

B. Keiper, J. Schille, R. Ebert, H. Exner,

Bearbeitung von Pyrexglas mittels CO₂ - Laserstrahlung

Für die Erzeugung von Bauelementen insbesondere in der Mikrosystemtechnik besteht der Bedarf in Pyrexglaswafer Öffnungen mit verschiedenen Abmessungen einzubringen. In einem früheren Beitrag haben wir gezeigt, dass Mikroöffnungen im Bereich von 30 bis 200 µm Durchmesser mittels Excimerlasermaskenprojektion bei der Wellenlänge 193 nm erzeugt werden können (Lasermagazin 6/99, S.16). Das Einbringen größerer Öffnungen im Bereich einiger mm war bislang kaum möglich, da ein ausschneiden mittels Excimerlaser wirtschaftlich nicht vertretbar ist. Als Alternative zur Bearbeitung mittels Excimerlaser wurden deshalb die Einsatzmöglichkeiten von CO₂ - Laserstrahlung ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$) zum schneiden und bohren von Pyrexglas näher untersucht.

Hierfür wurde ein CO₂ - TEA - Laser ML 104 der Firma Uranit (Pulsfrequenz 1-50 Hz, Pulsdauer 80 ns, Pulsenergie 6J), ein langsam längsgeströmter CO₂-Laser SM400 der Firma FEHA (mittlere Leistung 400 W, linear polarisiert) sowie ein abgeschmolzener CO₂-Laser Evolution 200 der Firma Synrad (mittlere Leistung 200 W, random polarisiert) durchgeführt.

Die Fokussierung des Laserstrahls erfolgt bei dem SM 400 und bei dem Evolution 200 über einen Bearbeitungskopf (f=1,5") mit Einrichtungsoptik zur präzisen Positionierung. Die Bewegung der Probe erfolgt mittels XYZ-Positioniertisch.

Der Laserstrahl des CO₂-TEA-Lasers wird über eine Maske und eine ZnSe-Linse (f=5") mit Verkleinerungsmaßstäben von 1 : 5 bis 1:10 auf die Probe abgebildet.

Abtragen:

Mittels Maskenprojektionstechnik und CO₂-TEA-Laser wurden in Pyrexglaswafer mit einer Dicke d = 500 µm Durchgangslöcher mit kreisförmigen bzw. quadratischem Querschnitt mit Abmessungen im Bereich von 200 bis 1000 µm am Eintritt und 30 bis 350 µm am Austritt erzeugt.

Die folgenden rasterelektronenmikroskopischen (REM)-Aufnahmen (Abb.1) zeigen eine mit einer quadratischen Maske generierte Öffnung, wobei die Seitenlängen am Eintritt 390 und am Austritt 140 µm betragen. Der Verrundungsradius der Ecken wurde auf ca. 50 µm bestimmt.

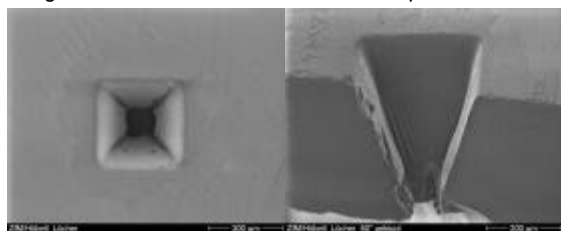


Abb.1: REM-Aufnahmen ; Drauf- und Seitenansicht einer mittels CO₂-TEA-Laserpulsabtrag in Pyrexglas (d=500 µm) eingebrachten Öffnung.

Die Laserfluenzen und Pulswiederholfrequenzen mussten begrenzt werden, um Spannungsrisse im Material zu vermeiden.

Schneiden:

Mit dem zur Verfügung stehendem Versuchsaufbau sowie den einsetzbaren Lasern Evolution 200 sowie SM 400 wurde das Schneiden von Löchern in Pyrexglaswafern näher untersucht, wobei mit beiden Lasern nahezu gleich gute Ergebnisse erzielt wurden.

Es wurden Löcher mit einem minimalen Durchmesser von d = 1 mm in die Wafer geschnitten. Durch Wahl geeigneter Parameter konnten die dabei auftretenden Randaufwulfungen auf der Waferoberseite auf 5 µm und der Grat auf der Waferrückseite auf 140µm minimiert werden.

Die aufgrund des thermischen Abtragsmechanismus bei der Bearbeitung mittels CO₂-Laserstrahlung im Material induzierten mechanischen Spannungen führen bei Verwendung ungeeigneter Laserparameter zur Bildung von Rissen im Glas. Zur Parameteroptimierung wurden die Proben mit einem spannungsoptischen Analyseverfahren untersucht. Die Schubspannungen, die auch bei Verwendung geeigneter Parameter auftreten, konnten durch Tempern des Wafers nach der Bearbeitung von ursprünglich 75 auf 2 N/mm² reduziert werden. Es ist jedoch notwendig, den Temperprozess an die jeweilige Applikation anzupassen, weil die Höhe der Spannungen von den Schnittparametern abhängt.

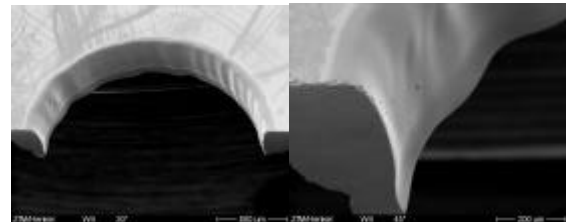


Abb.2: REM-Aufnahmen der mittels CO₂-Laser in Pyrexglas geschnittenen Löcher mit einem Durchmesser von 2,5 mm (in Zusammenarbeit mit TU Chemnitz, ZfM).



Abb.3: Mikroskopaufnahmen von Schnitten bei Verwendung geeigneter Parameter (links) bzw. Rissbildung bei ungünstigen Parametern (rechts)

Mit dem angewandten Verfahren ist es ebenfalls möglich, andere Geometrien in den Wafer einzubringen bzw. Teile auszuschneiden (z.B. als Substratmaterial).

Bohren:

Das Bohren von Löchern in Pyrexglaswafer wurde ebenfalls mit den beiden CO₂-Lasern SM400 und Evolution 200 untersucht.

Dabei konnten mit dem Evolution 200 etwas kleinere Lochdurchmesser als mit dem SM 400 realisiert werden, was vermutlich auf die dafür geeignetere Strahlkaustik zurückzuführen ist.

Die Durchmesser der Bohrungen nehmen mit zunehmender Laserleistung zu und betragen auf der Waferoberfläche 190 bis 280 µm und auf der Waferunterseite 70 µm bis 160 µm. Eine weitere Erhöhung der Laserleistung bewirkt neben dem zunehmenden Bohrlochdurchmesser eine Erhöhung der mechanischen Spannungen und somit die Bildung von Rissen im Glas. Beim Bohren mittels CO₂-Laser entsteht ähnlich wie beim Schneiden ein relativ großer Grat an der Unterseite der Bohrung, so dass der Excimerlaser für die Erzeugung kleiner Durchbrüche insbesondere bei hohen Anforderungen an die Lochqualität besser geeignet ist.

Die Untersuchungen wurden aus Mitteln des BMBF (Inno-regio InnoSachs, FKZ 03i1702) gefördert. Wir danken ebenfalls den Firmen Excel Technology Europe GmbH Darmstadt und 3D Micromac AG Chemnitz für die Unterstützung.

Kontakt:

Dr. B. Keiper
Laserinstitut Mittelsachsen e.V. an der
Hochschule Mittweida (FH),
Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida
Tel.:03727 613345 / Fax:03727 613346
e-mail: keiper@htwm.de