

# Laserinduzierte Fluoreszenz (LIF) zur Untersuchung der Defektkinetik in hochreinen synthetischen Quarzgläsern

Dr. Christian Mühlig, IPHT Jena

## Anwenderbericht

### Einleitung:

Quarzglas ist neben  $\text{CaF}_2$  das am häufigsten eingesetzte optische Material für Anwendungen im ultravioletten Spektralbereich bis zur Wellenlänge 193 nm des ArF-Lasers. Eines der wichtigsten Anwendungsgebiete ist die Laserlithographie zur Herstellung kleinster Strukturen für die Halbleiterindustrie. Dank synthetischer Ausgangsmaterialien wie  $\text{SiCl}_4$  und verbesserter Herstellungstechnologien wird die optische Qualität hochreiner Quarzgläser nur noch durch intrinsische Defekte, d.h. Abweichungen von der idealen  $\text{SiO}_2$ -Struktur, bestimmt. Eine Vielzahl von Untersuchungen hat gezeigt, dass einige dieser Defekte, z.B. Sauerstoff-Fehlstellen (ODC: oxygen deficiency center) oder Sauerstoffatome mit freier Valenz (NBOH: non-bridging oxygen hole), charakteristische Fluoreszenzen nach UV/DUV-Laseranregung zeigen. Die laserinduzierte Fluoreszenzspektroskopie bietet deshalb einen sehr sensitiven Nachweis dieser Defektspezies und ggf. deren Änderung unter intensiver UV/DUV-Laserbestrahlung. Durch die mit den Laserpulsen synchronisierte Aufnahme der LIF-Spektren lassen sich Fluoreszenzsignale mit unterschiedlichen Abklingzeiten trennen und Fluoreszenzlebensdauern ermitteln.

### Messaufbau:

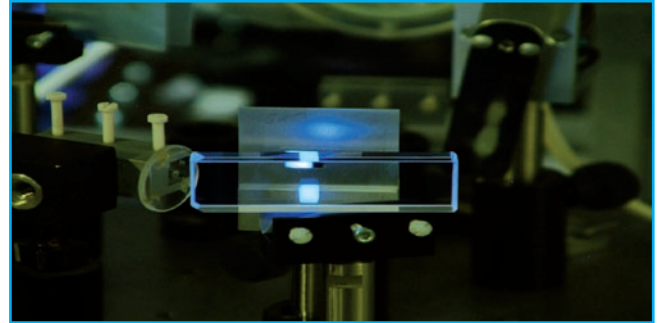
Für die LIF-Messungen bei gepulster ArF-Laserbestrahlung ( $\lambda = 193 \text{ nm}$ ) wurde ein Messplatz aufgebaut, der im Wesentlichen aus folgenden Komponenten bestand:

- ArF-Laser LEXTRA (Lambda Physik)
- Abbildender Gitterspektrograph MS260i mit Gitter 150 l/mm (Oriel Instruments)
- Andoor iStar ICCD Detektor (DH734-18F-03) mit Controller,
- Lichtleiter-Adapter,
- Spezielles Interferenzfilter zur Blockung des ArF-Laserstreulichts.

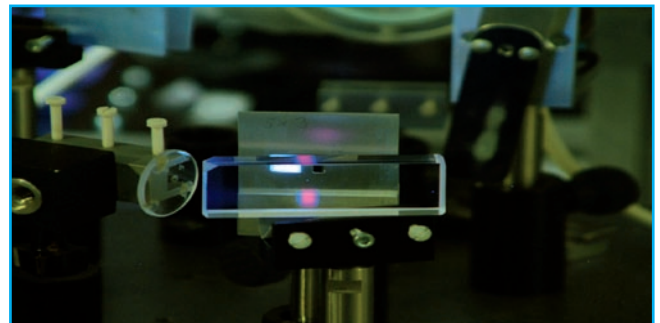
### Ergebnisse:

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen das laserinduzierte Ausbleichen der charakteristischen Fluoreszenzbanden der Sauerstoff-Fehlstellen (ODC) bei ca. 300 nm und ca. 400 nm während der erstmaligen ArF-Laserbestrahlung von Quarzglasproben. Das Ausbleichen der ODC-Defekte ist bei entsprechend hoher Laserfluenz bereits mit bloßem Auge sichtbar (Abb. 1).

Abbildung 1: Visuelle Wahrnehmung des Ausbleichens der blauen Fluoreszenz der Sauerstoff-Fehlstellen (ODC) in synthetischem Quarzglas bei ArF-Laserbestrahlung mit der Fluenz  $H \approx 150 \text{ mJ/cm}^2$  und der Repetitionsrate  $f = 30 \text{ Hz}$ :



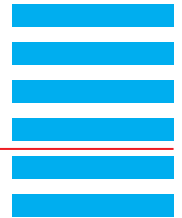
a) Beginn der ArF-Laserbestrahlung



b) nach einer Bestrahlungsdosis von ca.  $500 \text{ J/cm}^2$ .

Das Ausbleichen der anfänglich starken blauen ODC-Fluoreszenz führt am Ende der Laserbestrahlung dazu, dass die zunächst durch die ODC-Defekte überdeckte, charakteristische rote Fluoreszenz der Sauerstoffatome mit freier Valenz (NBOH) bei 650 nm sichtbar wird.

Das LIF-Spektrum im Spektralbereich 200 nm – 600 nm zeigt die beiden ODC-Fluoreszenzbanden bei ca. 300 nm und 400 nm (Abb. 2a). Der Vergleich der LIF-Spektren zu Beginn und am Ende der ArF-Laserbestrahlung macht die laserinduzierte Ausheilung der ODC-Defekte deutlich, wobei die Intensität der langwelligeren Fluoreszenz (Bande „B“) deutlich stärker abnimmt als die der kurzwelligen Fluoreszenz (Bande „A“). Betrachtet man die Entwicklung der integralen Fluoreszenzintensität mit der Laserbestrahlung (Abb. 2b), so ergeben sich Verläufe, die jeweils durch eine einfache exponentielle Abnahme beschreibbar sind. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die beiden Fluoreszenzbanden zu unterschiedlichen Modifikationen des ODC-Defektes gehören, die laserinduzierte Ausheilung jedoch für beide durch eine Reaktion erster Ordnung erfolgt.



# Laserinduzierte Fluoreszenz (LIF) zur Untersuchung der Defektkinetik in hochreinen synthetischen Quarzgläsern

Dr. Christian Mühlig, IPHT Jena

## Anwenderbericht

ODC-Defektkonzentrationen und deren Umwandlung in andere DUV-Laserstrahlung absorbierende Defekte beeinflussen die Absorptionsänderung in synthetischen

Quarzgläsern auf kurzer Zeitskala beim Einsatz in optischen Systemen für Lasermikrolithographie und Lasermikromaterialbearbeitung mit.

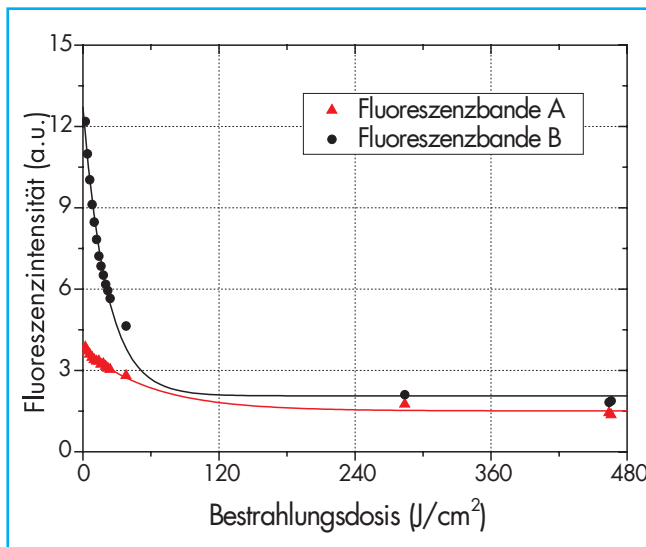
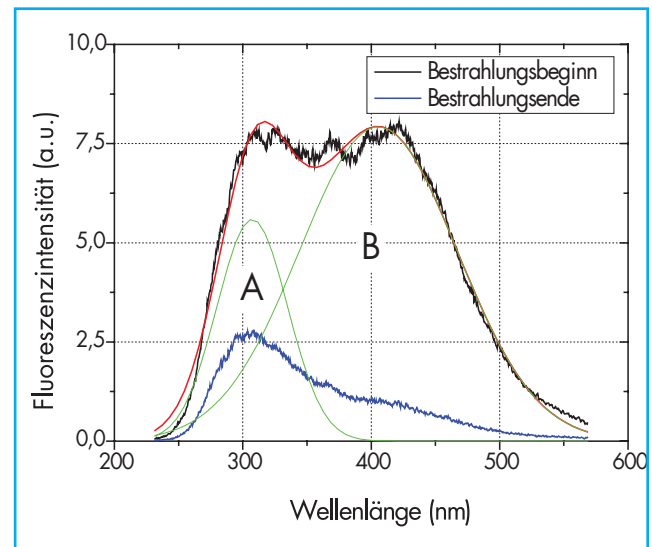


Abbildung 2:

a) Fluoreszenzbanden der ODC-Defekte bei ca. 300 nm (Bande „A“) und ca. 400 nm (Bande „B“) vor bzw. am Ende der ArF-Laserbestrahlung mit der Fluenz  $H = 20 \text{ mJ/cm}^2$  bei der Repetitionsrate  $f = 10 \text{ Hz}$



b) Änderung der integralen Fluoreszenzintensitäten der beiden ODC-Banden während ArF-Laserbestrahlung und Simulation der experimentellen Daten mit jeweils einer einfachen exponentiellen Abnahme

### Kontakt:

Dr. Christian Mühlig  
Institut für Photonische Technologien e.V.  
Albert-Einstein-Str. 9  
07745 Jena  
Telefon: +49-3641-206433  
Fax: +49-3641-206499  
Email: christian.muehling@ipht-jena.de  
Web: www.ipht-jena.de