

Resonatoren aus Aluminiumoxidkeramik für CO₂-Laser

Bei Verwendung von Aluminiumoxid als Resonatormaterial ist das Gas hermetisch eingeschlossen und die Keramikflächen fungieren als Wellenleiter. Ein weiterer Vorteil für den industriellen Einsatz ergibt sich aus der charakteristischen Reflektivität.

Cliff Morrow
Iradion Laser, Inc.

Kohlenstoffdioxidlaser(CO₂)-Laser sind neben Festkörper- und Faserlasern die am meisten eingesetzten Strahlquellen in der industriellen Lasermaterialbearbeitung. Sie werden bei Leistungsstärken von bis zu mehreren hundert Watt hauptsächlich zum Trennen, Markieren und Ritzen von organischem Materialien, wie z. B. Polymermaterial, Gummi, Holz, Gewebe, Papier verwendet.

Slab-Technologie

Es gibt unterschiedliche Bauformen und Prinzipien eines CO₂-Laserresonators. Seit einiger Zeit hat sich die sogenannte Slab-Technologie durchgesetzt, in der zwischen zwei planparallelen Elektrodenplatten ein Gasgemisch mittels eines HF-Generators energetisch angeregt wird. Diese Elektrodenplatten können dabei als Wellenleiter für entstehende Lichtwellen dienen. Die entstehende Lichtwelle wird zudem von Spiegeln in der Längsachse hin- und herreflektiert und damit ihre Intensität erhöht. Das entstehende kohärente Licht einer bestimmten Wellenlänge (typischerweise 10,6 µm) wird ausgekoppelt und steht als Rohstrahl zur Verfügung.

Resonatorhohlkörper im Vergleich

Herkömmliche Resonatorhohlkörper bestehen meistens aus extrudiertem Aluminium in dem die optischen Komponenten integriert werden. Dies ist für einen Einsatz des Lasers im Labor- oder Entwicklungsbetrieb geeignet, entspricht aber nicht mehr den Anforderungen im industriellen Einsatz und Dauerbetrieb.

Die Gründe dafür sind immanent: Die Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität des Lasers werden durch das reaktive Verhalten des Gasgemisches mit dem Aluminium beeinträchtigt. Über die Zeit wird durch ein „Aneinanderreiben“ der Aluminiumkomponenten im Resonator und dadurch entstehende Oxidschichten das Gasgemisch negativ beeinflusst. Außerdem bewirkt die bei dieser Konstruktion notwendige Verwendung von poröser werdenden Dichtungsringen eine Veränderung der Gasgemischkonzentration. Die Folge davon sind eine stetig abnehmende Nennleistung des Lasers und Verschlechterung der Strahlqualität.

Eine wirksame Lösung für dieses Problem ist die Verwendung von Aluminiumoxidkeramik als Resonatorhohlkörper (**Bild 1**). Bei dieser Bauart ist das Gasgemisch hermetisch von Keramikwänden eingeschlossen und kann nicht mit reaktiven Metallkomponenten in Be-

rührung kommen. Somit sind nicht mehr die Elektrodenplatten als Wellenleiter wirksam sondern die Keramikflächen, die diese vom Resonatorraum trennen. Zudem kann auf die Verwendung von Dichtringen verzichtet werden. Ferner bietet die Verwendung von Keramik die Möglichkeit, durch vorheriges starkes Erhitzen im Ofen sämtliche Partikel, Ölrückstände und andere organische Kontamination zu eliminieren. Der geringere thermische Ausdehnungskoeffizient und der aufgrund der elektrischen Eigenschaften von Keramik ermöglichte höhere Gasgemischdruck tragen außerdem zur Leistungszuverlässigkeit und Langzeitstabilität des Lasers bei.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil in der Verwendung von Aluminiumoxid (Al₂O₃)-Keramik liegt in den optischen Eigenschaften, auf die hier näher eingegangen werden soll.

Vorteile der Aluminiumoxidkeramik

Es gibt wohl keine Laserstrahlquelle mit perfektem Laser-Mode. Eine Kennzahl zur Beschreibung von Moden- bzw. Strahlqualität ist M^2 , wobei ein „perfekter“ Laser mit einem M^2 von 1 eine Strahldivergenz hätte, die nur durch die Lichtbeugung begrenzt wäre. Ein M^2 von 1,2 - ein typischer Wert für kommerzielle Laser - bedeutet, dass Moden höherer Ordnung die Strahldivergenz um den Faktor 1,2 erhöhen und sich damit die optischen Eigenschaften des Strahls nach der Fokussierung durch ein Objektiv verschlechtern und den Laserbearbeitungsprozess negativ beeinflussen. Aus diesem Grund ist es wichtig, Moden höherer Ordnung wirksam zu unterdrücken und gleichzeitig den Wirkungsgrad der Energieumwandlung beizubehalten. Moden höherer Ordnung emittieren in Strahlwinkeln, die größer sind als die der ersten Hauptmode. Je höher der Strahlwinkel, relativ zur Hauptachse, desto höher

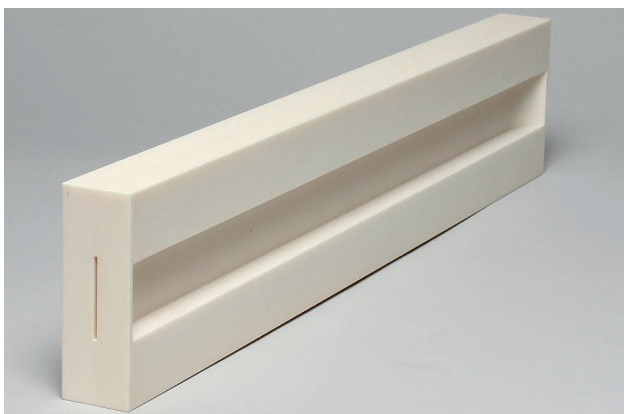


Bild 1: Aluminiumoxidkeramik als Resonatorhohlkörper

die Modenordnung. Moden höherer Ordnung werden durch hochreflektive Wellenleiter im Resonator begünstigt.

Aufgrund der fundamentalen optischen Unterschiede beider Materialien ist die Verwendung von Aluminiumoxid anstelle von reinem Aluminium als Wellenleitermaterial vorteilhaft. **Bild 2** zeigt die Reflektivität von Lichtstrahlen bei unterschiedlichen Auftreffwinkeln bei Oberflächen aus Aluminium und Aluminiumoxid. Die Reflexionen sind unterteilt in S-Polarisation (S=senkrecht) und P-Polarisation (P=parallel). Der elektrische Vektor eines propagierenden Photons kann also entweder parallel oder senkrecht zum Auftreffwinkel ausgerichtet sein. Die Definition der Reflexionswinkel bezieht sich immer auf den Strahl, der senkrecht auf die Spiegelfläche gerichtet ist. In der hier gezeigten Darstellung hat der Strahl einen Einfallswinkel von 0°. Damit würde ein Strahl bei nahezu 90° Reflexionswinkel nur über die Spiegeloberfläche entlangstreifen, was in einem Wellenleiter-Laser der Fall ist.

Wellenleiter-Laser

Bei einem Wellenleiter-Laser sind nur die Auftreffwinkel sehr nahe bei 90° (bezogen auf den normalen Strahl) von Bedeutung. Der erste offensichtliche Effekt ist, dass die Reflexion der S-Polarisation für alle Winkel bei Aluminium sehr hoch ist (Reflektivität von 1 = 100 %). Die Reflexion für die P-Polarisation nahe 90° ist äußerst niedrig. Daher werden bei einem Wellenleiter-Laser aus Aluminium nur Reflexionen mit S-Polarisationen selektiert, wobei ein polarisierter Laserstrahl erzeugt wird. Das ist für einen Metall-Metall Wellenlei-

ter-Laser zwar sehr gut, nachteilig aber ist, dass die Reflexionen von S-polarisierten Strahlen bei kleineren Winkeln als 90° auch sehr hoch sind. Genau diese flachen Winkel (zum senkrechten Strahl) unterstützen unerwünschte Moden höherer Ordnung.

Mit der Verwendung von Aluminiumoxid als Wellenleitermaterial entsteht dieses Problem nicht, da die Reflexionskurven von S- und P-Polarisation ähnlich sind und bei Eintrittswinkeln von kleiner 90° relativ schnell fallen. Das bedeutet, dass die unerwünschten Moden höherer Ordnung bei keramischen Resonatoren unterdrückt werden, was sich de facto bei allen Laserapplikationen positiv auswirkt.

Weg zu „perfekten Moden“

Bei metallischen Wellenleitern haben sich zwei Maßnahmen als hilfreich er-

wiesen, dem Problem der Moden höherer Ordnung entgegenzuwirken.

Ein Lösungsansatz, den Anteil der Moden höherer Ordnung gegenüber der „perfekten“ Mode abzuschwächen, ist die Oberfläche etwas zu wölben bzw. maschinell zu verkippen. Ein Nachteil ist allerdings die leichte Schwächung der Mode erster Ordnung und der damit einhergehenden Laserleistungsverluste.

Ein zweiter Verbesserungsansatz ist die Verwendung eines entsprechenden optischen Raumfilters außerhalb des Resonators. Dies mindert allerdings den Gesamtwirkungsgrad des Lasers und erhöht die Kosten.

Aluminiumoxidkeramik-Resonatoren (**Bild 3**) sind momentan die einzige technische Lösung, um CO₂-Laser ohne Laserleistungs- und Strahlqualitätsverluste über einen sehr langen Zeitraum zu betreiben. Die Iradion CO₂-Strahlquellen decken gegenwärtig den Bereich von 30 W bis 250 W ab und eignen sich für eine Vielzahl von Materialbearbeitungsapplikationen organischer Werkstoffe.

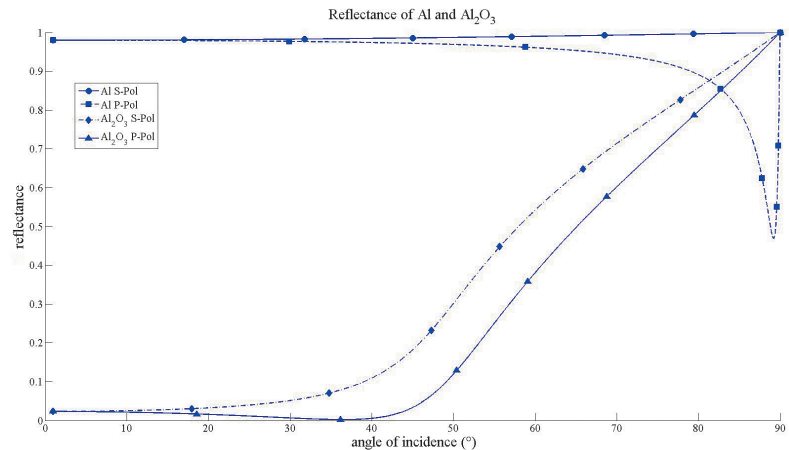


Bild 2: Reflektivität von Lichtstrahlen unterschiedlicher Auftreffwinkel bei Oberflächen aus Aluminium und Aluminiumoxid



Bild 3: Infinity-Serie von Iradion in luftgekühlter Variante

Kontakt

Andreas Röhl
 Vertriebsleiter
 Optoprim Germany GmbH
 82178 Puchheim
 Boschstr. 6
 Tel. +49 89-818 90 739
 Fax +49 89-800 76 326
 aroeuhl@optoprim.de
 www.optoprim.de