

F. Hähnel, S. Weißmantel, G. Reißer

Mikrostrukturierung von Quarzglas und Kalziumfluorid mittels Fluorlaser

Der Fluorlaser ist aufgrund seiner Wellenlänge von 157 nm und der hohen Photonenenergie von 7,9 eV vorrangig für die Bearbeitung von Dielektrika mit großer Energiebandlücke geeignet. Insbesondere der Einsatz von Quarzglas mit einem Bandgap von 9 eV [1] in der Medizin- und Messtechnik erfordert die Erzeugung von präzisen Mikrostrukturen bei möglichst geringem Nachbehandlungsaufwand.

Ein weiteres interessantes Substratmaterial für die Erzeugung von Mikrostrukturen, beispielsweise für optische Anwendungen im UV Bereich, ist Kalziumfluorid mit einem Bandgap von 12,1 eV [2].

Mikrostrukturen in Quarzglas (SQ 1)

Als praxisrelevante Mikrostrukturen in Quarzglas wurden Sacklochbohrungen mit kreisförmigem und quadratischem Querschnitt mit Hilfe des Maskenprojektionsverfahrens erzeugt.

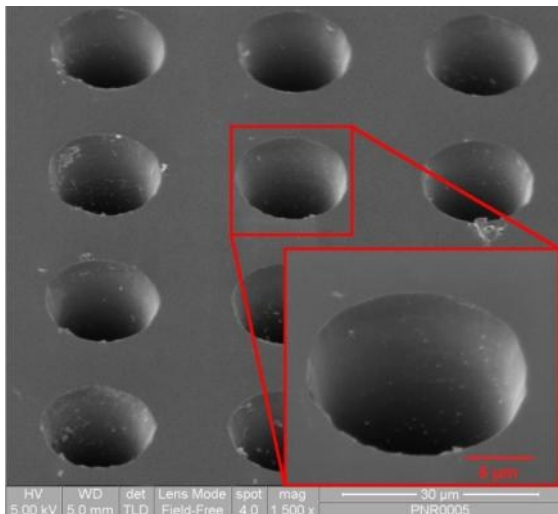


Bild 1. Bohrungsarray in Quarzglas mit einem Bohrungsabstand von 30 µm und einem Bohrungsdurchmesser von 16 µm und einer mittleren

In Bild 1 ist ein Ausschnitt aus einem Bohrlocharray mit insgesamt 523 Bohrungen mit kreisförmigem Querschnitt dargestellt. Durch den Einsatz einer Maske mit 49 quadratisch angeordneten kreisförmigen Öffnungen und schrittweises Verfahren der Probe wurde jede Bohrung mit insgesamt 490 Laserpulsen bei einer Fluenz von $H = 2,2 \text{ J/cm}^2$ erzeugt. Um vorhandene Ablagerungen zu entfernen wurde die vorhandene Struktur nachträglich 2 Minuten in gepufferter Flusssäure geätzt. Die Bohrungswandungen weisen eine geringe Rauigkeit auf und es wurde auch nach längerer Lagerung der Probe keine Rissbildung beobachtet.

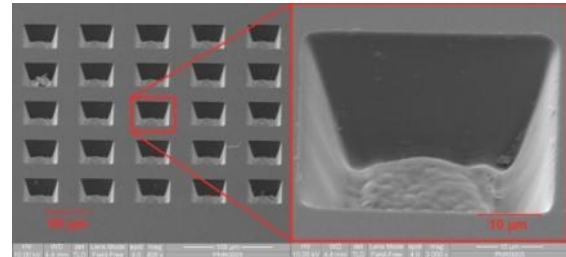


Bild 2. Array von quadratischen Vertiefungen mit 38 µm Kantenlänge und einer Strukturtiefe von 16 µm.

In Bild 2 ist ein Array aus 25 quadratischen Vertiefungen dargestellt, die durch Einsatz einer Maske mit einer quadratischen Öffnung und durch schrittweises Verfahren der Probe eingebracht wurden. Jede Vertiefung wurde mit 250 Laserpulsen und einer Fluenz von $H = 2,0 \text{ J/cm}^2$ erzeugt. Die Nachbehandlung der Struktur erfolgte auf die gleiche Weise wie bei dem Bohrlocharray. Auch in dieser Struktur wurde keine Rissbildung beobachtet.

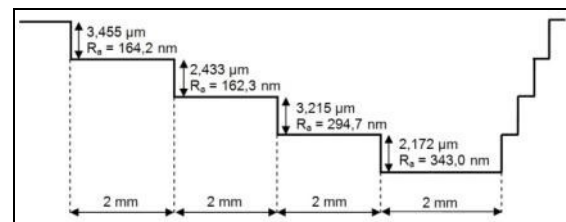


Bild 3. Schematische Darstellung der generierten Treppenstruktur mit Strukturturen zwischen 3,5 µm und 2,0 µm und Bodenrauigkeiten R_a im Bereich von 160 nm bis 350 nm.

Bild 3 zeigt die schematische Darstellung einer erzeugten Treppenstruktur (Bild 4) für interferenzoptische Messungen.

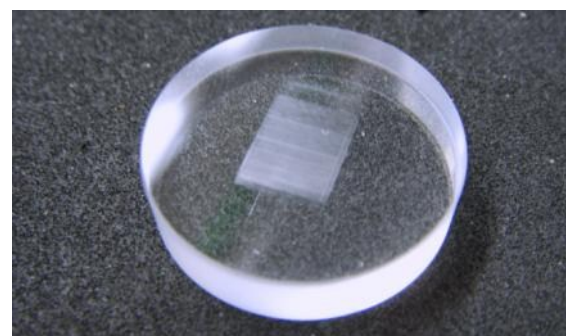


Bild 4. Optisches Element mit einem Durchmesser von 21 mm und eingebrachter 6 mm breiter Treppenstruktur entsprechend Bild 3.

Mikrostrukturen in Kalziumfluorid – CaF_2

Als ein weiteres Dielektrikum wurde Kalziumfluorid auf seine Strukturierbarkeit mittels Fluorlaserstrahlung untersucht. Die Bestimmung der Abtragsschwelle und der mittleren Abtragstiefe pro Laserpuls ergab eine

Abhängigkeit von der Laserpulszahl, so dass die Abtragsschwelle nicht eindeutig bestimmt werden konnte. Mit zunehmender Laserpulszahl des bestrahlten Probenbereichs wird eine Verringerung der Abtragsschwelle beobachtet.

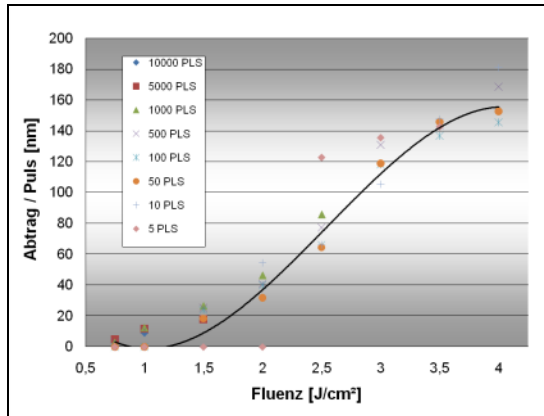


Bild 5. Mittlere Abtragstiefe pro Laserpuls in Abhängigkeit von der Fluenz.

Die Abtragsschwelle liegt beispielsweise für eine Bestrahlung mit 5 Laserpulsen bei $2,5 \text{ J/cm}^2$ und bei Bestrahlung mit 100 Laserpulsen bei $1,5 \text{ J/cm}^2$ (Bild 5).

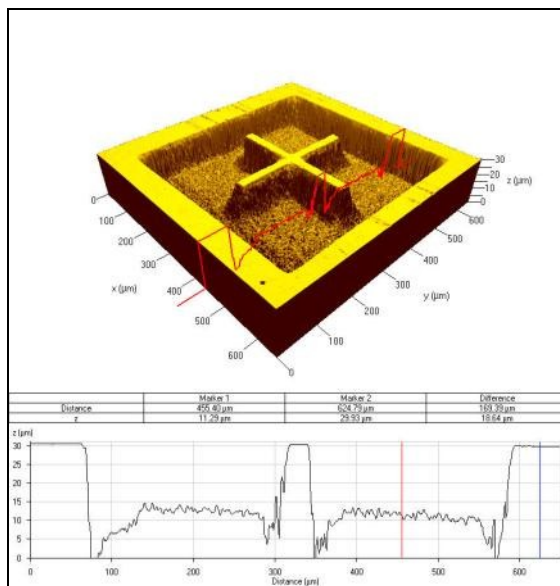


Bild 6. Laserscanningaufnahme einer 300 µm langen und 20 µm hohen Kreuzstruktur, die mit einer Fluenz von $6,0 \text{ J/cm}^2$ durch eine Überfahrt (eine Abtragsschicht) generiert wurde.

Dies deutet auf laserinduzierte Materialmodifizierungen unterhalb der Abtragsschwelle hin, die auf Grund von Inkubationseffekten bei höheren Laserpulszahlen zu geringeren Abtragsschwellen führen. Wegen des großen Bandgaps dieses Materials von $12,1 \text{ eV}$ ist deshalb zu vermuten, dass ein Abtrag nicht nur durch Mehrphoto-

nenabsorption sondern auch durch Photonenabsorption an laserinduzierten Gitterdefekten initiiert wird.

Die in Bild 6 dargestellte Struktur wurde durch Laserpulsüberlappung von quadratischen Laserstrahlquerschnitten auf der Probe mit $38,1 \text{ µm}$ Kantenlänge und einem Überlappungsgrad von $0,95$ erzeugt wurde.



Bild 7. Links: 300 µm lange und 30 µm hohe Kreuzstruktur, 2 Abtragsschichten. Rechts: Verschiedene 54 µm hohe Modellgeometrien auf einer $500 \text{ µm} \times 500 \text{ µm}$ großen Abtragsfläche, 4 Abtragsschichten.

Die in Bild 7 dargestellten Strukturen wurden mit den gleichen Abtragsparametern wie die Struktur in Bild 6 hergestellt.

Literatur

- [1] OPTICS LETTERS / Vol. 23, No. 10 / May 15, 1998 S.798
- [2] M. Verstraete and X. Gonze, Phys. Rev. B **68**, 195123 (2003).

Kontakt

Prof. Dr. Steffen Weißmantel
Laserinstitut der Hochschule Mittweida
Technikumplatz 17
09648 Mittweida
Germany
Tel.+Fax: +49 3727 581449
e-mail: steffen@htwm.de
www.laserinstitut.org