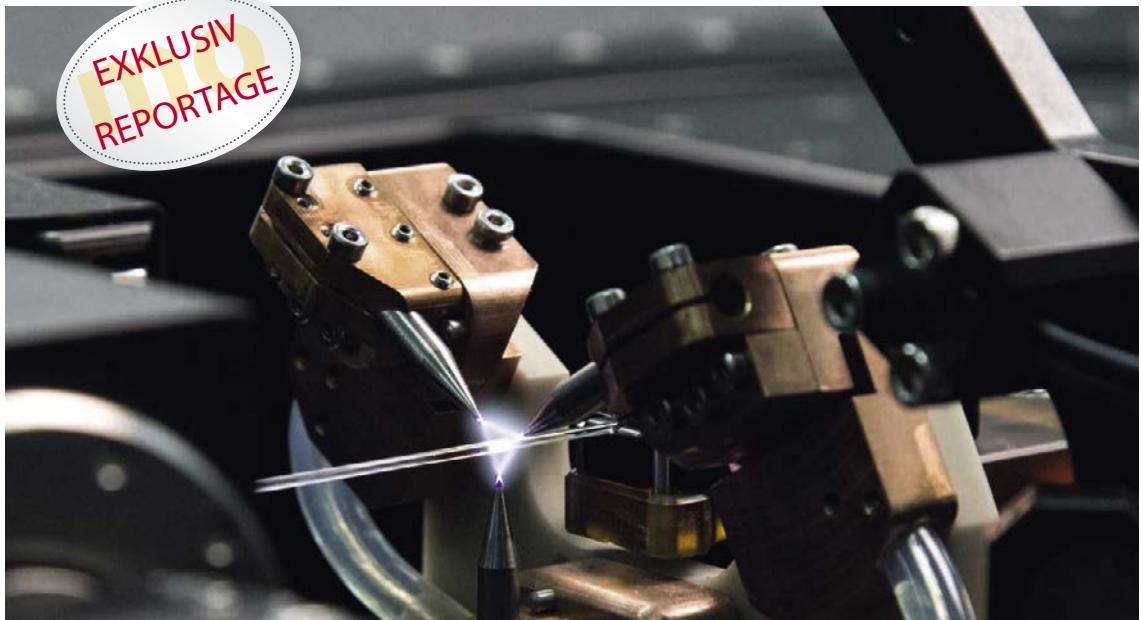


mo GLAS UND OPTIK



BIG1394E

Glasfasern werden unter Vakuum mit einem elektrisch gezündeten Plasma gespleißt – also nahtlos verbunden.

## Starkstromleitung für Licht

Energiedichten wie auf der Sonnenoberfläche machen die Lichtübertragung mit Lichtwellenleitung zur Herausforderung

*Carsten Blumenstengel, Chefredakteur*

Optische Fasern kommen in den unterschiedlichsten Anwendungen von der Sensorik über die Medizintechnik bis hin zur industriellen Laserleistungsübertragung zum Einsatz. Und in allen Bereichen steigen die Leistungsanforderungen.

Ob im Bereich der Datenübertragung, bei Medizin- und Biotec-Anwendungen oder im Bereich der Materialbearbeitung – Laserlicht ist eine tragende Säule vieler moderner Technologien. Doch Laserlicht muss nicht nur erzeugt werden, es muss auch dahin geleitet werden, wo die Arbeit verrichtet werden soll. Seit vielen Jahren im Aufwind ist hierbei die Glasfaser, in der der

Laserstrahl mit Hilfe der Totalreflexion bis zum Ziel geführt wird. Eine wesentliche Herausforderung besteht dabei aber nicht nur in der Herstellung entsprechend hochwertiger und fehlerfreier Fasern, sondern vor allem in der Ein- und Auskopplung der hohen Lichtleistungen in die Glasfaser. Denn trifft das hochenergetische Laserlicht beim Übergang die Glasfaser nicht exakt genug, führt

das bei Laserlicht mit einigen hundert Watt unter Umständen zur Zerstörung der Faser und möglicherweise auch des umgebenden Verbindungselementes.

Prinzipiell gilt: je größer die eingekoppelte Leistungsdichte, desto wichtiger werden bei den sogenannten Faser-Assemblies, also einer fertig konfektionierten und einsatzbereiten Glasfasereinheit, Produkteigenschaften wie Widerstandsfähigkeit, Zentrität zwischen Verbindungselement und Faser und die Reduktion von Rückreflexionen. Um die Ausrichtung der Faser zum Laserstrahl zu optimieren und gleichzeitig eine leichte Handhabung zu ermöglichen, kommen hierbei hochpräzise Steckverbindungen zum Einsatz. Unter optimalen Verhältnissen sollten diese im Betrieb durch austretendes Licht nicht wärmer als 30°C werden. Deutlich höhere Temperaturen zwischen 60 und 70°C deuten auf ungeeignete Faser-Assemblies oder sogar Defekte hin. Auch wenn es dabei nicht zu einer unmittelbaren Zerstörung kommt, so ist doch eine Reduzierung der Lebensdauer

zu erwarten. Die Herstellung solcher hoch-effizienten Lichtleiter-Assemblies erfordert dementsprechend hochentwickelte, zuverlässige und präzise Fertigungsprozesse samt Messtechnik.

Die Firma Laser Components aus Olching beschäftigt sich seit mehr als 30 Jahren mit dem Thema Laseroptik und begann bereits 1995 mit der Konfektionierung von Lichtleitern. Das inzwischen nach der für den Medizinbereich wichtigen ISO 13485 Norm zertifizierte Unternehmen hat seitdem umfangreiches Prozess-Know-how für die Herstellung hocheffizienter und zuverlässiger Lichtleiter im Laserleistungsbereich von mehreren 100 Watt erarbeitet. Speziell für Anwendungen in der Medizintechnik wurde unlängst außerdem ein Reinraum der ISO-Klasse 7 in Betrieb genommen, um die Faser-Assemblies mit der für die spätere, externe Sterilisierung notwendigen Sauberkeit ausliefern zu können.

#### Lichtleiter – die Alternative zum Freistrah

„Traditionell lässt sich Laserleistung per Freistrah und Spiegeln zum Ziel führen – aber das erfordert einen hohen Aufwand und ist vergleichsweise kostenintensiv“, so Dr. Andreas Hornsteiner, Leiter des Geschäftsbereichs Faseroptik bei Laser Components. „Viel eleganter und effizienter ist es, mit



Bild: Laser Components

Lichtleiter-Assemblies müssen hochpräzise gefertigt sein. Für Freistich-Steckverbindungen ist besonderes Know-how notwendig, damit die Faser beim Polierprozess nicht ausgelenkt wird.

Lichtleitern zu arbeiten. Dass Lichtleiter eine sehr effektive und wirtschaftliche Alternative zum Freistrah sind, zeigt sich in immer mehr Anwendungen.“

Im Bereich der Datenübertragung ist die Glasfaser schon seit vielen Jahren im Einsatz. Deutlich weniger bekannt ist die Verwendung von Lichtleitern für die Übertragung hoher Leistungen – obwohl diese Anwendungen in vielen Bereichen des täglichen Alltags vorkommen. Die Nachfrage für solche Lichtleiter hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. „Wir beobachten,

dass manche bisher als Nischensegment betrachtete Anwendungen inzwischen erwachsen werden und die Nachfrage zügig ansteigt“, schildert Hornsteiner.

Lichtleiter sind in vielen Anwendungen durchaus als Verschleißteil zu betrachten, und insofern müssen bei wertvollen und hochpreisigen Lasersystemen auch im Feld mitunter neue Lichtleiter eingebaut werden. „Es besteht längst ein umfangreiches Discount-Angebot aus dem asiatischen Raum“, berichtet Hornsteiner. „Allerdings ob und welche Qualitätskriterien diese



Der Polierprozess der Glasfaser-Enden erfolgt mit feinen Oxiden. Im Bild wird gerade eine Poliermaschine für den Betrieb vorbereitet. In die Vorrichtung rechts im Bild werden die frisch verklebten Stecker eingesetzt und unter gezielter Wärmeeinbringung ausgehärtet.

## mo GLAS UND OPTIK

Faser-Assemblies erfüllen, ist oft schwer abzuschätzen. Die Preise jedenfalls sind natürlich für viele Einkäufer attraktiv. Wenn man allerdings bedenkt, dass solche Lasersysteme einige 100.000 Euro kosten und minderwertige Lichtleiter zu einem Ausfall des Gesamtsystems führen können, raten wir von Experimenten ab. Das beachten auch unsere Kunden, um die Systemgarantie nicht zu gefährden. Es gibt im Internet sehr spektakuläre mikroskopische Aufnahmen solcher Vorfälle.“

Das ist wenig verwunderlich, denn wenn 100 W Laserleistung durch einen Lichtleiter von der Dicke eines menschlichen Haares übertragen werden, erreicht die Energiedichte nahezu die Verhältnisse auf der Sonnenoberfläche. Fehler im Bereich der Auslegung, Fertigung oder Montage führen dann leicht zu einer Plasmabildung mit hohem Zerstörungspotenzial.

Die Problematik minderwertiger, aber billiger Lichtleiter-Assemblies als Ersatzteil wird innerhalb der Branche inzwischen auf mehrere Weisen adressiert. Ein Ansatz ist, die Lichtleiter so zu sichern, dass der Anwender nicht in der Lage ist, diese eigenständig zu tauschen. Oder es werden über RFID-Chips Sicherungssysteme eingebaut, die bei nicht zertifizierten Lichtleitern ein in Betrieb gehen des Lasers verhindern. Im Bereich der Medizintechnik wird im Rahmen der Norm ISO 22248 darauf abgezielt, den Einkäufern in den Krankenhäusern eine Norm an die Hand zu geben um von den Eigenschaften her geeignete und

ungefährliche Laser-Assemblies auswählen zu können. Dadurch geht ein ganzes Stück mehr Verantwortung auf die Hersteller solcher Lichtleiter über.

### Enge Toleranzen

Um Defekte zuverlässig zu verhindern, spielen der Stecker-Aufbau, die Materialeigenschaften, die Klebtechnologien und die Oberflächenbearbeitung samt Beschichtung der Faser-Stirnflächen eine ganz zentrale Rolle. Deshalb hat Laser Components eine eng gefasste Toleranzkette für solche Präzisionsstecker entwickelt, denn die Zentrität der Faser muss bis auf wenige Mikrometer genau stimmen. „Es reichen oft schon 10 µm, die eine Faser dezentriert ist und es kommt zur Zerstörung“, berichtet Hornsteiner aus Erfahrung. „Deshalb haben wir Fertigungsverfahren entwickelt, die dafür sorgen, dass die Toleranzketten in solchen Koppelstellen besonders präzise eingehalten werden können.“ In diesem Zusammenhang wurde zum Beispiel der früher im Bereich der Datenübertragung eingesetzte FSMA-Stecker weiterentwickelt und hat sich in vielen Anwendungen bereits bewährt.

### Reinigen unter dem Mikroskop

Somit ist das Einkleben der Fasern in die jeweiligen Stecker ein erster und sehr entscheidender Schritt für die spätere Güte eines solchen Faser-Assemblies. Geschulte Fachkräfte schaffen es bei Laser



Eine spezielle Aufnahmevorrichtung gewährleistet beim Polieren die exakte Ausrichtung der Stecker zur Polierebene.

Components, Multimode-Lichtleiter im freistehenden Stecker mit Exzentrizitäten unter 5 µm zu positionieren. Gleichzeitig gibt ein Messprotokoll die exakten Werte aus, um in der Praxis den Justageaufwand bei der Installation zu minimieren. Ausgehärtet wird die Verklebung in speziellen Haltevorrichtungen, die die Wärme über den Stecker sehr kontrolliert in die Klebefuge leiten.

Nach dem Abkühlen werden die Faser-Assemblies für die nächsten Fertigungsschritte vorbereitet, dafür erfolgt eine Reinigung der Stirnflächen mit einem geeigneten Lösemittel wie zum Beispiel Isopropanol oder Aceton in einem Ultraschallbecken.

„Ganz entscheidend für die Eigenschaften der Lichtleiter sind außerdem die erzielten Oberflächengüten der Faserenden“, erläutert Felix Paul, Feinoptiker und Produktionsleiter im Bereich der Faseroptik. „Bei der Herstellung und Beschichtung von Laseroptiken greifen wir unter anderem auf das Know-how zurück, das unser Unternehmen im Bereich der Laseroptiken aufgebaut hat und adaptieren es für die Anwendung bei Faseroptiken. Denn letztendlich müssen wir Rautiefen im Bereich von einigen Zehntel Nanometer erreichen.“

Beim Polieren einer Faser-Optik kommen drei Mechanismen zum Tragen, zum einen ein verfeinertes Schleifen, eine Wärmeumformung und ein chemisch-physikalischer Prozess zwischen Poliermittelträger, Poliermittel und der Glasoberfläche. Bei letzterem entsteht eine Art Kieselgelschicht, die in die Kapillarrisse eindringt, die durch den Schleifprozess erzeugt wurden und dann



Um die Restreflexion an den Übergangflächen zu minimieren, werden die Faserenden von Lichtleitern im Vakuum mit dielektrischen Schichten bedampft. Dadurch kann die Restreflexion von 4 auf unter 0,5 Prozent reduziert werden.

kleinste Glasteilchen herausprengt. Dadurch entsteht der Abtrag. Die eigentliche Einebnung der Oberfläche passiert durch eine plastische Umformung und mechanisch erzeugte Wärme. Die Kunst besteht nun darin, die Kapillaren in ihrer Größe durch das verfeinerte Schleifen so in ihrer Tiefe zu reduzieren, dass beim plastischen Fließprozess, bei dem das Material aus den Spitzen in die Täler gedrückt wird, keine Glaspartikel oder Rückstände anderer Art eingeschlossen werden. Denn sollte bei dem Polierprozess zum Beispiel ein Glassplitter eingeschlossen und dieser später von einem Laserstrahl getroffen werden, würde sich ein lokaler Hotspot bilden und dieser mit großer Wahrscheinlichkeit die Faser zerstören.

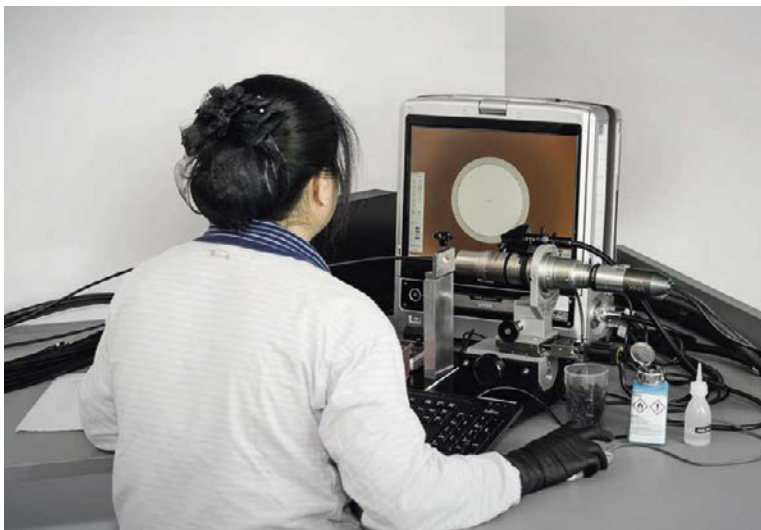
#### Polieren extrem

Das Polieren erfolgt auf Präzisionsgeräten, die die Andruckkraft sehr genau und reproduzierbar regeln können. Um das auf Dauer zu gewährleisten, wird die Andruckmechanik in regelmäßigen Abständen überprüft und geeicht. Als Schleifmedium kommen sehr feine Oxide zum Einsatz. Anschließend wird das Ergebnis unter dem Mikroskop kontrolliert und eine manuelle Endreinigung vorgenommen. Außerdem werden mit einem Zentrizitätsmessgerät die Toleranzen erfasst und dokumentiert. Hierfür kommt ein nur etwas mehr als handtellergroßes Gerät zum Einsatz, in das die Stecker eingeschraubt werden. Über eine integrierte Lichtquelle kann die Faser von der steckerabgewandten Seite her beleuchtet werden, sodass die Zentrizität sehr exakt vermessen werden kann.

#### Inhouse: Beschichten von Faser-Assemblies

Die Stirnflächen der Lichtleiter müssen beschichtet werden, um die Reflexion an den Übergangsf lächen zu minimieren. Denn ohne eine solche Antireflexbeschichtung würden etwa vier Prozent des Laserlichtes reflektiert. Interessanterweise steht dabei der Energieverlust gar nicht so sehr im Fokus, sondern vielmehr der Schutz des Lasers, der je nach Bauform sehr empfindlich auf Rückreflexionen reagieren und Schaden nehmen kann. Je nach Wellenlänge des Lichtes lässt sich die Restreflexion durch eine Beschichtung derzeit auf unter 0,2 Prozent bei schmalbandigem Laserlicht und im breitbandigen Bereich immerhin noch auf unter 0,5 Prozent senken.

Bei Laser Components können die Faser-Assemblies direkt im eigenen Haus beschichtet werden – ein Alleinstellungsmerkmal. Weil aus der Herstellung und Beschichtung der Laseroptiken umfangreiches Know-how im Bereich der Plasmaoberflächentechnik und für die Applikation von dielektrischen Schichten vorhanden war, erschien es den Verantwortlichen nur konsequent, auch im Bereich der Lichtleiter eine möglichst hohe Fertigungstiefe aufzubauen. Da die Schichtsysteme zudem häufig kundenspezifisch ausgelegt und ausgeführt werden müssen, sorgen die unternehmensintern kurzen Wege für schnelle und optimale Ergebnisse. „In vielen Anwendungsbereichen, in denen heute hohe Laserleistungen zum Einsatz kommen, muss noch sehr viel Grundlagen- und Entwicklungsarbeit geleistet werden“, berichtet Dr.



Die Faserenden werden vor und nach der Beschichtung unter einem Mikroskop in Bezug auf die Sauberkeit untersucht. Vor der Beschichtung kann noch bei Bedarf nachgereinigt werden – hinterher festgestellte Kontaminationen führen zum Verwurf.

Jahrg. 73 (2019) 1-2

17



**mo** GLAS UND OPTIK

Lars Mechold, technischer Leiter bei Laser Components: „Erfreulicherweise entwickeln sich hier branchenweit zunehmend Bestrebungen, das bereits erarbeitete Know-how in Normen zu transformieren. Als einer der Pioniere im Bereich der Lichtleiter sind wir hier natürlich sehr aktiv.“

**Partikel ab  
5 µm unerwünscht**

Zur Beschichtung werden die Faser-Assemblies fertig konfektioniert und gereinigt in die Beschichtungsanlage verbracht. „Schon Partikelgrößen ab 5 µm können zu einem Problem werden, im Idealfall sollte gar kein Partikel auf der Faser vorhanden sein“, erklärt Kristina Nehls, Prozessingenieurin im Bereich Laseroptik und Dünnschichttechnologie. „Wir kontrollieren deshalb vor der Beschichtung sehr sorgfältig, denn zu diesem Zeitpunkt können wir noch korrigierend eingreifen. Sind Partikel einmal in der Schicht eingeschlossen, müssen die Fasern bei der Überschreitung von bestimmten Grenzwerten verworfen werden. Dazu durchläuft jede beschichtete Faser eine intensive Wareenausgangskontrolle.“

Zur Beschichtung werden die Faser-Assemblies in entsprechenden Vorrichtungen so gehalten, dass im Beschichtungsprozess nur die Stirnflächen exponiert sind. Abgeschieden werden die dielektrischen Schichten bewusst nicht auf denselben Anlagen, die für die Laseroptiken zum Einsatz kommen, auch um Querkontaminationen zu vermeiden.

Als Schichtmaterial kommen in der Regel dielektrische Materialien, zum Beispiel Tantalpentoxid ( $Ta_2O_5$ ) für das hochbrechende Material und Siliziumdioxid ( $SiO_2$ ) für das niedrigbrechende Material, zum Einsatz. Je nachdem, welches Design gebraucht wird, können die Materialkombinationen aber auch variiert werden, um die Schichtdicke oder die Anzahl der notwendigen Schichten zu reduzieren. Da die Kundenanforderungen an die Ausführung und Leistungsfähigkeit der Faser-Assemblies sehr unterschiedlich sind, werden viele Schichtdesigns individuell ausgelegt. Ist das passende Schichtsystem gefunden oder entwickelt, werden die Beschichtungsregeln programmiert und die Anlage fährt anschließend die einzelnen Verfahrensschritte und Parameter ab. Im Vergleich zu den komplexen Schichtaufbauten im Bereich der Laseroptiken kommen bei Faseroptiken allerdings oft einfacher aufgebaute Antirefleksions-Schichten zum Einsatz.

**Potenziale für die Lichtleiter**

Zwar ist prinzipiell das gesamte Portfolio der optischen Beschichtungen auch auf einer Faser denkbar, doch im Gegensatz zu den großflächigeren Laseroptiken führt bei zunehmender Schichtdicke der geringe Faserdurchmesser zu unerwünschten geometrischen Nebenwirkungen. Denn je mehr sich die Schichtdicke an den Durchmesser der Faser annähert, umso stärker wirken sich Effekte wie die Schichtspannung aus. Deshalb ist noch einiges an Entwicklungsarbeit



Endcaps reduzieren die Energiedichte bei der Einkoppelung des Laserstrahles.

notwendig. „Wir nehmen hier bereits den ein oder anderen Impuls vom Markt auf“, bestätigt Nehls. „Auch wenn solche komplexen Lösungen in der normalen Fertigung noch nicht umsetzbar sind. Prinzipiell haben wir aber schon viele spannende Ideen, auch was Funktionalitäten wie das Selektieren von Wellenlängen angeht.“

Ein weiterer vielversprechender Ansatz, um die in einem Lichtleiter transportierbare Energiemenge zu erhöhen, ist das sogenannte Anspießen von Endcaps. Dabei wird ein im Vergleich zur Faser deutlich dickerer Glasstab oder eine Linse nahtlos angefügt. Möglich wird das durch die hausinterne „Ring-of-Fire“-Plasmatechnologie. Dadurch kann es in kritischen Anwendungen gelingen, die materialspezifischen Zerstörungsschwellen zu verbessern und die Energiedichte in den Fasern noch weiter zu erhöhen. Die Eintrittsfläche eines solchen Endcaps kann ähnlich einer Linse ausgebildet und mit einer Anti-Reflex-Beschichtung versehen sein. Der Spleiß-Prozess selber erfolgt unter Vakuum durch das Zünden eines Plasmas zwischen zwei oder drei Elektroden im Bereich der Trennebene. Mit diesem Verfahren werden übrigens auch Glasfasern bei ihrer Verlegung im Bereich von Telekommunikationsanwendungen untereinander verbunden.

Eines scheint jedenfalls klar: der Leistungsbedarf von Laser-Anwendungen wird trotz oder gerade wegen des unaufhaltbaren Trends zur Miniaturisierung weiter zunehmen. Damit entscheiden immer häufiger nicht nur die Lasertechnologie, sondern auch die Lichtleiter, was technisch möglich ist. *CB*



Bei Laser Components wird eine große Bandbreite an Lichtleiter-Assemblies hergestellt, neben den Faserdurchmessern unterscheiden sich auch die Ummantelungen je nach Anwendungsfall.