

Messsystem zur Bestimmung der winkelabhängigen und totalen Lichtstreuung, Transmission und Reflexion bei 157 nm und 193 nm

Stefan Gliech, Henning Geßner, Angela Duparré



Stefan Gliech

Beschreibung des Messsystems

Am Fraunhofer IOF wurde ein System zur Messung der winkelabhängigen Lichtstreuung (Angle Resolved Scattering – ARS), totalen Lichtstreuung (Total Scattering – TS), Transmission und Reflexion bei 157 nm und 193 nm entwickelt. Die Lichtquelle, ein Excimerlaser, ist mit den Vakuumkammern für die Strahlaufbereitung und Messanordnungen verbunden. Ein Präzisions-Doppelgoniometer ermöglicht hochaufgelöste ARS-, T- und R-Messungen. Der Dynamikbereich erstreckt sich über mehr als 9 Größenordnungen, die Winkelauflösung für Einfall- und Streuwinkel ist kleiner als $0,01^\circ$.

Die ARS-, T- und R-Messungen können in Abhängigkeit vom Einfall- und Beobachtungswinkel und von der Polarisation durchgeführt werden. Die in einem früheren Bericht [1] ausführlich beschriebene TS-Anordnung misst die totale Vorwärtsstreuung und totale Rückwärtsstreuung bis hinab zu Streuniveaus von 1 ppm. Abb. 1 zeigt eine Aufnahme des Messsystems – VULSTAR (system for measuring VUV Light Scatter, Transmittance and Reflectance) mit der Messkammer für Coblenzkugel und Goniometer sowie der Strahlaufbereitungskammer. Der im Bild nicht enthaltene Excimerlaser ist mit dem rückwärtigen Ende der Strahlaufbereitungskammer verbunden. Eine schematische Übersicht der Goniometeranordnung ist in Abb. 2 dargestellt.

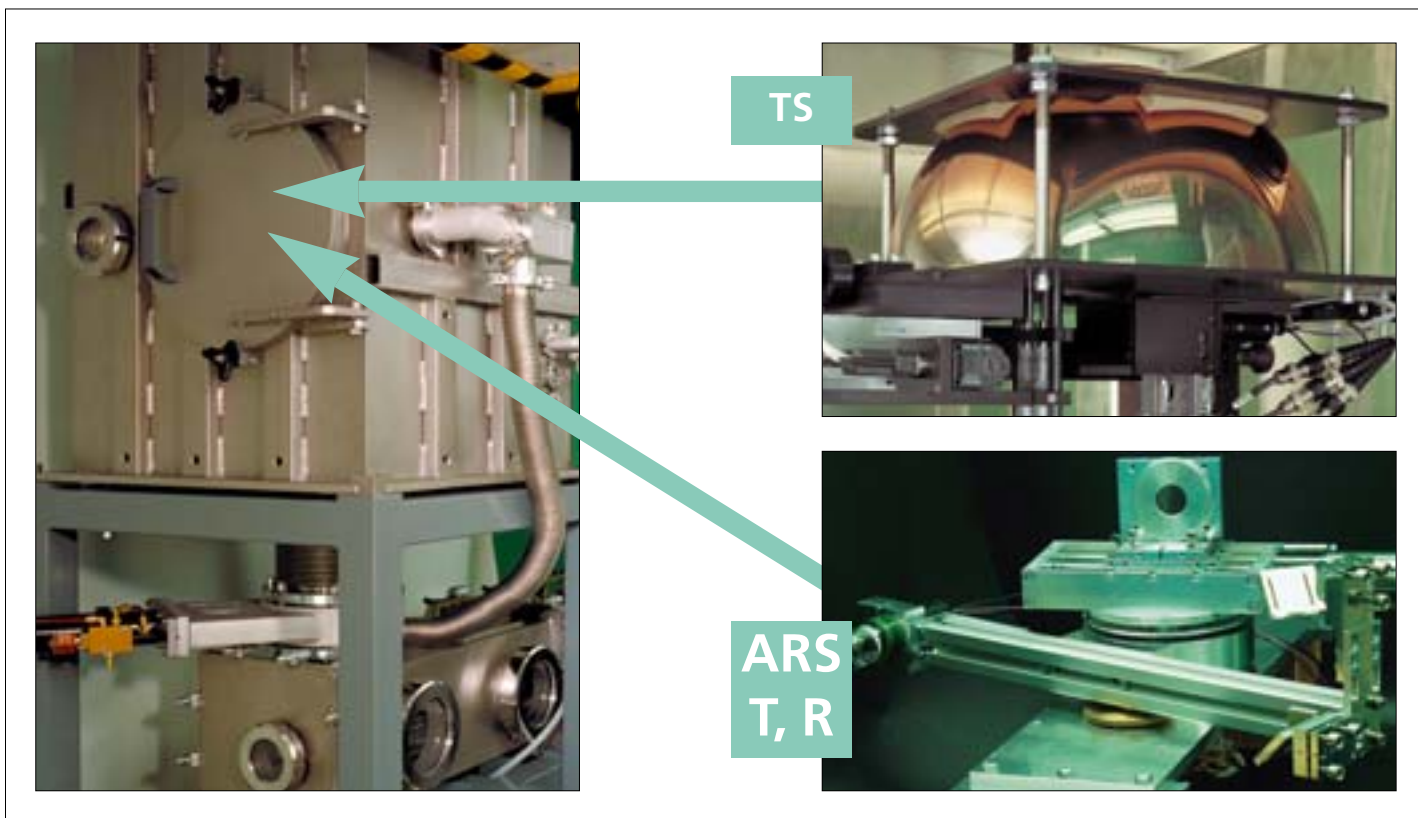


Abb. 1: System zur Messung der VUV-Lichtstreuung, Transmission und Reflexion – VULSTAR.

Fig. 1: Photograph of the system for measuring VUV Light Scatter, Transmittance and Reflectance – VULSTAR.

System for angle-resolved and total-light scattering, transmittance and reflectance measurements at 157 nm and 193 nm

Stefan Gliech, Henning Geßner, Angela Duparré

Description of the measurement system

We have developed and implemented a system for measuring angle-resolved scattering (ARS) and total scattering (TS), reflectance (R) and transmittance (T) at 157 nm and 193 nm. An excimer laser is connected as a radiation source to two vacuum chambers housing the beam preparation path and the measurement arrangements. A precision double goniometer enables ARS, R, and T measurement with high resolution. The dynamic range exceeds 9 orders of magnitude and the angular resolution is smaller than 0.01 degrees for the incidence and scattering angles. The ARS, T and R measurements can be performed as a function of the incidence and observation angles and of polarization. The TS arrangement described in detail in an earlier report [1] measures the total forward scatter-

ring and total backscattering down to levels as low as 1 ppm. A photograph of the measurement system – VULSTAR (system for measuring VUV Light Scatter, Transmittance and Reflectance) is shown in fig. 1 which displays the measurement vacuum chamber with the Coblentz sphere, goniometer and the beam preparation chamber. The excimer laser (not seen in the picture) is attached to the rear end of the beam preparation chamber. A schematic picture of the goniometer arrangement is given in fig. 2.



Angela Duparré

Henning Geßner

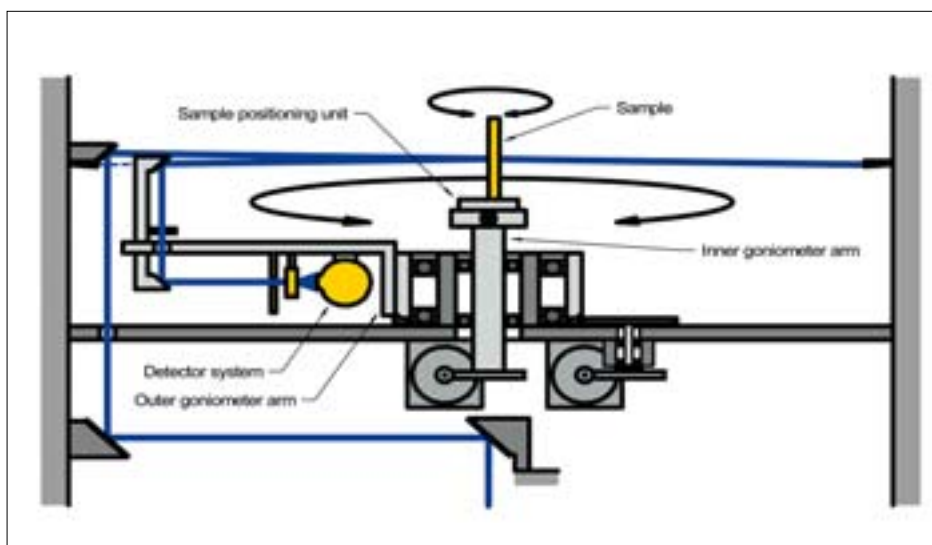


Abb. 2: Schematische Darstellung der Anordnung zur ARS-, T- und R-Messung.

Fig. 2: Schematic picture of the ARS, T and R measurement arrangement.

Auf Grund der erreichten hohen Sensitivitäten bzw. des extrem niedrigen Untergrund-Streulichts können sowohl mit der TS- als auch der ARS-Anordnung selbst schwachstreuende superpolierte Substrate und AR-Beschichtungen untersucht und kleinste Struktur-schwankungen auf der Oberfläche oder in Schichten detektiert werden. Dies ist von maßgeblicher Bedeutung für die Entwicklung und Qualitätskontrolle optischer Komponenten für die VUV-Lithografie, da Volumen- und Oberflächeninhomogenitäten eine wesentliche Verlustursache darstellen. Speziell die Lichtstreuung wird entscheidend durch Mikro- und Nanostrukturen beeinflusst, und mit der Verringerung der Wellenlänge verstärken sich die strukturellen Effekte erheblich. Die „At-wavelength“-Messung ermöglicht nun sowohl die Streulichtkontrolle als auch das Studium der Nanostrukturen.

Indem bei unserem Messsystem dieselbe Goniometeranordnung für die ARS- und für die T- und R-Messung eingesetzt wird, entsteht ein wohldefinierter Zusammenhang zwischen dem Akzeptanzwinkelbereich bei der T- und R-Messung einerseits und der entsprechenden Nahwinkelgrenze der Streulichtmessung andererseits. Das eröffnet eine aussichtsreiche Lösung des bekannten Problems der i. a. nicht miteinander harmonisierenden Messgrößen T, R und Streulicht: Die Energiebilanz $R + T + TS + A = 1$ (A ist die Absorption) wird meist nicht erfüllt, da die Akzeptanzwinkel in üblichen Anordnungen für die T-, R- und Streulichtmessung nicht aufeinander abgestimmt sind.

Anwendungsbeispiele

Im Folgenden werden einige Ergebnisse der Messung an Substraten und Beschichtungen für den VUV-Bereich vorgestellt. Weitere Beispiele und ausführliche Beschreibungen des Messsystems finden sich in /2/ bis /4/. Abb. 3 zeigt 2-D-Flächenscans und 1-D-Linienscans der totalen Vorwärtsstreuung zweier CaF_2 -Substrate bei 157 nm. Aus den Mittelwerten der TS-Niveaus wurden die entsprechenden rms-Rauheitswerte zu 0,13 nm und 0,38 nm berechnet. Obwohl beide Proben aus identischem Material gefertigt wurden und gleiche Politur- und Reinigungsprozesse durchlaufen hatten, unterscheiden sich die Ergebnisse wesentlich.

Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer durchgängigen Qualitätskontrolle, da kritische Variationen der Oberflächenbeschaffenheit von Charge zu Charge auftreten können. Abb. 4 zeigt eine 157 nm-Transmissions- und Reflexionsmessung an einem superpolierten CaF_2 -Substrat, Abb. 5 winkel aufgelöste Streulichtmessungen an HR-beschichtetem CaF_2 bei 157 nm sowie die Instrumentensignatur bei dieser Wellenlänge.

Danksagung

Diese Arbeiten wurden gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, EUREKA-Projekt „EUROLASER CHOCLAB II“ und durch die Europäische Kommission, TMR-Projekt: „New Optimisation Concepts for high Quality UV-Coatings“.

Literatur:

- /1/ J. Steinert, S. Gliech, A. Duparré: „Light scattering measurements on optical components at 157 nm and 193 nm“, Annual Report 2001, Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering, 2001.
- /2/ S. Gliech, J. Steinert, A. Duparré: „Light-scattering measurements on optical thin-film components at 157 nm and 193 nm“, Applied Optics 41, 3224–3235, 2002.
- /3/ S. Gliech, H. Geßner, A. Duparré: „System for measuring angle resolved and total light scattering, transmittance and reflectance at 193 nm and 157 nm“, LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Boulder, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.
- /4/ A. Duparré, N. Benkert, S. Gliech, A. Hultåker: „Characterizing CaF_2 for VUV optical components: roughness, surface scatter, and bulk scatter“, LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.

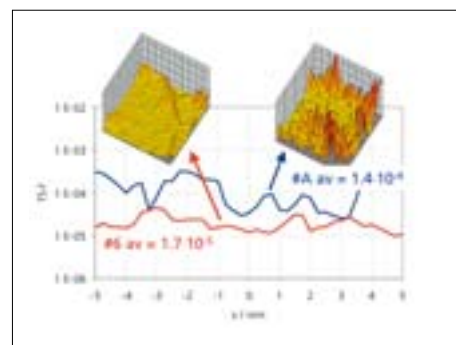


Abb. 3:
2-D-Mapping, 1-D-Scans und Mittelwerte der totalen Vorwärtsstreuung zweier CaF_2 -Substrate. $\lambda = 157$ nm.

Fig. 3:
2-D mapping, 1-D scans and averaged values of the total forward scattering of two CaF_2 substrates. $\lambda = 157$ nm.

With the high sensitivities achieved and the low background scattering levels, even low-scatter superpolished substrates and AR coatings can be investigated by both the TS and ARS arrangements, and the smallest of structural variations on the surfaces and in the films can be detected. This is essential for the development and quality control of optical components for VUV lithography, since a major source of defects in the components arise from volume and surface structure inhomogeneities of both the substrates and the thin film coatings. In particular, light scattering is strongly related to micro- and nanostructures. As illumination wavelengths decrease, structural effects increase. At-wavelength scatter measurements enable for both scatter loss control and for the investigation of the nanostructures.

The implementation of transmittance and reflectance measurements, using the same goniometer as for ARS measurement, results in a well defined link between the acceptance angle for T and R determination and the corresponding near angle limit in the scatter measurements. This opens up a promising approach in overcoming the well-known problem that T, R determination and scatter loss determination usually do not result in harmonized quantities, i. e. the energy balance $R + T + TS + A = 1$ (A is the absorption) is mostly not maintained as a result of inconsistent acceptance angles in the T, R, and scatter measurement devices.

Application examples

Some measurement results of VUV substrates and coatings are shown in the following. Further examples as well as detailed descriptions of the measurement system can be found in [2–4]. Fig. 3 shows 2-D area-scans of the total forward scatter of two CaF_2 substrates along with 1-D line scans at 157 nm. From the mean TS levels, rms roughness values were calculated as 0.13 nm and 0.38 nm, respectively. Even though both samples were made of identical material and had undergone the same polishing and cleaning procedures, they showed considerable differences. This demonstrates the important role of thorough quality control, as critical surface finish variations can occur from batch to batch. Fig. 4 displays the result of transmittance and reflectance measurements of a superpolished CaF_2 substrate at 157 nm. In Figure 5, results of angle-resolved scatter measurements of HR fluoride mirrors on CaF_2 substrates at 157 nm are shown together with the instrument signature of the system.

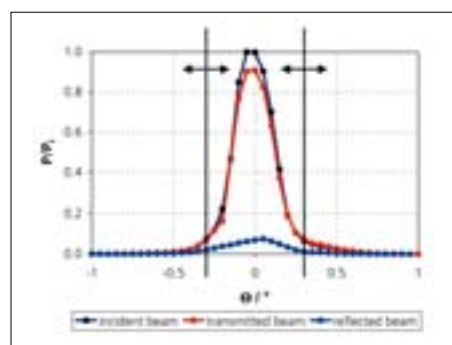


Abb. 4: Transmissions- und Reflexionsmessung an einem superpolierten CaF_2 -Substrat. $\lambda = 157$ nm.

Fig. 4: Transmittance and reflectance measurements of a superpolished CaF_2 substrate. $\lambda = 157$ nm.

Acknowledgements

These activities have been supported by the German Ministry of Education and Research, EUREKA project „EURO-LASER CHOCLAB II“ and the European Commission TMR-project: „New Optimisation Concepts for High Quality UV-Coatings.“

References:

- /1/ J. Steinert, S. Glich, A. Duparré: „Light scattering measurements on optical components at 157 nm and 193 nm,“ Annual Report 2001, Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering, 2001.
- /2/ S. Glich, J. Steinert, A. Duparré: „Light-scattering measurements on optical thin-film components at 157 nm and 193 nm,“ Applied Optics 41, 3224–3235, 2002.
- /3/ S. Glich, H. Geßner, A. Duparré: „System for measuring angle-resolved and total light scattering, transmittance and reflectance at 193 nm and 157nm,“ LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Boulder, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.
- /4/ A. Duparré, N. Benkert, S. Glich, A. Hultåker: „Characterizing CaF_2 for VUV optical components: roughness, surface scatter, and bulk scatter,“ LBOC 7 / Boulder Damage Symposium, 16–19 September 2002, Proceedings SPIE Vol. 4932, in print.

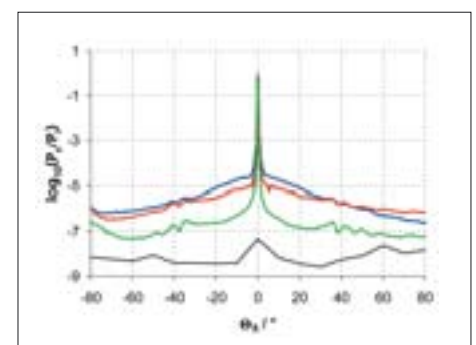


Abb. 5: Winkelaufgelöste Messung der Rückstreuung an HR-Vielfachschichtsystemen auf CaF_2 -Substraten. Schwarze Kurve: Instrumentensignatur. $\lambda = 157$ nm.

Fig. 5: Angle-resolved backscattering measurements of HR multilayer mirrors on CaF_2 substrates; black curve: instrument signature; $\lambda = 157$ nm.