

# Standardisierte Antireflexbeschichtungen für Faseroptiken

Reflexionsverluste vermindern den Lichtdurchsatz von Glasfasern und reduzieren so Funktionalität und Wirtschaftlichkeit faseroptischer Applikationen. Antireflexbeschichtungen auf Oxidbasis verbessern die Transmission signifikant. Standardisierte Verfahren rücken inzwischen einen flächendeckenden Einsatz solcher Beschichtungen in Reichweite.

In Industrie und Medizin werden heute immer höhere Anforderungen an den Lichtdurchsatz quarzglasbasierter Faseroptiken gestellt. Spektroskopische Analysen etwa stehen und fallen mit der Qualität der Übertragung relevanter Wellenlängen.

In der Materialbearbeitung ist die Funktionalität fasergebundener Applikationen – sei es nun Schweißen, Schneiden, Härten, Beschichten oder 3D-Druck – an den bestmöglichen Lichtdurchsatz gebunden. Dasselbe gilt in Augenheilkunde, Dermatologie und Dentaltechnik, wo chirurgische Laseranwendungen stets auch von der Übertragungsqualität der strahlführenden Fasern abhängen. Hinzu kommt die Bedeutung der Transmission für die Energieeffizienz und damit die Betriebskosten einer optischen Anwendung.

Schwächen beim Lichtdurchsatz bedeuten Leistungsverluste, die sich umso nachteiliger auswirken, je geringer bereits der Wirkungsgrad der Lichtquellen ausfällt. Da die meisten Industrielaser oder Deuteriumlampen heute einen elektrischen Wirkungsgrad von lediglich 30 bis 40 Prozent aufweisen – CO<sub>2</sub>-Laser erreichen sogar nicht einmal zehn Prozent –, ist ein exzellenter Lichtdurchsatz unverzichtbar, soll die Wirtschaftlichkeit einer Anwendung nicht durch zusätzliche Leistungsverluste auf dem Übertragungsweg in Frage gestellt werden.



▲ Die hochmoderne Vakuumbeschichtungsanlage, die am CeramOptec Produktionsstandort Livani/Lettland errichtet wurde, ermöglicht die Umsetzung aller klassischen AR-Beschichtungen. Die überdurchschnittlichen Dimensionen der Vakuunkammer – über ein Kubikmeter Nutzraum und ein Innenkammer-Durchmesser von 1100 mm – bieten zudem auch für die Beschichtung sehr langer optischer Fasern optimale Voraussetzungen.

Bilder: ©CeramOptec

## Antireflexbeschichtungen minimieren Reflexionsverluste

Ein guter Teil der Forschungs- und Entwicklungsarbeit führender Faseroptik-Spezialisten ist heute dementsprechend darauf ausgerichtet, die Übertragungsqualität von Quarzglasfasern kontinuierlich zu verbessern. Eine zentrale technische Herausforderung

sind dabei die sogenannten Reflexionsverluste. Sie stellen sich ein, da Teile des eingekoppelten Lichts an den Stirnflächen der Glasfasern reflektiert werden und so ein Werkstück oder Spektrometer erst gar nicht erreichen. Der Umfang solcher Reflexionsverluste variiert in Abhängigkeit vom Brechungsindex des

Quarzglas und den Besonderheiten der konkreten Anwendung. In den meisten Fällen ist jedoch mit einem durchschnittlichen Verlustwert von sieben bis acht Prozent zu rechnen. Das bedeutet, dass fast ein Zehntel der übertragenen Leistung durch Reflexion an den Stirnflächen verlorengeht. Im Laserbereich kann sich das insbesondere in der Serienfertigung, in welcher Laseranlagen zum Teil rund um die Uhr betrieben werden, zu einem wirtschaftlich kritischen Faktor summieren. Nicht minder problematisch ist es, wenn die Stirnfläche bestimmte Wellenlängen verstärkt reflektiert. Spektrometrische Anwendungen können dadurch ebenso nachhaltig beeinträchtigt werden wie Lasermaterialbearbeitungen, die zwecks optimaler Absorption nur auf ausgewählte Wellenlängenspektren setzen. Faseroptik-Spezialisten bemühen sich schon seit einigen Jahren um Lösungen für diese Reflexionsproblematik. Als wirksamste Maßnahme haben sich Antireflexbeschichtungen (AR) erwiesen, wie sie auch von zahlreichen anderen optischen Komponenten wie etwa Kameralinsen oder Brillengläsern bekannt sind. Solche AR-Beschichtungen – oft auch als Vergütungen oder Entspiegelungen bezeichnet – realisieren eine sogenannte destruktive Interferenz, bei der die Wellen reflektierter Lichtstrahlen um eine halbe Phase verschoben werden, was die Reflexionswirkung größtenteils aufhebt. Um diesen Effekt zu erzielen, müssen je nach Brechungsindex des jeweiligen Glases unterschiedliche Schichtdicken erzeugt und auch verschiedene Beschichtungsmaterialien erprobt werden.

In der Faseroptik kommen zumeist Beschichtungen aus Oxidverbindungen wie zum Beispiel Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ), Aluminium(III)-oxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oder Hafniumdioxid ( $\text{HfO}_2$ ) zum Einsatz. Diese Schichten werden im Anschluss an die Konfektionierung auf die polierten Stirnflächen der Fasern aufgebracht. Hierfür wird gewöhnlich die Physikalische Gasphasenabschei-

dung (Physical Vapour Deposition/PVD) genutzt, da sich mit diesem vakuumbasierten Verfahren hohe Zerstörschwellen erreichen lassen – die Beschichtungen halten dadurch auch der intensiven Strahlung von Hochleistungslasern dauerhaft stand. Und die Transmissionseffekte können sich sehen lassen: Bei sämtlichen quarzglasbasierten Faseroptiken reduzierten AR-Beschichtungen die Reflexionsverluste von vormals sieben bis acht auf unter 0,1 Prozent.

### Standardisierte Verfahren machen flächendeckenden Einsatz möglich

Trotz dieser exzellenten Resultate haben sich AR-Beschichtungen jedoch bisher nicht auf breiter Front durchgesetzt. Zwar können solche Beschichtungen die Transmission jeder marktüblichen Glasfaser enorm erhöhen. Die Regel sind sie indessen nicht. Das hat weniger mit finanziellen Aspekten zu tun als vielmehr mit dem Thema Verfügbarkeit: In der Vergangenheit wurden AR-Beschichtungen nur von wenigen Spezialanbietern realisiert. Die Faseroptik-Hersteller mussten das Beschichten für gewöhnlich auslagern, was sich negativ auf die Lieferzeit der Fasern auswirkte und sich zum Teil auch im Kostenbereich niederschlug. Hintergrund ist, dass das PVD-Verfahren bei jeder Wellenlänge neu konfiguriert werden muss und bisher kaum auf standardisierte Verfahren zurückgegriffen werden konnte. Da Beschichtungen der geeignete Weg sind, um den Lichtdurchsatz von Fasern signifikant zu erhöhen und so den verschärften Marktanforderungen gerecht zu werden, hat bei manchen Herstellern jedoch inzwischen ein Umdenken eingesetzt. Als einer der ersten führenden Faseroptik-Spezialisten ist etwa CeramOptec dazu übergegangen, AR-Beschichtungen im eigenen Haus zu realisieren und wellenlängenspezifische Verfahren zu standardisieren. Das erhöht die Verfügbarkeit der Beschichtungslösung deutlich und verkürzt damit die Lie-

ferzeit AR-beschichteter Faseroptiken. Standardisierte Verfahren wurden zum Beispiel bereits für die klassische UV-B-Wellenlänge 266 nm entwickelt, aber auch für Wellenlängen von 980 oder 1550 nm. Weitere Standardisierungen werden zeitnah folgen. Die hochmoderne Vakuumbeschichtungsanlage, die am Produktionsstandort Livani/Lettland errichtet wurde, ermöglicht die Umsetzung aller klassischen AR-Beschichtungen – von Single AR-Coatings für nur eine Wellenlänge bis zu Broadband AR-Coatings für ganze Wellenlängenspektren. Die überdurchschnittlichen Dimensionen der Vakuumkammer – über ein Kubikmeter Nutzraum und ein Innenkammer-Durchmesser von 1100 mm – bieten zudem auch für die Beschichtung sehr langer optischer Fasern optimale Voraussetzungen.

### Fazit

Mit der beginnenden Standardisierung von AR-Beschichtungsverfahren ist der Weg zum flächendeckenden Einsatz AR-beschichteter Fasern bereitet. Die wirtschaftliche, aber auch technische Bedeutung solcher Faseroptiken dürfte in den kommenden Jahren weiter zunehmen, da die Anforderungen an optische Applikationen permanent steigen und vor allem die Lasertechnologie kontinuierlich neue Anwendungsbereiche erobert. Hersteller wie CeramOptec sind auf eine steigende Anzahl von AR-Beschichtungsanfragen vorbereitet und können durch Integration standardisierter Verfahren in den hauseigenen Fertigungsprozess kürzere Lieferzeiten und günstigere Konditionen anbieten.

#### ■ INFO

Kontakt:  
 Holger Bäuerle  
 Vice Managing Director - Fiber Optics  
 CeramOptec GmbH  
 - a company of biolitec group -  
 coop. with Ceram Optec SIA  
 Siemensstr. 44 · 53121 Bonn  
 Tel.: 0228 97 967 12 · Fax: 0228 97 967 99  
 E-Mail: holger.baeuerle@ceramoptec.com  
 www.ceramoptec.com