

Direkte Messung der Volumenabsorption hochtransparenter optischer Materialien mittels laserinduzierter Teststrahlableitung (LID)

Christian Mühlig, Siegfried Kufert, Wolfgang Triebel

Institut für Physikalische Hochtechnologie, Jena

<mailto:christian.muehlig@ipht-jena.de>

Das vorgestellte LID-Verfahren erlaubt die direkte, präzise Messung der Volumenabsorption hochtransparenter Materialien mit nur einer kleinen Probe. Neben dem Messprinzip und der Kalibrierung werden Abschätzungen für den minimal messbaren Absorptionskoeffizienten ausgewählter Materialien sowie experimentelle Ergebnisse zu CaF_2 und synthetischem Quarzglas gezeigt.

1 Einführung

Die Volumenabsorption ist einer der wichtigsten Parameter für die Hersteller hochtransparenter optischer Materialien, sowohl zur Kundenspezifikation als auch zur Optimierung der Produktionsprozesse. Die Bestimmung der Volumenabsorption hochtransparenter Materialien stellt messtechnisch eine große Herausforderung dar, da Absorptionskoeffizienten $\leq 10^{-3} \text{cm}^{-1}$ zu bestimmen sind, wobei Reflexion, Streuung und Absorption an den Oberflächen sowie Volumenstreuung stören.

2 Messprinzip und Kalibrierung

Das hier vorgestellte Messverfahren der laserinduzierten Teststrahlableitung (LID) [1] ist für synthetisches Quarzglas schematisch in Abb. 1 dargestellt.

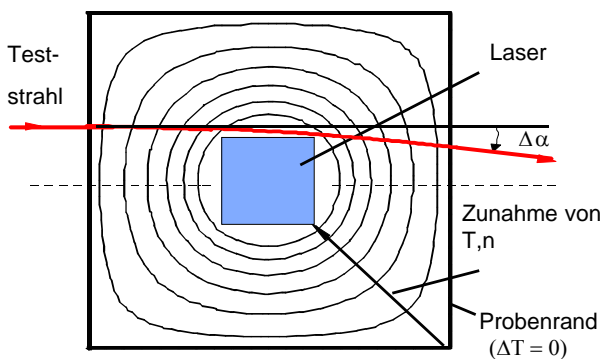


Abb. 1 Schematische Darstellung der laserinduzierten Teststrahlableitung

Die Absorption des Laserstrahls resultiert in einer Temperaturerhöhung und Ausbildung eines Temperaturgradienten in der Probe (Geometrie: $20 \times 20 \times 10 \text{mm}^3$). Aufgrund der temperaturabhängigen Brechzahl ergibt sich daraus ein Brechzahlgradient, der eine Ablenkung des unter 90° zum Laserstrahl durch die Probe geführten Teststrahls bewirkt. Diese Ablenkung wird durch einen positionsempfindlichen Detektor (PSD) in ein Spannungssignal umgewandelt und registriert. Der

Proportionalitätsfaktor (= Sensitivität) zwischen Teststrahl-Ablenkung und absorbierten Laserleistung wird für jeden Materialtyp durch eine elektrische Kalibrierung bestimmt. Dazu bringt man einen elektrischen Widerstand in eine Probe ein, deren Geometrie den zu vermessenden Proben entspricht. Anschließend wird durch Umsetzen definierter elektrischer Leistungen die Absorption in der Probe simuliert. Aus den zugehörigen Ablenk-Signalen erhält man die Sensitivität des Messaufbaus (Bsp. CaF_2 in Abb. 2).

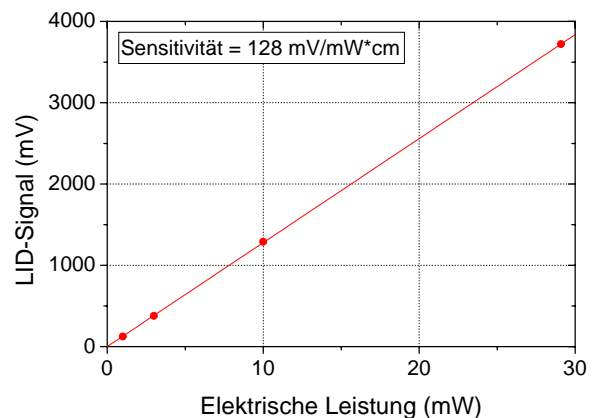


Abb. 2 Sensitivität des LID-Aufbaus für eine CaF_2 -Kalibrierprobe

Die Sensitivität des LID-Messaufbaus wird maßgeblich durch 4 Faktoren beeinflusst. Die Wärmeleitfähigkeit und die temperaturabhängige Brechzahl bestimmen in Kombination eine materialspezifische Teststrahlableitung. Diese lässt sich durch Erhöhung der mittleren Laserleistung sowie der konkreten experimentellen Realisierung der LID-Methode noch steigern. Für unser kompaktes LID-Messgerät [2] kann anhand relevanter Materialparameter sowie der Kalibrierung eine Abschätzung der minimal messbaren Absorptionskoeffizienten vorgenommen werden. Für vier optische Materialien mit unterschiedlichen Anwendungswellenlängen sind

die Materialparameter sowie die minimal messbaren Absorptionskoeffizienten bei einer Laserleistung von 1,5 W in Tabelle 1 zusammengefasst.

	Synth. Quarzglas	CaF ₂	KTP (KTiOPO ₄)	ZnSe
Wärmeleitfähigkeit [W/m ² K]	1,31	9,71	2 / 3 / 3,3	19
dn/dT [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	9,7 (0,64μm)	-11,1 (0,64μm)	5,5/6,4/11,6 (0,633μm)	80 (0,75μm)
Minimal messbarer Absorptionskoeffizient [cm ⁻¹]	3,5·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻⁴	1·10 ⁻⁴	6·10 ⁻⁵

Tab. 1 Wärmeleitfähigkeit, temperaturabhängige Brechzahl dn/dT sowie daraus abgeleiteter minimal messbarer Absorptionskoeffizient für vier ausgewählte optische Materialien

3 Experimentelle Resultate

Mit den in [2] beschriebenen LID-Messaufbauten wurden eine Vielzahl von Untersuchungen an synthetischem Quarzglas und CaF₂ bei 193 nm- sowie 157 nm- Laserwellenlänge durchgeführt [3,4]. Exemplarisch ist in Abb. 3 das LID-Messsignal mit dem dazugehörigen Absorptionskoeffizienten für eine Probe aus synthetischem Quarzglas bei 193 nm-Bestrahlung mit 350 Hz und 7 mJ/cm² dargestellt.

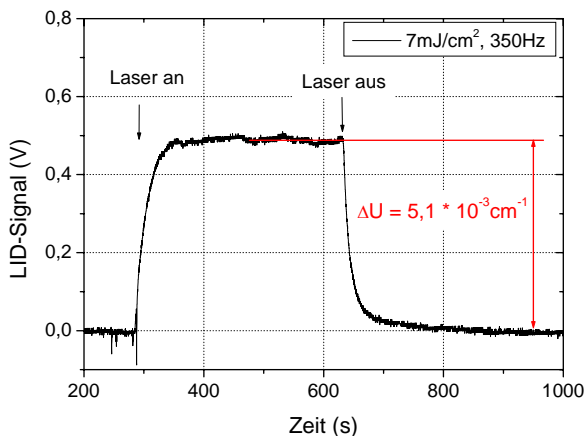


Abb. 3 LID-Signal und Absorptionskoeffizient für eine synthetische Quarzglas-Probe, bestrahlt bei 193 nm mit 350 Hz und 7 mJ/cm²

Abb. 4 zeigt die Resultate einer Dickenserie aus CaF₂ mit Probendicken von 10-30 mm bei 157 nm-Bestrahlung mit 1000 Hz und 5,8-6,8 mJ/cm². Durch den mit zunehmender Probendicke größer werdenden Abstand der LID-Teststrahlen von den bestrahlten Oberflächen kann man mit diesem Experiment eine Abschätzung des Einflusses der

Oberflächenabsorption auf den LID-Messwert vornehmen. Die im Rahmen der Messgenauigkeit gut übereinstimmenden Absorptionskoeffizienten lassen dabei die Schlussfolgerung zu, dass ein Einfluss der Oberflächenabsorption selbst bei hohen Werten für eine 157 nm-Bestrahlung vernachlässigbar ist.

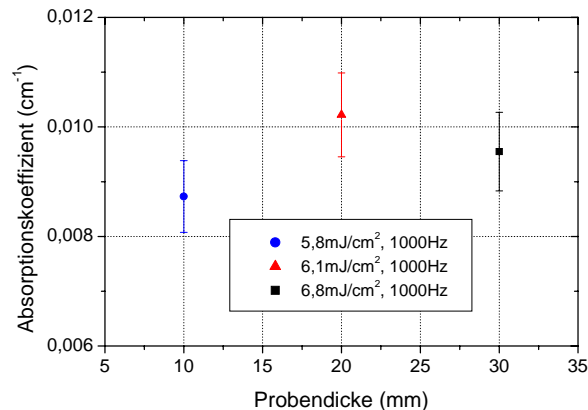


Abb. 4 Absorptionskoeffizienten für eine Dickenserie aus CaF₂, bestrahlt bei 157 nm mit 1000 Hz und 5,8-6,8 mJ/cm²

4 Zusammenfassung

Die LID-Methode ermöglicht die präzise Messung der Volumenabsorption hochtransparenter optischer Materialien mit Absorptionskoeffizienten $\alpha \geq 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$. Im Vergleich zur Kalorimetrie als alternativem Absorptionsmessverfahren ist die Volumenabsorption ohne Beiträge von Oberflächenabsorptionen direkt mit nur einer kleinen Probe messbar. Dies bedeutet eine hohe Einsparung an Messzeit sowie Probenmaterial und -herstellung.

5 Literatur

- [1] M. Guntau, W. Triebel, „Novel method to measure bulk absorption in optically transparent materials“ in *Rev. Sci. Instrum.*, **71**: 2279-2282 (2000)
- [2] Ch. Mühlig, S. Kufert, W. Triebel, U. Natura, F. Coriand, „Absorption measurement of DUV optical materials at 193 nm and 157 nm by laser induced deflection“ in *Proc. SPIE* **5188**: 96-105 (2003)
- [3] Ch. Mühlig, S. Kufert, W. Triebel, F. Coriand, „Simultaneous measurement of bulk absorption and fluorescence in fused silica upon ArF laser irradiation“ in *Proc. SPIE* **4779**: 107-116 (2002)
- [4] Ch. Mühlig, S. Kufert, W. Triebel, F. Coriand, L. Parthier, A. Voitsch, „Bulk absorption measurements of highly transparent DUV/VUV optical materials“ in *Proc. SPIE* **5457**, im Druck