



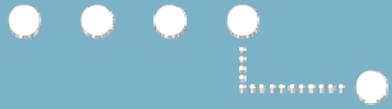
Microprocessing of transparent materials with ps-laserpulses

Applied Laser, Photonics and Surface technologies ALPS

Team Laser Surface Engineering:

Dr. Guido Bucher, Dr. Valerio Romano, Dipl. Ing. Christian Nussbaum, Dipl. Ing. Benjamin Joss, Dipl. Ing. Martin Muralt, Dipl. Ing. Michael Affolter, Joseph Zürcher, Peter Schütz, Urs Hunziker, Toni Negro, Julia Boas

- Markieren
- Strukturieren
- Bohren von Lithium Niobat
- Schmelzschiessen
- Beschichten

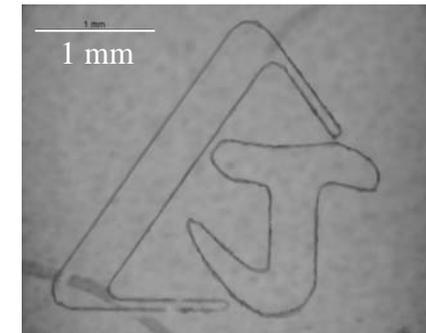
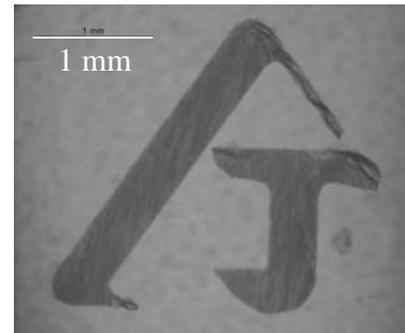


Innenmarkieren von Saphir

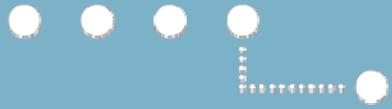
Uhrenglas aus Saphir:



Mit 355 nm Wellenlänge lässt sich sehr gut eine Innengravur von Saphir erzielen.



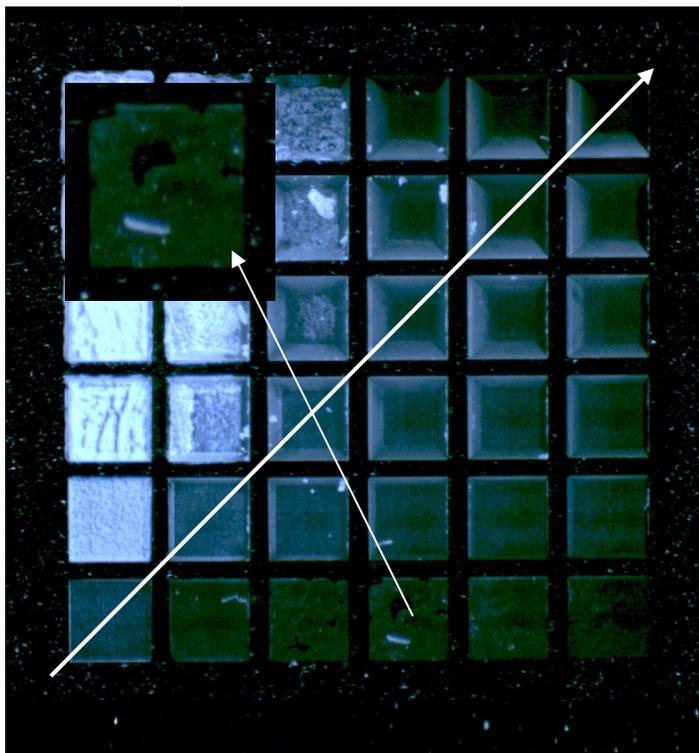
Mit einigen Fehlversuchen zu Beginn ist zu rechnen.



Strukturieren

Strategien:

Mehrmaliges, kreuzweises abfahren einer Ebene mit unterschiedlichen Pulsenergien und Vorschubgeschwindigkeiten.



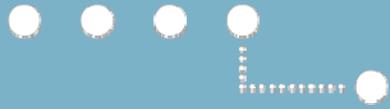
Grosse Auswürfe bei hohen Pulsenergien und kleinen Vorschubgeschwindigkeiten.

-> Reinigen

Geeignete Kombinationen bezüglich Geschwindigkeit und Oberflächenqualität.

Hohe Geschwindigkeiten bei tieferen Pulsenergien führen zu einem unvollständigen Abtrag.

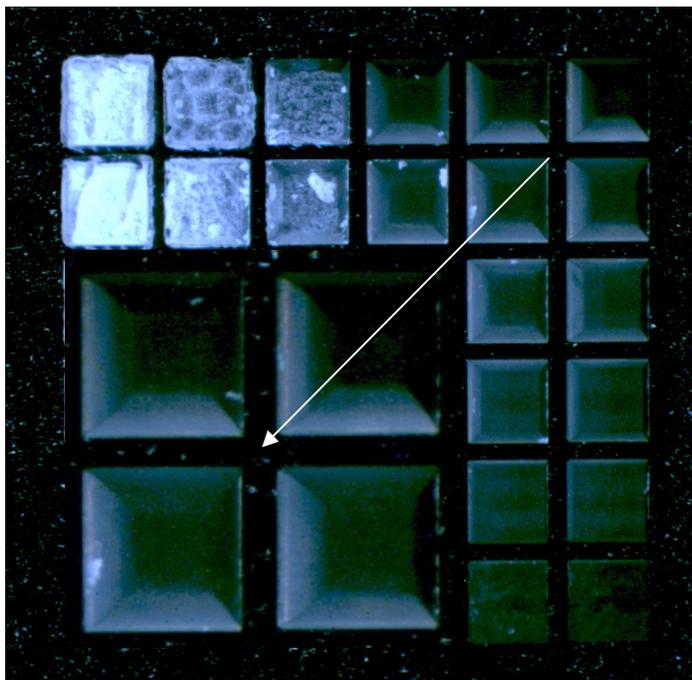
Das ist ein Hinweis darauf, dass es sich um einen kombinierten Prozess Verdampfen und mechanisch „abplatzen“ handelt.



Strukturieren

Strategien:

Mehrmaliges, kreuzweises abfahren einer Ebene mit unterschiedlichen Pulsenergien und Vorschubgeschwindigkeiten.



Grosse Auswürfe bei hohen Pulsenergien und kleinen Vorschubgeschwindigkeiten.

-> Reinigen

Geeignete Kombinationen bezüglich Geschwindigkeit und Oberflächenqualität.

Bei tiefen Strukturen entstehen schräge Wände.

Der Winkel kann durch Parameteroptimierung und Nachführen des Fokus leicht beeinflusst, aber nicht eliminiert werden.

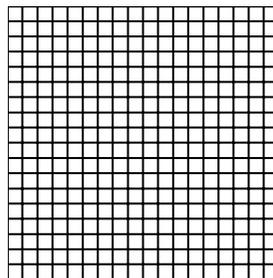
-> Kippen der Probe von Ebene zu Ebene.

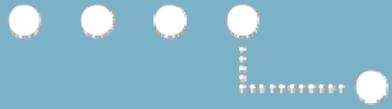


Strukturieren

Strategien:

Die Oberflächenqualität kann gesteigert werden, wenn das Kreuzmuster von Ebene zu Ebene langsam gedreht wird.

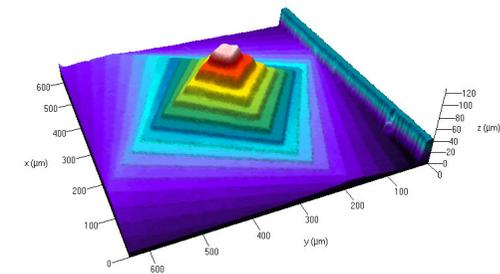
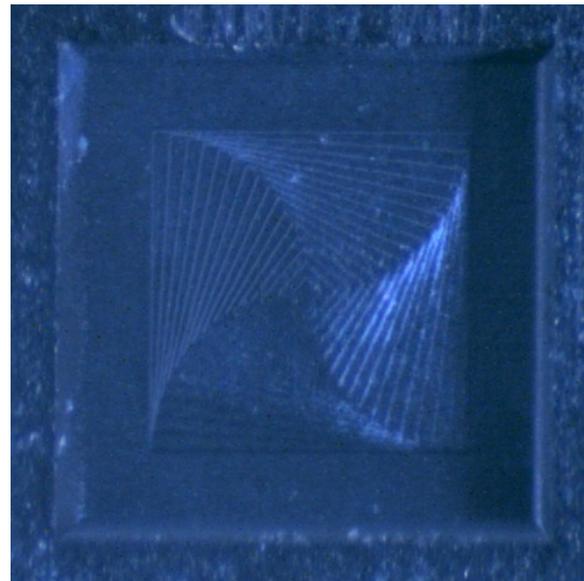
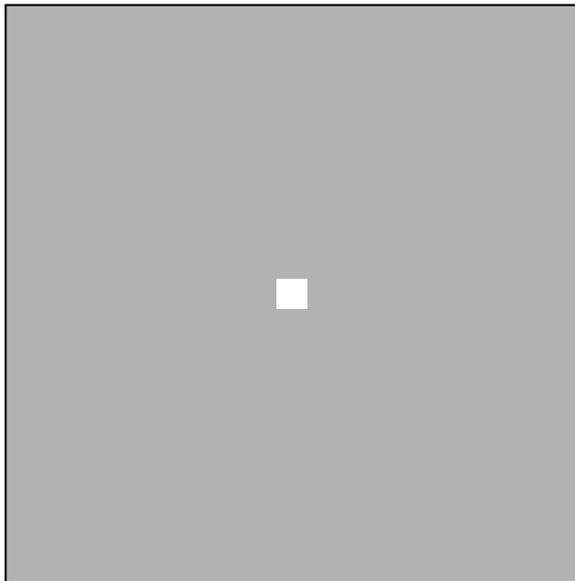




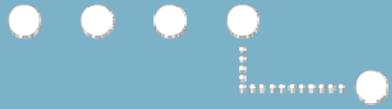
Strukturieren

Strategien:

Die gewünschte Struktur wird in mehrere Ebenen zerlegt, die einzeln abgefahren werden.

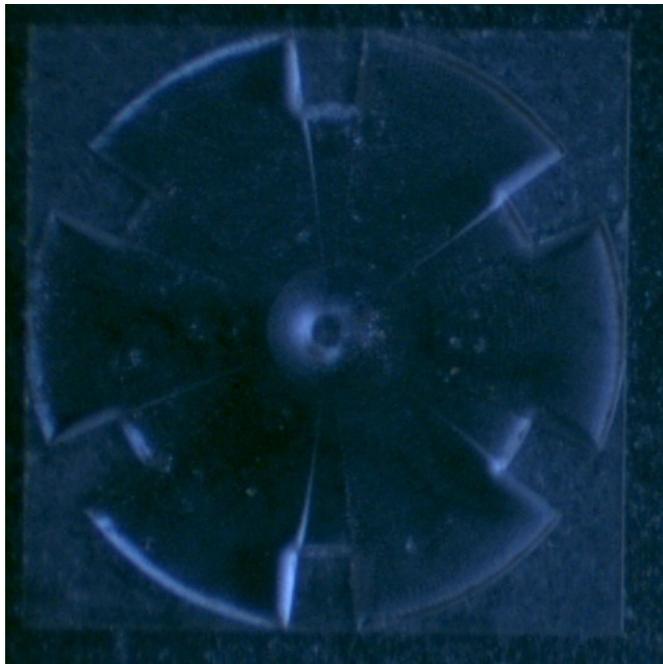


Verdrillte Pyramide in Saphir.

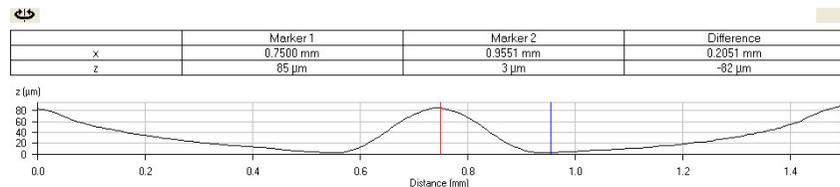
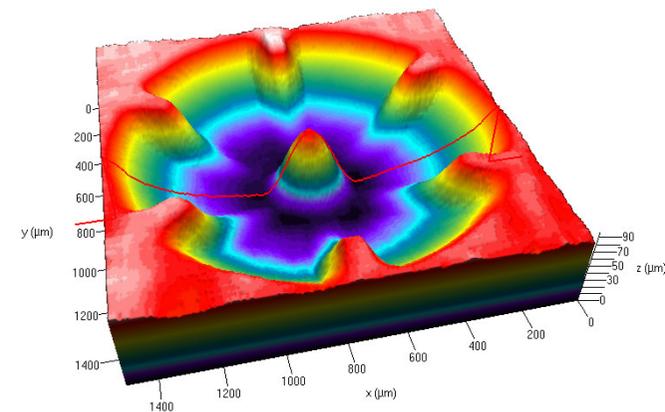


Strukturieren

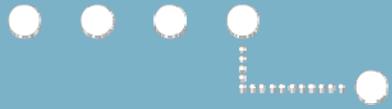
Einige Beispiele:



3d Struktur in Saphir

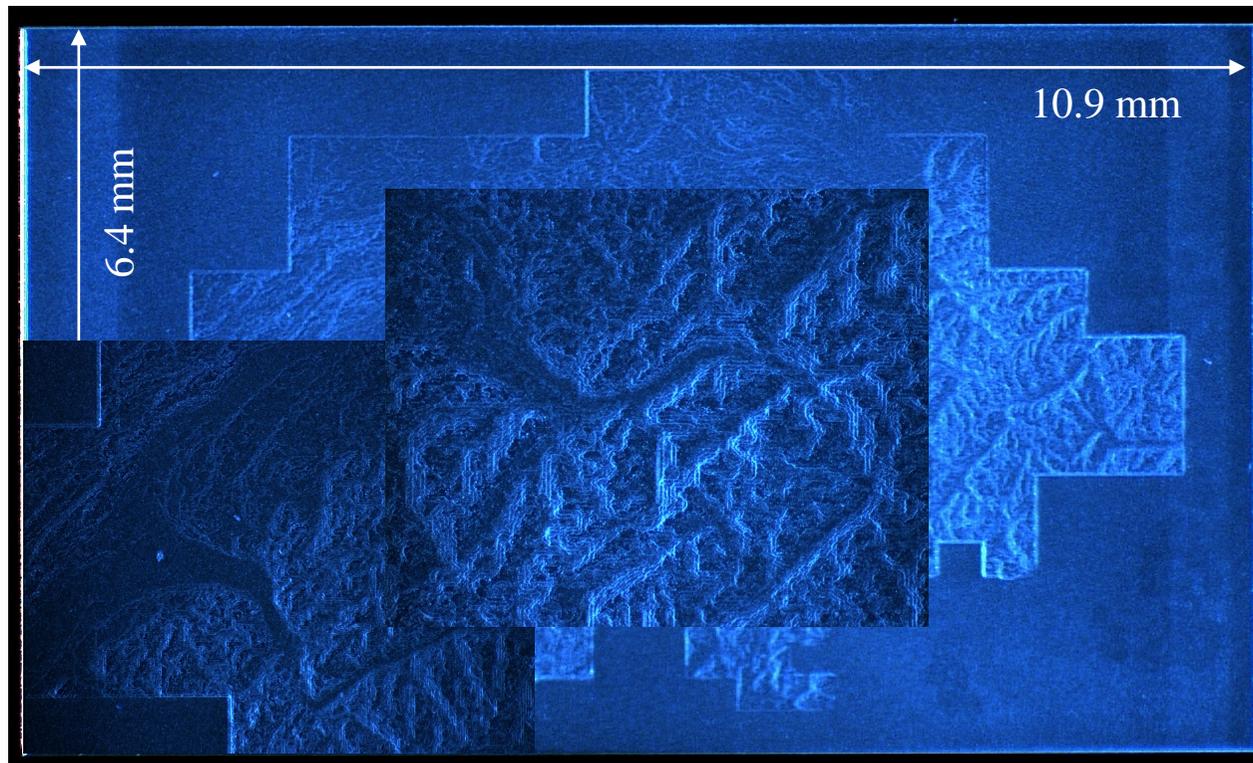


z —



Strukturieren

Einige Beispiele:



Topographie der Schweiz in Saphir

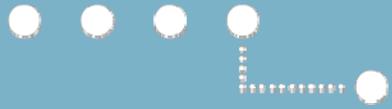
Raster 1000mx1000m

powered by SwissTopo

Das 1000m-Raster ist deutlich sichtbar und ist für diese Dimension der Struktur zu grob.

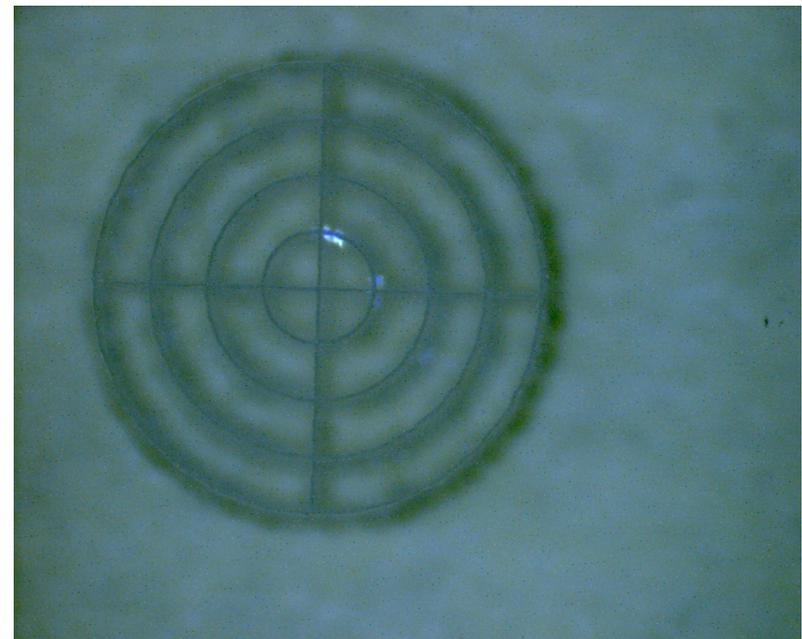
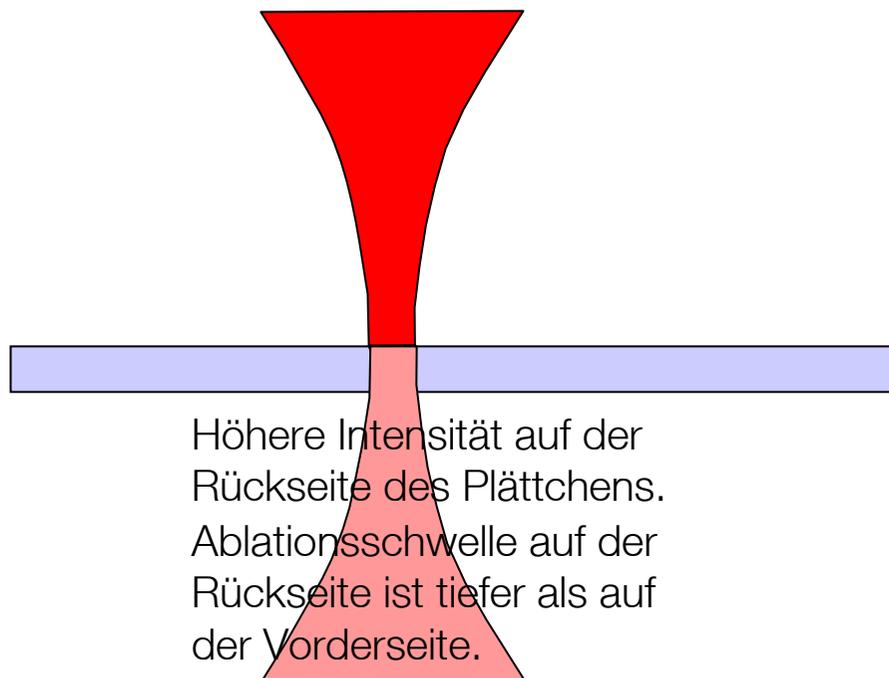
-> kleinere Struktur
(bis 4mm Breite
realisiert in Cu)

-> kleineres Raster
(250m Raster in
Arbeit)

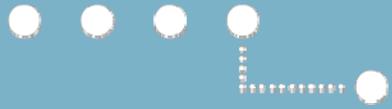


Strukturieren

Selbstfokussierung durch Kerr-Effekt:

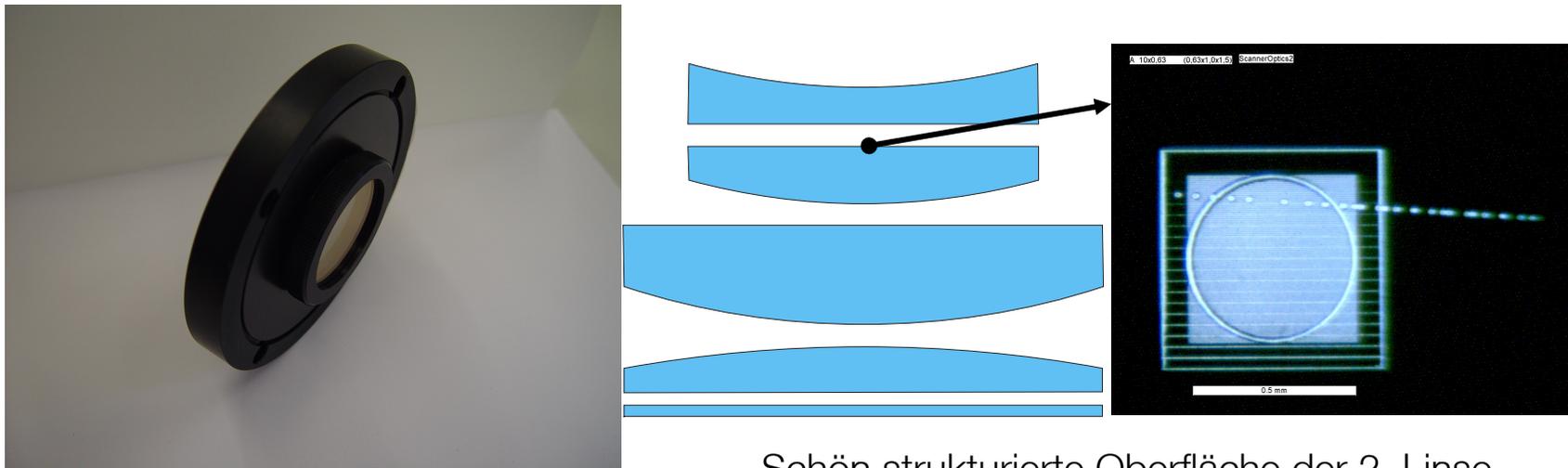


Möglichkeit zum Generieren desselben Musters auf der Rückseite und auf der Vorderseite.



Strukturieren

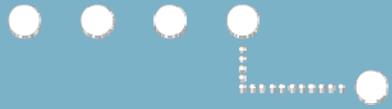
Schaden an einem telezentrischen Objektiv für 355 nm:



Schön strukturierte Oberfläche der 2. Linse.

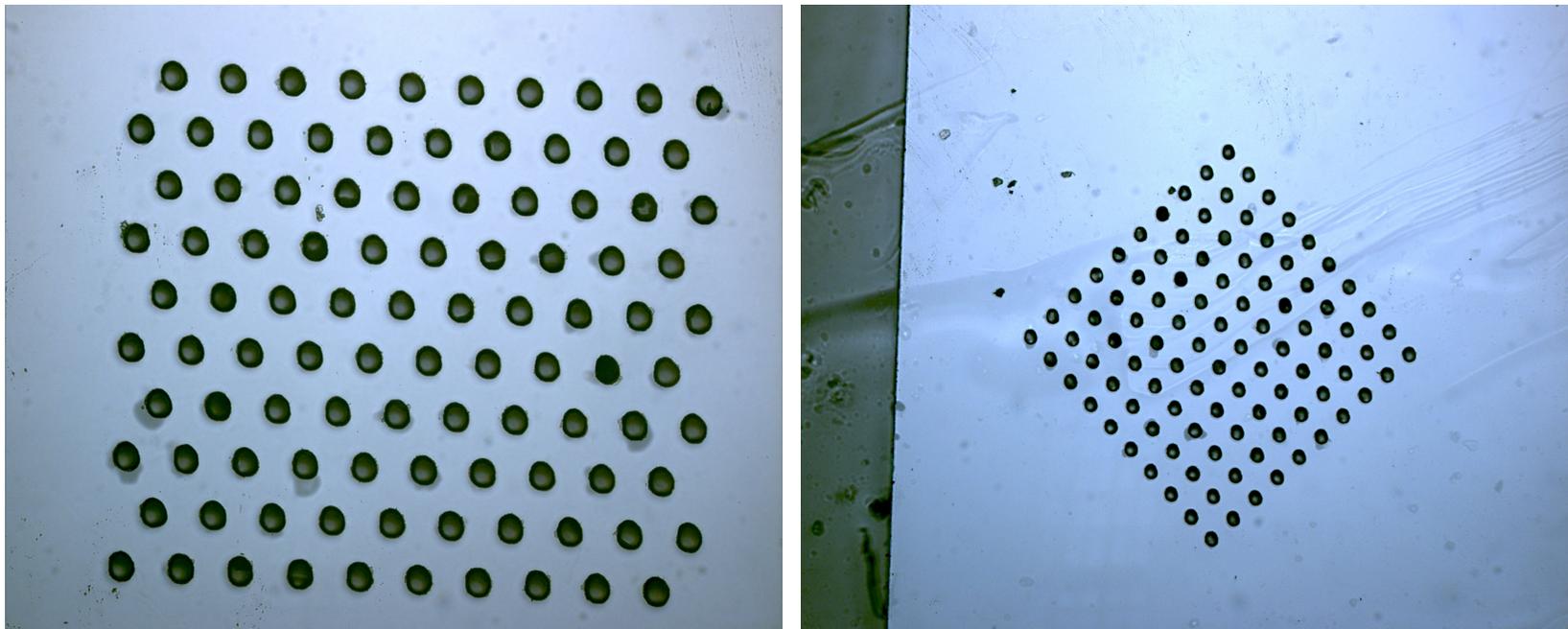
Wahrscheinlich Rückreflexe von einer Oberfläche die nicht exakt in der Fokusebene lag.

Wir sehen, mit ps-Pulsen lassen sich sehr gut transparente Materialien strukturieren, manchmal auch an unerwünschten Orten.



Bohren von Lithium Niobat

Ziel: Herstellung photonischer Kristalle für THz Wellen

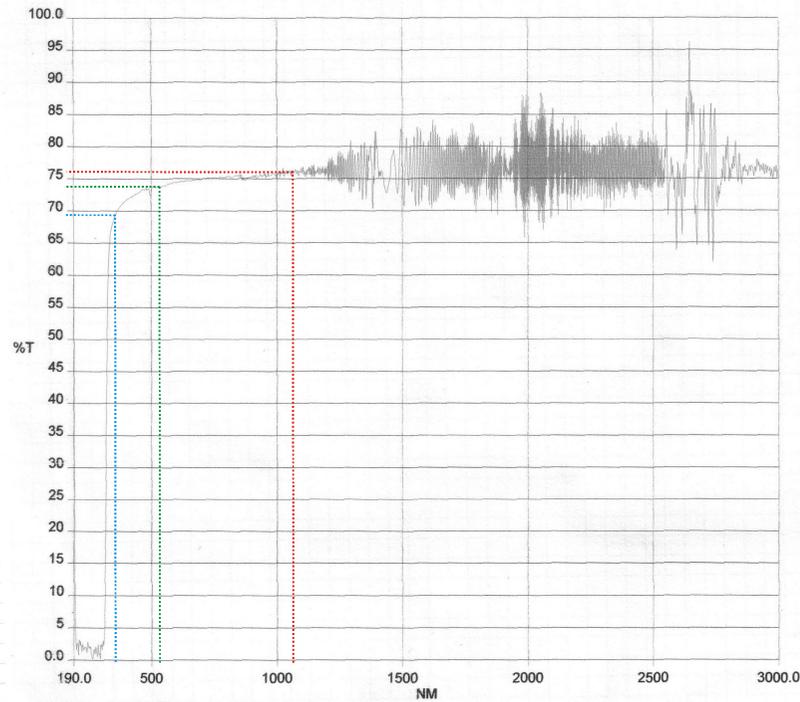


Gefordert: Speziell Anordnung zylindrischer Bohrungen mit einem Durchmesser von ca. 50 μm in Lithium Niobat-Plättchen von 100 μm , 200 μm und 500 μm Dicke.

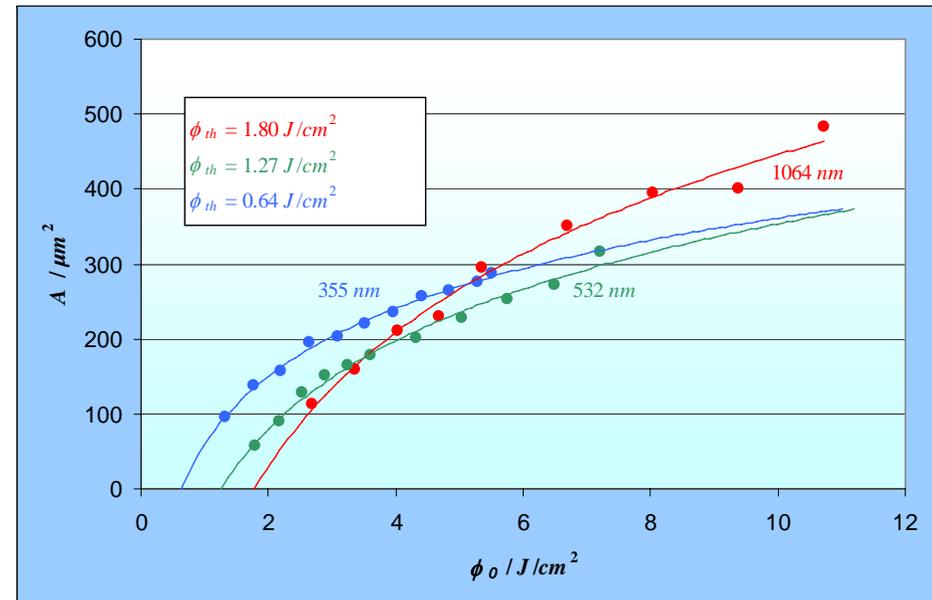


Bohren von Lithium Niobat

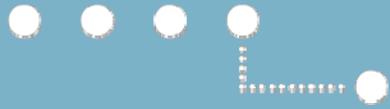
Transmission:



Wir erwarten tiefere Schwellen bei kleineren Wellenlänge.

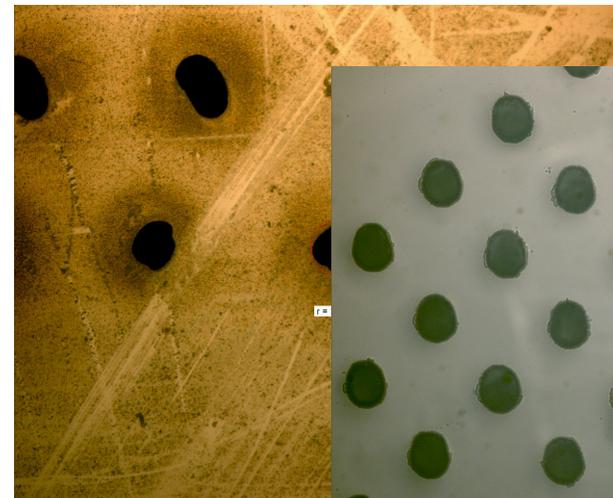
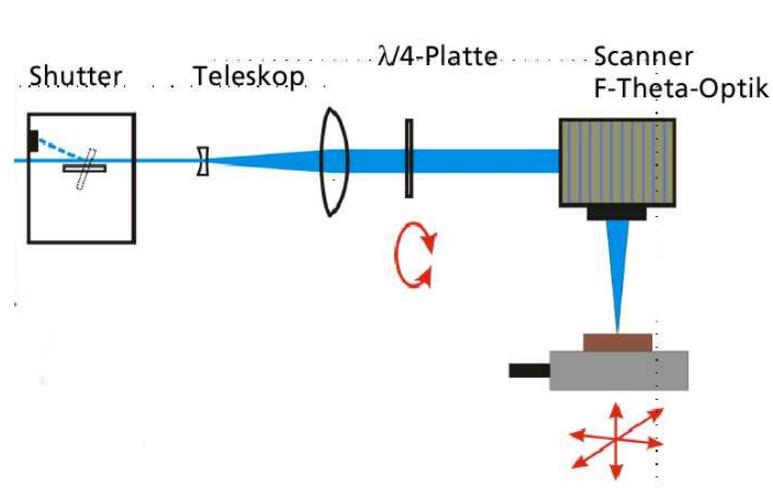


Bohren bei 355 nm.



Bohren von Lithium Niobat

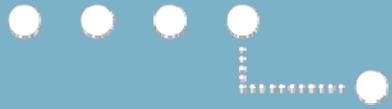
Wendelbohren mit Scanner und F-Theta-Optik:



Problem:

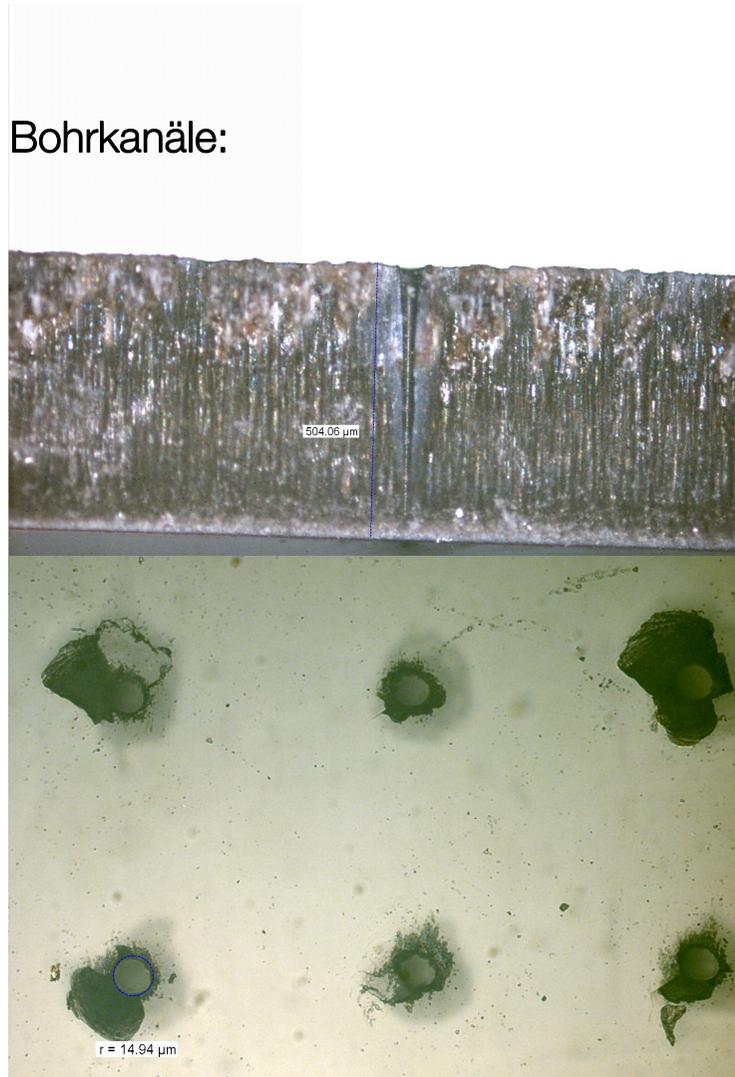
Mehrmaliges Abfahren eines Kreises von ca. 50 μm Durchmesser bei einer Scanner-Auflösung von ca. 10 μm .

-> Viel Arbeit bei der Optimierung der Scannerparameter (Delay-Zeiten)



Bohren von Lithium Niobat

Bohrkanäle:



Der Durchmesser des Bohrkanals nimmt nach unten hin stark ab. Der Effekt wird stärker, je dicker das Plättchen ist.

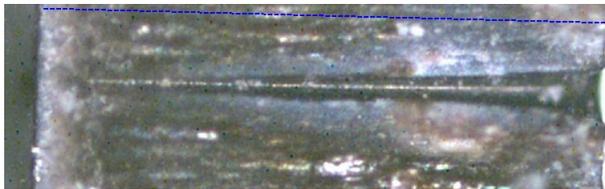
Der Austrittsdurchmesser lässt sich durch die Bohrdauer kaum beeinflussen. Ist die Bohrung einmal „durch“, bleibt sie praktisch unverändert.

Eine Erhöhung der Pulsenergie führt zu Ausbrüchen am Ein- und am Austritt der Bohrung.

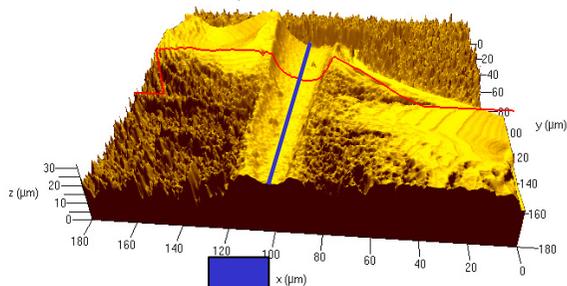


Bohren von Lithium Niobat

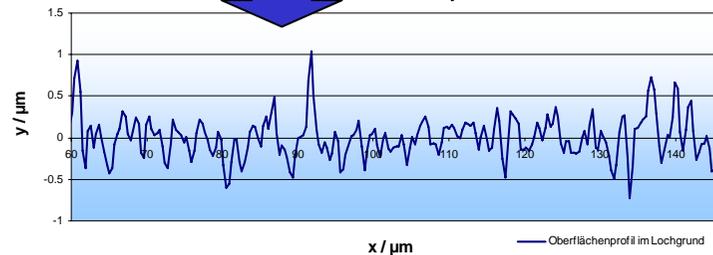
Bohrkanäle:



LSM Messung



Linienprofil



Oberflächenrauheit:

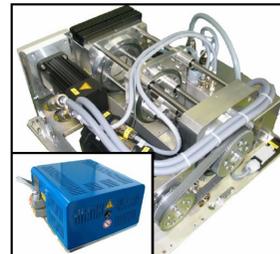
$$R_t = y_{\max} - y_{\min} = 1.8 \mu\text{m}$$

$$R_a = 0.190 \mu\text{m} \rightarrow N3$$

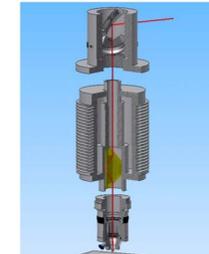
Die mittlere Oberflächenrauheit im Bereich der Wellenlänge führt zu starker Streuung an den Wänden des Bohrkanals.

Ob das für die Stagnation der Ablation im Bohrkanal verantwortlich ist entzieht sich unserer Kenntnis.

Wendelbohroptik wäre von Vorteil.



FGSW

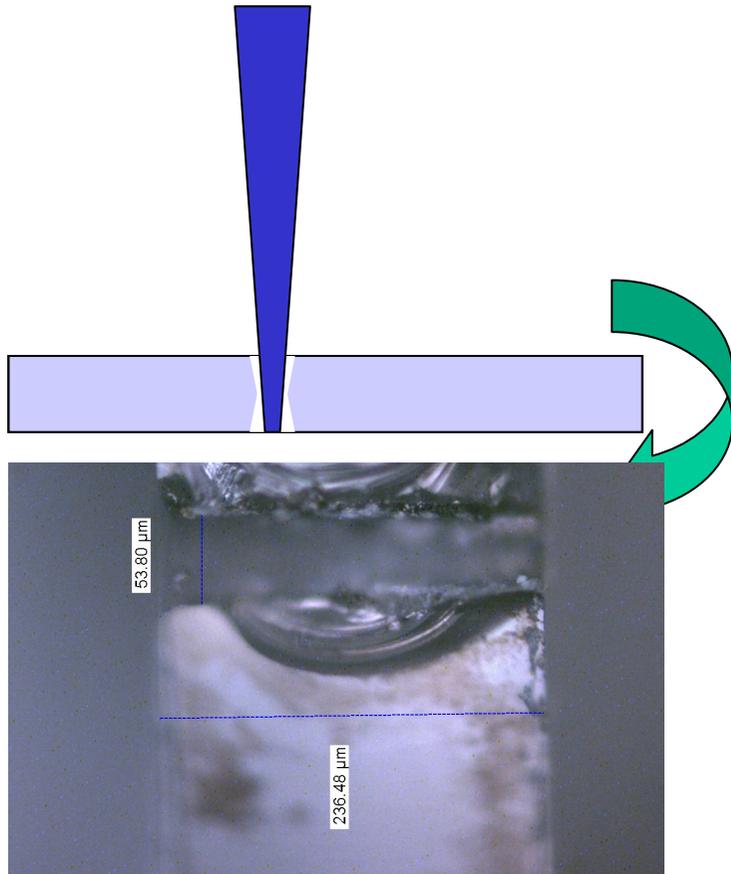


ILT



Bohren von Lithium Niobat

Zweiseitiges Bohren:



Bohren von einer Seite

Plättchen kehren

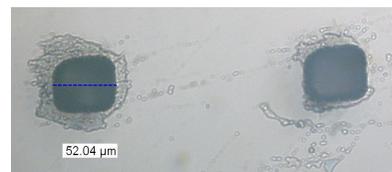
Erneut Bohren

Wir erwarten einen wesentlich zylinderförmigeren Bohrkanal

Generell ist aber festzuhalten, dass Scanner zum Mikrobohren nur bedingt geeignet sind.

Dafür lassen sich alternative Lochformen realisieren.

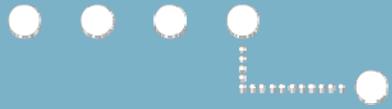
Quadratische Löcher



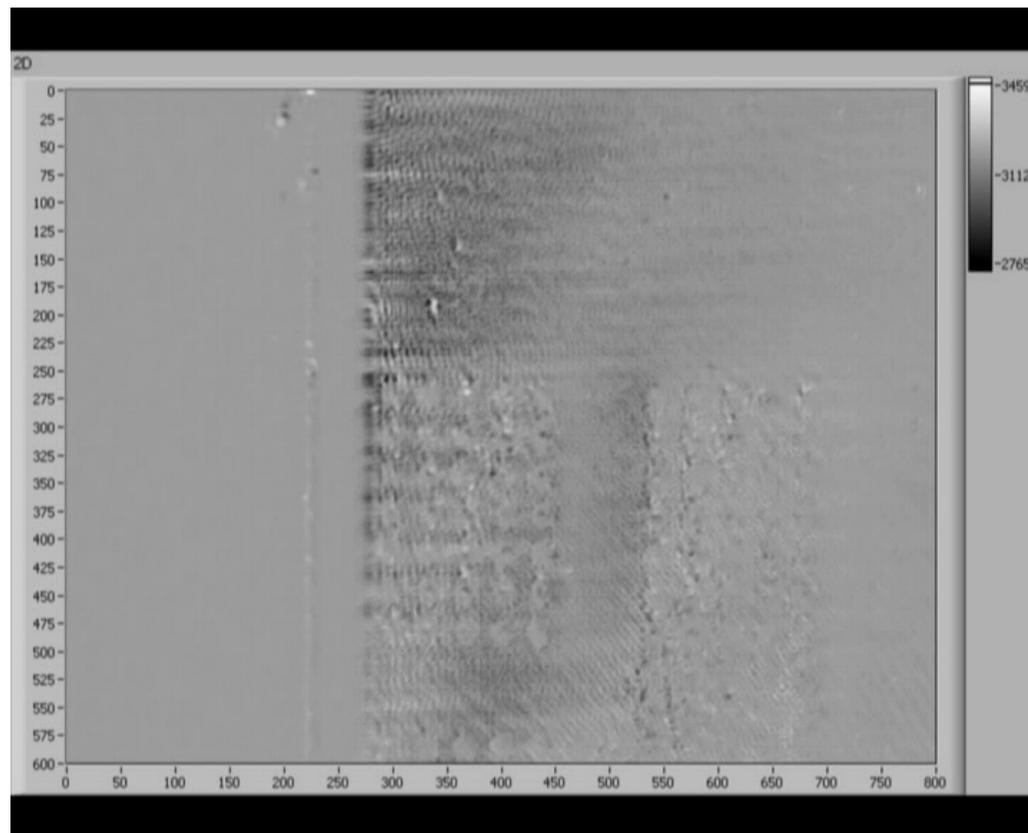
Eintritt

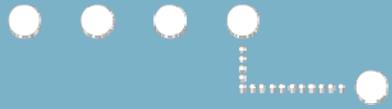


Austritt



Bohren von Lithium Niobat





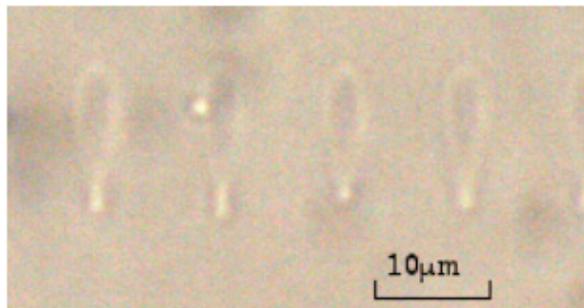
Schmelzschweissen

Isamu Miyamoto, Osaka University

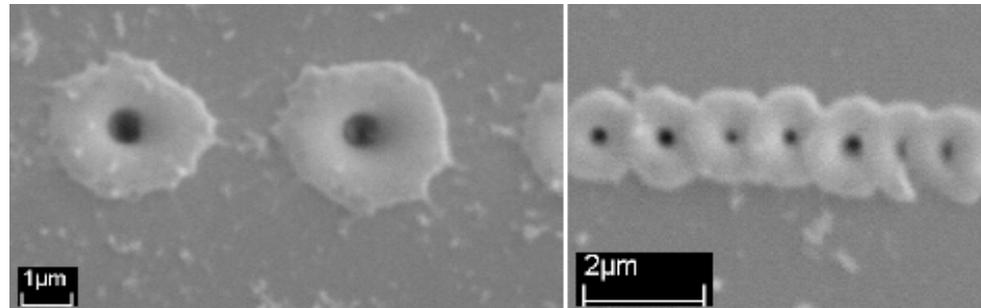
Alexander Horn und Jens Gottmann, RWTH-Aachen

Bei starker Fokussierung führen nichtlineare Effekte zu starker Absorption in transparenten Materialien. Dadurch wird das Material lokal aufgeschmolzen (trotz der kurzen Pulsdauer)

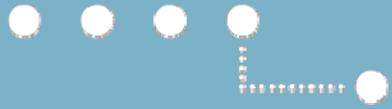
Beispiel: Pulsdauer 16ps, Pulsenergie 4-5 μ J



Interne Modifikationen in
Quarzglas



Oberflächen aufschmelzung auf der Unterseite eines
Borosilicat Glases (Schott D263)



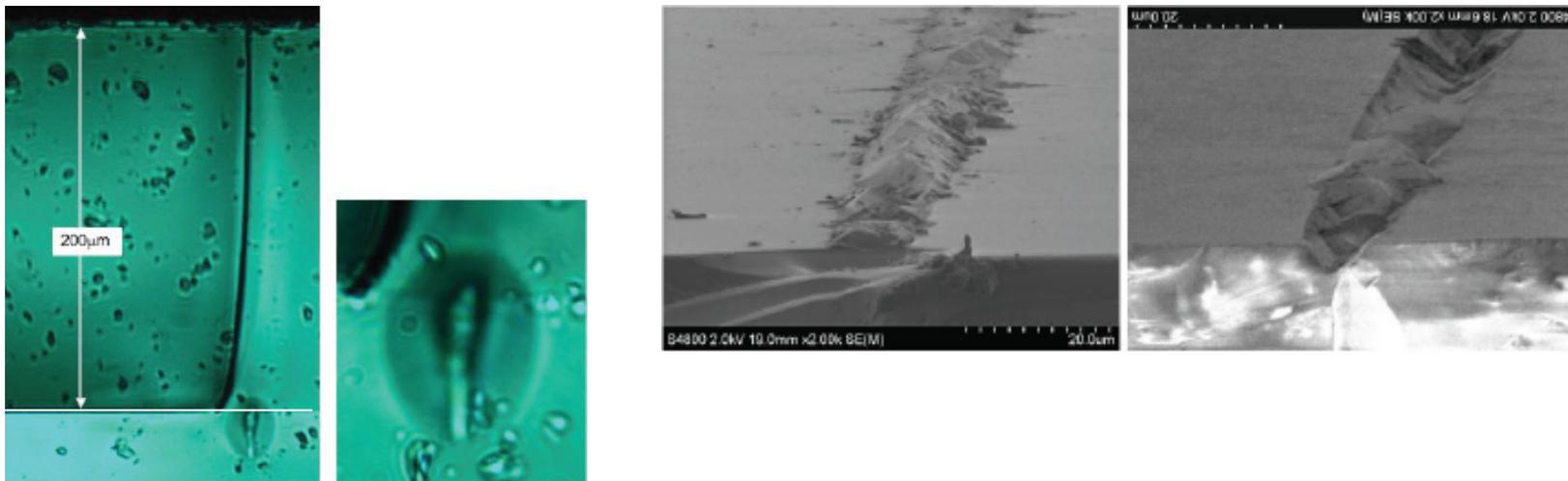
Schmelzschiessen

Isamu Miyamoto, Osaka University

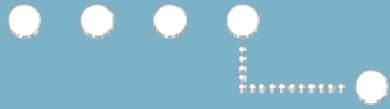
Alexander Horn und Jens Gottmann, RWTH-Aachen

Bei starker Fokussierung führen nichtlineare Effekte zu starker Absorption in transparenten Materialien. Dadurch wird das Material lokal aufgeschmolzen (trotz der kurzen Pulsdauer)

Verschweissung eines 200 μm mit einem 1mm dicken Borosilicat Glases.

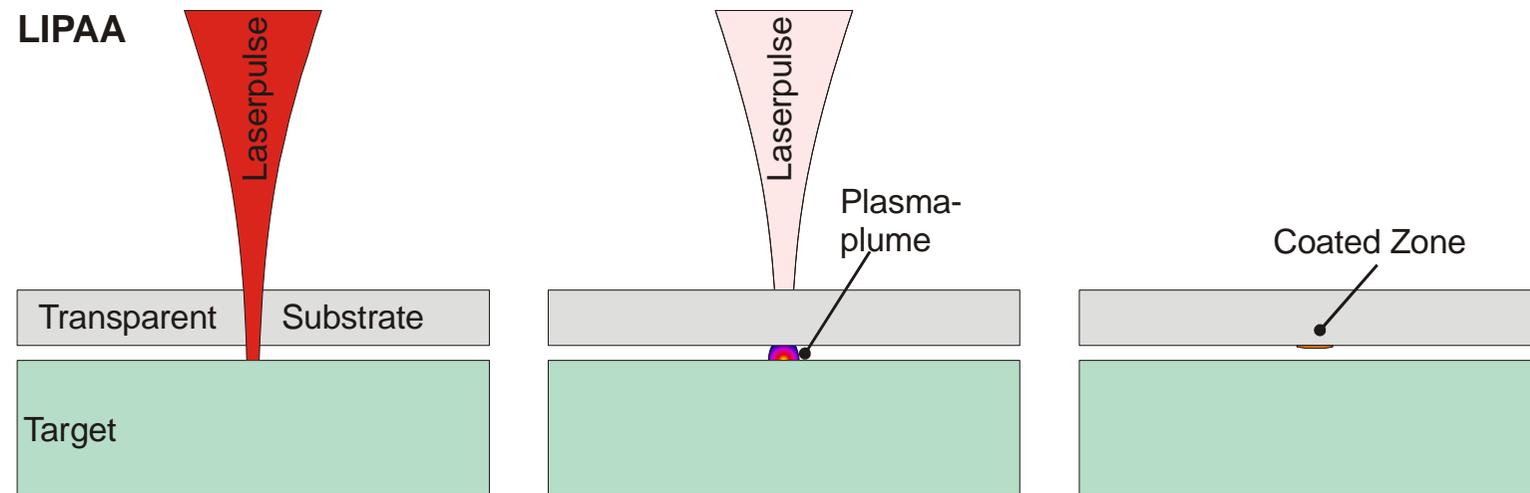


Möglichkeit zur Erzeugung sehr dünner und starker Schweißungen.



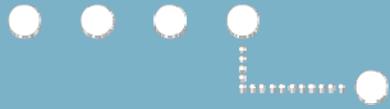
Beschichten

Beschichten mit einem LIPAA-Prozess:



Variiert werden:

- Target Material
- Pulsenergie
- Vorschubgeschwindigkeit
- Abstand Target Substrat
- Umgebungsbedingungen (Druck, Schutzgas)



Beschichten

Einzelpunkte ($\lambda = 532 \text{ nm}$, $E_p = 3 \mu\text{J}$, $w_0 = 12.5 \mu\text{m}$, Target Aluminium):

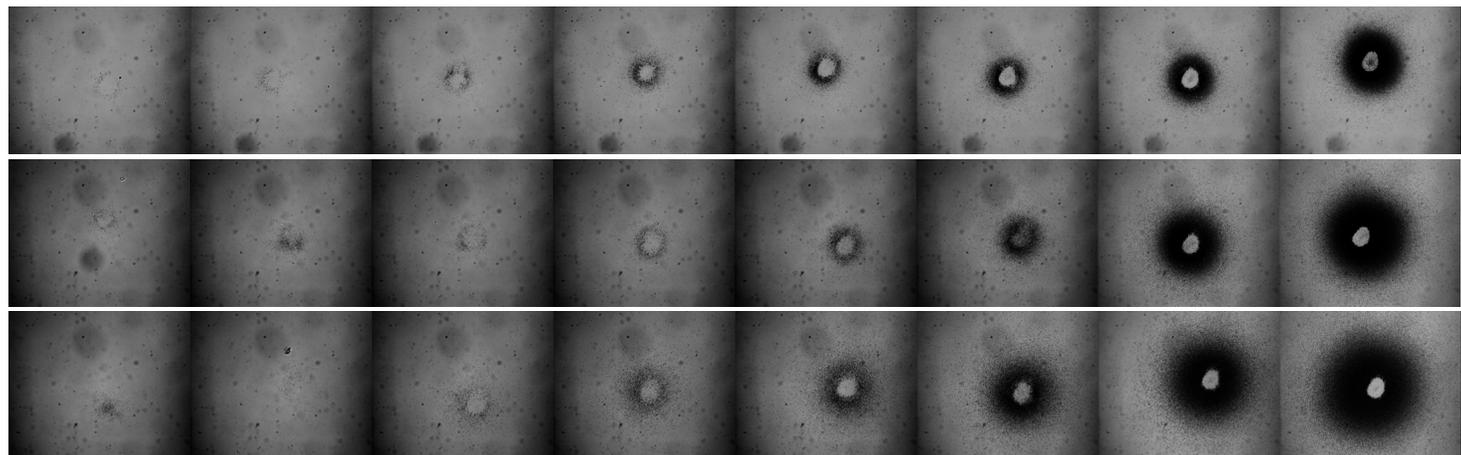
Anzahl Pulse 1 2 4 8 16 32 64 128

Abstand

10 μm

50 μm

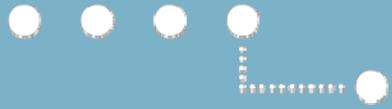
100 μm



Bei wenigen Pulsen ergibt sich bei kleinem Abstand eine ringförmige und bei grossem Abstand eine kreisförmige Struktur.

Steigt die Anzahl Pulse an, wird in der Mitte ein grosser Teil der Beschichtung wieder zerstört.

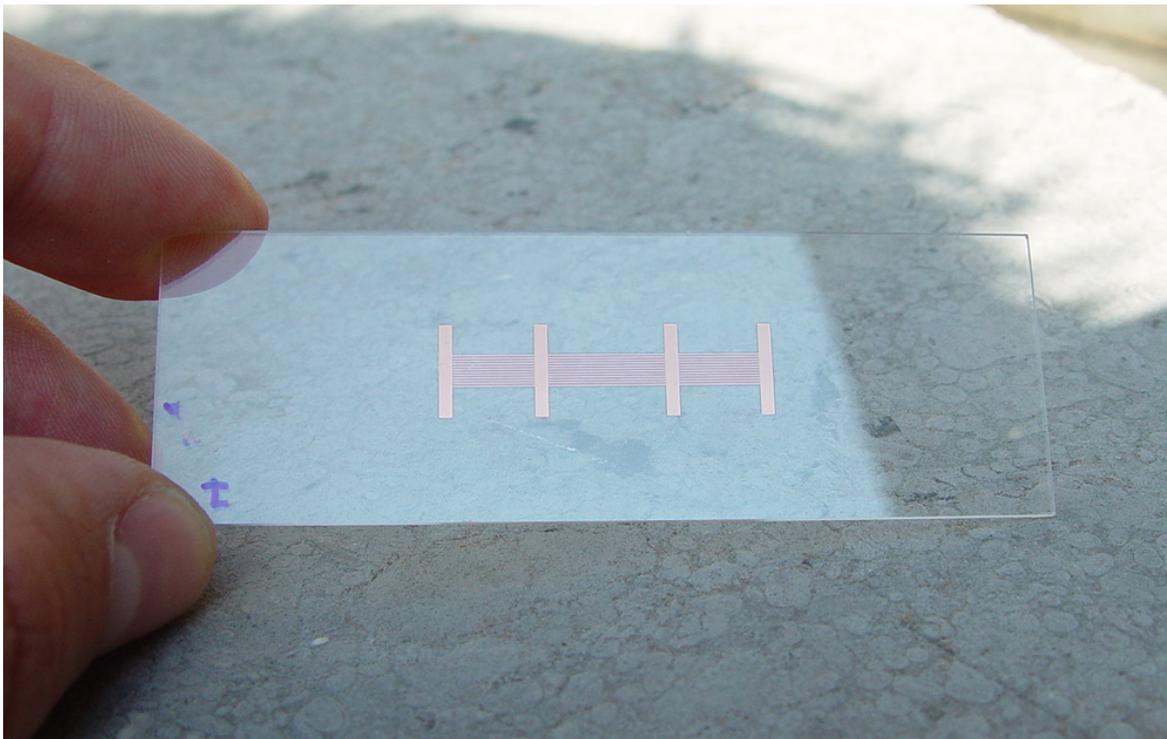
Der Durchmesser der beschichteten Region steigt mit dem Abstand an.



Beschichten

Linien:

Mit einem Scanner können ganze Strukturen erzeugt werden. Als Beispiel dienen einfache Linien.



11 parallele Linien mit Kupfer Target, vorbereitet für 4-Punkt Messung.

Das Aussehen (Glanz) lässt vermuten, dass die Linien elektrisch leitend sind.

Das Verfahren kann auch für dekorative Zwecke benutzt werden.

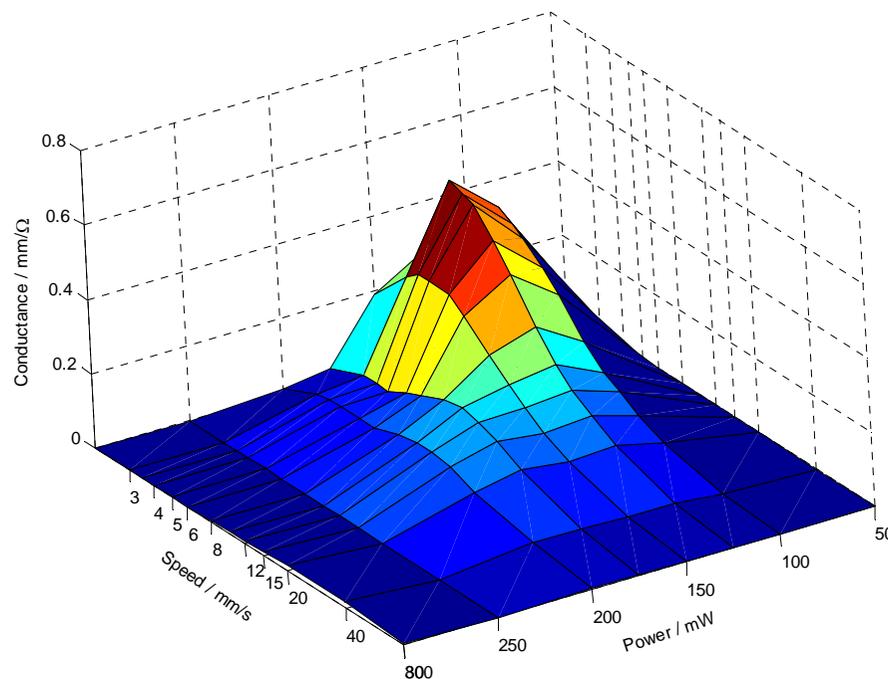


Beschichten

Schreiben von einzelnen Linien:

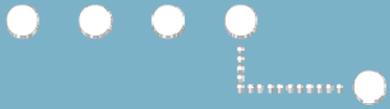
Länge 20mm, $\lambda = 532\text{nm}$, $w_0=12.5\ \mu\text{m}$, $f = 50\ \text{kHz}$, Abstand 100 μm , Target Aluminium, 50 mbar Argon

Spezifische Leitfähigkeit:



Es ist möglich direkt leitende Bahnen zu erzeugen.

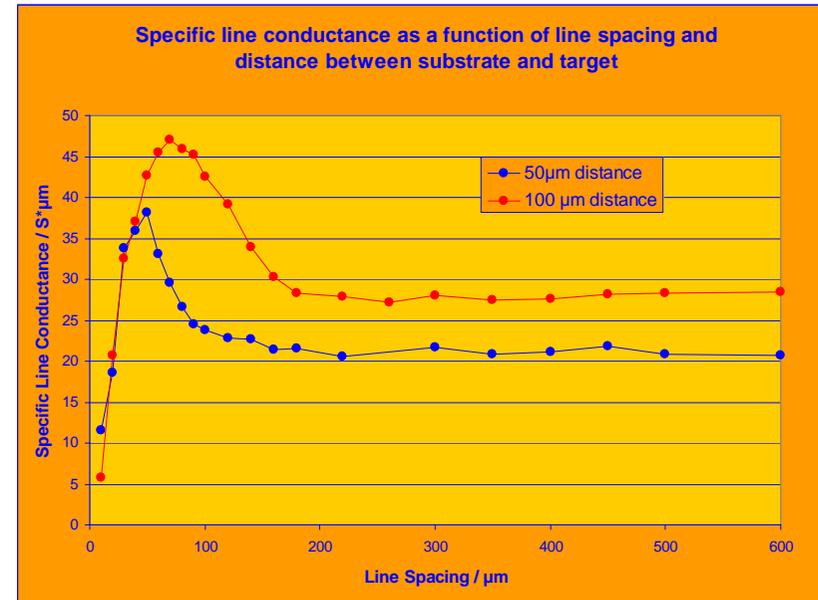
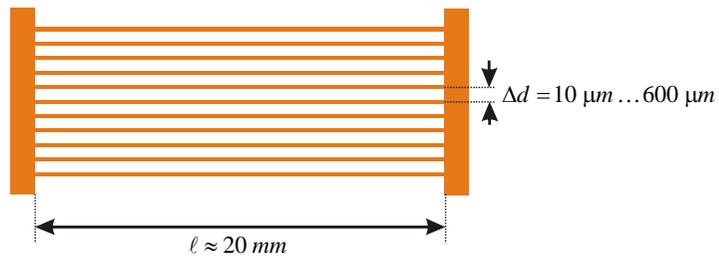
Die Leitfähigkeit einer Bahn kann mittels der Laserparameter über einen weiten Bereich variiert werden.



Beschichten

Schreiben von parallelen Linien:

11 parallele Linien, Target Kupfer

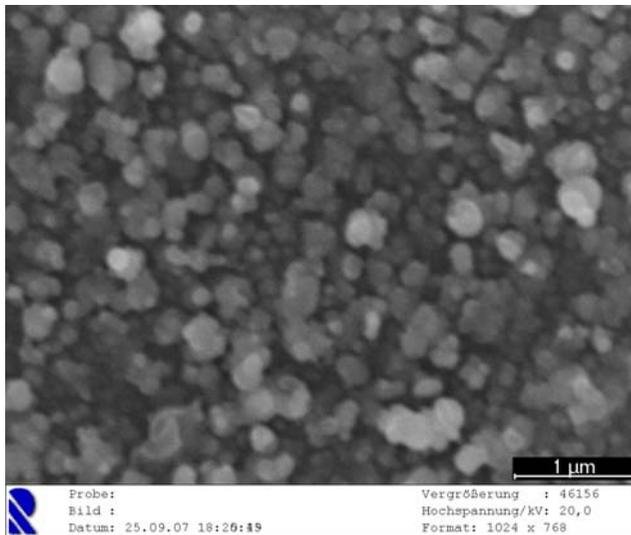


Die Leitfähigkeit hängt vom Linienabstand ab, zeigt mit zunehmendem Abstand ein Optimum und pendelt sich anschliessend auf einem Sättigungswert ein.

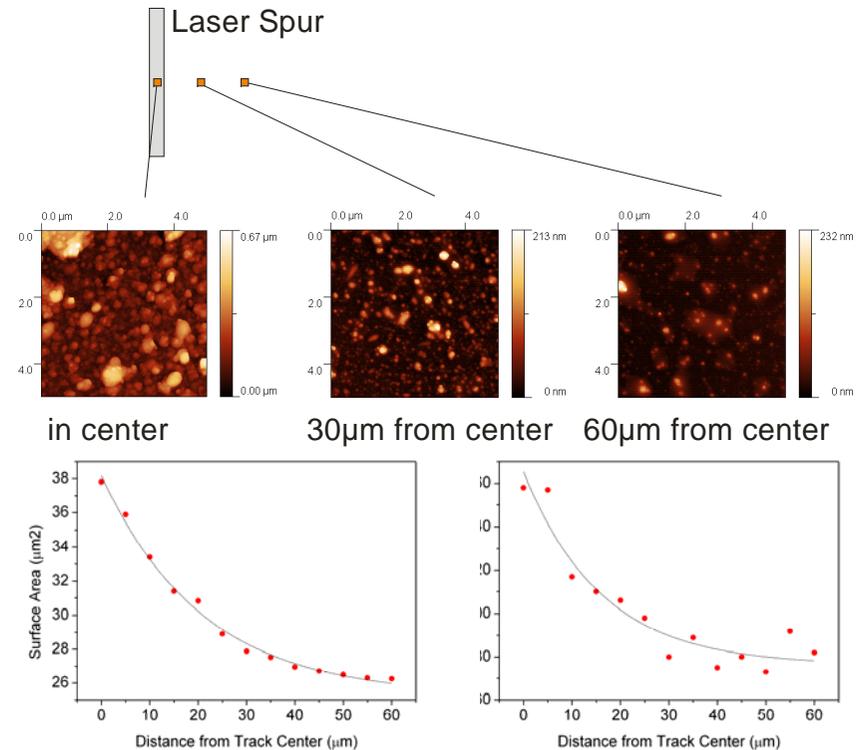


Beschichten

Schreiben von parallelen Linien:



Die generierten und abgeschiedenen Partikel sind typisch im sub- μm Bereich.

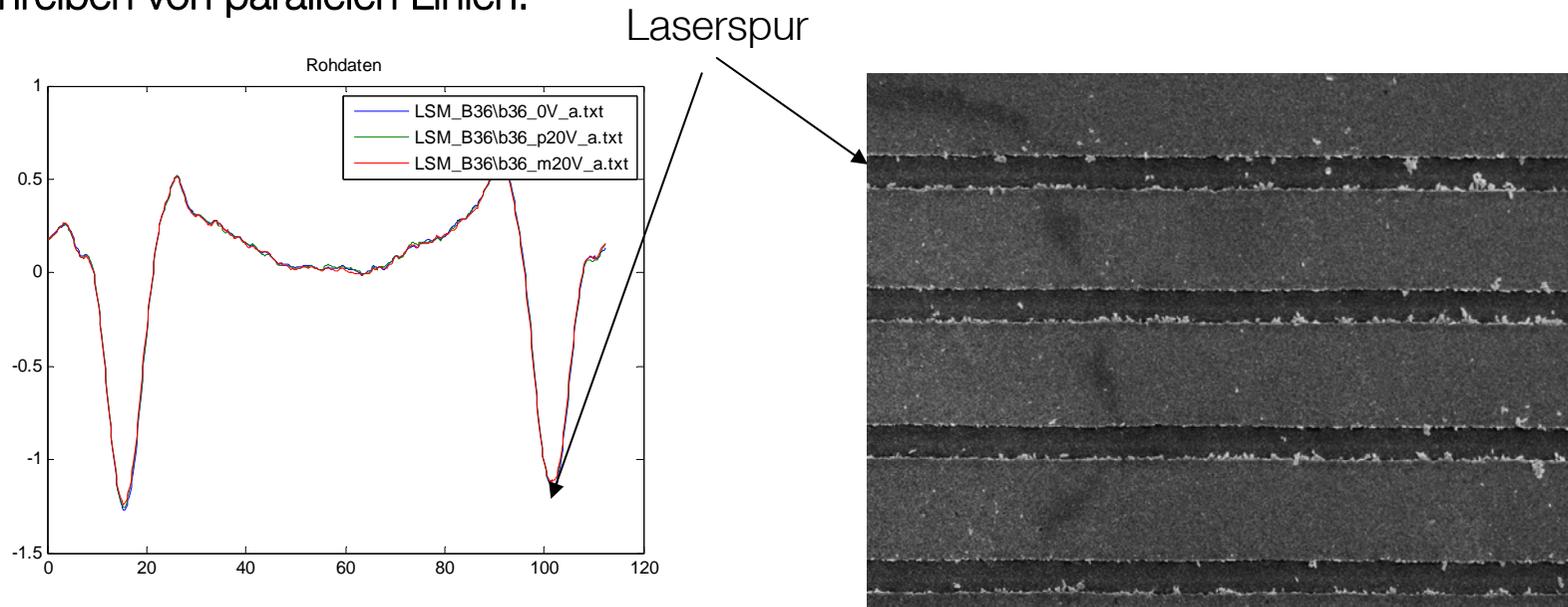


Sowohl Partikeldichte als auch Partikelgrösse nehmen annähernd exponentiell mit dem Abstand zur Spur ab.



Beschichten

Schreiben von parallelen Linien:

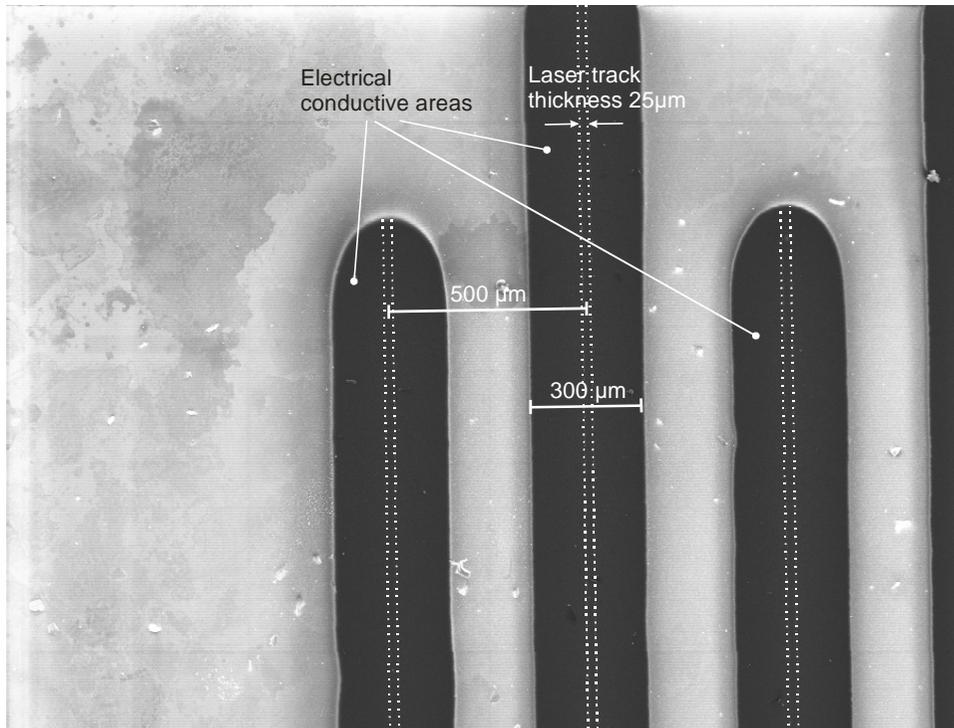


Durch den kleinen Pitch (Abstand von Puls zu Puls) wird in der Laserspur das deponierte Material teilweise wieder entfernt und teilweise mit dem Substrat verschmolzen.



Beschichten

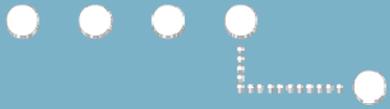
Ladungskontrast REM:



Eine Analyse unter dem REM (Ladungskontrast) zeigt, dass die Bahnen bis zu einem gewissen Abstand zur Spur, der Perkolationschwelle, leitend und anschliessend isolierend sind.

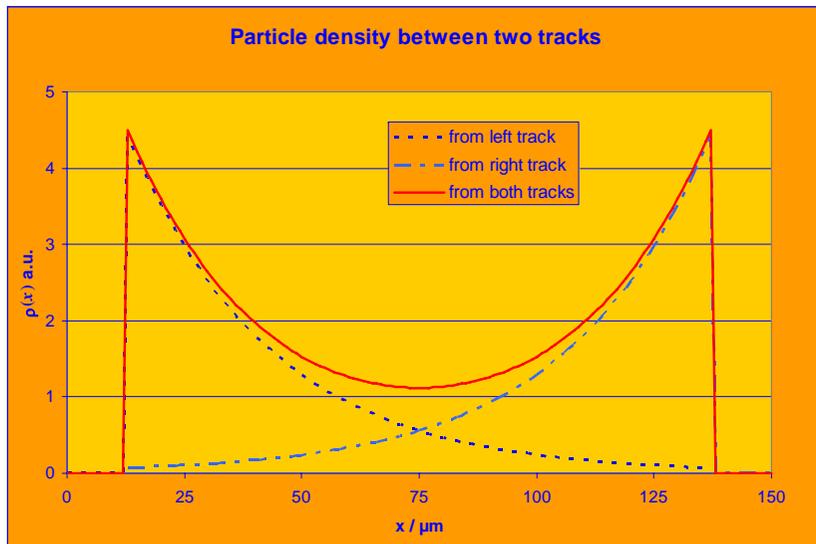
Die Breite der leitenden Spur hängt unter anderem vom Abstand Target- Substrat ab (hier 50 µm).

In den nichtleitenden Gebieten sind nach wie vor Partikel vorhanden, jedoch ist ihre Dichte so gering, dass unter ihnen keine elektrische Verbindung mehr besteht.



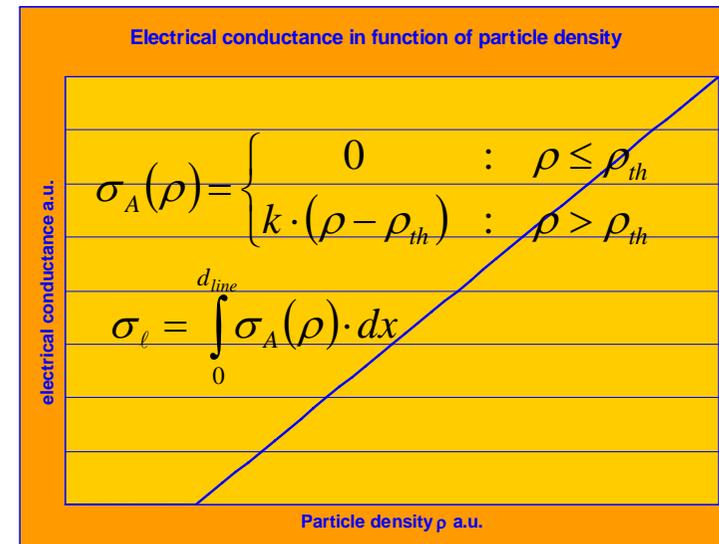
Beschichten

Model:



Spuren als nicht leitend angenommen.

Die Partikeldichte nimmt exponentiell mit dem Abstand zur Spur ab.

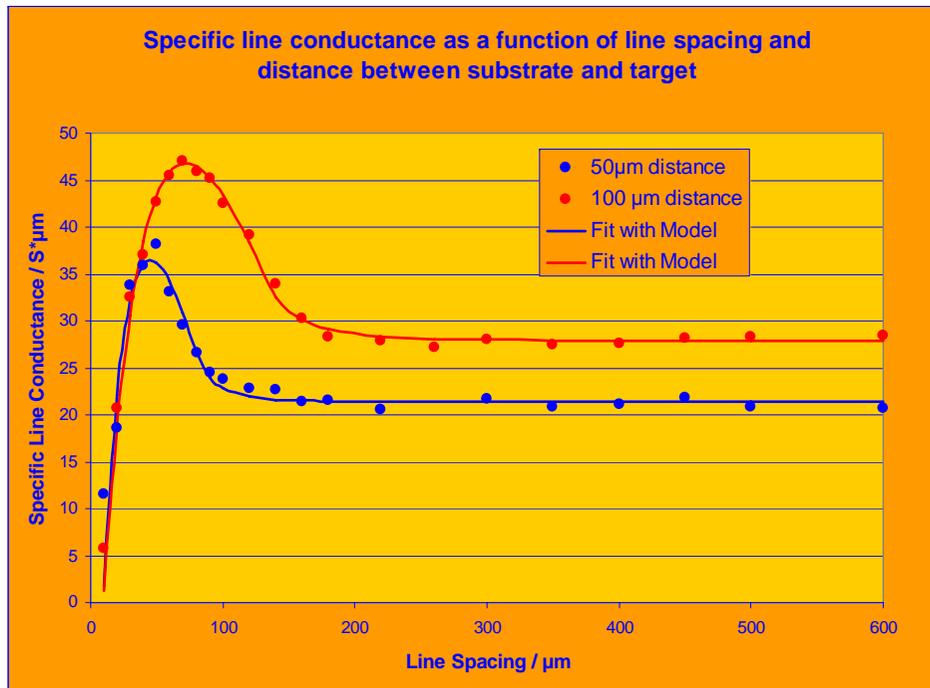


Ab einer gewissen Partikeldichte nimmt die elektrische Leitfähigkeit linear mit der Dichte zu.



Beschichten

Model:



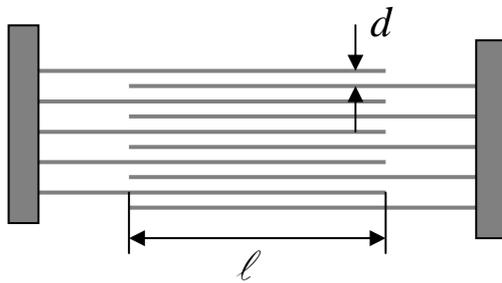
Die einfachen Annahmen bilden das Verhalten der Leitfähigkeit sehr gut nach.

Bei 50 μm Abstand Substrat Target tritt Sättigung ab einem Linienabstand von ca. 150 μm auf.



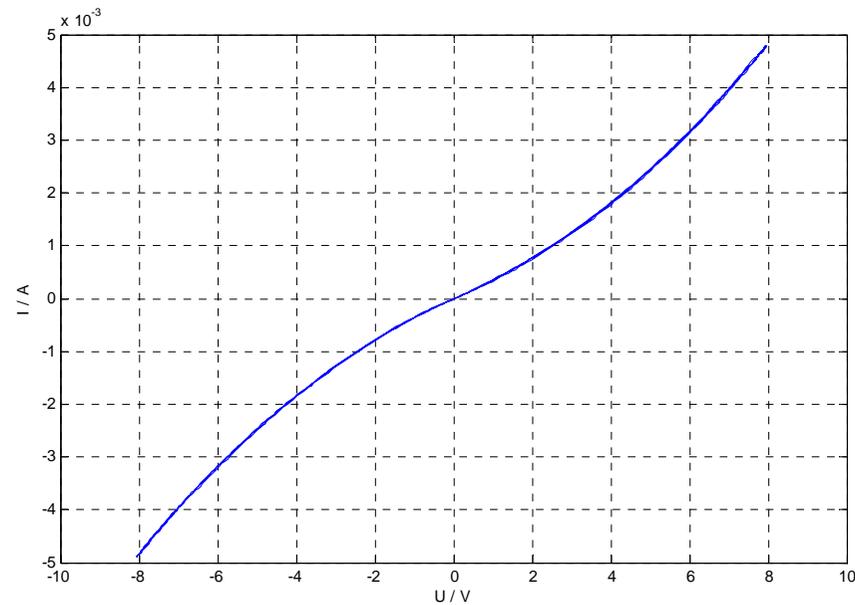
Beschichten

Fingerstrukturen:



Variiert werden neben den Laserparametern der Abstand d und der Überlapp l .

U-I Diagramm für Fingerstrukturen Aluminium

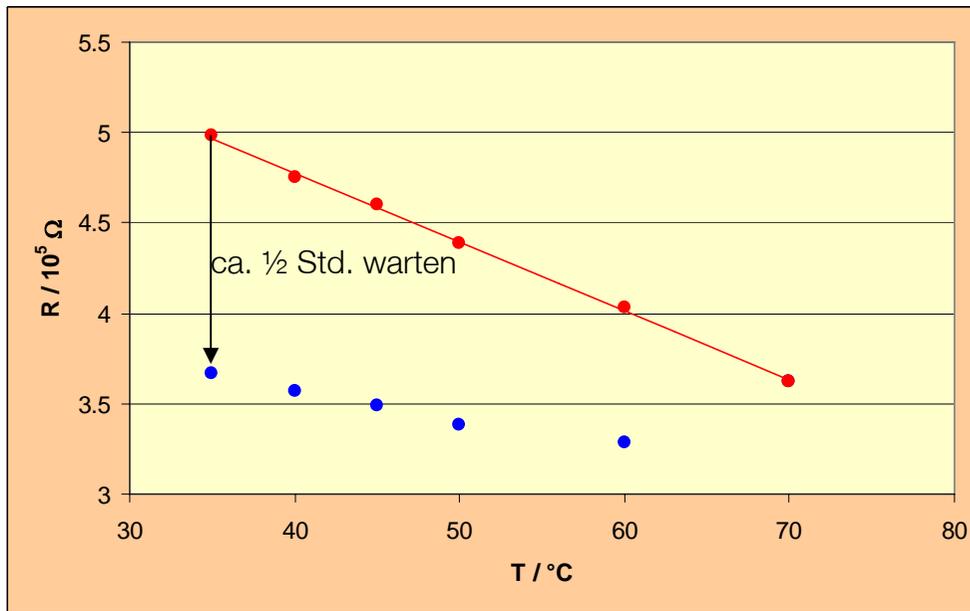


Hypothese: Sehr viele kleine Partikel mit kleinem Abstand (sub nm) -> Tunneleffekt.



Beschichten

Fingerstrukturen: Temperaturverhalten von Kupfer



Manchmal ist das Verhalten auch nicht reversibel.

Erklärung noch nicht gefunden.



Fazit

- Transparente Materialien lassen sich sehr gut mit ps-Pulsen bearbeiten.
- Markieren und Strukturieren sind problemlos mit guter Qualität möglich.
- Beim Bohren lässt sich ein bestehender Bohrkanal kaum mehr ändern
-> Bohroptik oder zweiseitig bohren.
- Manchmal muss man sich vor nichtlinearen Effekten und „unerwünschten Reflexionen“ in Acht nehmen.
- Nichtlineare Effekte eröffnen aber auch neue Anwendungen -> Schmelzschweissen.
- Mit ps-Pulsen lassen sich auch Laser-Induzierte Prozesse mit Potential für zukünftige Anwendungen realisieren.