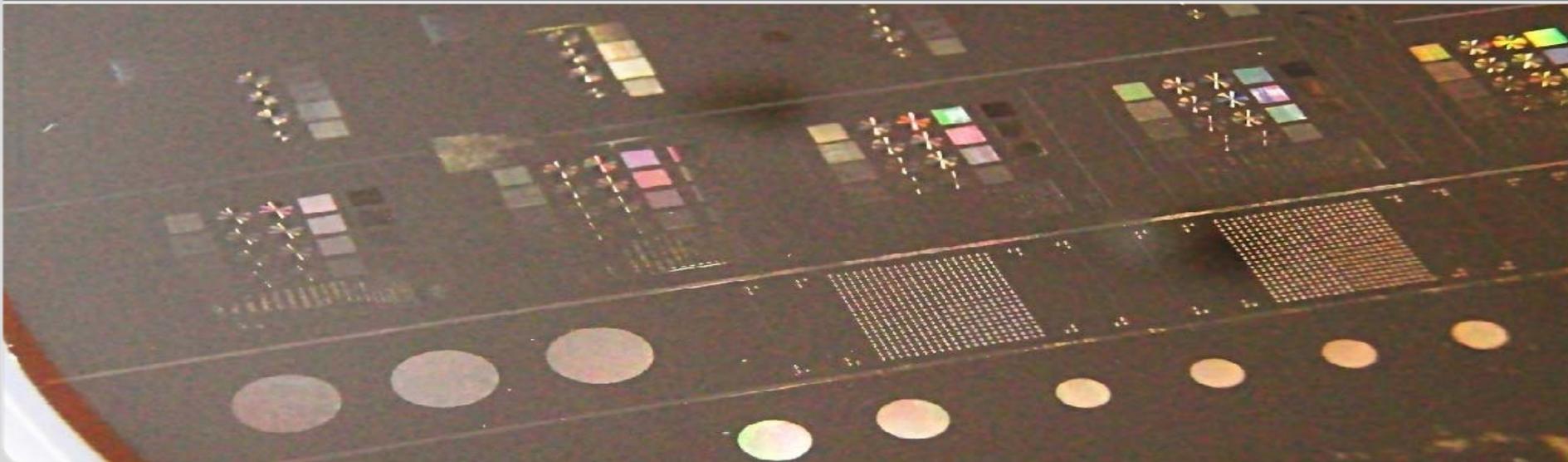


Galvanische Fertigung von nano- und mikrostrukturierten Shim-Formeinsätzen

Dr. Markus Guttman

Institute for Microstructure Technology (IMT); Campus North



Co-Autoren

- Peter-Jürgen Jakobs, Konradin Kaiser, Timo Mappes, Barbara Matthis, Mauno Schelb, Christin Straus, Christoph Vannahme, Laura Zimmermann und Volker Saile

Mitarbeiter

- Paul Abaffy (REM), Alexander Kolew, Michael Röhrig (Heißprägen)

Beteiligte Firmen

- silicet AG, Lohfelden

➤ Einsatz galvanischer Prozesse

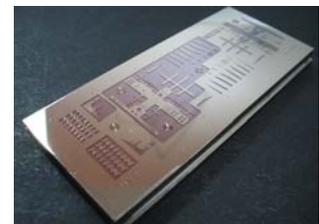
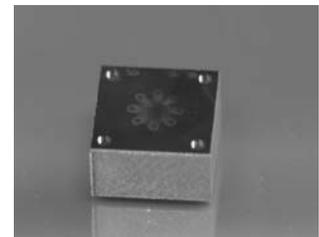
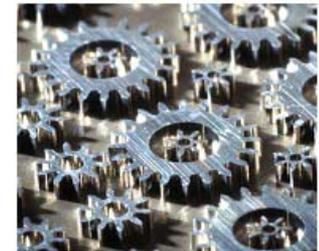
- Beschichten
- Auffüllen (Galvanoformung)
- Abtragen (Ätzen)
- Polieren

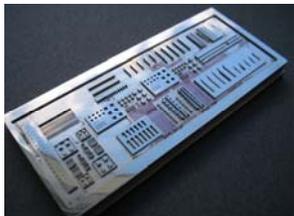
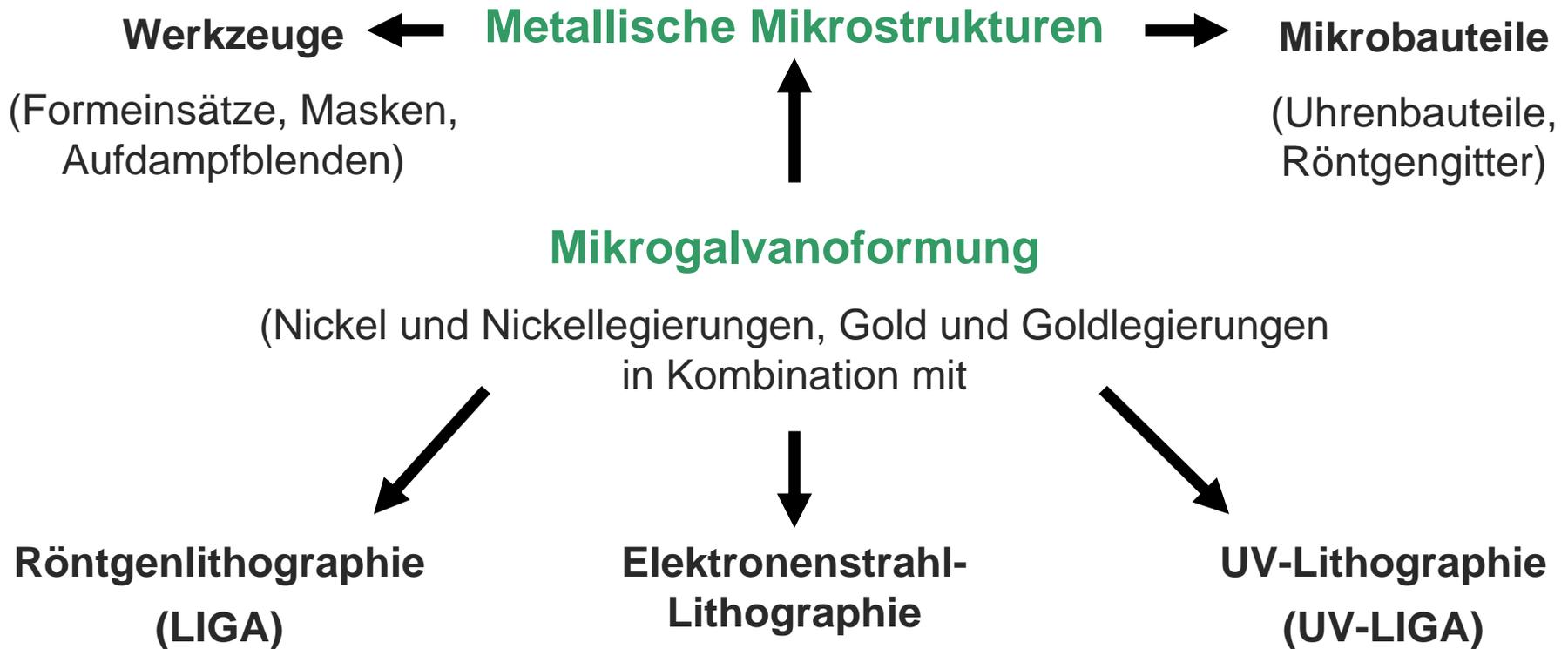
➤ Anwendungen

- Leiterbahnen (auf Leiterplatten)
- Sensoren (z.B. ...)
- Zahnräder (für mechanische Uhren oder für Mikromotoren)
- **Werkzeuge** (für die Kunststoffabformung)

➤ Zielrichtung

- Serienfertigung von großen Stückzahlen
- Einzelteilerfertigung





Hartnickel-Elektrolyt

- Microfab Ni-110 OL (Fa. Enthone)
- Nickelabscheidung aus einem
- Sulfamat-Elektrolyt
- 110 g/l Ni, 45 g/l H_3BO_3 , 12 g/l $NiCl_2$
- Organika ? / Add. Agent SC 63 ml/l
- 1 ... 5 A/dm²; pH 3,2 ... 3,5; 40 °C
- Nickelhöhe: 6 mm → 15 Tage

Standard-Elektrolyt

- Eigene Rezeptur
- Nickelabscheidung aus einem
- Sulfamat-Elektrolyt
- 78 g/l Ni, 38 g/l H_3BO_3 , Fluortensid
- 1 ... 1,8 A/dm²; pH 3,4 ... 3,6; 52 °C
- Nickelhöhe: 6 mm → 15 Tage



- Vorbereitung (Metallisierung) des Substrats
 - Aufbringen eines polymeren Resists
 - Strukturierung des Resists mittels Elektronenstrahl-Lithographie
 - Nasschemische Entwicklung der Resiststrukturen
 - (Nasschemisches Ätzen der Strukturen in das Substrat)
 - Vollflächige oder partielle Metallisierung der Strukturen
 - Nickel-Galvanoformung
 - Nasschemisches oder mechanisches Abtrennen des Substrats
 - Nasschemisches Auflösen (Strippen) des Resists
 - Charakterisierung der Strukturen mittels AFM oder REM

Shim = engl. für Scheibe, Beilage, ...; Stamper = engl. für Stempel

➤ Substrate

- 4- oder 6-Zoll Siliziumwafer
- Verwendung ohne Beschichtung oder nach
 - thermischer Oxidation (500 ... 1000 nm SiO_2)
 - Beschichtung mit Chrom / Gold (7 nm Au / 15 nm Au)
 - Beschichtung mit Titan (2,5 μm Ti) / Oxidation zu Titanoxid (TiO_x)
 - Funktionalisierung mit HMDS (Hexamethyldisilazan)

➤ Resist

- PMMA-Basis (Typ 950K)
- Variation des Lösemittelgehaltes
- Schichtdicken zwischen 25 nm und 3,2 μm
- Auftrag mittels Aufschleudern (Spincoaten)
- erforderliches Ausbacken über einen Temperschritt



- fokussierter Elektronenstrahl
 - elektronenempfindlicher Resist
 - chemische Veränderung im Polymer
 - Entwicklung der **Masterstrukturen** in einem speziellen Lösemittelgemisch
-
- Typ VB 6 (UHR-EWF) der Fa. Vistec
 - Beschleunigungsspannung: 100 kV
 - Mainfield: 1310 x 1310 μm^2
 - Adressiergenauigkeit: 1,25 nm
 - Tischpositioniergenauigkeit: < 1 nm
 - layoutabhängige Schreibzeit (bis zu 50 h)

➤ Strukturierung von Glas

- 4-Zoll Glaswafer
- Beschichtung mit Chrom, anschließend mit AZ-Lack
- Strukturierung und Entwicklung der Ätzmaske mittels UV-Lithographie
- Reaktives Ionenätzen (RIE) zur Glasstrukturierung
- Ätzgas und Ätzdauer bestimmen die Strukturtiefe der **Masterstrukturen**

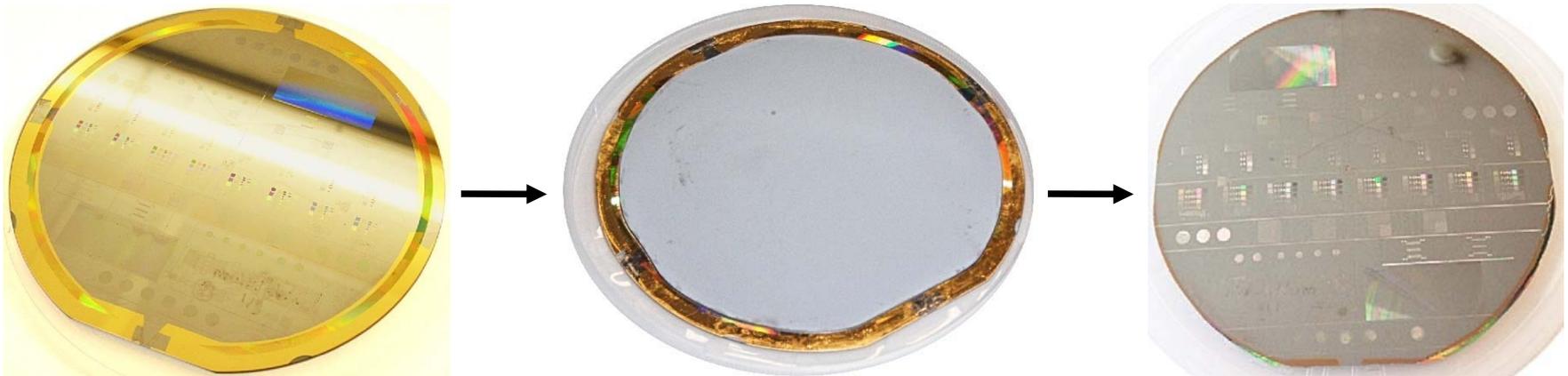
➤ Metallisierung der Masterstrukturen

- geschlossene, haftfeste, leitfähige Metallschicht
- Einsatz von PVD-Verfahren (Sputtern oder Bedampfen)
- Silizium-Wafer: 7 ... 10 nm Chrom (Haftvermittler) und 30 ... 50 nm Gold
- Glaswafer: 80 nm Titan (vollflächig) und 300 nm Gold (am Umfang)



Standard-Elektrolyt

- Nickelabscheidung aus einem Sulfamat-Elektrolyt
- 78 g/l Nickel, 38 g/l H_3BO_3 , Fluortensid
- 0,1 ... 1,0 A/dm²; pH 3,4 ... 3,6; 52 °C
- Nickelhöhe: 0,5 mm → 2 Tage
- geringe Eigenspannungen
- gute Schichtdickenhomogenität durch Einsatz von Blenden



➤ Siliziumsubstrate

- Auflösen in 30 Gew.% KOH in Wasser bei 80°C
- Entfernung der SiO₂- bzw. der Ti/TiO_x-Schicht in verd. HF-Lösung
- Entfernung des Resists in Ethylacetat oder Aceton evtl. mit Ultraschall-Unterstützung
- Cr/Au-Schicht bleibt auf der Shim-Oberfläche erhalten

➤ Glassubstrate

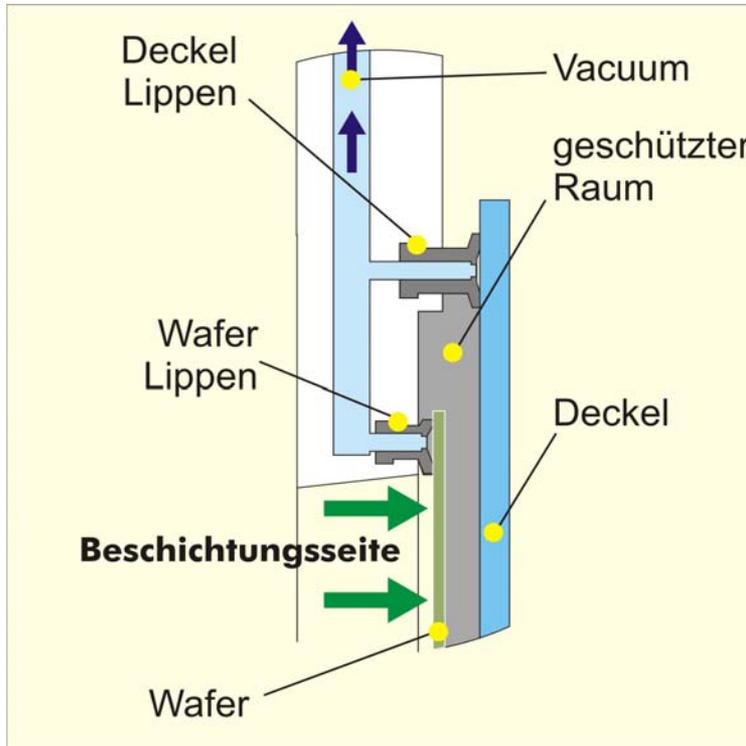
- mechanische Abtrennung auf Grund der schlechten Haftung von Nickel auf Titan
- Lockerung des Verbundes durch Erwärmung auf 90°C

Halterungen für die Wafergalvanoformung

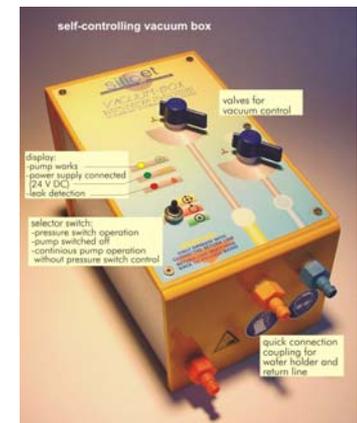
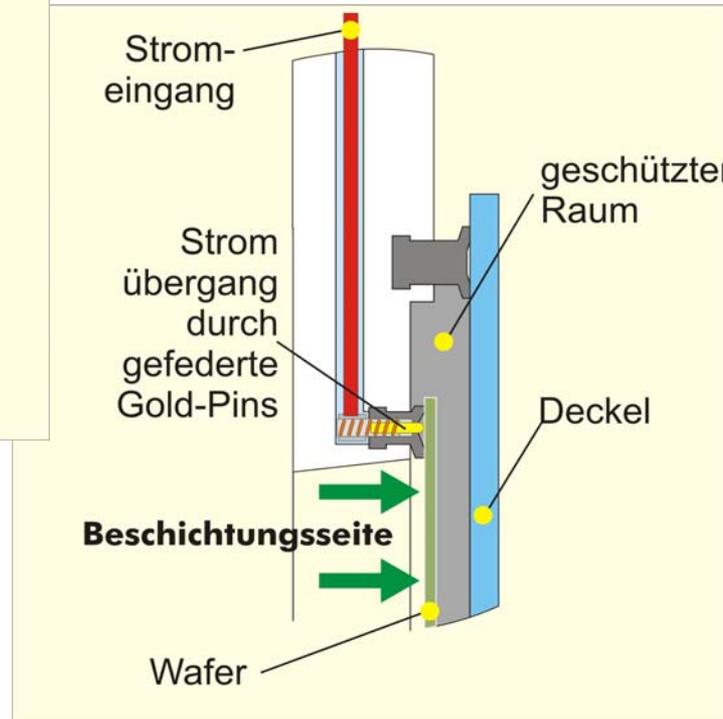


Substrate werden mittels Vakuum fixiert;
die Kontaktierung erfolgt mittels Federstiften oder Fingerfedern

Vakuumanströmung / Kontaktierung



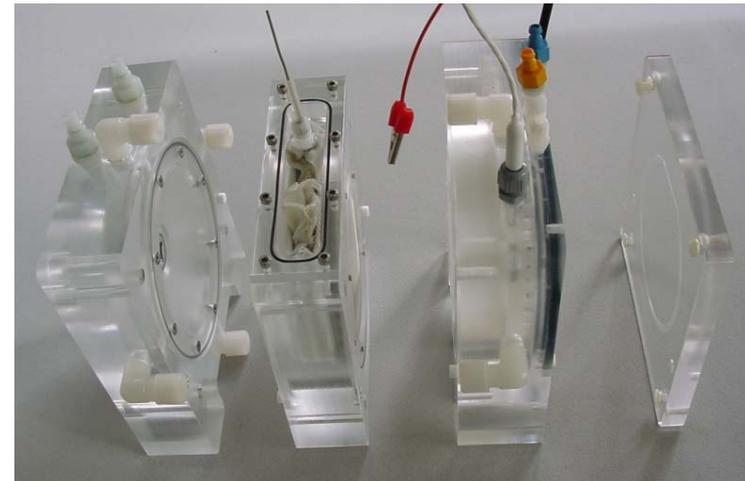
- kein Abkleben der Substrate
- einfacher Ein- und Ausbau der Substrate
- gleichmäßiges Aufwachsen (geringe Kantenüberhöhung)



„process unit“ für die Wafergalvanoformung



- neuartiges Anlagenkonzept
- modularer Aufbau
- vielseitige Einsatzmöglichkeiten
- einfache Prozessoptimierung
- erprobt für Nickel-, Kupfer- und Goldgalvanoformung



Strömungs-, Prozess- und Substratmodul

„process unit“ – Vorteile und Nutzen

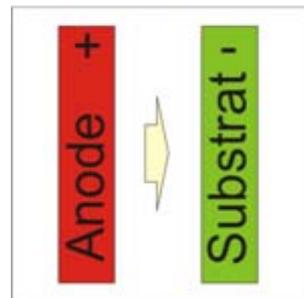
- **deutliche Kostenersparnis**
 - geringer Medien- und Energieverbrauch
 - Minimierung der Randbereiche (min. 3 mm) auf dem Substrat bzw. dadurch stark vergrößerte Nutzfläche
- **erhöhte Sicherheit**
 - kein direkter Kontakt mit giftigen und aggressiven Medien („geschlossenes“ System)
- **hohe Mobilität und Flexibilität**
 - modularer, nicht standortgebundener Aufbau
 - geringer Platzbedarf
 - variable Substrataufnahme (2-, 3-, 4-, 5-, 6- oder 8-Zoll-Wafer über Adapter abhängig von der Größe des Substratmoduls)
 - möglicher Einsatz im Batchverfahren mit zentraler Medienversorgung
 - Einsatz für Ätz- und Reinigungs- sowie für galvanische Prozesse
- **erhöhte Qualitätssicherung**
 - einfaches Single-Wafer-Processing
 - direkte Steuerung von Prozesstemperatur, Strömungsverlauf und -geschwindigkeit



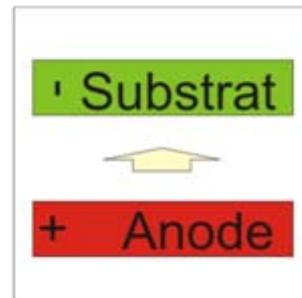
„process unit“ – Vorteile und Nutzen

➤ für galvanische Prozesse

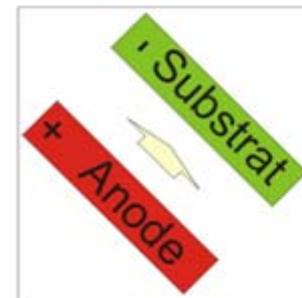
- Realisierung aller Substrat- bzw. Elektrodenpositionen



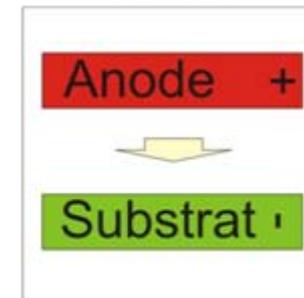
senkrecht



waagrecht



gewinkelt



waagrecht

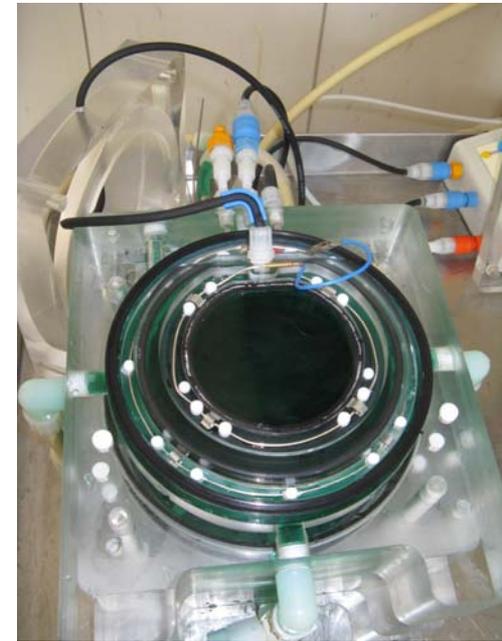
- Multilagen-Abscheidungen durch Elektrolytaustausch
- Nasschemische Vor- und Nachbehandlung durch Medien austausch
- Einsatz innerhalb des LIGA-Verfahrens

→ weitere Infos: M. Guttman et al., *Galvanotechnik*, 100 (2009) 2616-2624

„process unit“ im Einsatz

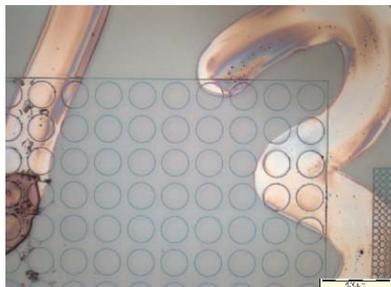
➤ Externe Peripherie

- Elektrolytbehälter mit eingebautem Filterkreislauf und Heizung
- Pumpe und Schläuche zur Regelung des Elektrolytdurchflusses
- Gasabscheider zur Entfernung von Wasserstoffansammlungen
- Galvanostat mit Elektrodenanschlüssen

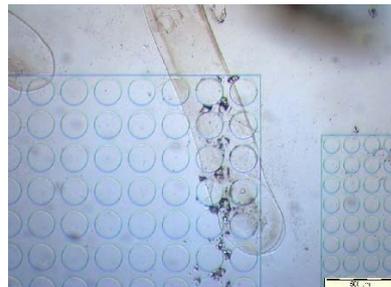


Ergebnis der Galvanoformung

- Qualität der Strukturen im Shim-Formeinsatz wird durch die Qualität der Masterstrukturen bestimmt
- Defekte und Abweichungen von den Sollmaßen werden unmittelbar in der Mikro- bzw. Nanostruktur des Shims abgebildet
- Während des Galvanikprozesses entstandene Defekte resultieren aus:
 - unvollständigem Auffüllen bei hohen Aspektverhältnissen,
 - fehlerhaften, nicht geschlossenen Metallisierungsschichten,
 - ungenügender Resisthaftung.



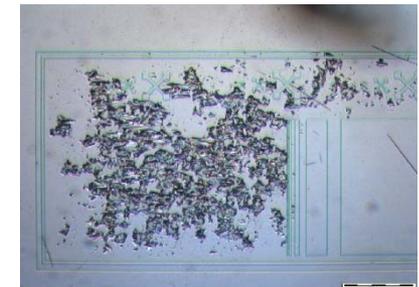
Glasmaster



Nickel-Shim



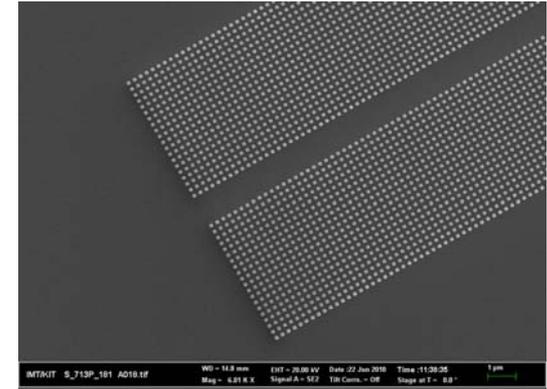
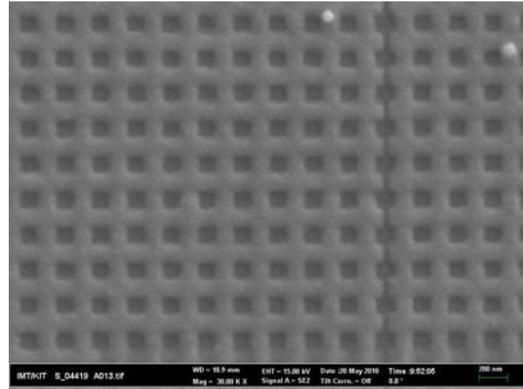
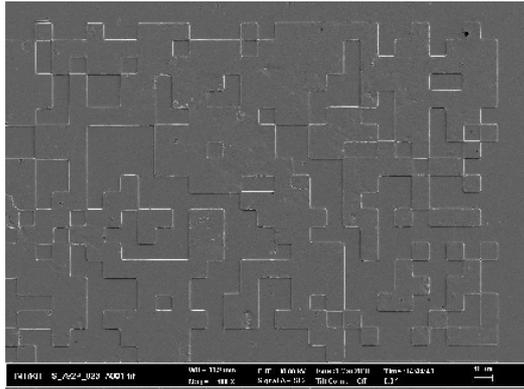
Glasmaster



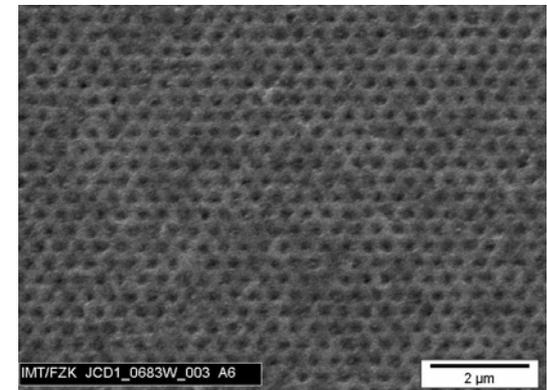
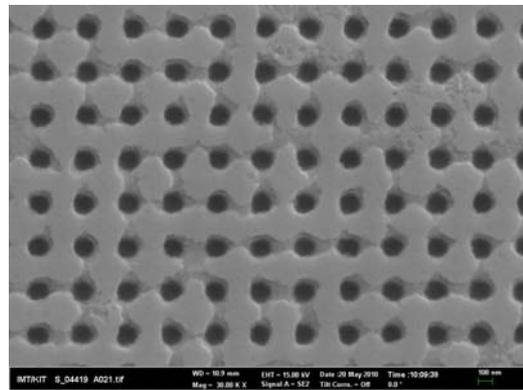
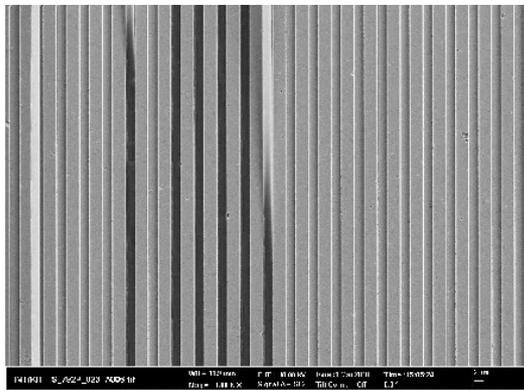
Nickel-Shim

Ergebnis der Galvanoformung

➤ Ohne Defekte

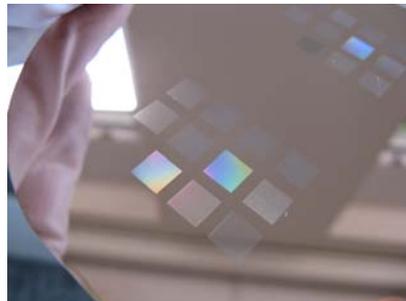
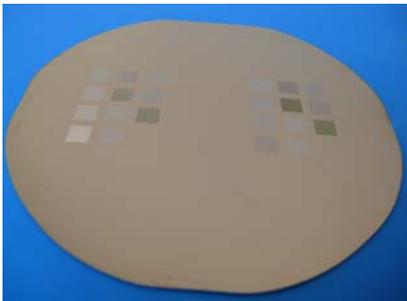
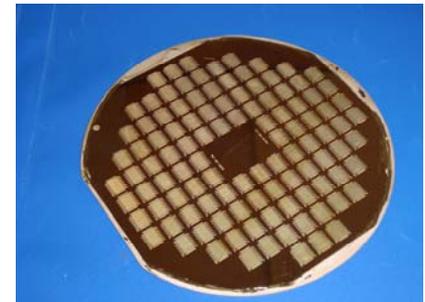
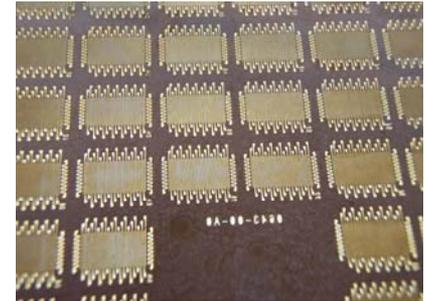


➤ Mit Defekten



Shims - Daten und Fakten

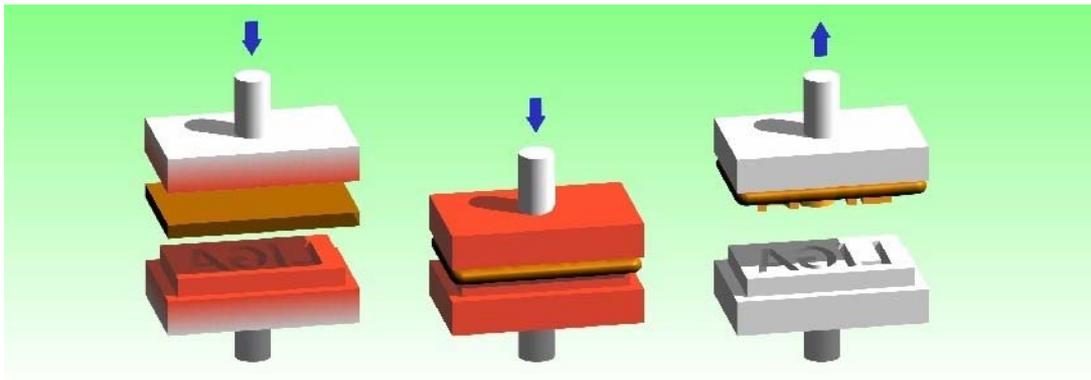
- Durchmesser: 88 mm (4-Zoll-Substrate) und 138 mm (6-Zoll-Substrate)
- Max. Layoutfläche: 2 mm kleiner Außendurchmesser
- Höhe: ~ 500 μm
- Max. Aspektverhältnis: 3,5
- Schichtdickenhomogenität: +/- 35 μm bzw. +/- 7 %
- Härte: 350 HV_{0,1}



Anwendungen der Shim-Formeinsätze

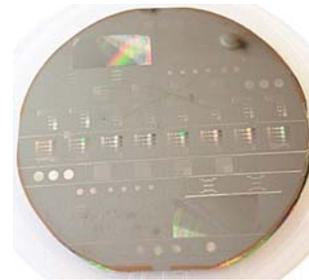
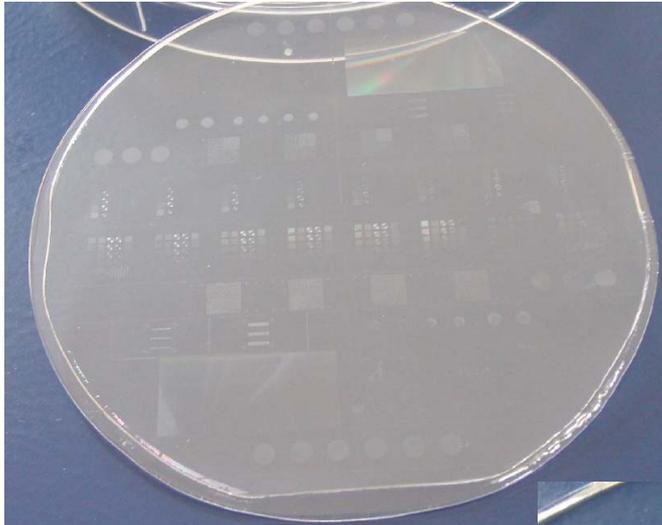
- Organische Halbleiterlaser und Wellenleiter in PMMA
- Optofluidische Lab-on-Chip Systeme
- Superhydrophobe Mikrofluidiksysteme
- Diffraktive optische Elemente

Voraussetzung: eingeführtes Replikationsverfahren für Kunststoffe
z.B. Spritzgießen, Thermoformen, **Heißprägen**

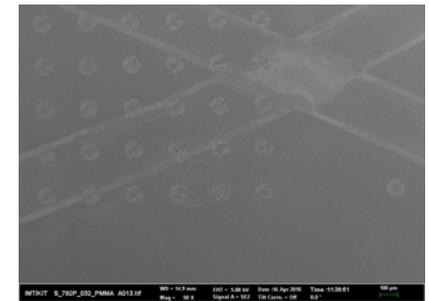
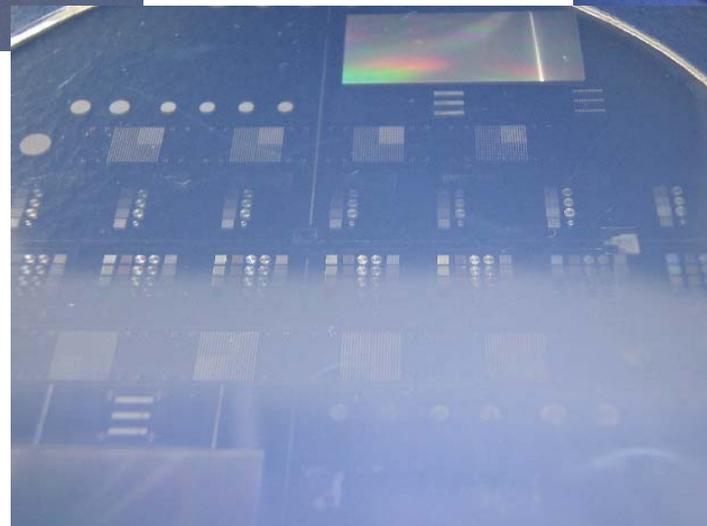
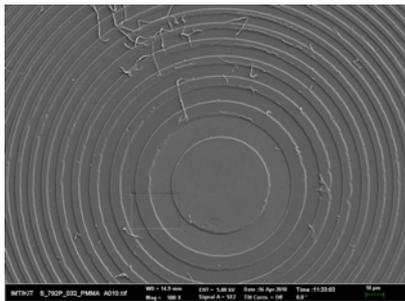
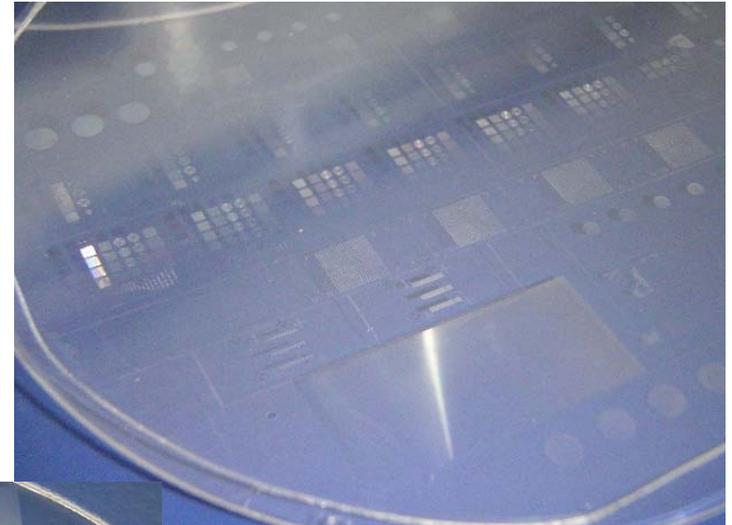


→ weitere Infos: M. Röhrig et al., *Galvanotechnik*, 101 (2010) 1646-1653

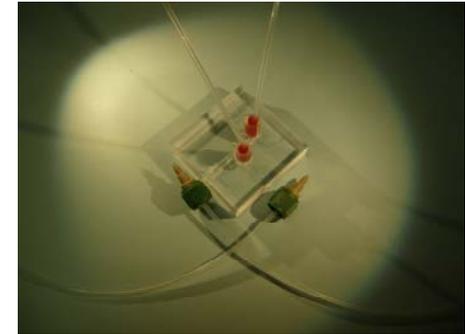
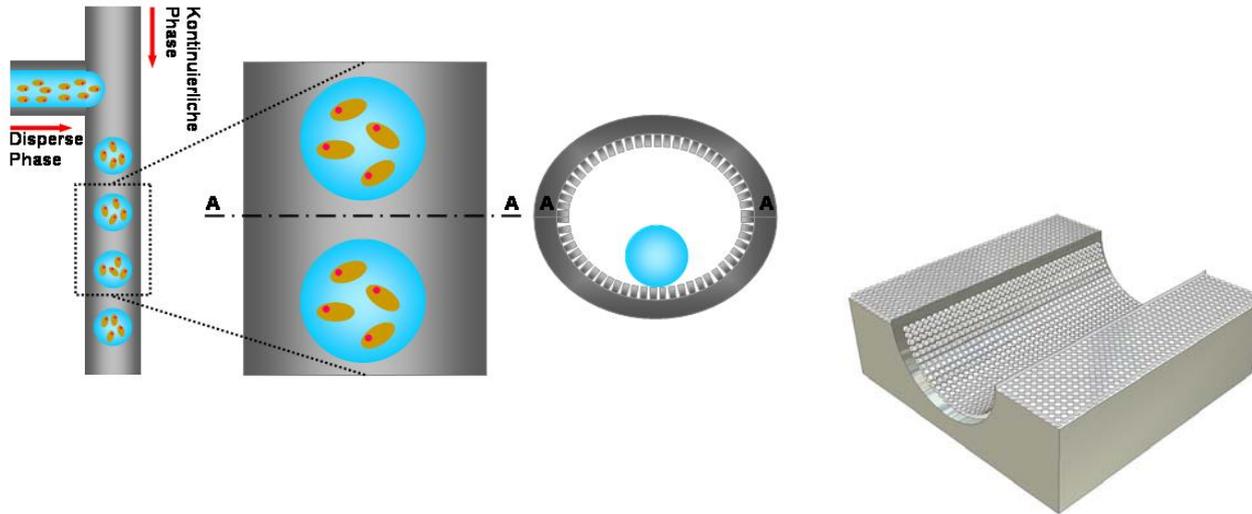
Diffraktive optische Elemente – Shim Abformung



Shim-FE



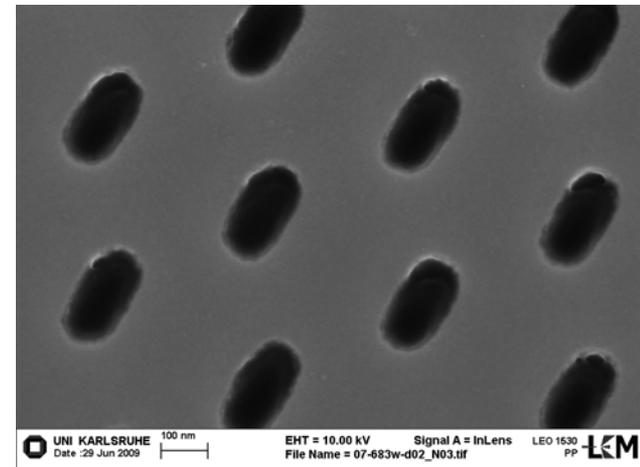
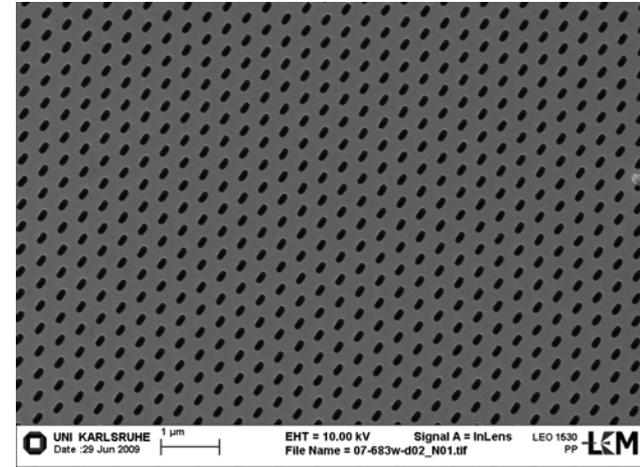
Superhydrophobe Mikrofluidiksysteme



- biomedizinische Anwendungen, z. B. Verkapselung von Zellen
- tröpfchenbasierte Systeme mit Auflösung nach Ort und Zeit
- kostengünstige Fertigung von Systemen in großen Stückzahlen
- Anforderung: Generierung von Tröpfchen mit konstant hohen Raten und konstantem Volumen
- Lösungsansatz: superhydrophobe Kanalwände führen zu periodischem Tröpfchenabbruch

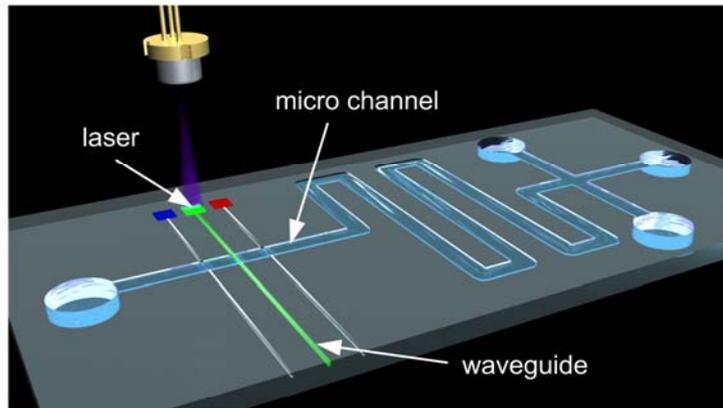


- Ovale Lochstruktur
- Strukturfeld: 4-Zoll rund
- Durchmesser 200 nm; Tiefe 300 nm
- Pitchmaß: 400 nm

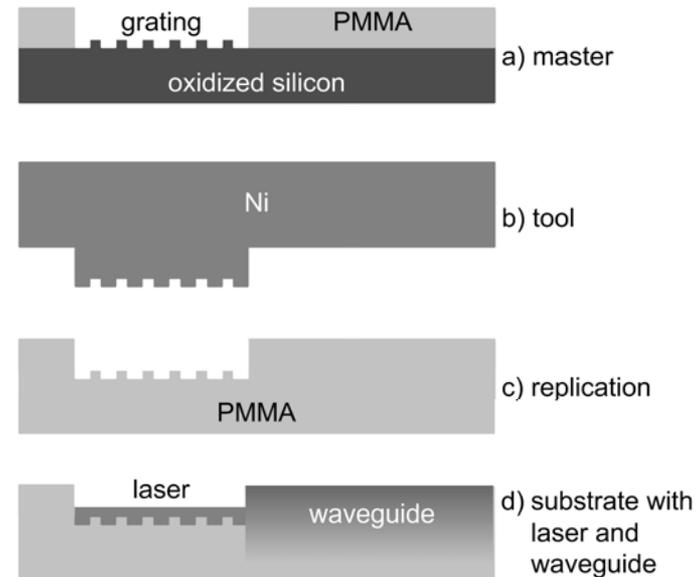


→ weitere Infos: L. Zimmermann, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, (2010)

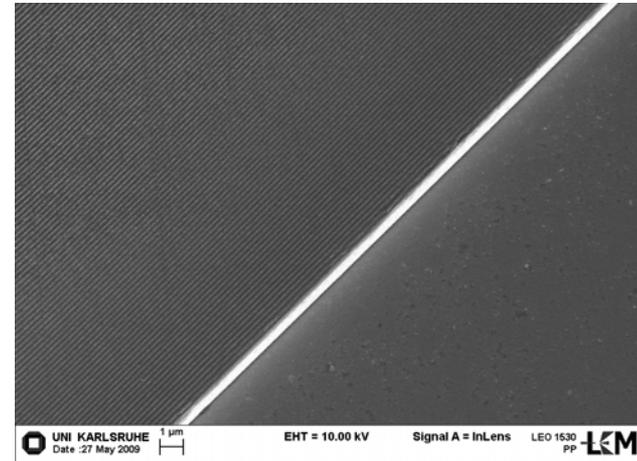
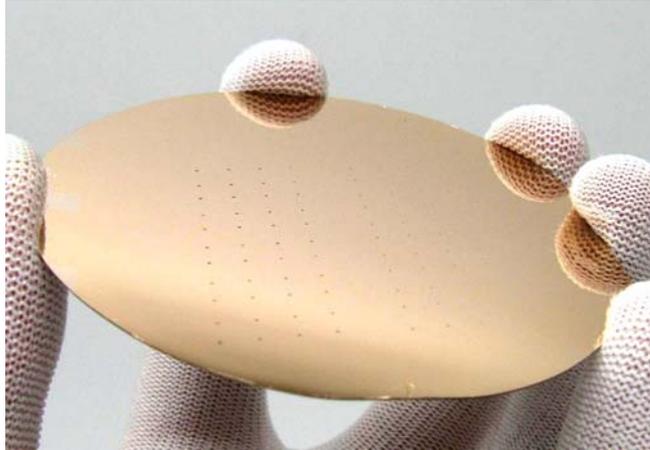
a) all organic lab-on-chip system



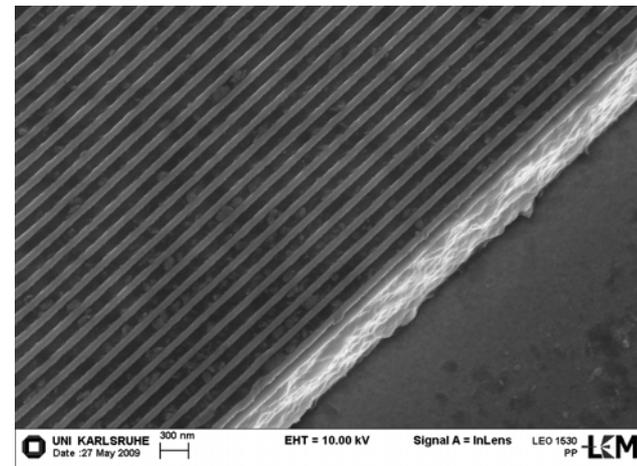
b) detection unit



- photonische Lab-on-Chip Systeme
- biomedizinische und chemische Vor-Ort-Analysen mit optischer Detektion
- Integration von organischen Halbleiterlasern und UV-induzierten Wellenleitern in PMMA zusammen mit einem Mikrofluidikkanal

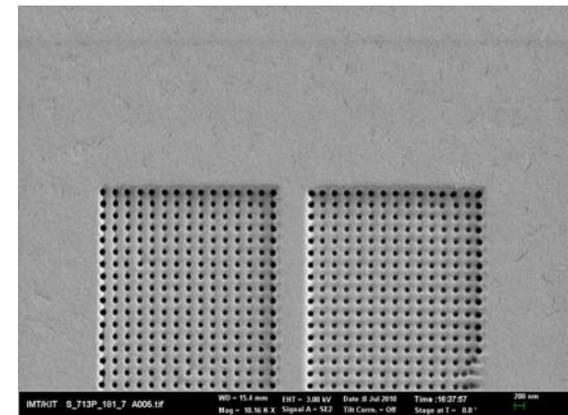
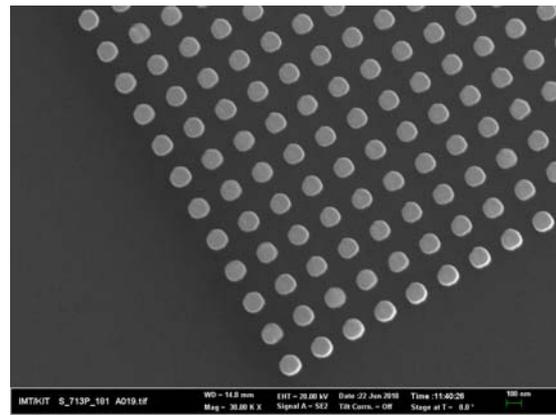
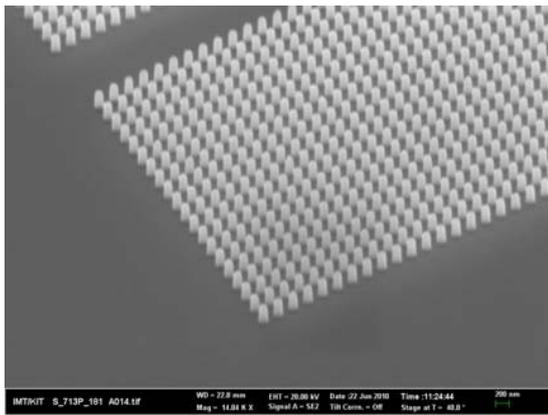


- um 1,7 μm vertiefte Grabenstruktur
- Strukturfeld: 500 x 500 μm^2
- Breite: 100 nm; Tiefe: 60 nm
- Periode: 200 nm



→ weitere Infos: C. Vannahme et al., *Microelectron. Eng.*, 87 (2010) 693-695

- biophotonischer Sensor
- Integration von organischen Halbleiterlasern und UV-induzierten Wellenleitern und optischer Transducer in PMMA in einem Mikrofluidikkanal
- optischer Transducer = photonische Kristallschicht mit Defektstruktur

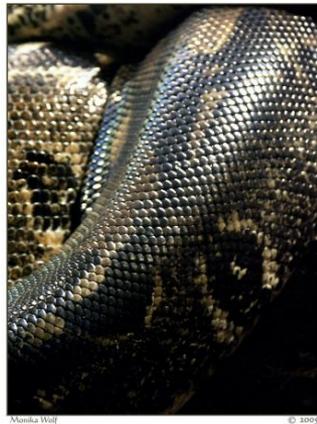
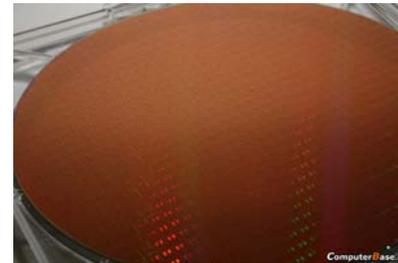


- Lochstruktur eines photonischen Kristalls
- Lochdurchmesser: 110 nm; Tiefe: 380 nm
- Gitterkonstante: 250 nm
- Abformungen in PMMA und COC

→ weitere Infos: M. Schelb et al.,
J. Biomed. Opt., 15 (2010) 041517

- ✓ Fertigungsprozesses zur Herstellung von Shim-Formeinsätzen entwickelt
- ✓ Variation der Fertigung in Bezug auf Substrattyp und -größe sowie Layout möglich
- ✓ Einsatz spezieller, kommerziell erhältlicher Anlagentechnik sowohl für die Elektronenstrahl-Lithographie als auch für die Galvanoformung erforderlich
- ✓ Strukturierung und galvanische Replikation von Strukturen im unteren Nanometerbereich realisierbar
- ✓ Einsatz der Shim-Formeinsätze beim Heißprägen von Kunststoff-Teilen für mehrere Anwendungen nachgewiesen
- ✓ Serienfertigung der Werkzeuge und der Abformteile realisierbar

- ? Einsatz der Shim-Formeinsätze beim Mikrospritzgießen
- ? Nanostrukturierung mikrostrukturierter Oberflächen (für die Mikrofluidik)
- ? Modifizierung von Oberflächen (z.B. Lotus-Effekt)



Vielen Dank für Ihr Interesse!

Weitere Informationen und Anfragen unter:

www.imt.kit.edu



www.knmf.kit.edu

www.actmost.eu

