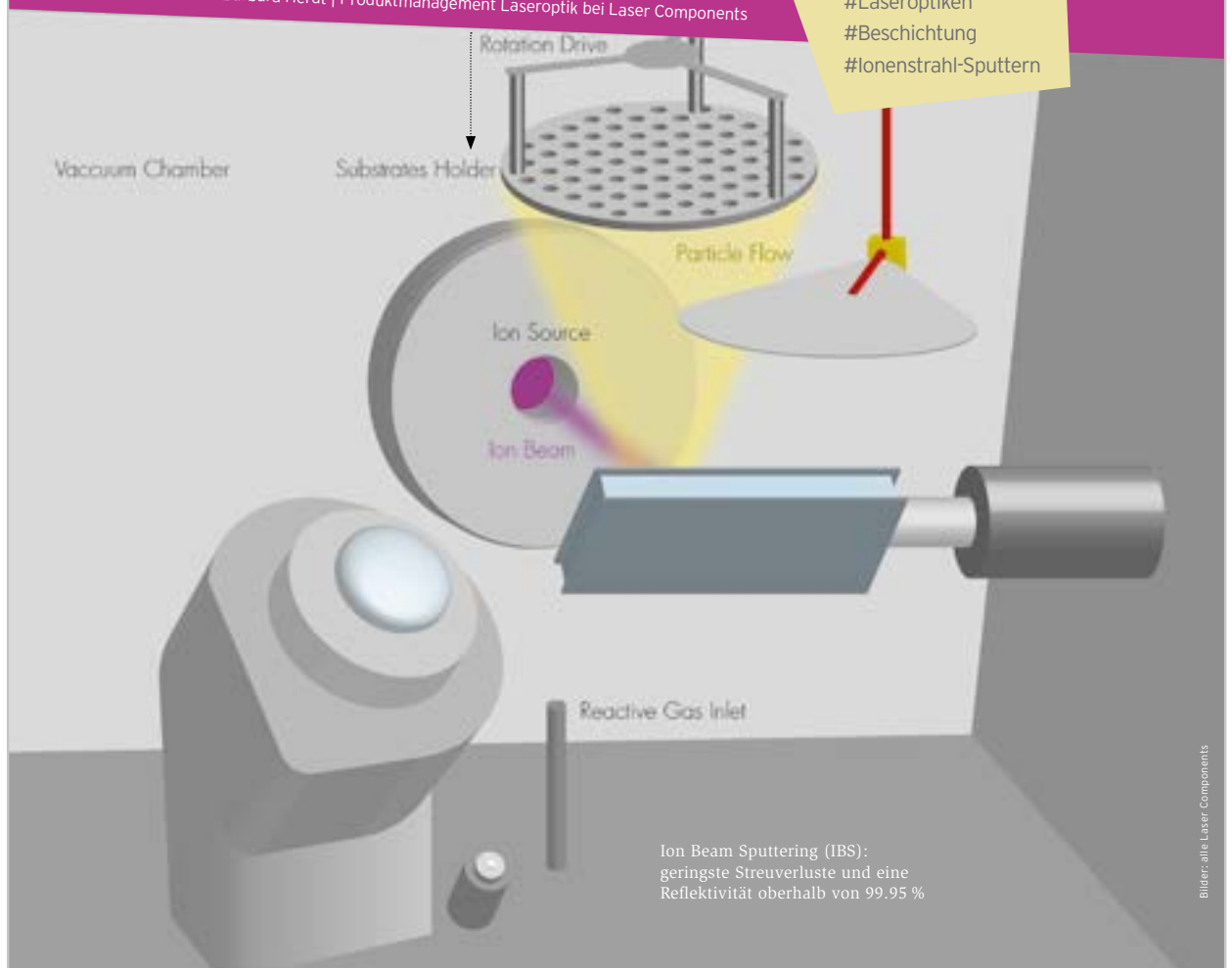


# IONENSTRAHL-SPUTTERN - Laseroptiken für die Materialbearbeitung

Hochleistungslaser im Femtosekundentakt: Optiken für die Lasermaterialbearbeitung unterliegen sehr unterschiedlichen, aber beständig wachsenden technischen Anforderungen. Das IBS-Verfahren bietet den Herstellern wichtige Stellschrauben, um Parameter zu erzielen, die klassische Beschichtungsmethoden nicht erreichen können.

AUTORIN Barbara Herdt | Produktmanagement Laseroptik bei Laser Components

#Laseroptiken  
#Beschichtung  
#Ionenstrahl-Sputtern



**N**och vor wenigen Jahren hätten selbst Experten Laserpulsspitzenleistungen im Petawatt-Bereich, oder eine industrielle Materialbearbeitung im Femtosekunden-Regime für Science-Fiction erklärt. Heute müssen Optikhersteller darauf vorbereitet sein, für solche Anwendungsparameter in großen Mengen zuverlässige Qualität zu liefern. Dabei unterscheiden sich die technischen Anforderungen je nach Einsatzgebiet oft stark: So verlangen wissenschaftliche Petawatt-Anlagen und industrielle Ultrakurzpuls laser nach besonders hohen Laserzerstörungsschwellen – teilweise auf Substraten mit Durchmessern von 20 und mehr Zentimetern.

Bei cw-Lasern, wie sie zum Schneiden und Schweißen eingesetzt werden, besteht die Herausforderung darin, eine möglichst niedrige Absorption zu erzielen, damit sich das System nicht erwärmt, was die Qualität beeinträchtigen würde. Auch die Wellenlängen, bei denen die Laserquellen emittieren, werden immer vielfältiger. In der Mikrochipfertigung wird zum Beispiel besonders kurzwelliges UV-Licht eingesetzt, das völlig andere Anforderungen an die Optiken stellt als Wellenlängen im sichtbaren und infraroten Bereich.

Erschwerend für die Optikhersteller kommt hinzu, dass die Ansprüche der Kunden im gleichen Maße steigen. Hatte man früher einen gewissen Toleranzspielraum, sind die Systeme inzwischen so ausgereizt, dass ihre Hersteller großen Wert auf die exakte Einhaltung aller Spezifikationen legen.

Die Industrie bewegt sich daher fast zwangsläufig immer am vorderen Ende des technisch Machbaren. Die bekannten Beschichtungsverfahren werden ständig weiter optimiert, um ihre Vorteile bestmöglich ausnutzen zu können. Beispielhaft für eine Methode auf dem neuesten Stand der Technik ist das Ionenstrahl-Sputtern (Ion Beam Sputtering, IBS).

### Warum ist IBS anders?

Das Vorgehen beim Ion Beam Sputtering unterscheidet sich grundlegend von anderen gängigen Verfahren. Bei der Elektronenstrahl- (E-Beam) oder der Ionenstrahlgestützten Abscheidung (Ion-Assisted Deposition, IAD) werden die Beschichtungsmaterialien verdampft, kondensieren am Substrat und bilden eine Schicht. In einer IBS-Anlage wird das Beschichtungsmaterial auf einer Metallplatte – dem sogenannten Target – bereitgestellt. Darüber wird zunächst ein Reaktivgas wie Sauerstoff oder Stickstoff eingelassen, um die oxidischen Verbindungen für die transparenten dielektrischen Schichten zu erhalten. Zur Freisetzung des Beschichtungsmaterials wird das Target in der Reaktivgasatmosphäre mit einem hochenergetischen Ionenstrahl beaufschlagt. Die Ionen treffen mit einer Energie von 1 keV auf die Targetoberfläche, übertragen ihren Impuls auf die dort vorhandenen Moleküle und lösen damit eine Stoßkaskade aus (Titelbild). Dabei lässt sich die Zahl der gesputterten Teilchen nach der folgenden Formel berechnen:

$$N(t) = N_{\max} \left( 1 - \exp \left( - \frac{Y I_p}{e N_{\max}} t \right) \right)$$

$e$  – Elementarladung;  $N_{\max}$  – Anzahl der Teilchen auf der Oberfläche (circa  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$ );  $Y$  – Sputterausbeute (Anzahl der gesputterten Teilchen pro auftreffendem Ion);  $I_p$  – Primärstrom

Durch das Sputtern erhalten die Moleküle des Beschichtungsmaterials eine erheblich höhere kinetische Energie als bei den Verdampfungsverfahren. Das führt zu einer besseren Adhäsion auf dem Substrat, und es entstehen besonders dichte und homogene Schichten.

In der Produktion kommt ein weiterer Vorteil des IBS-Verfahrens zum Tragen: Alle wesentlichen

### PRAKTISCHE VORTEILE AUCH BEI SPIEGELN

*Das Ionenstrahl-Sputtern bietet auch dann greifbare Vorteile, wenn besonders dicke Schichtpakete von mehreren Mikrometern benötigt werden. Das ist etwa dann der Fall, wenn möglichst viele Wellenlängen reflektiert werden sollen. Dafür sind große Mengen des Beschichtungsmaterials nötig. Die Tiegel, in denen das Granulat beim E-Beam- oder IAD-Verfahren verdampft werden, haben ein sehr begrenztes Fassungsvermögen. Um die gewünschte Schichtdicke zu erzielen, müsste man den Beschichtungsprozess unterbrechen, um Material nachzufüllen. Das ist fehleranfällig; das Target beim IBS ist so dick, dass Beschichtungen über mehrere Monate durchgeführt werden können. .*

&gt;&gt;&gt;

Prozessparameter, wie Streugeometrie (Streuwinkel), Ionenenergie, Einfallswinkel und das Verhältnis der Ionen zur Masse, lassen sich unabhängig steuern. So kann man Stöchiometrie und Dicke der dielektrischen Schichten präzise den Bedürfnissen jeder einzelnen Anwendung anpassen. Welche Auswirkungen das im Detail hat, zeigen die nachfolgenden Beispiele.

### Sonderschichten gegen Reflexionsspitzen

In der Lasermaterialbearbeitung haben sich die Anforderungen an die Optiken geändert. Zum Schweißen, Schneiden und Bohren werden heute in erster Linie leistungsstarke Faserlaser verwendet, sodass die Strahlführung keine weiteren Optiken erfordert. Diese findet man aber in den Systemen zur Überwachung des Arbeitsprozesses. VIS- oder NIR-Kameras werden eingesetzt, um Fehler wie Schweißspritzer oder Haarrisse schnell zu erkennen. Dichroitische Optiken verhindern dabei, dass das intensive Licht des Lasers die beobachteten Prozesse

tiert. Zusätzlich kommt es bei 532 nm zu einer erhöhten Reflexion aufgrund der  $\lambda/4$ -Katastrophe. Das kann vermieden werden, indem man im Schichtdesign zusätzlich Störschichten einplant, die diesen Effekt verhindern. Da diese sehr dünn sein müssen, lassen sie sich am besten mit dem IBS-Verfahren erstellen.

Auf dieselbe Weise lässt sich übrigens auch der gegenteilige Effekt erzielen: Dann geht es darum, sehr gute Transmissionswerte zu erreichen und die Verluste bei der Bearbeitungswellenlänge gering zu halten.

### Hohe Reflexion, geringe Verluste

In der Lasermaterialbearbeitung müssen Optiken cw-Laserleistungen von einigen Kilowatt standhalten. Raue Oberflächen verursachen unkontrollierte Streuungen, die umgebende mechanische Elemente erwärmen und beschädigen könnten. Liegt die Absorption zu hoch, heizt sich die Optik selbst auf und wird zerstört. Gleichzeitig werden Reflexionsgrade von mehr als 99,9 % gefordert, um die

Detektoren der Beobachtungssysteme zu schützen. Hier bietet das IBS-Verfahren gleich mehrere Vorteile. Vor allem zahlt es sich aber aus, dass das Sputterverfahren viele Stellschrauben bietet, mit denen man den Beschichtungsprozess exakt steuern kann. Nach der oben beschriebenen Formel lässt sich der Ionen-

strahl so einstellen, dass die Schichtdicken genau dem gewünschten Wert entsprechen. Auf diese Weise können bei der Reflexion wichtige Prozentpunkte hinzugewonnen werden. Durch eine richtige Dosierung der Reaktivgase können die Hersteller mit etwas Fingerfertigkeit den Absorptionswert der Optik reduzieren. Wichtig ist dabei, die Gasmenge so zu steuern, dass genau die richtige Menge an Oxiden oder Nitriden entsteht. Eine zu hohe Gasmenge würde den Sputterprozess bremsen.

	E-Beam	IAD	IBS
$R_{\max}$	+	++	+++
Complexity	-	++	+++
Thermal Drift	-	+++	+++
Flatness	++	+	-
$LIDT_{\max}$	+++	++	++

Vorteile und Nachteile der verschiedenen Beschichtungsverfahren ( $R_{\max}$  – maximale Reflektivität;  $LIDT_{\max}$  – maximale Laserzerstörungsschwelle)

überstrahlt. Die Schichtsysteme müssen so aufgebaut sein, dass die Laserwellenlänge reflektiert wird, während der Filter die Beobachtungswellenlängen zum Detektor durchlässt.

Verwendet man bei solchen Optiken die klassischen  $\lambda/4$ -Schichten, bekommt man Probleme mit Reflexionsspeaks. Diese tauchen bei allen Bruchteilen der gewünschten Wellenlänge auf. Bei einem Nd:YAG-Laser (1064 nm) würden zum Beispiel die Wellenlängen 355 nm ( $\lambda/3$ ), 213 nm ( $\lambda/5$ ) und so fort reflek-

### Fazit: Die Erfahrung zählt

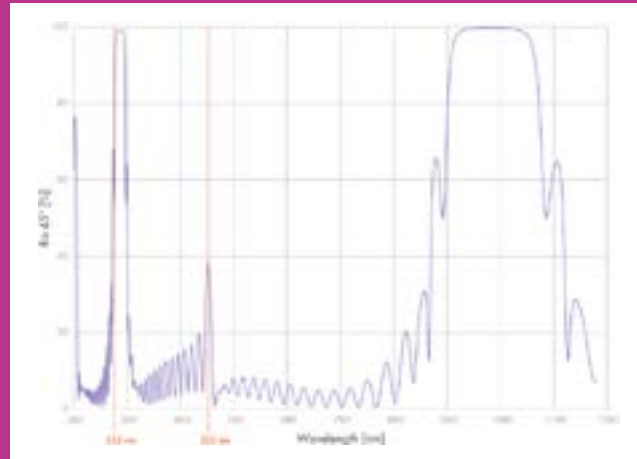
Diese Beispiele zeigen, dass das IBS-Verfahren zusätzliche Lösungsoptionen bietet. Dennoch haben die klassischen Beschichtungsmethoden weiterhin ihre Daseinsberechtigung.

Wie immer gilt es, im Einzelfall alle Möglichkeiten abzuwägen. Eine Optik, die in allen Anforderungen optimale Werte bietet, gibt es nicht. Eine Reflektivität über 99,95 % muss man sich zum Beispiel mit Einbußen bei der Zerstörschwelle erkaufen. Wie oben erwähnt, lassen sich hohe Reflexionsgrade nur mit vielen dichten Schichten erzielen. Mit jeder zusätzlichen Schicht summieren sich aber auch die kleinen Unregelmäßigkeiten, die zu einer niedrigeren Laserzerstörungsschwelle führen können.

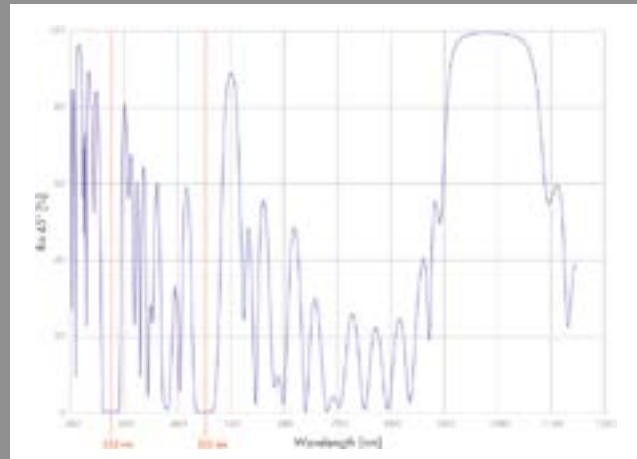
Die Kräfte, die in den dicht gepackten IBS-Schichten wirken, haben außerdem zur Folge, dass sich das Substrat krümmt. Es leidet also auch die Ebenheit der Optik. Kompensationsschichten können das verhindern, beeinflussen aber wiederum die optischen Eigenschaften. Dazu kommen noch Faktoren außerhalb jeder Physik: Das Ganze soll bezahlbar bleiben. Bei all diesen Abwägungen entscheidet am Ende die Erfahrung des Herstellers darüber, welche Lösung dem Kunden angeboten wird.

Das Produktionsteam arbeitet dabei eng mit Entwicklungsabteilung und Vertrieb zusammen. Die Produktionstechniker übersetzen die Kundenanforderungen in die Spezifikationen für die Produktion. Es lohnt es sich daher immer, mit einem umfangreichen Anlagenpark möglichst viele Optionen abzudecken, sodass die Beschichtungsexperten die jeweils passende Technologie auswählen können. ■

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



Umlenkspiegel für 1064 nm: Reflexionspeaks aufgrund von klassischen  $\lambda/4$ -Beschichtungen, am Beispiel eines Umlenkspiegels für 1064 nm



Umlenkspiegel für 1064 nm: optimiertes Design mit Störschichten zur Unterdrückung bei 532 nm und 355 nm