

Vakuum-UV-Spektroskopie an synthetischem Quarzglas unter UV-Puls laserbestrahlung

Herbert Stafast, Frank Kühnlenz, Wolfgang Triebel

Institut für Physikalische Hochtechnologie, Jena

<mailto:stafast@pht-jena.de>

Die Lichtalterung von OH-reichem synthetischem Quarzglas (1200 ppm OH) unter UV-Puls laserbestrahlung (ArF, 193nm) wird *in situ* mittels Vakuum-UV-Spektroskopie untersucht und in Form des optischen Bandabstandes E_0 und der Urbach-Energie E_U quantifiziert. Die Absorptionszunahme bei 193nm wird der Bildung lokaler Defekte (E' und ODCII) zugeordnet.

1 Einführung

Die Alterung von synthetischem Quarzglas unter gepulster UV-Laserbestrahlung beeinträchtigt seine Anwendung z.B. in der Laserlithografie erheblich, wobei insbesondere die Langzeitbeständigkeit über rund 10 Jahre entscheidend ist. Zur Evaluierung der Langzeitbeständigkeit braucht man experimentell gestützte Modelle zum Material und seinen optischen Eigenschaften (vgl. z.B. [1]). Hierzu liefert die Vakuum-UV-Spektroskopie einen wertvollen Beitrag, da sie neben der Absorption des Quarzglasgerüsts auch die Defektabsorption in der optischen Bandlücke erfasst [2 - 5].

2 Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt das Absorptionsspektrum von OH-reichem synthetischem Quarzglas vor und nach der Bestrahlung mit 10^6 ArF-Laserpulsen. Besonders auffällig sind die Verschiebung der Absorptionsflanke zu kleineren Photonenergien und ihre Abflachung. Zur Quantifizierung dieser Veränderungen werden $\alpha^{1/2}$ (Tauc-Plot) und $\ln \alpha$ gegen die Photonenergie aufgetragen (Abb. 2).

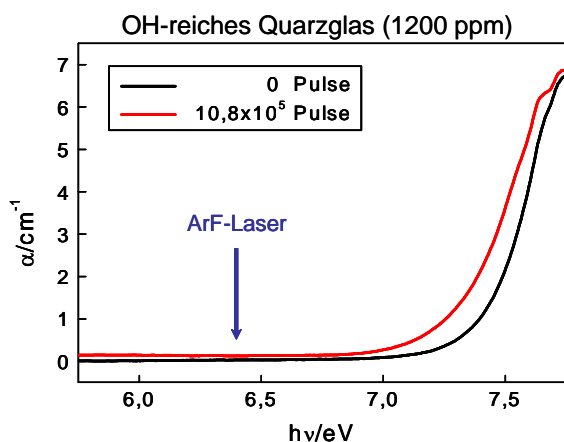


Abb. 1 Absorptionsspektrum einer Quarzglasprobe vor und nach Bestrahlung mit 10^6 ArF-Laserpulsen

Daraus lassen sich der optische Bandabstand E_0 und die Urbach-Energie E_U ableiten. Während E_0

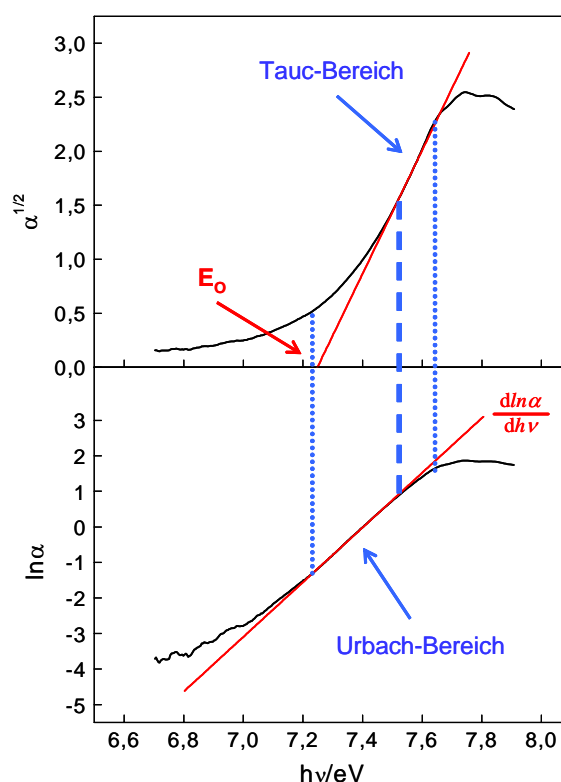


Abb. 2 Auftragung der Absorptionskurve aus Abb. 1 mit $\alpha^{1/2}$ (Tauc-Plot) und $\ln \alpha$ (Urbach-Energie) als Ordinaten und Anpassung von Geraden zur Ermittlung von E_0 (Abszissenabschnitt) und $E_U = 1/(d \ln \alpha / d h \nu)$

unter Laserbestrahlung abnimmt, vergrößert sich E_U (Abb. 3). Die Wertepaare (E_U, E_0) vor der Bestrahlung befinden sich links oben. Mit der Bestrahlung verschieben sich die (E_U, E_0) -Paare zunehmend nach rechts unten. Bei beiden Größen nehmen die Effekte bei gleicher Pulszahl mit der Fluenz zu und ergeben mit den Fluenzen von 110, 170 und 220 mJ/cm^2 eine Kurvenschar. Die Bestrahlung erfolgte jeweils in drei Etappen mit Pausen von 22 Stunden. Dabei zeigt E_0 in den Bestrahlungspausen eine teilweise Ausheilung. Dieser reversible Teil der E_0 -Veränderung wird auf die Probenerwärmung unter Laserbestrahlung im Va-

kuum zurückgeführt. Werden die E_0 -Werte für kalte Proben (am Beginn der Bestrahlung und jeweils nach Bestrahlungspausen) aufgetragen, so gibt es nur eine Korrelationslinie E_0 vs. E_U . Die Befunde erlauben den Schluss, dass die laserinduzierte Änderung von E_U und die permanente Änderung von E_0 durch irreversible Veränderungen des Materials verursacht werden, die eine nichtlineare Abhängigkeit von der Bestrahlungsdosis aufweisen.

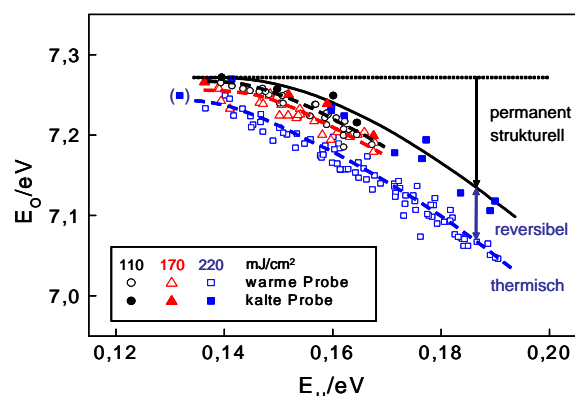


Abb. 3 Auftragung des optischen Bandabstandes E_0 gegen die Urbach-Energie E_U für Quarzglasproben unter ArF-Laserbestrahlung mit Fluenzen von 110, 170 und 220 mJ/cm^2

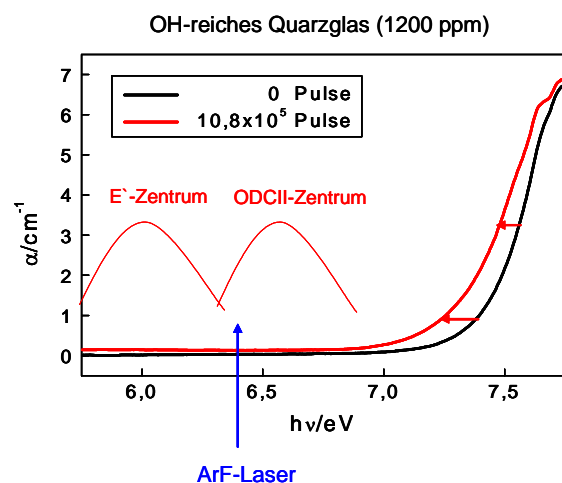


Abb. 4 Schematische Darstellung der ArF-laserinduzierten Absorptionsveränderungen an synthetischen Quarzgläsern: Verringerung des optischen Bandabstandes (roter Pfeil rechts oben) und Vergrößerung der Urbach-Energie (roter Pfeil rechts unten) sowie Einwachsen von Defektabsorption (vergrößert dargestellt)

Im langwelligen Bereich des Spektrums entsteht unter Laserbestrahlung eine Absorptionsstruktur, die als Überlagerung von zwei Defektabsorptionsbanden (E' - und ODCII-Defektzentren) gedeutet werden kann. Diese Deutung wird durch Simulation der Absorptionskurven gestützt.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Synthetisches Quarzglas lässt sich hinsichtlich seiner hier gezeigten Vakuum-UV-Absorption sehr gut als Gast-Wirt-System beschreiben mit dem amorphen SiO_2 -Netzwerk als Wirt und den lokalen Defekten als Gäste. Für die ArF-Laserabsorption bei 193nm spielt das SiO_2 -Netzwerk eine vernachlässigbare Rolle. Die Zunahme der ArF-Laserabsorption unter Bestrahlung ist erklärbar mit der Bildung von E' - und ODCII-Defektzentren. Für die Vorhersage des langfristigen Laserabsorptionsverhaltens sind daher Modelle zur Bildung und Ausheilung der Defekte voraussichtlich ausreichend. Die experimentelle Datenbasis hierfür ist aus Messungen z.B. der laserinduzierten Fluoreszenz und Raman-Spektren zur Erfassung von H_2 sowie SiH- und SiOH-Gruppen zu erwarten. Die Untersuchung von E_0 und E_U kann wichtige Hinweise für die Materialoptimierung liefern. Das betrifft z.B. die Dotierung von trockenem Quarzglas für Anwendungen bei 157nm.

4 Dankadresse

Die Autoren danken der DFG für ihre Unterstützung (TR 298-2) sowie der Schott Lithotec AG, Jena für die Bereitstellung der Quarzglasproben.

Für fruchtbare Diskussionen und Anmerkungen wird gedankt: Frau Doz. Dr. D. Ehrh (Otto-Schott-Institut für Glaschemie, Jena), Frau Dr. S. Bark-Zollmann (Schott Lithotec) sowie PD Dr. F. Falk und Dipl.-Phys. Ch. Mühligh (IPHT).

5 Literatur

- [1] L. Skuja, M. Hirano, H. Hosono, K. Kajihara, A. Silin, *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.* 75 C2 (2002) 24
- [2] F. Kühnlenz, S. Bark-Zollmann, H. Stafast, W. Triebel, *J. Non-Cryst. Solids* 278 (2000) 115
- [3] S. Bark-Zollmann, F. Kühnlenz, Ch. Mühligh, H. Stafast, W. Triebel; *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.* 75 C1 (2002) 287
- [4] F. Kühnlenz, S. Bark-Zollmann, H. Stafast, W. Triebel, *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.* 75 C2 (2002) 366
- [5] Dissertation F. Kühnlenz, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2003

Web-Seite: <http://www.ipht-jena.de>