

B. Keiper, R. Ebert, H. Exner

Mikrobohren von PYREX-Glas mittels fs-Laser

Mit Silizium anodisch bondbares Pyrexglas ist ein interessantes Material für verschiedenste Bauelemente der Mikrosystemtechnik. Für eine Reihe von Anwendungen werden kleine Löcher in Glas benötigt, die nur mit Hilfe von Laserverfahren erzeugt werden können.

Für die hier vorgestellten Untersuchungen zum Mikrobohren von Pyrexglas wurde die folgende Mikrobearbeitungsstation eingesetzt: FS-150-10 der Firma 3D-Micromac AG aus Chemnitz, die mit dem Ti: Saphir-Laser CPA 2010 der Firma Clark-MXR Inc. (Michigan, USA) ausgerüstet ist (Wellenlänge: 775 nm, Pulsdauer: 150 fs, Pulsenergie: 1 mJ, Frequenz: 1 kHz, Brennweite: 50 mm).

Bei der verwendeten Wellenlänge 775 nm sind Borsilikatgläser vollständig transparent. Aufgrund der extrem hohen Photonendichten im Fokus des fs-Laserstrahles ist jedoch eine Bearbeitung möglich, da die Laserenergie über Mehrphotonenabsorption in das Material eingekoppelt werden kann.

Die Laserpulsenergie auf der Probenoberfläche wurde zwischen 30 und 870 μJ variiert. Mit zunehmender Laserpulsenergie war eine Zunahme des Bohrungsdurchmessers am Laserstrahleintritt von 15 auf 70 μm sowie eine Zunahme der maximal erreichbaren Bohrlochtiefe zu beobachten. In Abb.1 sind diese Zusammenhänge für 700

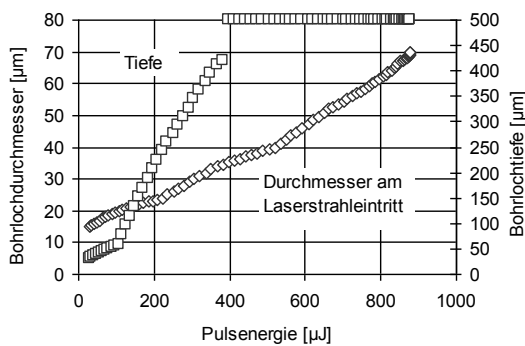


Abb.1: Abhängigkeit des Bohrllochdurchmessers am Laserstrahleintritt sowie der Bohrlochtiefe von der Laserpulsenergie (700 Laserpulse).

Laserpulse dargestellt. Ein Durchgangsloch in 500 μm dickem Pyrexglas wird mit 700 Laserpulsen oberhalb von 400 μJ Laserpulsenergie erreicht, wobei der Durchmesser am Laserstrahleintritt 34 μm und am Laserstrahlaustritt 2 μm beträgt (siehe auch Abb. 2a bis c).

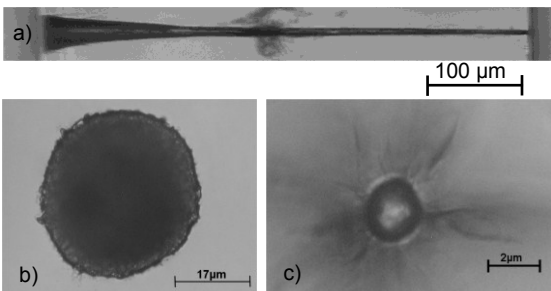


Abb.2: Bohrung in Pyrexglas (fs-Laser, 400 μJ Pulsenergie, 700 Pulse), a) Querschnitt, b) Laserstrahleintritt (34 μm \varnothing), c) Laserstrahlaustritt (2 μm \varnothing).

Ebenso wie beim Bohren mittels ArF-Excimerlaser kam es an der Glasunterseite am Laserstrahlaustritt zu Ausbrüchen. Ursachen sind die Sprödigkeit des Materials und thermisch induzierte mechanische Spannungen in Verbindung mit der Kraft, die durch den Druck des Laserplasmas auf den Boden der Bohrung ausgeübt wird. Dadurch wird kurz vor Erreichen der Durchgangsbohrung das verbliebene

Material in Laserstrahlrichtung ausgebrochen. Solche Ausbrüche sind in Abb.3 zu erkennen, in der einige Bohrungen im Querschnitt beispielhaft dargestellt sind. Die Größe der Ausbrüche nimmt mit zunehmender Laserfluenz zu. Neben der Verwendung der kleinsten möglichen Laserfluenz ist es möglich, solche Ausbrüche durch geeignete Prozessführung, beispielsweise dem Einsatz eines „Backer“-materials unterhalb der Probe, zu unterdrücken. Eine vollständige Vermeidung von Ausbrüchen konnte aber bislang nicht erreicht wer-

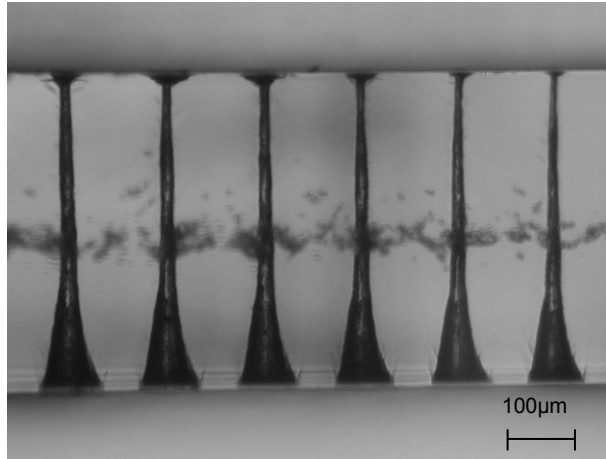


Abb.3: Querschnitt einer Bohrungsreihe in Pyrexglas: Zunahme der Energie von rechts nach links \Rightarrow Zunahme von Durchmesser und Ausbrüchen.

den.

Unter Verwendung von 645 μJ Laserpulsenergie wurde eine Durchgangsbohrung bereits nach 500 Laserpulsen erreicht, es waren jedoch bedeutend stärkere Ausbrüche am Laserstrahlaustritt zu beobachten.

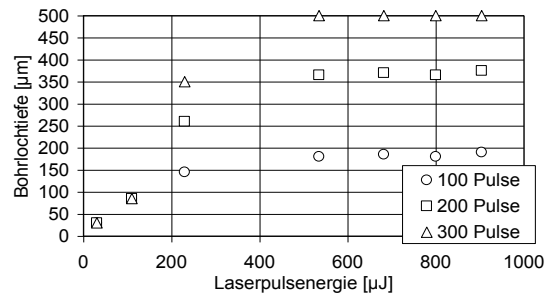


Abb.4: Abhängigkeit der Bohrlochtiefe von der Laserpulsenergie bei Abtrag im Vakuum (3,5 Pa)

Durch Bearbeitung im Vakuum wird die Abtragrate erhöht und damit die Bohrzeit etwa halbiert (siehe Abb.4).

Im Vergleich zum Bohren mittels ArF-Excimerlaser können mittels fs-Laser 500 μm dicke Wafer in deutlich kürzerer Zeit gebohrt werden (0,7 s / 0,3 s im Vergleich zu 5 s). Ein weiterer Vorteil ist nach einem anfänglich stark konischen Bereich im Bohrlochquerschnitt, eine im weiteren Verlauf geringere Konizität der mittels fs-Laser erzeugten Löcher (siehe Abb.2a).

Danksagung

Die Untersuchungen wurden teilweise mit Mitteln des BMBF (Innoregio InnoSachs, FKZ 03i1702) gefördert. Weiterhin danken wir der 3D Micromac AG, Chemnitz für die freundliche Unterstützung.

Kontakt

R. Ebert
Tel.: 03727 581401, Fax: 03727 581496,
e-mail: ebert@htwm.de
www.laserinstitut.org