

**mo** PLASMAOBERFLÄCHENTECHNIK


Bilder: Laser Components

## Die Kraft aus dem Spiegel

*Carsten Blumenstengel*

Moderne Hochleistungslaser erzeugen kurze Lichtpulse mit bis zu zehn Petawatt

Hochleistungslaser können nur so stark sein, wie es ihre optischen Komponenten zulassen. Damit hängt die Weiterentwicklung der Lasertechnologie entscheidend von der Entwicklung komplexer Schichtsysteme mit hoher Zerstörschwelle ab.

Laser haben zahllose Anwendungsbereiche, vom Blechschneiden über die Oberflächenbearbeitung bis hin zu medizinischen Anwendungen. Dabei hat sich die Leistungsfähigkeit über die Jahre dramatisch gesteigert, seit Theodore Maiman Anfang der 1960er-Jahre der Welt den ersten Rubin-Laser präsentierte.

Anfangs war nicht daran zu denken, Stahl oder andere Werkstoffe mit Licht zu schneiden, zu schweißen oder anderweitig zu bearbeiten. Damals wie heute benötigt ein Laser ein aktives Medium, in dem Photonen erzeugt werden, die anschließend als Laserlicht austreten. Dieses Medium kann fest, gasförmig oder flüssig

Oben im Bild ist die Aufnahme für zwei große Laserspiegel zu sehen, die in einer PIAD-Anlage beschichtet wurden.

sein. Außerdem ist eine Pumpquelle erforderlich, die das Lasermedium mit Energie versorgt. Das erfolgt entweder optisch durch die Einstrahlung von Licht, durch eine Gasentladung oder mittels elektrischen Stroms.

### Ohne Spiegel kein Laser

Ganz entscheidend für die Eigenschaften eines Lasers ist der Resonator, der im einfachsten Fall aus zwei parallelen Spiegeln bestehen kann, zwischen denen das aktive Lasermedium angeordnet ist. Bei richtiger physikalischer Auslegung funktioniert das Lasermedium als Lichtverstärker, aus dem durch eine Kettenreaktion eine wachsende Zahl von Photonen hervorgeht. Diese verlassen den Resonator durch einen teiltransparenten Spiegel und verrichten als Laserlicht die ihnen zugedachte Arbeit. Damit beeinflussen die Spiegel ganz wesentlich die Eigenschaften des Laserlichtes und auch die maximal erzeugbare Laserleistung.

Schon früh in den 60er Jahren wurde deutlich, dass Laserlicht den Resonator beschädigen kann, und der Begriff der Laserzerstörungsschwelle – als die Lichtenergie, bei der die optischen Komponenten Schaden nehmen – wurde geprägt. Im Zuge dieser Erkenntnis und der Entwicklung immer leistungsfähigerer Laser hat sich die Entwicklung von Laseroptiken zu einem wissenschaftlichen Spezialgebiet entwickelt.

Laserspiegel erreichen heute aufgrund von konstruktiver Interferenz zwischen hoch- und niedrigbrechenden Schichten eine Reflektivität von mehr als 99,99 Prozent und können aus bis zu 100 Schichten bestehen. Prinzipiell gilt: Je breitbandiger ein Laser sein soll, desto aufwendiger wird das Schichtdesign der optischen Komponenten.

### Plasmaoberflächentechnik auf höchstem Niveau

Ein weltweit erfolgreicher Optikerhersteller ist die Firma Laser Components aus Olching bei München. Bereits vier Jahre

Jahrg. 72 (2018) 5

nach seiner Gründung begann das Familienunternehmen 1986 mit der Beschichtung von Laseroptiken in einer e-beam Anlage. Bald darauf wurde mit einer PIAD-Anlage erstmals ein plasmagestütztes Beschichtungsverfahren genutzt. Dies ermöglichte fortan die Herstellung kompakterer Schichten mit weniger Wassereinschluss sowie besseren Absorptionseigenschaften. 2010 ergänzte man den Technologie-Pool um das IBS-Verfahren, bei dem das Target mit einem Ionenstrahl zerstäubt wird. Heute beliefert das Unternehmen namhafte Laserhersteller mit Optiken und ist stark in aktuelle Forschungsprojekte involviert.

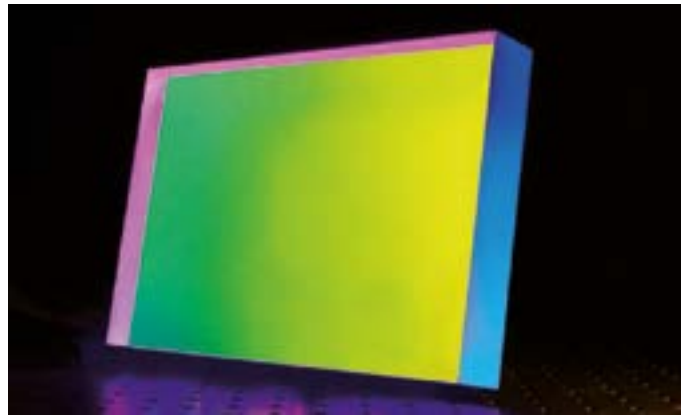
„Die Anforderungen an Reflexionen und Transmissionen steigen immer weiter und dann kommen oft noch neue Kundenwünsche hinzu“, schildert Dr. Lars Mechold, technischer Leiter bei Laser Components. „Wir haben Optiken, die bei fünf unterschiedlichen Wellenlängen funktionieren müssen. Multifrequenz-Laserspiegel werden außerdem oft in der Medizintechnik eingesetzt. Toll ist, dass wir in diesem Bereich viele Neuprojekte haben.“

Laser, die mehr als nur eine Wellenlänge abgeben können, erhöhen die Flexibilität beträchtlich. Zum Beispiel kann in der Medizin eine Wellenlänge zum Schneiden dienen, während die andere das Verschweißen der Wunde übernimmt. Oder eine Wellenlänge erfüllt Messaufgaben, während eine andere für eine Anregung der Zellen sorgt. Prinzipiell können durch das Wechselspiel zwischen verschiedenen Wellenlängen auch komplexe Zellverbände sichtbar gemacht werden. Darüber hinaus gibt es Anwendungen in der Dermatologie, wo es sowohl Raum als auch Kosten spart, wenn ein Laser von seiner Wellenlänge her optimal auf den Hauttyp eines Patienten abgestimmt werden kann. „Mit einem Wort“, schließt Mechold, „wir sind heute in der glücklichen Lage, genau die Wellenlängen zu bedienen, die der Kunde wünscht.“

Da diese Projekte unter anderem auf medizinische Anwendungen wie die Früherkennung von Krebs im Blut und seine Behandlung abzielen, stehen hier auch Budgets für größere Entwicklungsanstrengungen zur Verfügung.

#### Petawatt-Laser

„2012 haben wir uns für das erste aufsehenerregende Forschungsprojekt mit Laserleistungen im Petawatt-Bereich qualifiziert“, erinnert sich Barbara Herdt, Sales Account Managerin bei Laser Components. „Die Wiederholungsrate solcher Laser lag damals bei wenigen Pulsen in mehreren Minuten. Heute



Mit richtiger Lichttemperatur und Einfallswinkel lassen sich auch kleinste Beschichtungsfehler zuverlässig erkennen – dieser Spiegel ist makellos.

werden bei Petawatt-Lasern Frequenzen von einigen Hertz erreicht.“

Aktuelle Hochleistungspulslaser können inzwischen Lichtpulse mit Amplituden von bis zu zehn Petawatt erzeugen – also eine Billion oder  $10^{15}$  Watt. Dagegen wirkt selbst der Drei-Schluchten-Damm in China mit fast 23 Gigawatt ( $10^9$  Watt) beinahe wie ein Schwächling. Doch der gibt seine Leistung konstant ab, während die Hochleistungslaser ihre gewaltige Leistung nur über einen sehr kurzen Zeitraum liefern, sodass die mittlere abgegebene Leistung nur auf dem Niveau einer Glühlampe liegt. Bemerkenswert ist, dass solche Petawatt-Laser im Bereich der medizinischen Forschung eingesetzt werden und perspektivisch sogar neue Krebstherapien ermöglichen sollen. Völlig außer Frage steht, dass dabei an die Optiken extreme Anforderungen gestellt werden. Des Weiteren setzen Wissenschaftler Petawatt-Laser bei der Erforschung der Kernfusion ein. Die zugehörige Anlagentechnik solcher Petawatt-Laser füllt die Fläche ganzer Fußballfelder.

Eine weitere Herausforderung ist, dass überall im Bereich des Strahlenganges Reinraumbedingungen herrschen müssen. Denn bei der hohen Leistung reicht ein Staubkorn und die Energie des Lichtes zerstört alles, was sich in unmittelbarer Nähe befindet – auch eine Spiegeloptik. Diese hohen Leistungen werden bisher nur über das Fokussieren größerer Strahlquerschnitte von bis zu 180 mm und die Koppelung mehrerer Laserquellen erreicht. Zum Beispiel besteht ein aktueller Petawatt-Laser aus mehreren Sub-Lasereinheiten. Dafür sind hunderte optische Komponenten notwendig, wobei jede Umlenkung eine Deformierung des

Strahlprofils erzeugen kann. „Von daher sind die Anforderungen an die Formgenauigkeit der Substrate sowie die Homogenität und Fehlerfreiheit der Schichtsysteme in den letzten Jahren immens gestiegen“, berichtet Christian Grunert, Produktionsleiter in Olching. „Deshalb haben wir uns schon früh den plasma- und ionenstrahlgestützten Verfahren zugewendet, die kompaktere und driftfreie Schichten erzeugen.“

Doch die neuen Verfahren haben auch Nachteile, zum Beispiel entstehen durch die kompakteren Schichten höhere Schichtspannungen, die in der Lage sind, sogar ein 60 mm dickes Glassubstrat um bis zu 1  $\mu$ m zu verziehen und damit die Ebenheit maßgeblich zu beeinträchtigen. Diesen Effekt kann man mit den richtigen Korrekturmaßnahmen ausgleichen: Entweder kommt ein entsprechend vorgekrümmtes Substrat zum Einsatz oder auf der Rückseite wird eine weitere Beschichtung aufgebracht, die den Effekt wieder aufhebt. Nur die praktische Erfahrung zeigt, wann sich welcher Weg anbietet.

#### Komplex: Prüfung von Laseroptiken

Ein zentrales Element für die Bewertung von Laseroptiken ist neben den optischen Eigenschaften nach wie vor die Lasererzschwelle. Früher wurde diese überwiegend im Test beim Anwender implizit geprüft, da es für einen Hersteller optischer Komponenten kaum möglich ist, ausreichend leistungsfähige Laser in seinem Technikum zu betreiben. Doch dieses Trial-and-Error-Prinzip ist ▶

**mo** PLASMAOBERFLÄCHENTECHNIK


Die Spiegelsubstrate sind bis zu 60 mm dick. Im Vergleich zu einem Menschen wird die Größe moderner Spiegeloptiken deutlich.



Die Anlagen beschichten automatisch unter Einsatz eines In-line-Messverfahrens, links auf den Monitoren sind Soll- und Ist-Kurven zu sehen.

heute bei der zunehmenden Komplexität der Systeme nicht mehr tragbar. Deshalb arbeitet die Branche intensiv daran, Normen und Methoden zu entwickeln, um die Lasererstörschwelle beispielsweise mit größeren Strahldurchmessern zu prüfen und repräsentative Rückschlüsse auf die Wechselwirkung mit dem verwendeten Laserstrahl zu erlauben. Hierfür engagiert sich Laser Components auch im DIN-Normenausschuss für Feinmechanik und Optik, speziell für Laser und elektro-optische Systeme.

Es gibt viele Größen, die sich an einer Laseroptik sehr einfach messen lassen – von der Transmission bis hin zur Reflektion. Das sind dann auch oft gute Prüfparameter für die Qualitätssicherung. Andere Eigenschaften wie die Lasererstörschwelle, die Absorption und auch die Schichtspannung lassen sich nicht so trivial messen. „Dafür braucht man viel physikalisches Know-how und Kreativität, um die bestehende Messtechnik optimal zu nutzen“, weiß Mechold. „Vor allem die Schichtspannung ist ein Zu-

kunftsthema und wird in verschiedenen Forschungsinstituten seit einiger Zeit intensiver bearbeitet.“

Laser Components hat sich über die Jahre das Know-how erarbeitet, um unterschiedlichste Materialien und auch Fasern zu beschichten – ein wichtiger Bereich, da Faserlaser in vielen Bereichen stark im Kommen sind. „Ich sehe Interdisziplinarität als einen der Schlüsselfaktoren, der uns auszeichnet“, führt Mechold aus. „Wir arbeiten an vielen öffentlich geförderten Projekten. Weiterhin sind wir stolz darauf, dass unsere Laseroptiken individuell angefertigt und ausgelegt werden.“

Das bedeutet, am Anfang steht immer das Schichtdesign und eine Simulation am Computer. Anhand von empirisch ermittelten Beschichtungsregeln wird dann die Anlage programmiert. „Um eine treffsichere Simulation zu ermöglichen, muss im Vorfeld allerdings viel Grundlagenwissen über die Materialien und Verfahren erarbeitet werden“, berichtet Grunert.

„So können wir sicherstellen, dass unsere Beschichtungen bereits beim ersten Mal den Kundenspezifikationen entsprechen.“

Prinzipiell stehen am Standort in Olching alle wichtigen Beschichtungstechnologien zur Verfügung – vom Elektronenstrahlverdampfer über plasmagestützte Verfahren bis zu IBS-Anlagen. Aktuell ist auch geplant, zusätzlich in neue und auch größere Anlagen zu investieren, um dem Bedarf an immer größeren Optiken gerecht zu werden.

Bemerkenswert ist, dass sich das Unternehmen auch dazu verpflichtet fühlt, für den Austausch zwischen Wissenschaftlern, Anwendern und Technikern zu sorgen. Deshalb veranstaltet Laser Components in Deutschland und den USA seit rund sechs Jahren regelmäßige Workshops zu unterschiedlichen Themen. 🍌

**i** Laser Components  
[www.lasercomponents.com](http://www.lasercomponents.com)

**Veröffentlicht:**

**mo** Magazin für Oberflächentechnik

Verlag: I.G.T. Informationsgesellschaft Technik mbH

Ausgabe: Mai 2018

Jahrg. 72 (2018) 5