall laser pulse energy, has to compress the same amount of energy into a shorter time interval. This leads to higher peak intensities and therefore a much higher probability of damage. But against intuition, this is not included in the "fluency" but the LIDT value is only given for a specific pulse duration.

In conclusion a shorter laser pulse does decrease the LIDT value as it has higher peak intensities and therefore a higher chance to damage the material. Thus a conversion of the LIDT value is necessary for differing pulse lengths, as it is not directly considered.

Please be aware of this conversion being only valid in the range from around 30 ps to many ms pulse duration. Below the mentioned 30 ps, multi-photon absorption starts to occur, introducing new destruction mechanisms and therefore any optic has lower thresholds in this regime.

For pulse durations larger than 0.1 ms the LIDT for the irradiance has to also be taken into consideration!

パルス繰り返し周波数R

繰り返し周波数が高いパルスレーザーは、CWレーザーのビ ームに極めて類似した状態になります。これは熱の吸収と発 散に大きく依存するため、熱効果により光学素子がいつ損傷 を受けるかについては、特に定まった規則性はありません。 出カレベルについて不確かである場合は、当社までお問合せ ください。

レーザースポットサイズ(直径dLまたは面積A)

スポットサイズは、レンズ材料の耐性に大きな影響を及ぼします。例えば、10mJのパルスエネルギーを有する1064nmのレーザーを仮定します。φ500μmのビームをレンズに入射させた場合、フルエンスはF=5.093J/cm2になります。上述から損傷閾値がLIDT=1J/cm2のあらゆるレンズの材料は確実に破壊されます。その代わりにビームをφ5mmまで拡大させた場合、フルエンスはF=0.051J/cm2となり、レンズの材料はまったく損傷を受けません。

Pulse repetition rate R

Pulsed lasers with a high repetition rate may show very similar behavior to beams of cw lasers. As this is highly dependent on absorption and heat dissipation, there is no solid rule to determine when an optic will be damaged due to thermal effects. If you are unsure about the power level, please contact SILL.

Laser spot size (diameter d, or area A)

The spot size has an enormous impact on the resistance of the lens materials. As an example, assume a 1064 nm laser with a pulse energy of 10 mJ. When used with 500 μ m beam diameter through the lens, it would have a fluence of F=5.093 J/cm² and therefore surely destroy any material with the stated LIDT = 1 J/cm² from above. If the beam is expanded to a 5 mm beam diameter instead, the fluence would be F=0.051 J/cm² and the material should not be damaged at all.

パルス形状

パルス形状については以下のとおりです。ピーク強度が考慮 されるため、トップハット形状とガウスビームとの間では差 異があります。なお、ガウスビームのLIDT値は、トップハッ ト形状の半分になることにご注意ください。

簡略計算式

パルス幅が30psより広いレーザーシステムでは、以下の式で 簡易的にLIDTを求めることができます。「spec」は仕様値の 値です。

Pulse shape

The rule of thumb about the pulse shape is as follows: As peak intensities are considered, there is a difference between a top-hat like shape and a Gaussian beam. Just note that the LIDT value for a Gaussian beam is half the value of a top-hat shaped one.

Quick reference formula

For a quick estimate of the LIDT for your system with a laser pulse duration larger than 30 ps, the following formula can be used, while "spec" indicates the values from the specification:

E[J] or	P[W] > I IDT	$\tau \sim \frac{\lambda}{\tau}$, $\frac{\tau}{\tau}$, IDT	
$\left(\frac{d_{\rm L}}{2}\right)^2 \cdot \dot{\rm A}$	$\left(\frac{d_{\rm L}}{2}\right)^2 \cdot \dot{\rm A}$	$\sim \lambda_{\rm spec} \sqrt{\tau_{\rm spec}}$	

例えば、波長532nmでパルス幅50nsのパルスレーザーを使用すると仮定します。レンズメーカーから提示されたLIDTは、10nsのパルス幅、波長1064nmで1J/cm2と表記されることがあります。以下の計算式を活用すると、LIDTは約1.12倍高くなることを推測できます。

As an example, a pulse laser at 532 nm wavelength and 50 ns pulse duration is used. The given LIDT from the lens supplier may again be 1 J/cm², measured at 1064 nm with a pulse duration of 10 ns. As calculated below, the LIDT can be estimated to be nearly 1.12 times higher.

 $\frac{532\,\text{nm}}{1064\,\text{nm}} \cdot \sqrt{\frac{50.0\,\text{ns}}{10.0\,\text{ns}}} \cdot 1.00 \frac{\text{J}}{\text{cm}^2} \approx 1.12 \frac{\text{J}}{\text{cm}^2}$

破壊メカニズム

主な損傷のメカニズムはレーザーの特性に大きく左右されま すが、レンズ、コーティング材料による幾何学的特性、熱条 件、吸収、欠陥、均一性など多くの要素からも影響を受けま す。

cwまたは長いパルスレーザー(μs)を使用する場合には、熱吸収も考慮しなければなりません。この損傷は、レンズ材料が溶融するあるいは材料の不可逆的な熱膨張や変質が起こるまでの加熱により生じます。この損傷メカニズムは、レンズ材料がパルス間隔で十分に冷却できないような高い繰り返し 周波数の短パルスレーザーについても考慮する必要があります。

短パルスレーザーの場合、別の破損原因も発生します。局部 的な欠陥や微細な付着物があると、熱伝導不良によりプラズ マが蓄積する可能性があります。これは応力に起因する破損 や、レンズ光学特性の不可逆的変化をもたらします。

さらに、超短パルスレーザーでは、臨界電子密度に到達した際に多光子吸収の過程でコーティング材料を電離させて、破損を生じさせる可能性があります。

コーティングのLIDT

以下の表にレーザー誘起損傷閾値の測定結果を示します。こ れらは、アセトンでクリーニングしたサンプルを使用してク リーンルームで測定しております。コーティング過程のばら つき、レンズエレメントの形状および特殊な試験環境によ り、実際のLIDT値は低くなる場合がありますのでご注意くだ さい(およそ5~10倍)。また、これらの値はあくまで試験 結果であり、仕様ではありません。ご不明な点がございまし たら、弊社までご連絡ください。損傷が発生した場合には補 償することができませんのでご了承ください。

Destruction mechanisms

The main damage mechanisms strongly depend on the laser properties, but are also dependent on the lens and coating materials in respect to geometrical properties, thermal conduction, absorption, defects, homogeneity, and more.

Thermal absorption has to be considered with the use of cw or long pulse (μ s) lasers. The damage is based on heating the lens material until melting, irreversible material expansions or modifications to the lens material. This damage mechanism also has to be considered for short-pulse lasers with high repetition rates, when the material is not given enough time to cool down between pulses.

Another cause of damage initially comes to play with short pulse lasers. Local defects or even tiny inclusions can cause plasma build up due to poor thermal conduction. This results in stress based breakthroughs and irreversible changes of the lens optical properties.

Furthermore, when considering ultra-short pulse lasers, additional multiphoton processes can occur ionizing coating materials and producing electrical breakthroughs when reaching critical electron densities.

LIDT of our coatings

In the following table we present the results of measurements of the laser induced damage threshold. They were done in a clean lab environment with acetone cleaned samples. Please be aware that due to coating process variations, geometry of the lens elements and the special testing environment, the real LIDT values might be much lower (rule of thumb is 5 to 10 times to be sure). Therefore these values are only test results and not a specification. In case of doubt, please contact our experienced team. Otherwise we cannot recompense in the event of damage.

レーザー損傷しきい値(LIDT) Laser induced damage threshold (LIDT)

extention	type	wavelength	specification	damage threshold (∞-on-1 LIDT)	test wavelength	pulse frequency	pulse length
/075	anti-reflective	355 nm	R<0.2%	0.05 J/cm ²	343 nm	100 Hz	1 ps
/081	anti-reflective	1064 nm 532 nm	R<0.2% R<0.25%	14.1 J/cm ²	1064 nm	100 Hz	12 ns
/126	anti-reflective	1064 nm	R<0.2%	14.1 J/cm ²	1064 nm	100 Hz	12 ns
				4.41 J/cm ²	532 nm	100 Hz	10 ns
/292	low-absorption	515 nm - 532 nm	R<0.2%	0.28 J/cm ²	515 nm	100 Hz	1 ps
				0.14 J/cm ²	531 nm	1 kHz	60 fs
				17.58 J/cm ²	1064 nm	100 Hz	12 ns
/328	low-absorption	1030 nm - 1064 nm	R < 0.2 %	0.57 J/cm ²	1030 nm	100 Hz	1.2 ps
				0.26 J/cm ²	1029 nm	1 kHz	54 fs
				~ 5 J/cm ²	1064 nm	50 Hz	1 ns
/449	low-absorption	900 nm - 1070 nm	R<0.25%	0.51 J/cm ²	1030 nm	100 Hz	1.2 ps
				0.38 J/cm ²	1029 nm	1 kHz	54 fs
1574		242 mm 255 mm	D < 0.20%	~ 1 J/cm ²	355 nm	50 Hz	1 ns
/5/4	low-absorption	545 HH - 355 NM	K<0.2%	0.18 J/cm ²	343 nm	100 Hz	1 ps

レンズの適切な取扱いおよび清掃

光学部品の良好な性能および寿命を延ばすため、レンズの適 切な取扱いと清掃が重要になります。ほこり、水、加工によ る残留物などの不純物は、散乱光や光の吸収を増大させ、欠 陥を生じさせる原因になります。故に、光学部品は梱包材に 保管し、清潔な環境でのみ開封してください。指紋の付着や 指の油によるレンズへの損傷を防ぐため、手袋を着用してく ださい。小型レンズの適切な取扱いにはレンズマウントをピ ンセットで保持してください。レンズ表面には傷をつけない ように特に注意してください。

光学システムの前側レンズまたは単レンズ表面に汚れが付着 している場合は、以下の簡単な清掃方法を行ってください。 ほこりは不活性ガスまたはブロワーを使用して除去すること ができます。依然としてほこりが表面に残っている場合は、 専用のクリーニングペーパーを使用してください。必要に応 じて、クリーニングペーパーにアセトンを浸すことによって

清掃効果を高め、線条痕を防止することができます。汚れが ひどい場合は、蒸留水を使用して表面をまず清掃し、その後 必要であればアセトンで清掃してください。

ご自身で鏡筒からレンズを取り外してしまうと製品保証の対 象から外れます。レンズの取り外しについては弊社にお問い 合わせください。

Correct lens handling and cleaning

To ensure a good performance and a long lifetime of optical components, the proper handling and cleaning of lens is critical. Contaminations such as dust, water and processing remnants can increase scatter light and light absorption and lead to defects. Thus, the optics should be stored in the delivered package and only opened in a clean environment. To avoid fingerprints on the optical surface and corresponding lens damage through skin oils, gloves should be worn. For a better handling of small lenses, the lens mount can be held with a tweezer. Take special care to avoid scratches on the lens surface.

If contamination is visible on the front lens of an optical system or on a single lens, it can be removed by these simple cleaning methods Dust can be removed by using inert dusting gas or a blower bulb. If there is still dust left on the surface, please use special lens tissues for cleaning. As required, the lens tissues can be soaked with acetone for a high cleansing effect and prevention of striations. With severe contamination, it may be necessary to clean the surface first with distilled water and if necessary, acetone.

Independent demounting of lenses leads to the expiration of the warranty and should be done only by the manufacturer!

Accessories

F-Theta Lenses

27

La 太平貿易株式会社 TEL 03-3270-4826 tokyo@taiheiboeki.co.jp

