

Hochsensitive Bestimmung der Verluste von synthetischem Quarzglas für die 193 nm Immersionslithografie



Sven Schröder



Bodo Kühn ¹



Angela Duparré

¹ Heraeus Quarzglas

In den letzten Jahren hat die Bedeutung von hochreinem synthetischen Quarzglas als optisches Material für den tiefen ultravioletten Spektralbereich (DUV) stetig zugenommen. Insbesondere in Projektionsoptiken für moderne 193 nm Immersionslithografie-Systeme (Abb. 1) kommt fast ausnahmslos dieses Material zum Einsatz. Allerdings treten Effekte wie Streulicht und Absorption auf, die die nutzbare Strahlungsleistung verringern und zur Verschlechterung der Abbildungseigenschaften führen. Beide Mechanismen haben daher einen kritischen Einfluss und müssen untersucht und separiert werden, um die Materialien zielgerichtet weiterzuentwickeln und Abbildungsfehler geeignet zu kompensieren. Darüber hinaus ermöglicht die Messung des Volumenstreuungskoeffizienten bei der Einsatzwellenlänge eine hochgenaue Bestimmung des Absorptionskoeffizienten aus Transmissionsverlustmessungen.

Quarzgläser weisen aufgrund ihrer amorphen Struktur intrinsische Streuverluste auf, die von den chemischen und strukturellen Eigenschaften des Materials abhängen. In einem Gemeinschaftsprojekt zwischen dem Fraunhofer IOF und Heraeus Quarzglas wurden die Volumenstreuungskoeffizienten α verschiedener synthetischer Quarzglasproben mit unterschiedlichen Hydroxyl-Gehalten und fiktiven Temperaturen bei 193 nm gemessen [2].

Für die Untersuchungen wurde ein Streulichtmesssystem eingesetzt, dass zusammen mit modernen Mess- und Auswertetechniken am Fraunhofer IOF entwickelt wurde [3,4]. Damit konnte die Volumenstreuung von Quarzgläsern bei 193 nm erstmalig mit der erforderlichen Sensitivität und Genauigkeit bestimmt werden.

Um die Ursachen der DUV-Streuung in Quarzgläsern zu untersuchen, wurden winkelaufgelöste Streulichtmessungen (ARS) unter s- und p-Polarisation an einer Probe mit 200 mm Durchmesser durchgeführt (Abb. 2a). Die Ergebnisse (Abb. 2b) deuten auf Rayleighstreuung hin, deren Ursache Dichteschwankungen auf molekularer Ebene sind.

Um die Volumenstreuungskoeffizienten einer Reihe von Materialien zu bestimmen, wurde eine auf totalen Streulichtmessungen (TS) basierende Technik angewandt (Abb. 3a). Für jedes Material wurden Proben mit 25 mm Durchmesser und zunehmender Dicke d untersucht. Aus dem Anstieg der TS-Werte mit d wurde α bestimmt. Die Ergebnisse (Abb. 3b) zeigen eine signifikante Abhängigkeit der Streueigenschaften von den chemischen und physikalischen Materialeigenschaften.

Die große Bandbreite an Volumenstreuungskoeffizienten belegt die Notwendigkeit von genauen und sensitiven Streulichtmessungen bei der Einsatzwellenlänge. Das Messsystem sowie die Mess- und Auswertetechniken, die am IOF entwickelt wurden, bestimmen dabei den Stand der Technik für Streulichtbasierte Materialforschung bei 193 nm.

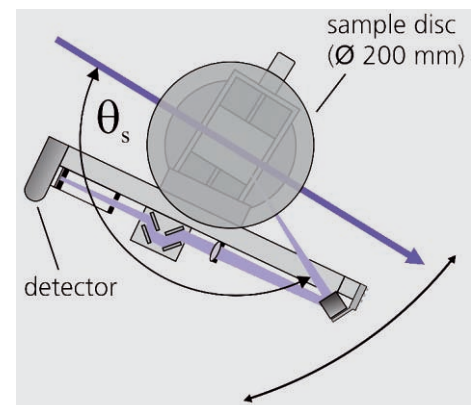
Abb 1:
Projektionssystem für die 193 nm Lithographie [1].

Fig. 1:
Projection system for 193 nm lithography [1].



Abb. 2a:
ARS-Messung schematisch.

Fig. 2a:
ARS measurement (schematic).



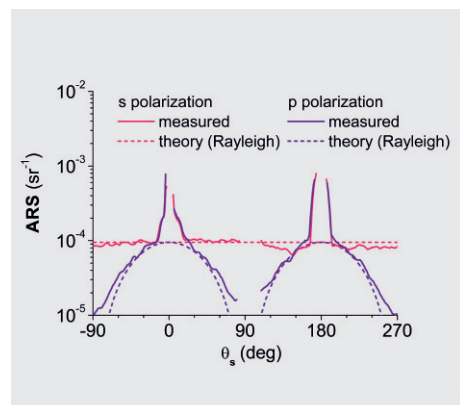
High-sensitive determination of optical losses in synthetic fused silica for 193 nm immersion lithography

In recent years high-purity synthetic fused silica has become more and more important as optical material for the deep ultraviolet spectral range (DUV). Particularly for projection optics in modern 193 nm immersion lithography systems (Fig. 1), nearly without exception fused silica is used as lens material. However, scattering and absorption result in reduced throughput and image distortion. Thus, both loss mechanisms are critical for this application and must be investigated and separated in order to optimize the materials and compensate distortion effects. In addition, at-wavelength measurements of the total bulk scattering coefficient enable the accurate determination of the absorption coefficient from transmission-drop measurements.

For fused silica, because of its amorphous structure, scatter losses can only be reduced down to intrinsic minimum values which depend on the chemical and structural properties. In a joint project between the IOF and Heraeus Quarzglas, the bulk scattering coefficients α of various synthetic fused silica samples with different hydroxyl contents and fictive temperatures were measured at 193 nm [2].

Abb. 2b:
Ergebnisse der ARS-Messungen.

Fig. 2b:
ARS measurement results.



The investigations were based on a system for scatter measurements at 193 nm developed at the Fraunhofer IOF together with sophisticated measurement and analysis techniques [3,4]. This instrumentation for the first time enabled a thorough and sufficiently sensitive measurement of bulk scattering from fused silica at 193 nm.

In order to investigate the nature of the DUV scattering in fused silica, angle resolved scatter measurements (ARS) with s-polarized and p-polarized incident radiation were performed on a sample disc with a diameter of 200 mm (Fig. 2a). The measured curves shown in Fig. 2b indicate a Rayleigh scatter distribution arising from inhomogeneities with molecular dimensions.

To determine the bulk scattering coefficients for a variety of materials a technique based on total scatter measurements (TS) was used (Fig. 3a). For each material, samples with a diameter of 25 mm and increasing thickness were measured. From the increase in the TS values with sample thickness the desired scattering coefficient was determined. The results shown in Fig. 3b demonstrate that the scattering properties of the materials are significantly influenced by the chemical and physical properties.

The wide range of values for a depending on the material demonstrates the necessity for measurements at the wavelength of interest with high accuracy and sensitivity. The instrument and evaluation procedures developed at the IOF constitute the state-of-the-art for scatter-based material research at 193 nm.

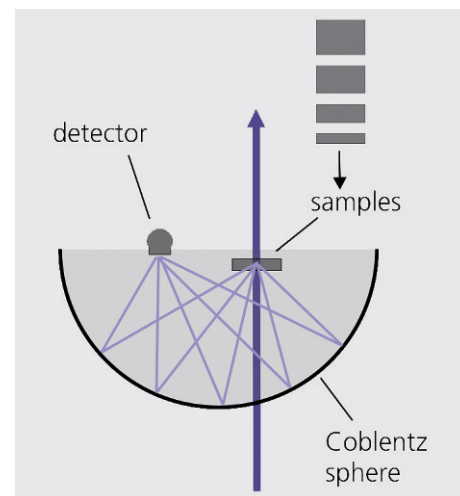


Abb. 3a:
TS-Messung schematisch.

Fig. 3a:
TS measurement (schematic).

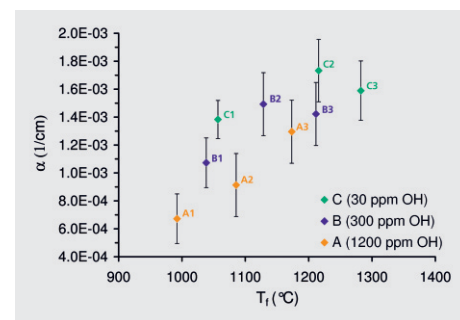


Abb. 3b:
Volumenstreckkoeffizienten bei 193 nm für Materialien mit verschiedenen Hydroxyl-Gehalten und fiktiven Temperaturen.

Fig. 3b:
Bulk scattering coefficients determined at 193 nm for materials with different hydroxyl contents and fictive temperatures.

References:

- /1/ Heraeus Annual Report 2005.
- /2/ Schröder, S.; Kamprath, M.; Duparré, A.; Tünnermann, A.; Kühn, B.; Klett, U.: Bulk Scattering Properties of Synthetic Fused Silica at 193 nm, Opt. Express 14, 10537-10549 (2006).
- /3/ Schröder, S.; Glied, S.; Duparré, A.: Measurement system to determine the total and angle resolved light scattering of optical components in the deep-ultraviolet and vacuum-ultraviolet spectral regions, Appl. Opt. 44, 6093-6107 (2005).
- /4/ Schröder, S.; Glied, S.; Duparré, A.: Scattering analysis of optical components in the DUV, Proc. SPIE 6101, 61011H (2006).