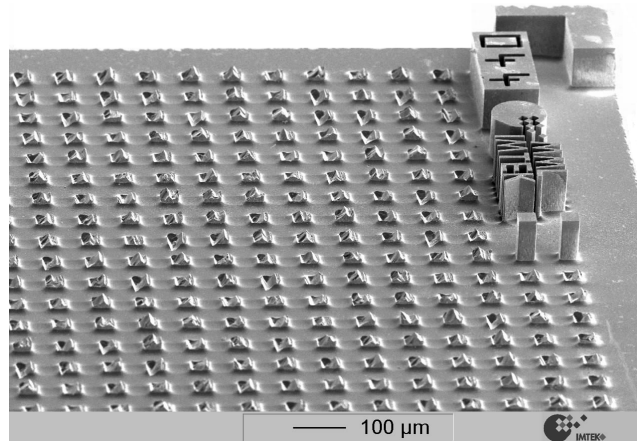


Diplomarbeit

Bestimmung der Bruchfestigkeit von Silizium-Mikrosäulen

Holger Welsch



Abstract

This diploma thesis investigates the mechanical fracture behaviour of micro mechanical Silicon piles with varying geometries and dimensions in a bending test. The thesis describes the mask design to fabricate test structures, the fabrication of micro piles, the conceptional layout and realization of a measurement setup and experimental results.

The mask design carried out within the scope of this thesis allows the fabrication of μ -piles with squared, circular, cruciform and star-shaped cross sections. Both, structure dimensions and orientation of the piles with respect to crystallographic axis are varied. Furthermore, the possibility to fabricate tapered microneedles with the same mask is given. The fabrication is carried out by means of the ASE (Advanced Silicon Etching) process in an ICP (Inductively Coupled Plasma) etcher of STS. The realized micro piles have vertical side walls and a height of more than 100 μm .

The measurement setup to characterize the mechanical fracture strength was adapted to an already existing test rig for tensile testing of thin films. The required force to bend the piles until fracture is applied by a tool, which can be positioned in x, y, z - directions with a precision of 1 μm . The tool is mounted to a load cell to determine the fracture force. The whole setup is controlled by a *LabVIEW* program.

The fracture forces of squared test structures with a side length of 40 μm and circular test structures with diameters in the range of 20 -100 μm are characterized. Squared structures, rotated with respect to the crystallographic axis have also been investigated. Statistical evaluation of the experimental data lead to the mean fracture force, the Weibull distribution and dimensional effects to the fracture strength. The fracture profiles are assigned to effects of the angular orientation of the test structures and the direction of the applied force.

Finally, the circular structures with a diameter between 20 and 100 μm have been simulated with the finite element simulation software *ANSYS*, applying an isotropic model. The experimen-

tally observed dependence of the fracture strength to the diameter of the piles is compared with simulation results. Furthermore, the distribution of the mechanical stress within the micro structures is visualized with the help of the simulation.

Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit wird die Bruchfestigkeit von mikrostrukturierten Siliziumsäulen unterschiedlicher Länge und Geometrie mit Hilfe eines Biegeexperiments untersucht. Sie beschreibt das zur Realisierung der Teststrukturen erforderliche Maskendesign, den Herstellungsprozeß der Mikrostrukturen, die Konzeption und Realisierung des entsprechenden Messaufbaus und die Auswertung der experimentellen Ergebnisse der Bruchtests.

Mit dem im Rahmen der Diplomarbeit realisierten Maskendesign können Mikrosäulen mit quadratischer, kreis-, kreuz- und sternförmiger Grundfläche realisiert werden. Dabei werden sowohl die Dimensionen der Säulen als auch deren Ausrichtung gegenüber den Kristallrichtungen variiert. Bei der Auslegung der Maske wurde darauf geachtet, dass das Design auch für die Herstellung von spitz zulaufenden Mikronadeln verwendet werden kann. Die Herstellung der Strukturen erfolgt mit Hilfe des ASE (Advanced Silicon Etching)-Prozesses in einer ICP (Inductively Coupled Plasma)-Ätzanlage der Firma STS. Die realisierten Strukturen weisen Höhen größer 100 µm und senkrechte Seitenwandprofile auf.

Der Testaufbau zur Charakterisierung der mechanischen Bruchfestigkeit der Mikrosäulen wurde an eine bestehende Anlage für Mikrozugversuche adaptiert. Er gestattet die exakte Ausrichtung der Probe gegenüber einem Werkzeug, das die erforderlichen Bruchkräfte auf die Probe überträgt. Zur Kraftmessung ist das Werkzeug an einem Kraftsensor montiert. Die Ansteuerung der Stellmotoren des Messaufbaus und die Messung der Bruchkräfte erfolgt über ein *LabVIEW* Programm.

Es wurden die Bruchkräfte von Strukturen mit quadratischen und runden Querschnitten gemessen. Dabei wiesen die quadratischen Strukturen eine Kantenlänge von 40 µm auf und variierten in der Ausrichtung gegenüber dem Kristallgitter. Somit konnten die Bruchkräfte in Abhängigkeit der Kristallorientierung gemessen werden. Die runden Strukturen wiesen Durchmesser von 20 - 100 µm auf. Aus den ermittelten Bruchkräften wurden die statistischen Kennwerte, mittlere Bruchkraft, Weibull Modul und die Abhängigkeit der Bruchkraft vom Durchmesser der Strukturen extrahiert. Die Bruchprofile der unterschiedlichen Geometrien wurden im REM untersucht, wobei Effekte wie Krafrichtung und Strukturausrichtung den Bruchprofilen zugeordnet werden können.

Abschliessend wurden runde Strukturen mit Durchmessern von 20 µm bis 100 µm mit einem isotropen Modell mit Hilfe der Finite-Element-Simulationssoftware *ANSYS* simuliert. Die Simulation diente dazu, die experimentell ermittelte Abhängigkeit der Bruchfestigkeit vom Strukturdurchmesser zu überprüfen und den Spannungsverlauf innerhalb der Säulen zu bestimmen.

For further information, please contact:

Prof. Dr. Oliver Paul
Institute for Microsystem Technology IMTEK
Microsystem Materials Laboratory MML
Georges-Koehler Allee 103
79110 Freiburg, Germany
phone ++49/761-203-7190
fax ++49/761-203-7192
e-mail paul@imtek.de