

Abformwerkzeuge für Mikro- und Nanostrukturen in thermoplastischen Polymeren

Jens Gobrecht

Inst. für nanotechnische Kunststoffanwendungen

Fachhochschule Nordwestschweiz

5210 Windisch

und

Labor für Mikro- und Nanotechnologie

Paul Scherrer Institut

5232 Villigen PSI



<http://LMN.web.psi.ch>

<http://www.fhnw.ch/inka>



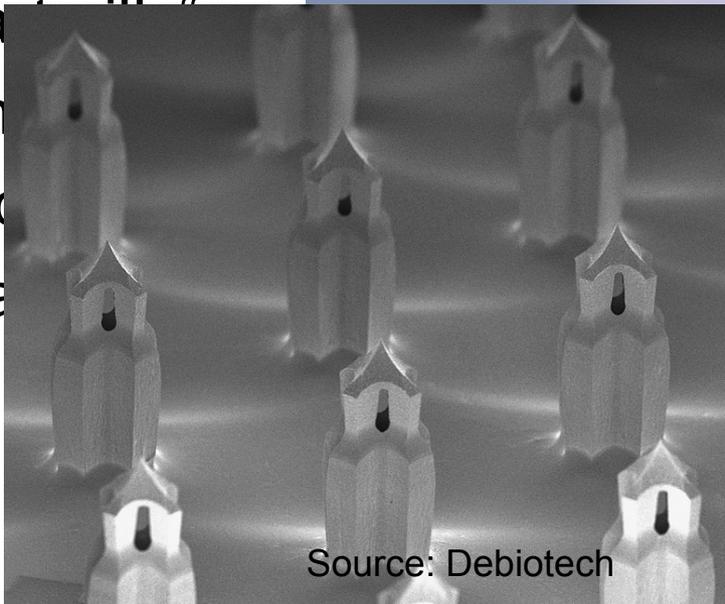
Inhalt

- Einführung
- Problematik der Werkzeugherstellung
- Anwendungsbeispiele Spritzguss
- Anwendungsbeispiel Heisspägen
- Schlussfolgerungen, Ausblick

Mikrokomponenten aus Kunststoff

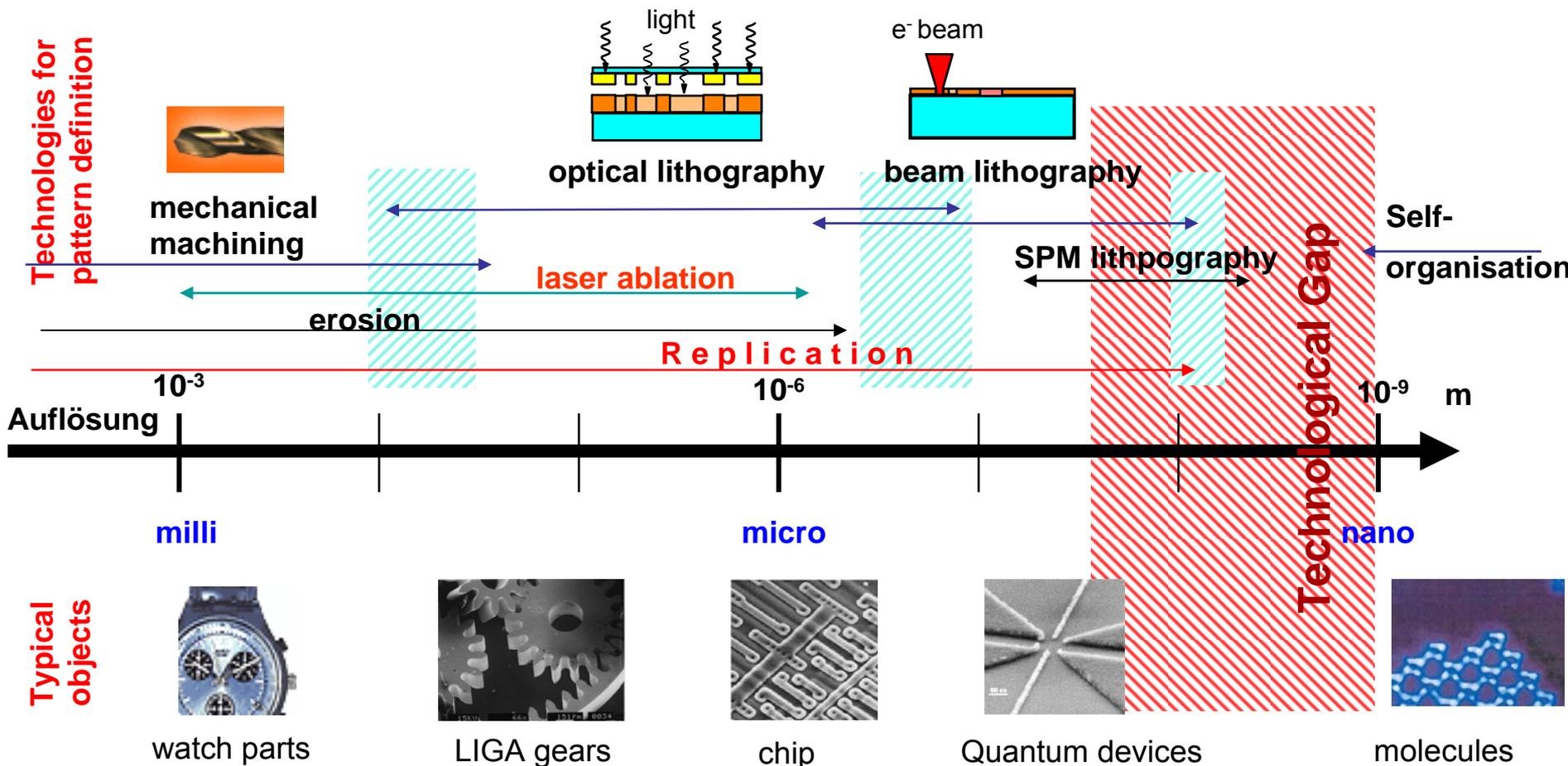
besonders in den „life science“

- Bioanalytik-Systeme
- Mikrofluidik-Systeme
- Minimalinvasive Diagnostik
- „smart pills“
- Schnelldiagnostik
- Biokompatibilität
- U.v.a.



Source: Debiotech

Werkzeugproblematik: Materialbearbeitungstechnologien < 1mm



Techniken der Mikro-Werkzeugherstellung

- **Mikrofräsen:**

Vorteil: etablierte Technik.

Nachteile: Auflösung auf einige –zig μm begrenzt, bei grossen Flächen langsam.

- **Erodieren:** (Funken bzw. elektrochemisch)

Vorteile: etabliert, schnell, gute Auflösung ($\sim 1 \mu\text{m}$).

Nachteil: Herstellung Erodierwerkzeug aufwändig, weitgehend nur planare Geom.

- **Laser micromachining:**

Vorteile: etabliert, gute Auflösung ($\sim 1 \mu\text{m}$), (fast) beliebige Werkzeuggeometrien

Nachteil: relativ raue Oberflächen, bei grossen Flächen teuer.

- **Photolithografie**, inkl. „umnickeln“

Vorteile: etabliert, sehr gute Auflösung

Nachteile: auf planare Geometrien beschränkt, bedingt Reinraumumgebung

- **Nanolithografie** (Elektronenstrahl-, Röntgen- etc.)

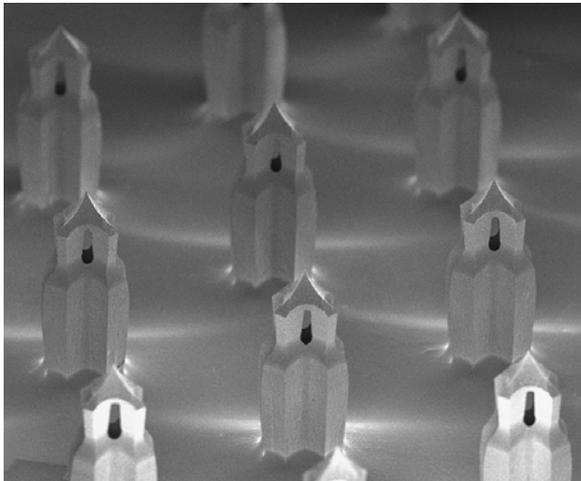
Vorteil: Höchste Auflösung, bis wenige nm

Nachteile: Labormethoden, nur planare Geometrien, teuer

Motivation Mikrospritzguss für life sciences

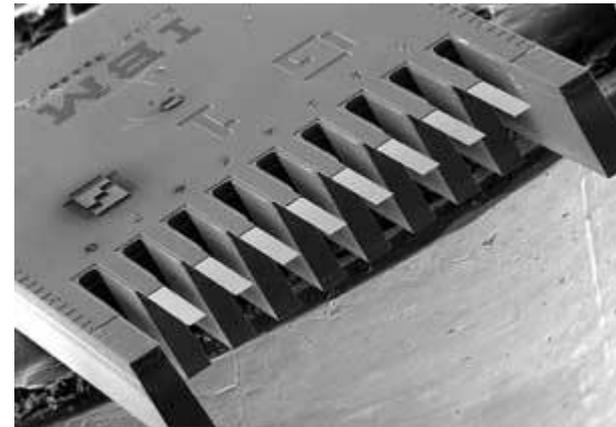
Viele mikro- elektro- mechanische Systeme (MEMS) sind heute aus Silizium. Vorteil: sehr präzise. Nachteil: teuer und daher für die in der Medizin und Bioanalytik üblichen Einweg-Anwendungen nicht geeignet.

Mikro-Spritzguss von Kunststoffen kann diese Probleme teilweise lösen, doch müssen die Prozesse und besonders die Werkzeuge entwickelt werden.



Injektions-Mikronadelfeld aus Si für medizinische Anwendung.

Quelle: Debiotech SA



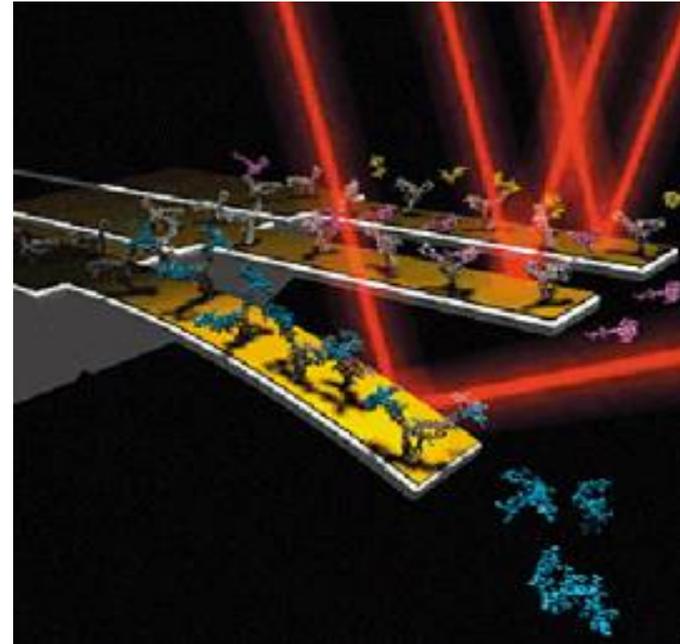
Mikrocantilever array für Bioanalytik

Quelle: IBM Research

Anwendungsbeispiel: Cantilever-Sensor für Bioanalytik



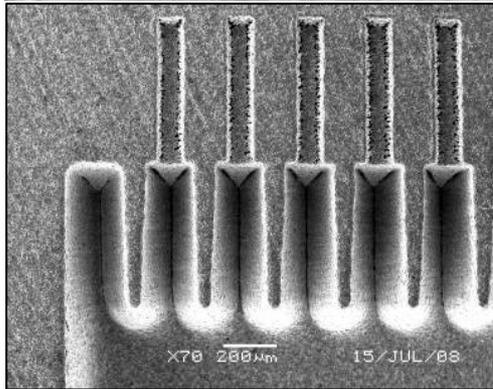
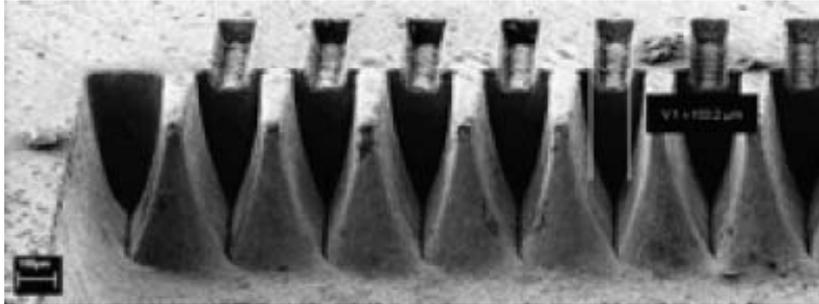
Concentris
Basel



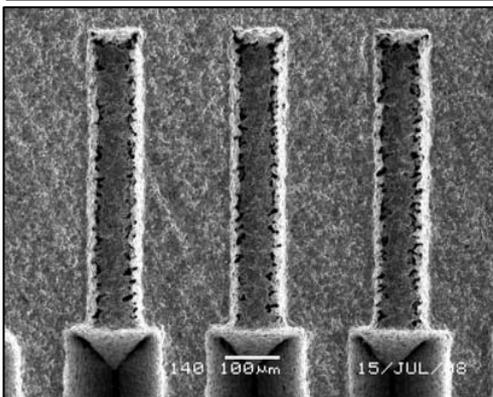
An- bzw. Abwesenheit spezifisch gebundener Biomoleküle bewirkt eine Verbiegung der Mikro-Blattfeder bzw. eine Verschiebung ihrer Resonanzfrequenz. Das wird durch Ablenkung eines Laserstrahls detektiert.

Roderick Scheffler, digistudio scheffler, Berlin, (C) Copyright Concentris GmbH und www.nano.gov

Lasergraviertes Werkzeug

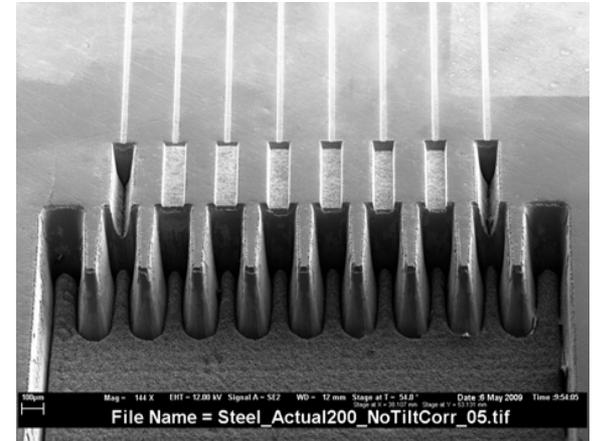


1. Generation

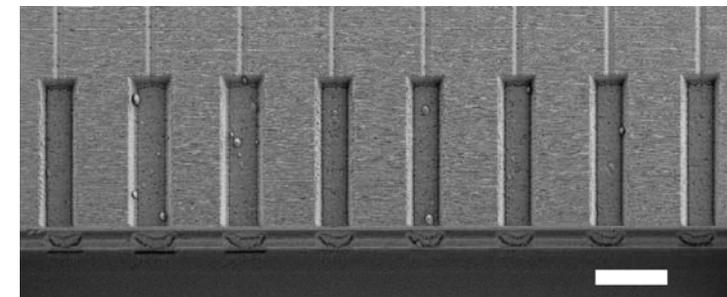


355nm
7W
500 layers

Material: Stahl

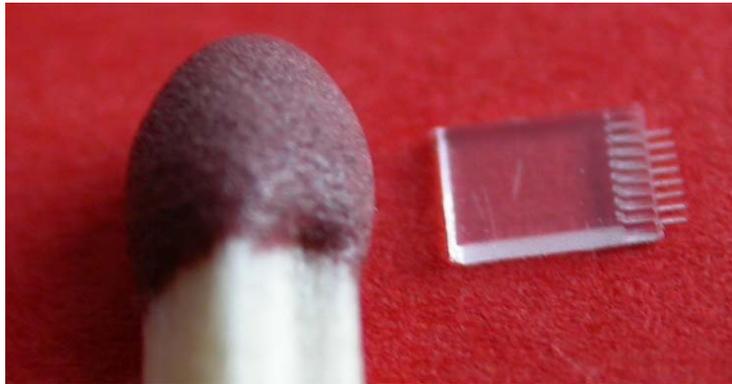


2. Generation

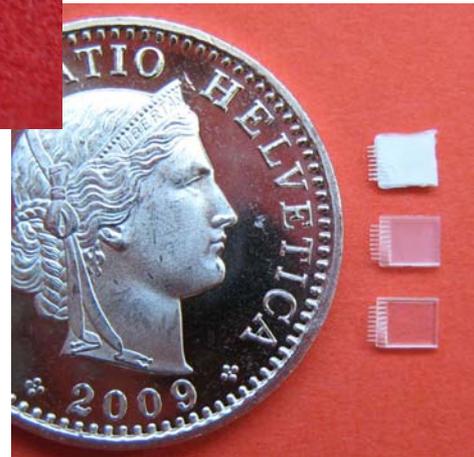


Kooperation mit IPPE/FHNW (M. Krack, B. Lüscher, A. Stumpp) und mit EMPA (Dr. K. Jefimovs)

Spritzguss-Mikrocantilever



PVDF

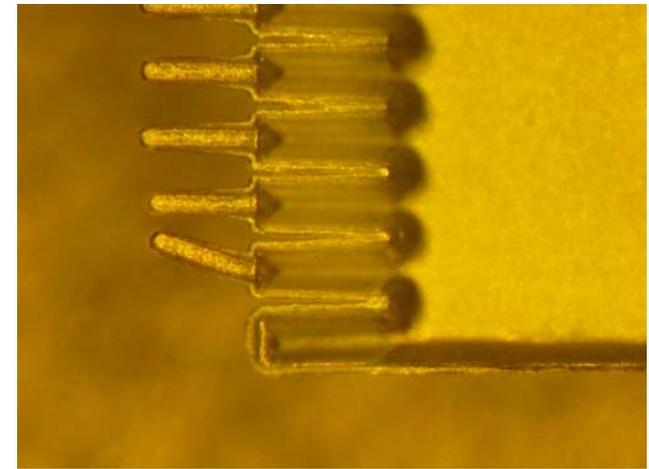


Dimensionen einzel-
Cantilever nominal:

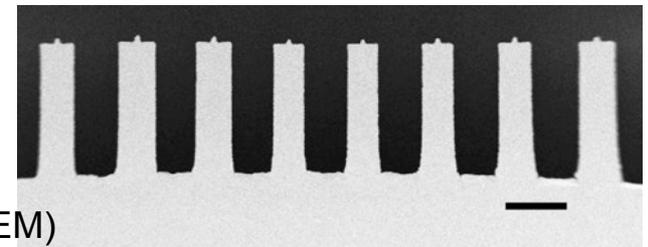
Breite: 100 μ m

Länge: 500 μ m

Dicke: variabel, Ziel ca. 10 μ m



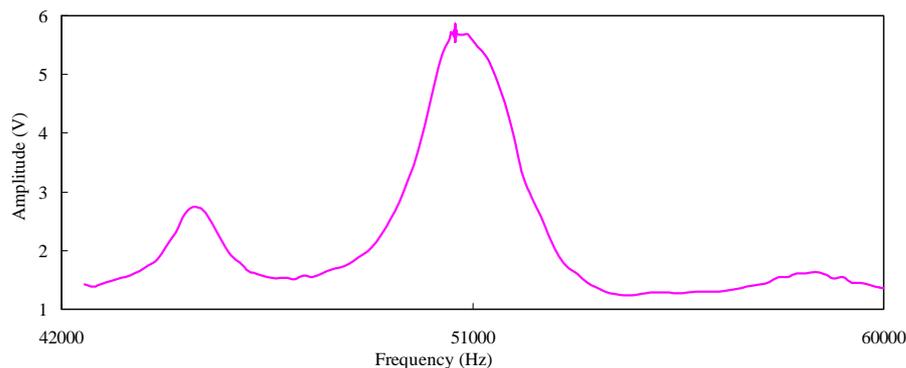
COC



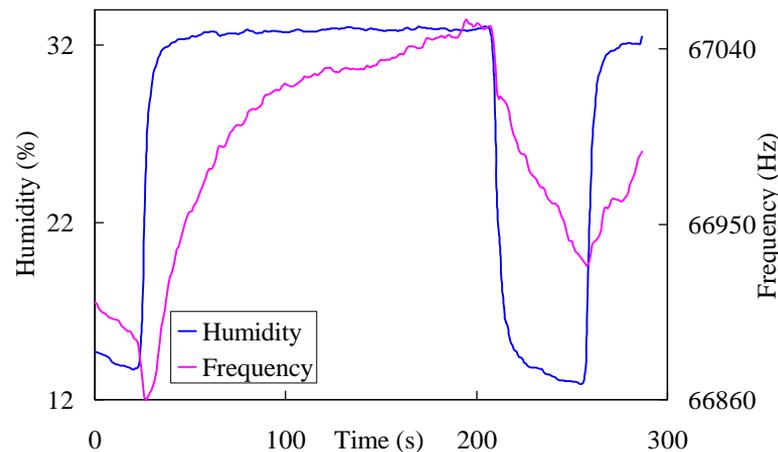
PP (REM)

Performance of IM Microcantilevers

Polymer/average t	30 μm PP	40 μm PP	30 μm PVDF	40 μm PVDF	30 μm POM-C
Frequency f in air [kHz]	48 ± 3	50 ± 1	60 ± 3	79 ± 5	60 ± 4
Frequency f in water [kHz]	37 ± 8	33 ± 27	43 ± 5	52 ± 5	36 ± 7
$f = 0.162 \cdot t / L^2 \cdot \sqrt{E / \rho}$ [kHz]	38	46	66	88	78
Q -factor in air	28	46	38	19	33
Q -factor in water	20	11	10	9	19

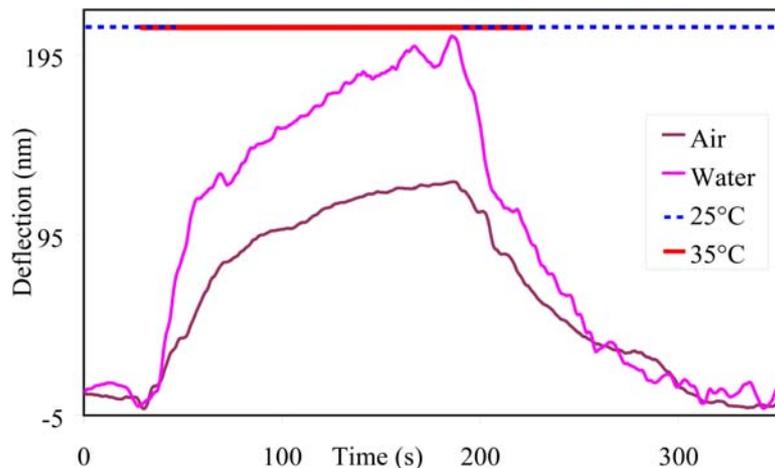
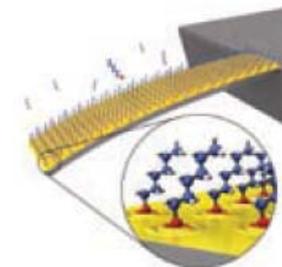


Resonance peak of 40 μm PP micro-cantilever
in air

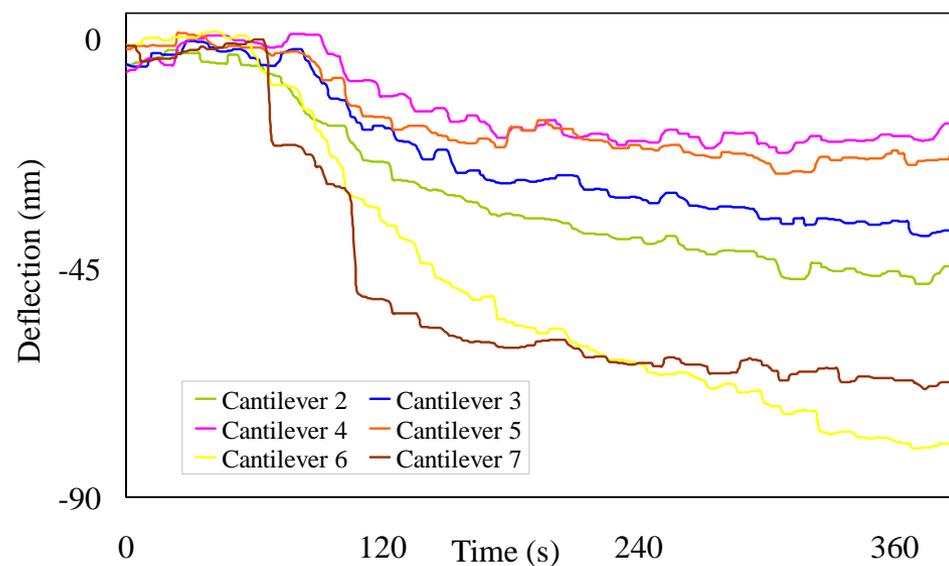


Resonance frequency dependence on humidity
 $T = 21^\circ\text{C}$

Performance Test of IM Microcantilevers



Heat test of 30 μm -thin injection-molded PVDF micro-cantilevers coated with 20nm Au.



Deflection curve of 60 μm -thin PVDF μCs during the binding with thiol molecules on the gold-coated side.

Mikro-Oberflächenstrukturen zur Funktionalisierung von Kunststoffen

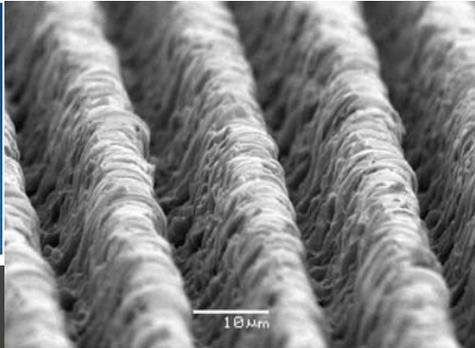
- **Ziel:** kontrollierte Mikro- oder Nanostrukturen an der Oberfläche von Kunststoffteilen, z. B. zur Beeinflussung der Benetzung oder zur Einstellung der Biokompatibilität
- **Vorteil** (life sciences): Im Gegensatz zu Beschichtungen kein neues Zulassungsverfahren nötig!
- **Problem: Werkzeugherstellung.** Geforderte Materialien: Metalle (meistens Stahl), geforderte Geometrien: meistens nicht planar
- **Werkzeuge:** Mikro-/nanostrukturierte Silizium-Einlegeplatten, Nickel-Shims oder Folien, Laser-mikrostrukturierte Stahlwerkzeuge

Anwendungsbeispiel: Entnetzende Oberflächen für Bioanalytik

Problem: Zu strukturierende Oberflächen sind nicht planar

Lösung 1 (Mikrostrukturen): Laser Micromachining

Lösung 2 (sub-mikron Strukturen): Photolithografie + Nickelfolie



Flüssigkeit 1 Flüssigkeit 2

glatte Oberfläche

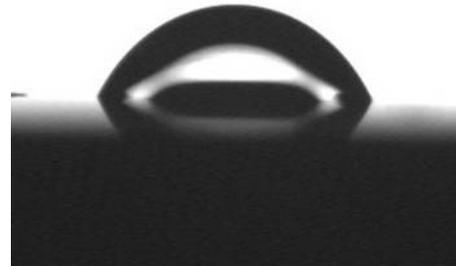
66°

70°

100 nm-Linien

120°

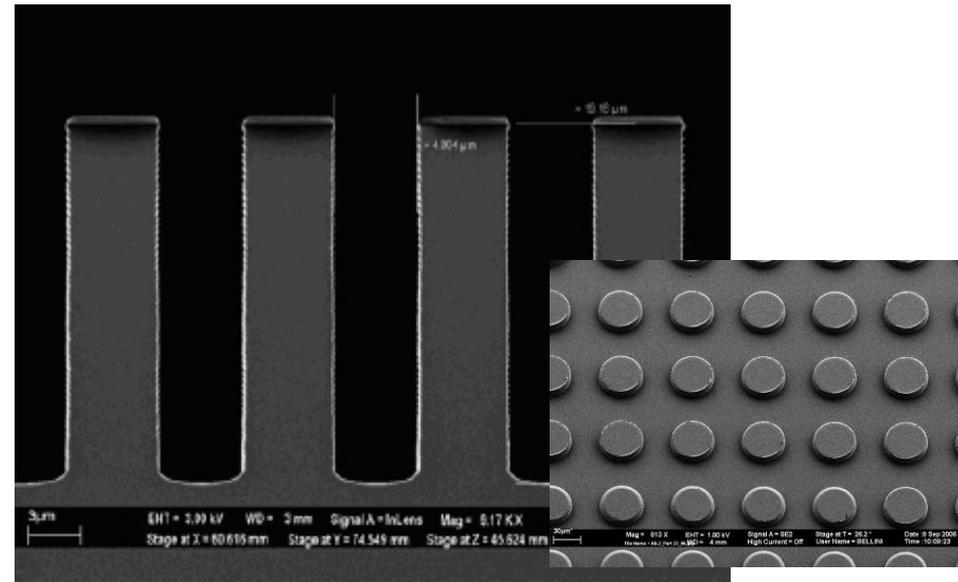
134°



Kooperationspartner: Roche Diagnostics AG, 3D AG und IPPE

Silizium-Werkzeugeinsätze

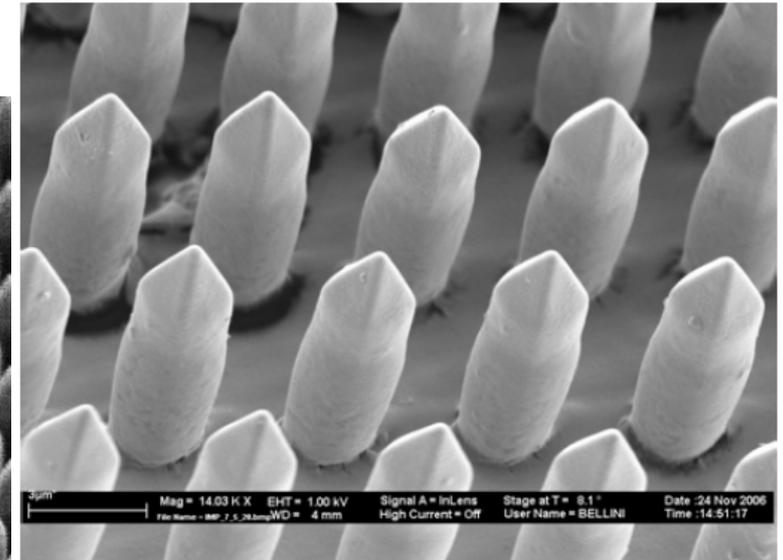
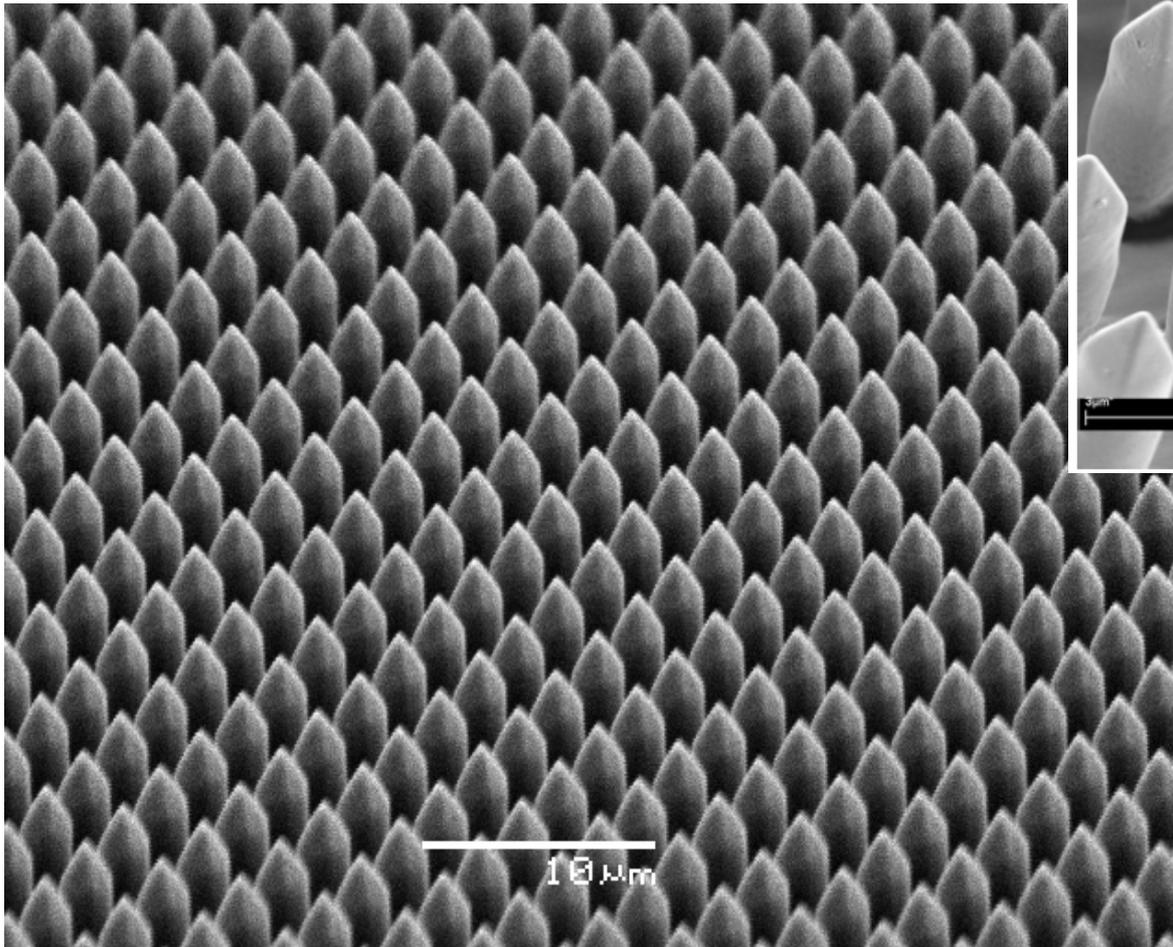
Mit mikrotechnischen Verfahren hergestellt (Lithografie)



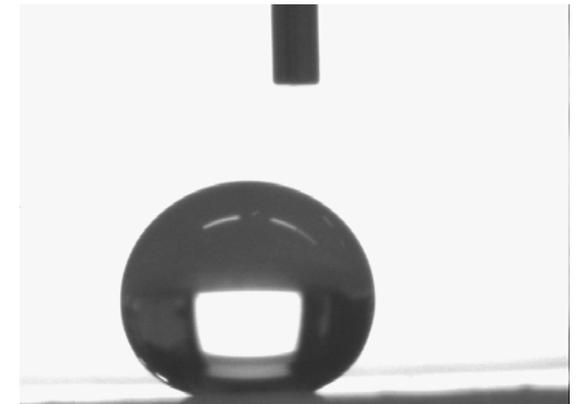
Vorteile: Extrem präzise Formgebung, Toleranzen $\ll 1 \mu\text{m}$ (Verfahren aus der Mikroelektronik), Material ist sehr hart, d.h. verschleissarm

Nachteile: Material ist sehr spröde (Bruchgefahr), Klebetechnik für Einlageplatte in Werkzeug ist aufwändig, nur planare Geometrien möglich

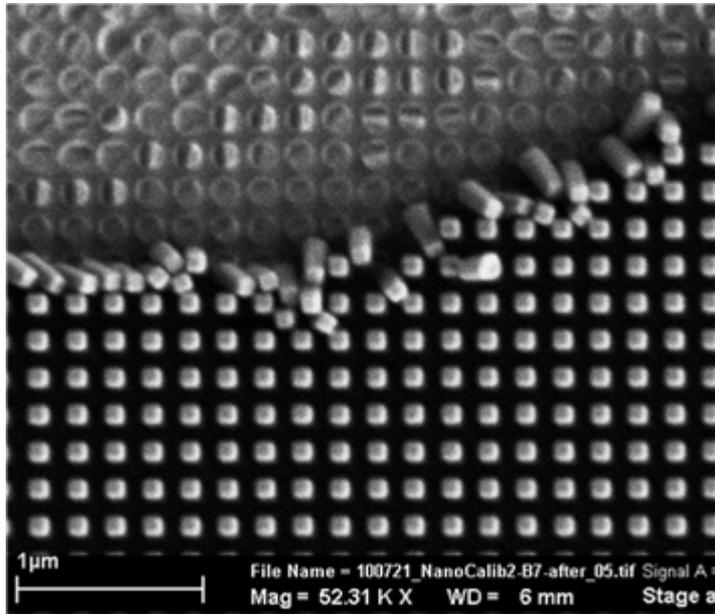
PP- Säulen gespritzt mit Si-Einlageplatte



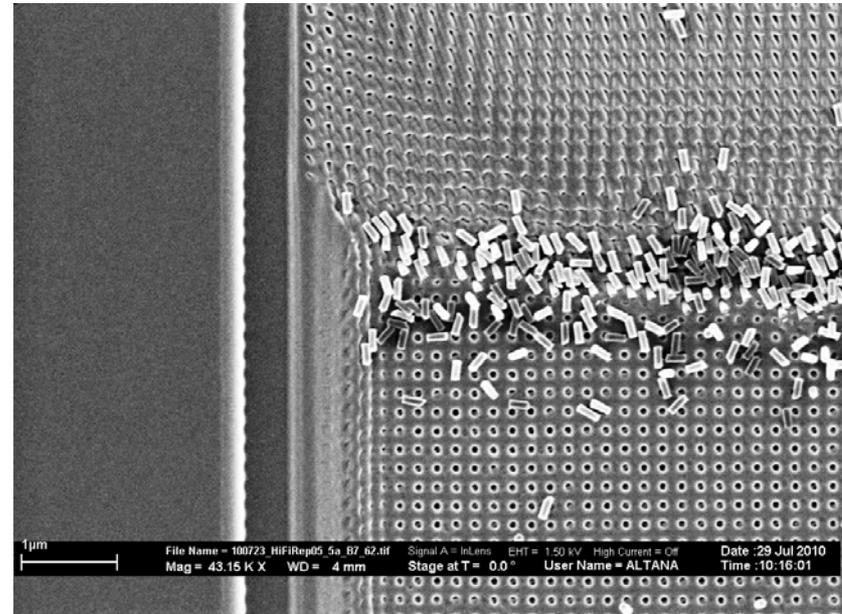
Benetzungswinkel $>160^\circ$ (H_2O)



Nano Injection Molding: How far down can we go ?



Silicon tool insert with 100nmØ
nano columns partially broken



Molded part showing some broken silicon
columns from the tool. Material: PC

Cooperation: Eulitha AG

Spritzguss von Nanostrukturen

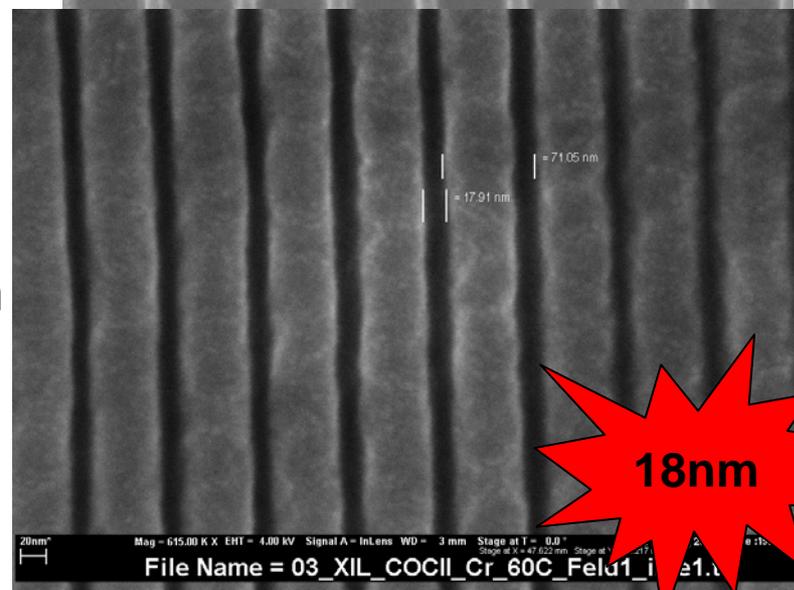
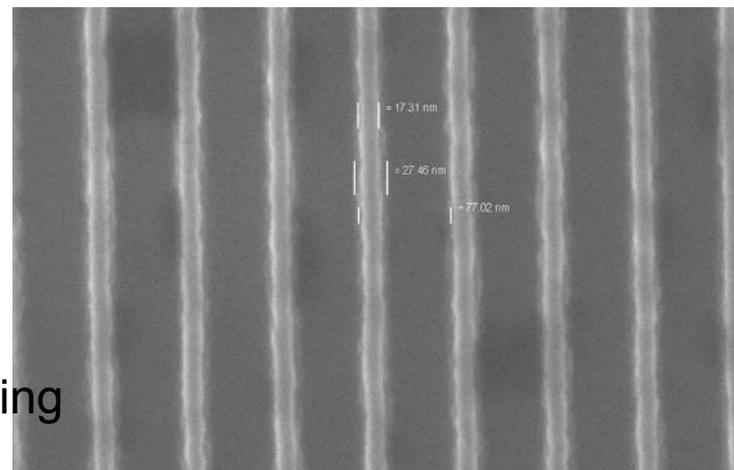
Laufende Forschung am INKA
versucht die Grenzen der Auflösung
von Spritzgussverfahren auszuloten

Insert master:
Si with HSQ grating



Teil aus PP

Surface of IM part
Material: COC
Channel width: 18nm
Thesis B. Keusch



Heissprägetechnik

Eng kontrollierte Bedingungen:

- Temperatur und T-Profile, Vakuum, Schliesskraft, Schliess- und Entformgeschwindigkeit
- Werkzeughälften auf wenige μm gegeneinander justierbar

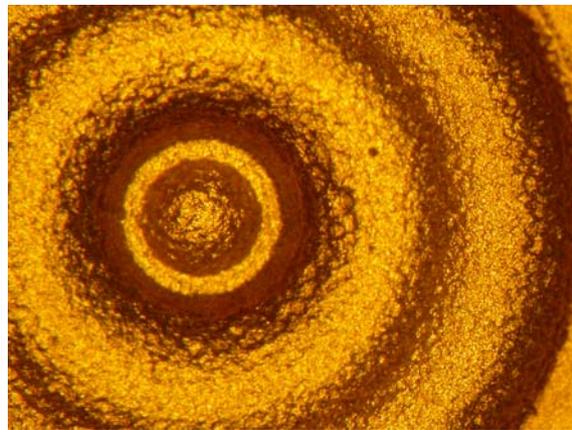


Jenoptik Hex03

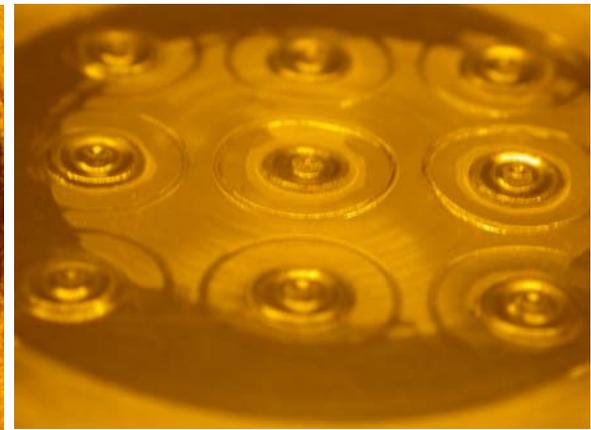
Anwendungsbeispiel: Balg-Membran aus PSU Folie für optischen Drucksensor in Medikamentenpumpe



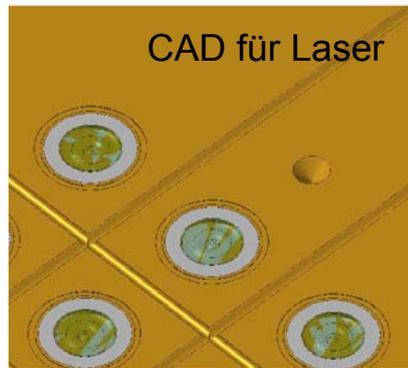
9-fach Werkzeughälfte, Messing, **gelasert**



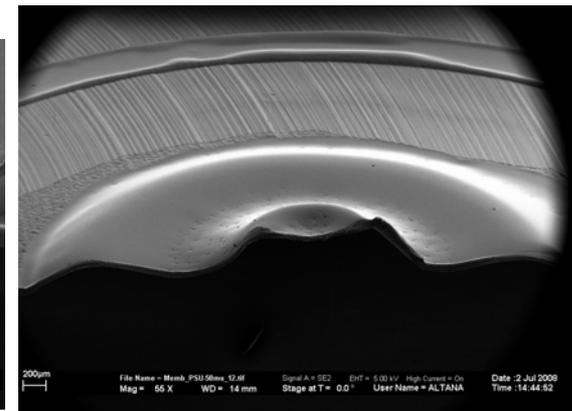
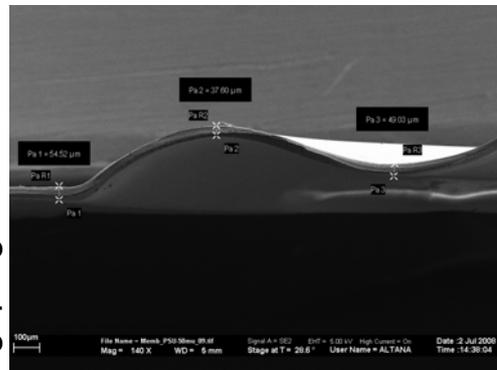
Werkzeug Detail



Folie nach Abformung



Querschnitte der
geprägten Membran



Schlussfolgerungen, Ausblick

- Der Einsatz von Mikro-Komponenten und Systemen aus Kunststoff wird weiter wachsen. Aus Kostengründen steht Präzisionsspritzguss im Vordergrund.
- Die Herstellung der Abformwerkzeuge wird teilweise noch ungenügend beherrscht, besonders für Stahl und nicht-planare Geometrien.
- Die Laser-Materialbearbeitung hat hier grosses Potential, da nur sie heute auf beliebige WZ-Geometrien anwendbar ist und Stahl im Mikrometerbereich bearbeiten kann.
- Verbesserte laterale Auflösung ($< 1\mu\text{m}$?) und glattere Oberflächen würden den Laser noch attraktiver machen.

Danksagung

- PSI-LMN: Dr. H. Schiff, Dr. V. Guzenko, K. Vogelsang, M. Bednarzik, P. Urwyler
- FHNW-INKA: Prof. C. Holzer, M. Altana, O. Häfeli, B. Keusch, Ch. Rytka, Ch. Hofmann
- FHNW-IPPE: B. Lüscher, A. Stumpp, M. Krack
- EMPA: Dr. K. Jefimovs

Ihnen allen herzlichen Dank!