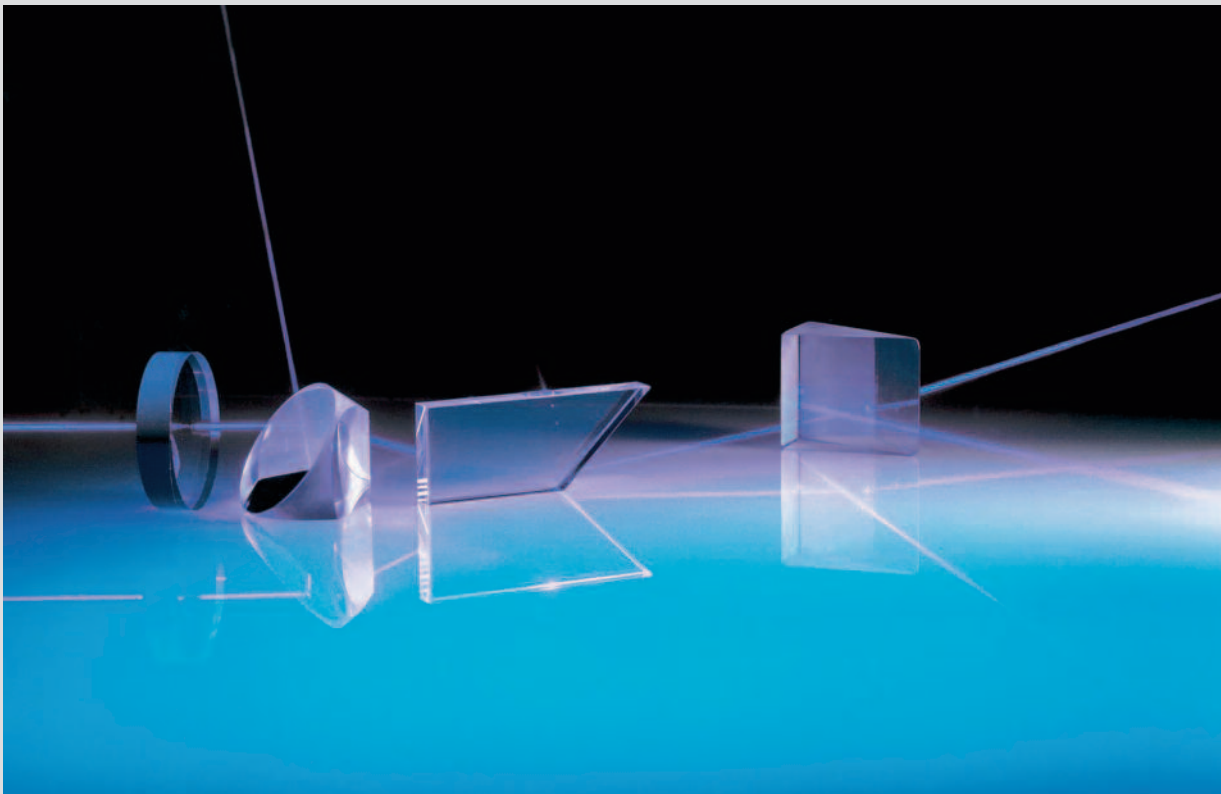


## Quarzglas für Excimerlaser-Anwendungen



### Einleitung

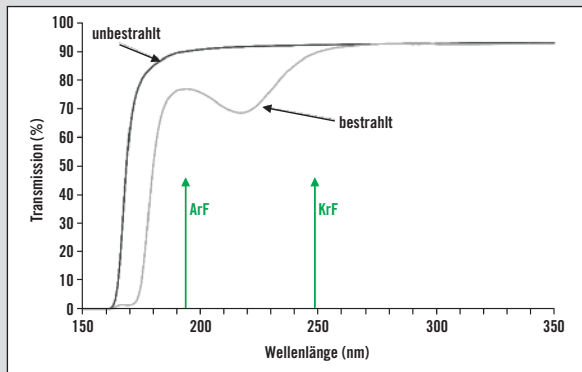
Excimer-Laser finden immer häufiger Anwendung in Industrie und Forschung. Diese intensiven UV-Lichtquellen stellen hohe Anforderungen an die Laserbeständigkeit des optischen Materials für die Strahlführung und Strahlformung, da die Photonenenergie nahe der Bandkante der optischen Materialien liegt und die Intensität aufgrund der kurzen Pulslängen sehr hoch ist. Genau diese Eigenschaften machen diesen Lasertyp aber für Labor- und Industrieanwendungen so interessant. Als optisches Material zur Strahlführung und -formung finden üblicherweise Quarzglas und Fluorid-Kristalle (z. B.  $\text{CaF}_2$  und  $\text{MgF}_2$ ) Verwendung,

wobei jeder Materialtyp seine spezifischen Vor- und Nachteile besitzt. Diese Ausführungen behandeln das Verhalten von Quarzglas beim Einsatz mit KrF-Excimerlasern bei  $\lambda = 248 \text{ nm}$  und ArF-Excimerlasern bei  $\lambda = 193 \text{ nm}$ . Mit Quarzglas für Excimerlaser-Anwendungen ist immer synthetisches Quarzglas Suprasil® gemeint.

Nur Suprasil® ArF/KrF besitzt die nötige extrem hohe Reinheit und erfährt die kontrollierte Herstellung, die zur Minimierung der Farbzentrenbildung und zur Gewährleistung der Laserbeständigkeit notwendig ist.

## Transmission und induzierte Absorption

Die Transmission von Quarzglas unter Excimerstrahlung wird durch Reflexion, Reintransmission und induzierte Absorption bestimmt. Im Allgemeinen ist die induzierte Absorption transient, d. h. sie bildet sich nach Abschalten der Laserstrahlung zurück und ist daher im Gegensatz



zur Reintransmission in einem Photospektrometer nicht definiert messbar. Für die Transmissionsverluste unter Excimerbestrahlung bei 193 nm und 248 nm ist im Wesentlichen nur die Absorptionsbande bei 215 nm (verursacht durch das sog. E'-Zentrum) verantwortlich. Die folgenden Betrachtungen gelten daher für beide Laserwellenlängen.

Die Langzeitbeständigkeit von Quarzglas wird durch die Erzeugungsrate der Netzwerkdefekte pro Laserpuls bestimmt. Diese Erzeugungsrate ist im Allgemeinen konstant und führt damit nach P Laserpulsen mit der

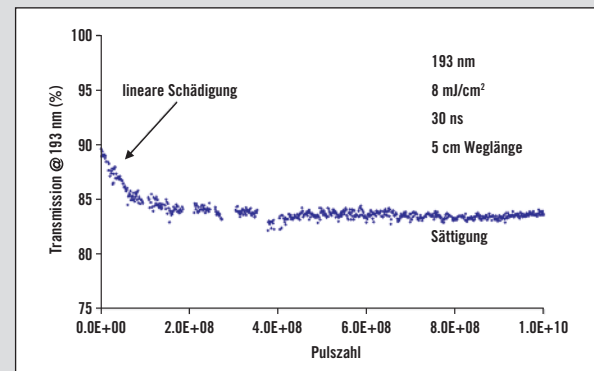
Energiedichte pro Puls  $\epsilon$  bei einer zeitlichen Pulsbreite  $\tau$  zu einer induzierten Absorption

$$\alpha_{\text{induced}} = \alpha_0 \cdot \frac{\epsilon^2}{\tau} \cdot P$$

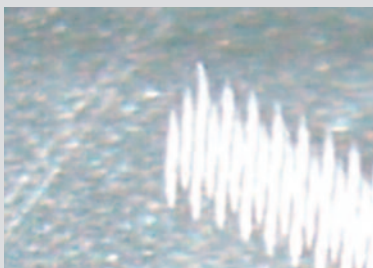
( $\epsilon$  in  $\text{J}/\text{cm}^2$ ,  $\tau$  in ns,  $\alpha$  in  $1/\text{cm}$  zur Basis e)

Für Suprasil® ArF/KrF gilt bei 193 nm ein typischer Wert von  $\alpha_0 = 6 \cdot 10^{-5}$ , bei 248 nm gilt  $\alpha_0 = 3 \cdot 10^{-7}$ .

Netzwerkverbindungen können mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch einen hochenergetischen Laserimpuls aufgebrochen werden. Die Anzahl der aufbrechbaren Verbindungen (precursor) ist bei hohen Energiedichten weit größer als die insgesamt erzeugten Netzwerkdefekte während der Lebensdauer eines optischen Elementes. In diesem Fall gilt das lineare Schädigungsgesetz. Bei vergleichsweise geringen Energiedichten kommt es zu einer Sättigung der induzierten Absorption. Spezifizierte Reintransmission vor Beginn der Bestrahlung ist mindestens 99,8%/cm @ 248 nm bzw. 99,3%/cm @ 193 nm.



## Bildung von Microchannels



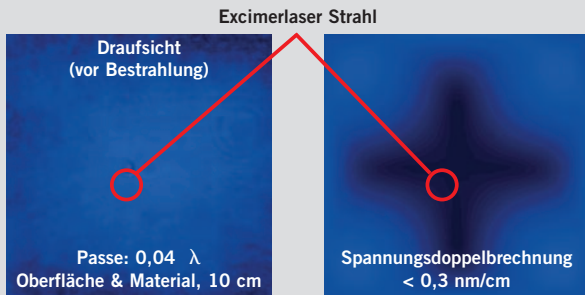
Bei optischen Elementen großer Weglänge, die sehr lange Excimerstrahlung mit großen Energiedichtegradienten ausgesetzt sind, kann es zur Ausbildung von sog. Microchannels (Ionisationskanälen) kommen. Dies ist vergleichbar zur Schädigung, die bei Überschreiten der Einzelpulserstörswelle hervorgerufen wird.

Aufgrund der ungewöhnlichen Voraussetzungen für das Auftreten von Microchannels sind diese allerdings im Allgemeinen für die Anwendung zu vernach-

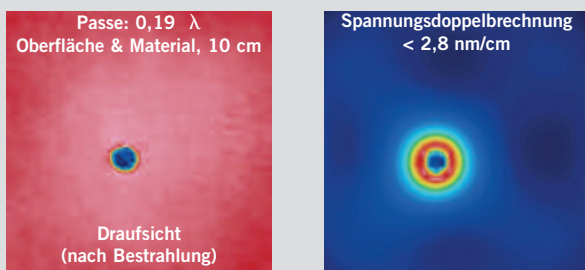
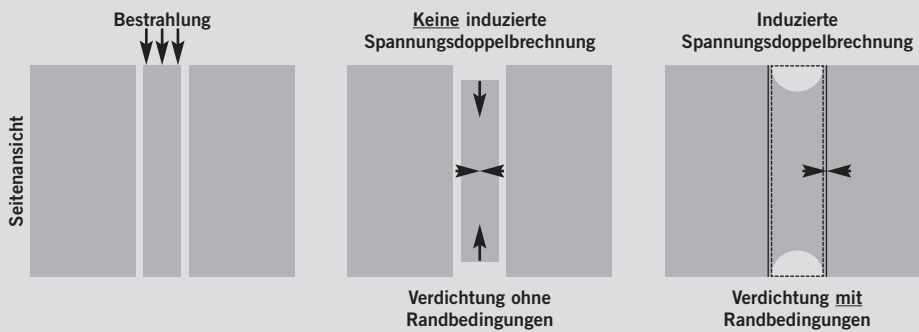
## Induzierte Spannungsdoppelbrechung und Brechzahländerung unter Bestrahlung

Die durch Excimerlaser-Strahlung verursachten Netzwerkänderungen führen zu einer Erhöhung der Dichte und damit zu einer Erhöhung der Brechzahl im bestrahlten Bereich. Diese Reaktion des Materials wird als Kompaktierung bezeichnet und tritt bei allen Quarzgläsern mehr oder

weniger stark auf. Bei inhomogen bestrahltem Material kommt es zu mechanischen Spannungen zwischen stärker und schwächer verdichteten Bereichen. Das Quarzglas wird hier doppelbrechend.



Als Beispiel ist ein auf  $0,04 \lambda$  polierter Quader, der mit einem runden Strahl homogener Energiedichte durchleuchtet wird, aufgeführt. Durch die Bestrahlung kommt es im durchstrahlten Volumen zu einer Verdichtung / Kontraktion. Da sich die umgebenden Bereiche jedoch nicht zusammen ziehen können, wird die Schrumpfung behindert, an den Übergangsstellen zwischen den beiden Bereichen tritt Spannungsdoppelbrechung auf.



Die Stärke der Verdichtung hängt von den Bestrahlungsparametern und vom Material ab. In diesem Beispiel wurde in Suprasil® ArF/KrF eine Spannungsdoppelbrechung von knapp  $3 \text{ nm/cm}$  induziert und eine Materialinhomogenität von  $0,15 \lambda$  generiert. Dieses Beispiel demonstriert gut, wie wichtig es bei hochbelasteten Elementen sein kann, strahlungsinduzierte Effekte bereits beim Entwurf zu berücksichtigen.

Die Brechzahländerung lässt sich als Funktion von Energiedichte, Pulszahl und zeitlicher Pulsbreite beschreiben:

$$\Delta n = C \cdot \left( \frac{\varepsilon^2 \cdot P}{T} \right)^{0,6}$$

(P: Pulszahl,  $\varepsilon$ : Energiedichte in J/cm<sup>2</sup>,  
T: zeitliche Pulsbreite in ns)

Für Suprasil® ArF/KrF gilt bei 193 nm ein typischer Wert von  $C = 4.4 \cdot 10^{-8}$ , bei 248 nm gilt  $C = 6.6 \cdot 10^{-9}$ . Bei sehr geringen Energiedichten kann es zu einer hier nicht beschriebenen Brechzahlabenkung kommen. Die induzierte Spannungsdoppelbrechung ist stark abhängig von der Bestrahlungsgeometrie und wird üblicherweise mittels der Finite-Element-Methode bestimmt. Dabei geht man von der dosisabhängigen Verdichtung ohne Randbedingungen aus und umgibt diesen Bereich mit unverdichtetem Material.

Heraeus Quarzglas hat mehr als 15 Jahre Erfahrung bei der Charakterisierung Excimerlaser-induzierter Defekte und bei der Herstellung von Quarzgläsern, die hinsichtlich eines geringen Schädigungsverhaltens optimiert sind. Die Beständigkeit von Suprasil® ArF/KrF wird regelmäßig im eigenen Labor kontrolliert.

Deutschland  
**Heraeus Quarzglas GmbH  
& Co. KG**  
Sales Microlithography  
and Standardoptics  
Quarzstraße 8, 63450 Hanau  
Telefon +49 (6181) 35-62 85  
Fax +49 (6181) 35-62 70  
sales.hqs.optics.de@heraeus.com  
www.heraeus-quarzglas.com

USA  
**Heraeus Quartz  
North America LLC**  
Optics  
100 Heraeus Blvd.  
Buford, GA 30518  
Telefon +1 (678) 714-4350  
Fax +1 (678) 714-4355  
sales.hqs.optics.us@heraeus.com

UK  
**Heraeus Quartz  
UK Ltd.**  
Neptune Road, Wallsend  
Tyne & Wear NE28 6DD  
United Kingdom  
Telefon +44 (191) 259 8454  
Fax +44 (191) 263 8040  
sales.hqs.optics.uk@heraeus.com

China  
**Heraeus (China)  
Investment Co., Ltd.**  
Building 5,  
No. 406 Guilin Road, Xuhui District,  
Shanghai 200233  
Telefon +86 (21) 3357 5173  
Fax +86 (21) 3357 5230  
sales.hqs.optics.cn@heraeus.com