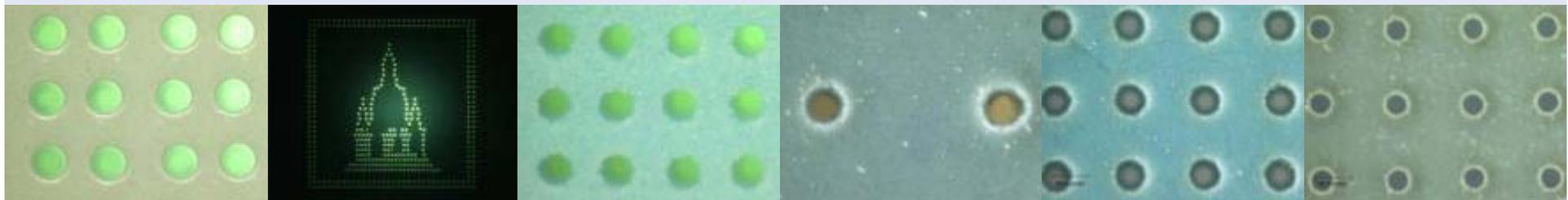


Workshop „Materialbearbeitung mit ultrakurzen Pulsen“

Laserstrukturierung grünkeramischer Folien der Hybridtechnik

Dr. Gunter Hagen
KMS Technology Center GmbH
Dresden / Germany



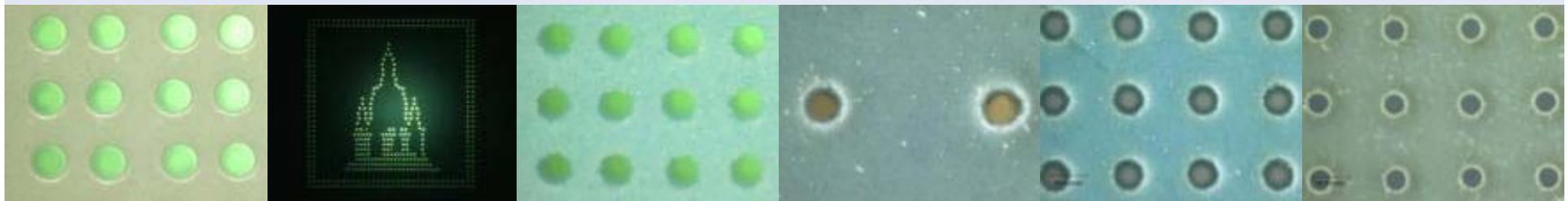
1) Einführung

- Vorstellung des Unternehmens
- Motivation zur Teilnahme am Workshop
- Vorstellung der keramischen Hybridtechnik

2) Strukturierung grünkeramischer Folien

- Anforderungen, Verfahren
- Eignung verschiedener Laser
- ausgewählte Aspekte der Laserbearbeitung grünkeramischer Folien
- Bearbeitung grünkeramischer Folien mit Ultrakurzpulslasern

3) Zusammenfassung, Schlussfolgerungen, Ausblick



Einführung Vorstellung des Unternehmens



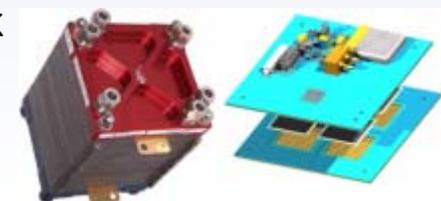
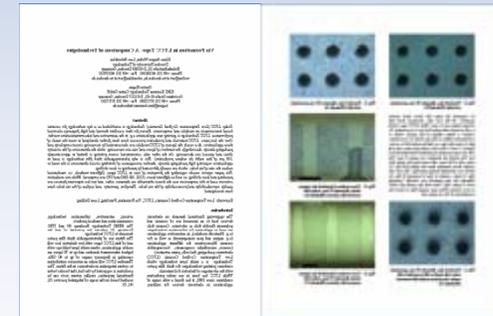
KMS Automation GmbH (Schramberg / Germany)

- mittelständisches Unternehmen, im Sondermaschinenbau tätig
- Geschäftsfelder:
 - Maschinen und Ausrüstungen für die Elektronik-Industrie (hauptsächlich Hybridfertigung / LTCC)
 - Montageautomatisierung in der Automobilzulieferindustrie
 - Vorrichtungsbau
 - allgemeine Automatisierungstechnik



KMS Technology Center GmbH (Dresden / Germany)

- Tochterunternehmen der KMS Automation GmbH
- Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten
 - technologische Weiterentwicklung
z.B. Verbesserung / Ausloten der Grenzen der Stanztechnik
z.B. Laserstrukturierung
 - Erschließung neuer Geschäftsfelder



Einführung Unternehmensgeschichte



bis 04/2008 ...



„precision is not enough“

Schwäbisch Gmünd
Bad Mergentheim-Apfelbach **high precision customized
solid carbide tools**

Schwäbisch Gmünd **micro-drills, routers**

Zuhai City (China) **micro-drills**

Lotzwil (CH)
Schwäbisch Gmünd **carbide sinter materials**

Karlsruhe **inspection systems**

Schramberg-Waldmössingen **special machines,
production automation**

Dresden **research & development**



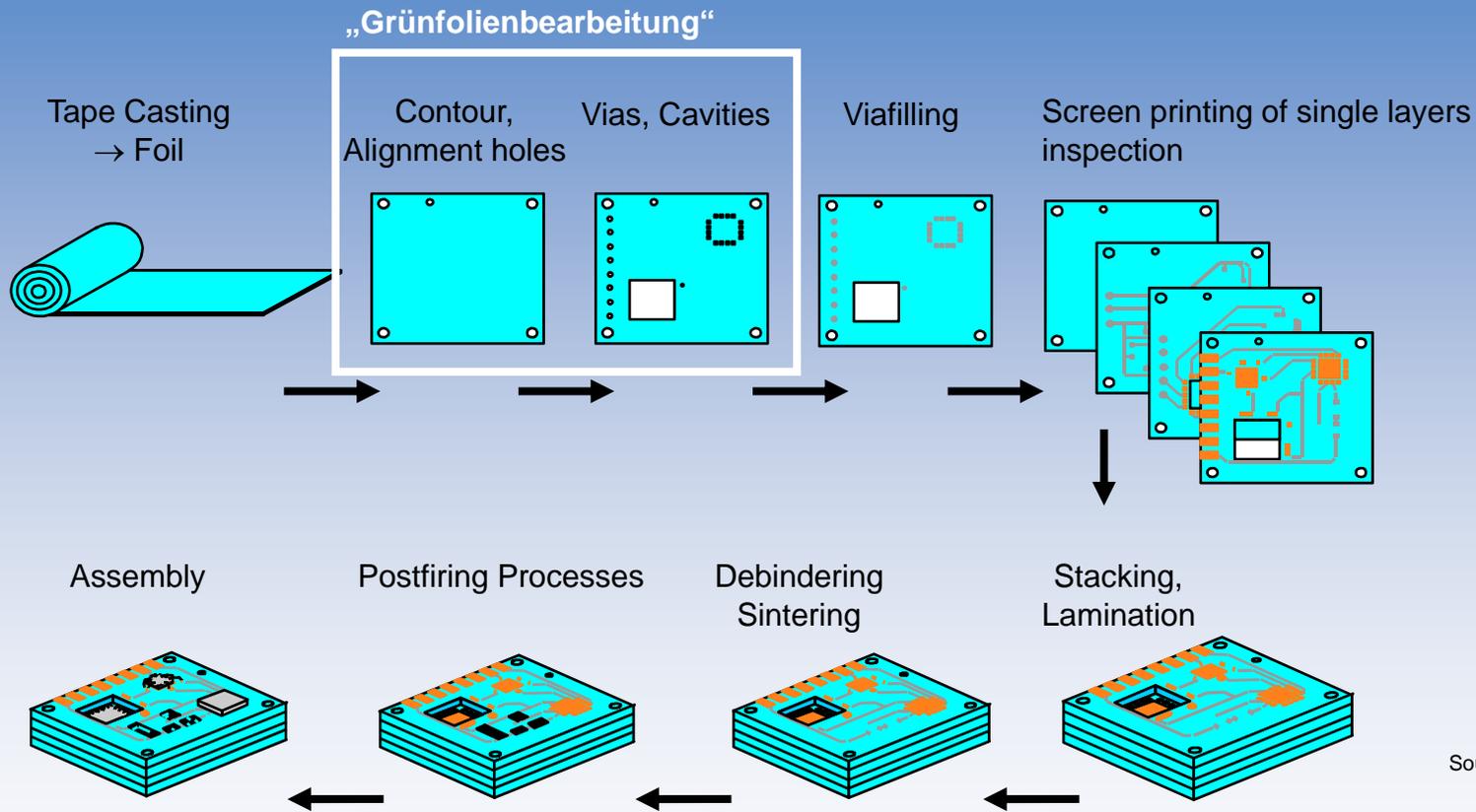
Hybridtechnik:

- Kombination von in Schichttechnik (Dickschicht, Dünnschicht) erzeugten Leiterbahnen mit diskreten oder integrierten Bauelementen auf einem meist keramischen Trägersubstrat
- Mehrebenenschaltungen (Multilayer) werden realisiert mit:
 - a) Mehrschichttechnik:
 - gedruckte Schichten auf einem bereits gesinterten Träger
 - b) Mehrlagentechnik:
 - Lagenaufbau aus Folien ungesinterter („grüner“) Keramik,
 - heutzutage meist:
Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC)



Engine Control Unit (Bosch)

Prozess Mehrlagenkeramik (LTCC)



Source: M. Luniak / TU Dresden IAVT



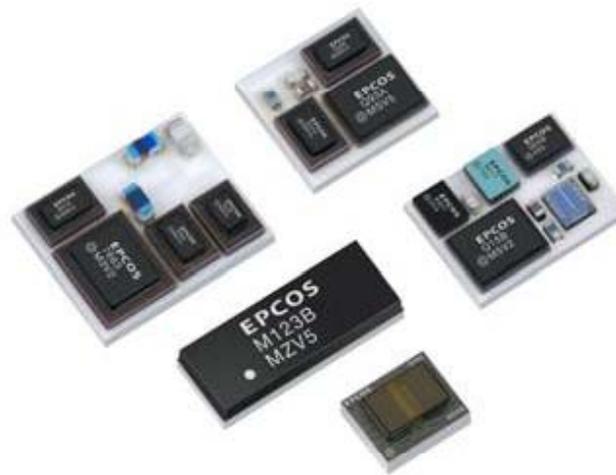
Einführung keramische Hybridtechnik

Eigenschaften und Anwendung von Hybridbaugruppen:

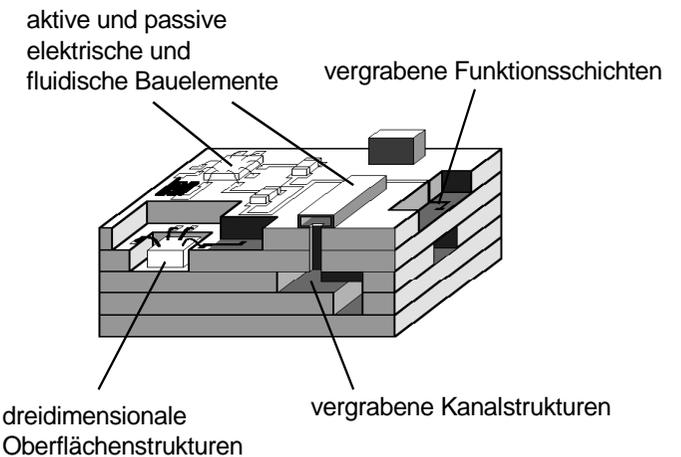
- mechanisch und thermisch belastbar
 - ☞ Elektronik für hohe Zuverlässigkeitsanforderungen und raue Umgebungsbedingungen
- gute Hochfrequenzeigenschaften
 - ☞ Hoch- und Höchsthochfrequenzschaltungen
- Baugruppen mit Anforderungen, die mit konventionellen Verdrahtungsträgern (PCB) nicht abgedeckt werden können
- Potential für die Integration weiterer Funktionen (Mikrosysteme)



Engine Control Unit (Bosch)



miniaturized UMTS-Multiplexer (Epcos)

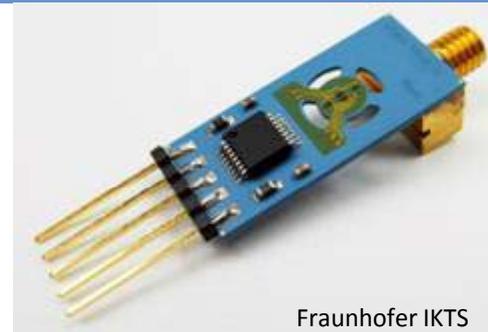
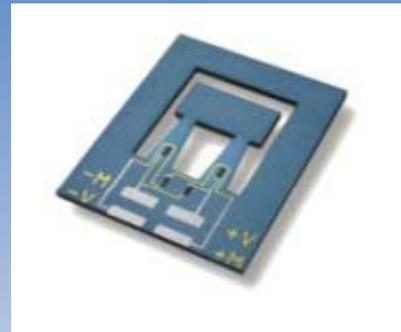


3D-Mikrofluidiksystem (TU Dresden)

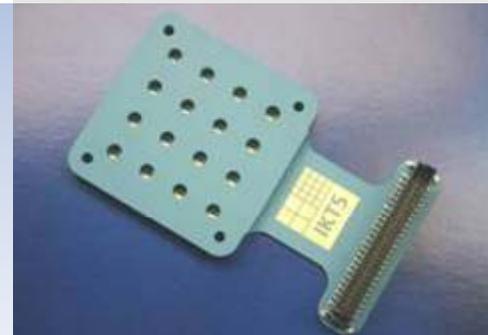
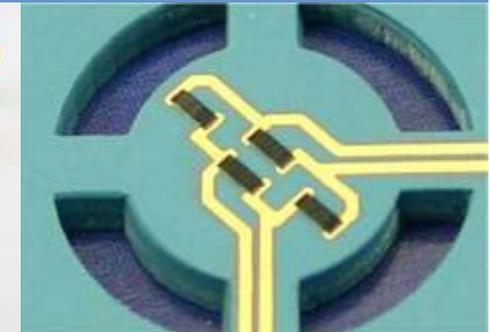
Beispiele keramischer Mikrosysteme in MLC (LTCC) - Technologie:

- Sensoren
 - Kraft / Beschleunigung,
 - Druck
- mikrofluidische Systeme
 - chemische Analysesysteme, Mikroreaktoren
- Mikroenergiesysteme
 - Mikrobrennstoffzellen
- miniaturisierte elektromechanische Systeme (MEMS)
z.B. in Kombination mit Piezokeramik

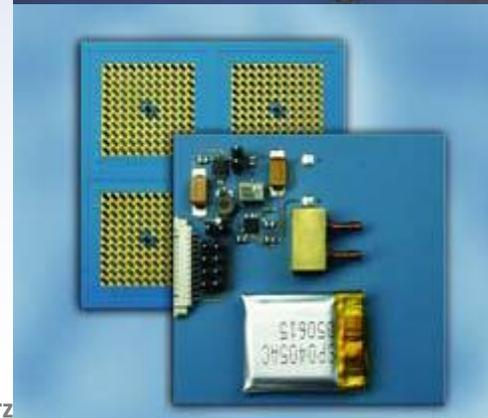
➤ **flexible Fertigungsverfahren benötigt**



Fraunhofer IKTS



TU Wien



Fraunhofer IKTS

Anforderungen an Verfahren zur Grünfolienbearbeitung:

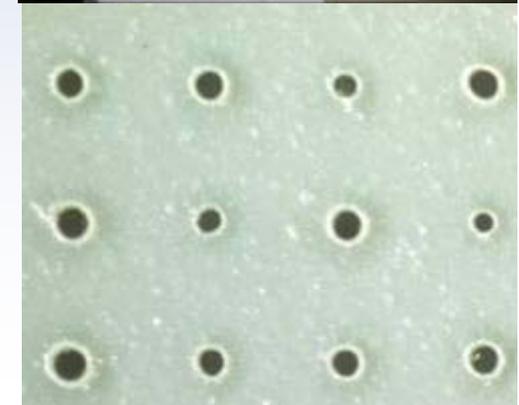
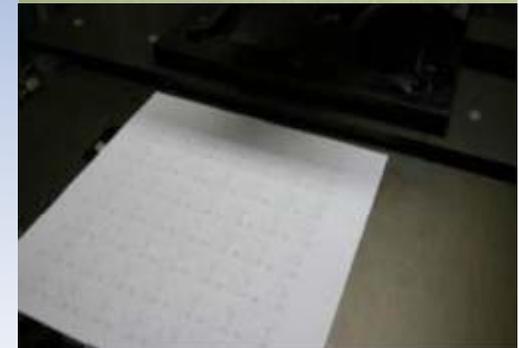
1) derzeit

- Bohren von Löchern für Durchkontaktierungen (Vias)
 - Durchmesser 100 ... 150 μm \rightarrow 80 μm \rightarrow 50 ... 60 μm
 - X.000 ... X0.000 ... >100.000 auf einem 8" x 8" Sheet
- Herstellung von Formen
 - rechteckige Öffnungen für die Chip-Integration
- Randbedingungen
 - keine / minimale (thermische) Schädigung der Folie
 - hohe Positionsgenauigkeit und Reproduzierbarkeit
 - hohe Produktivität

➤ Fokus auf dem Laserbohren (Perkussion)

2) zukünftig

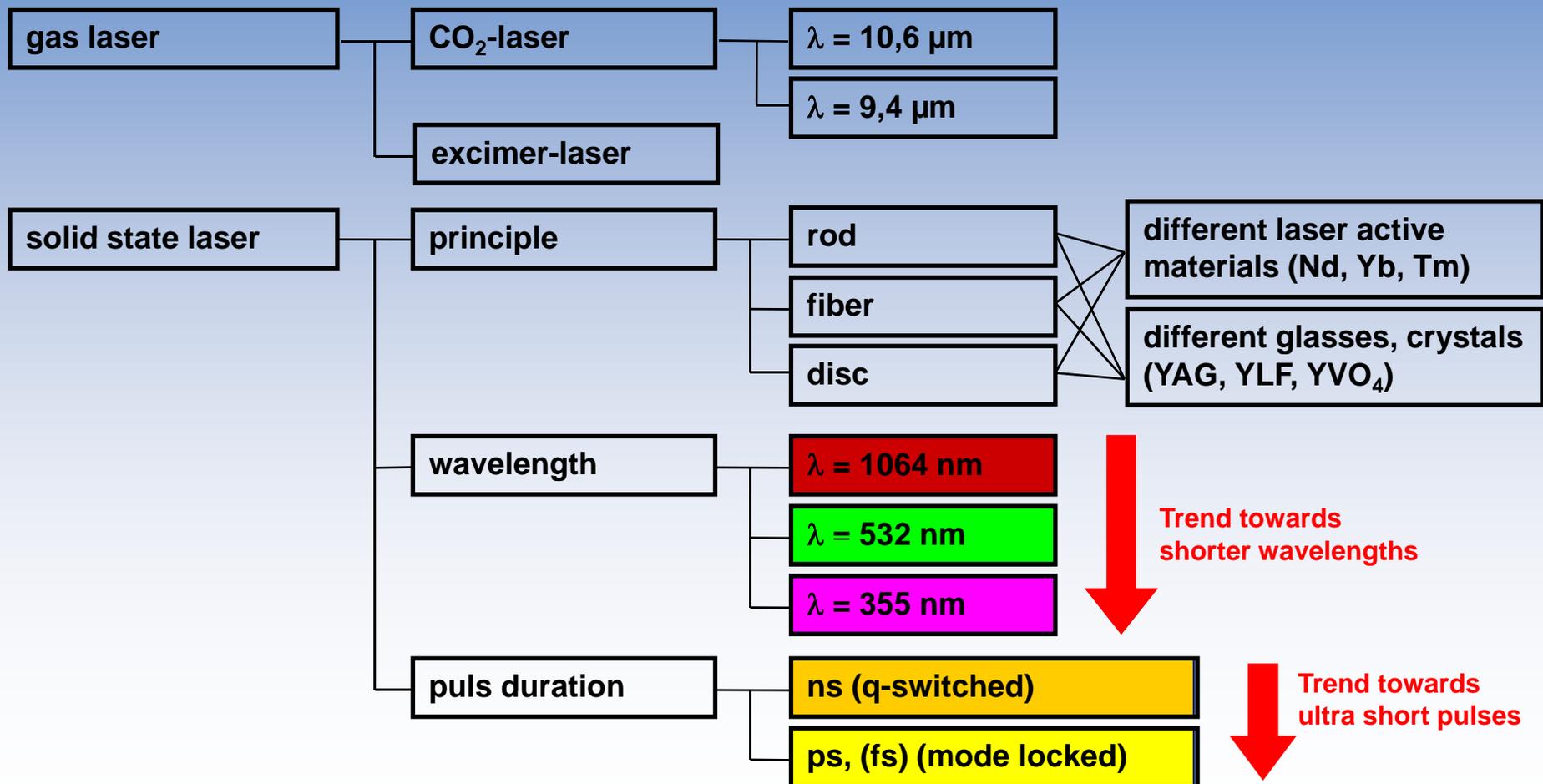
- zunehmend auch komplexere Formen
 - Kanalstrukturen, Kammern, ...
 - in Kombination mit elektrischen Schaltungen, d.h. Vias



Strukturierung grünkeramischer Folien

Laserüberblick

- es existiert eine Vielfalt zur Strukturierung keramischer Grünfolien geeigneter Laser, „die Laserwelt wird artenreicher“ ...
- kein Laser ist für alle Anforderungen gleichermaßen geeignet



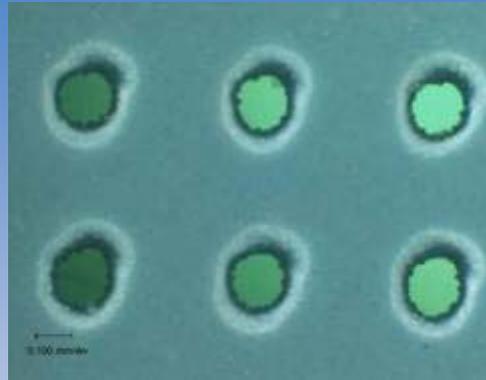
Strukturierung grünkeramischer Folien

Eignung verschiedener Laser

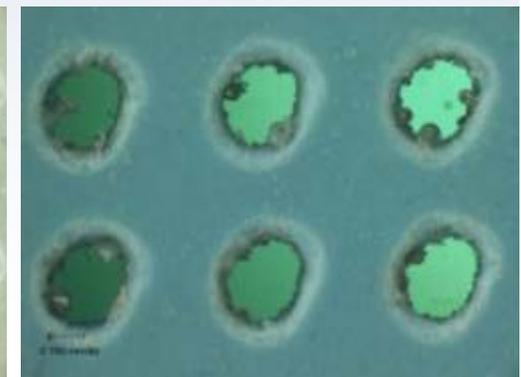
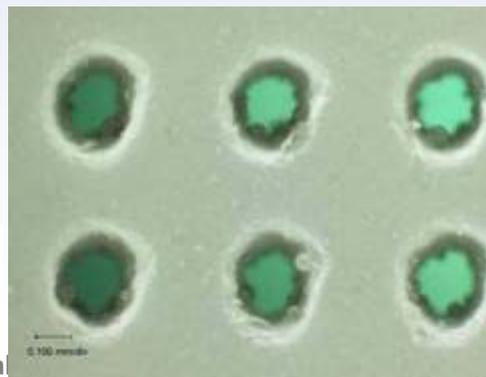
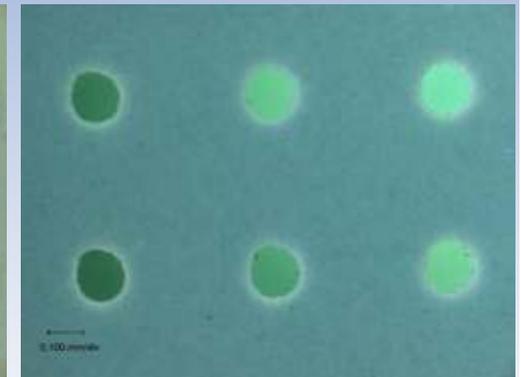
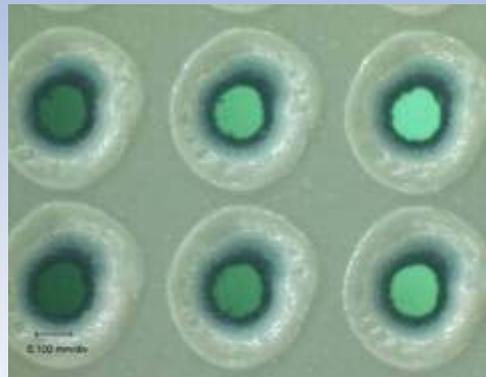
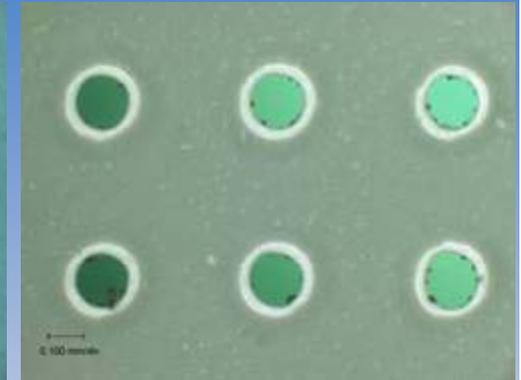
CO₂-Laser

- + Laser traditionell für diesen Zweck eingesetzt
- + gute Absorption der Laserstrahlung in Polymeren
- + hohe Leistung, Pulsenergie und Bearbeitungsgeschwindigkeit
- + geeignet zum Bohren kleiner und größerer Bohrungen (elektrische und thermische Vias)
- + sehr ökonomische Variante
- (minimale) Fokusgröße limitiert (80 ... 100µm)
- Präzision limitiert

Strahleintritt



Strahlaustritt



Strukturierung grünkeramischer Folien

Eignung verschiedener Laser

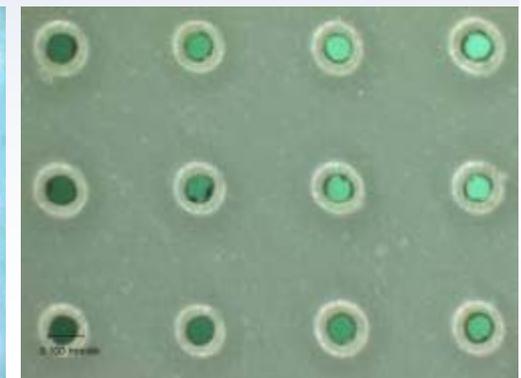
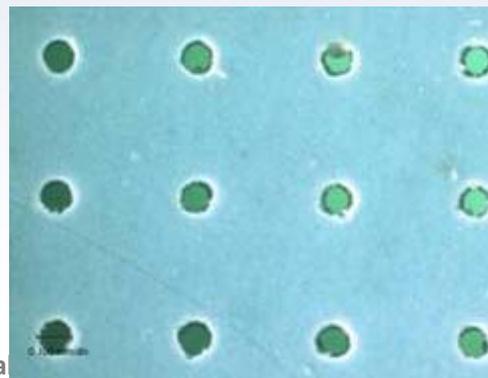
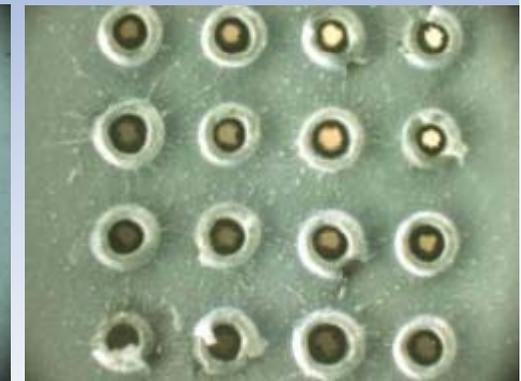
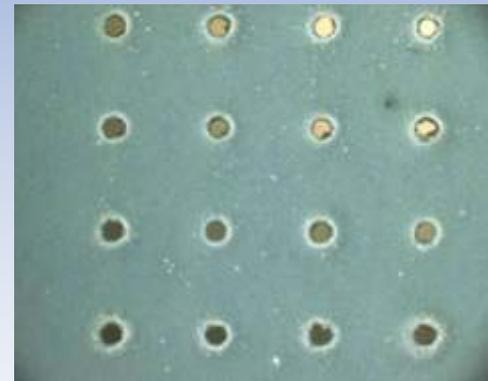
diodengepumpte Festkörperlaser (gütegeschaltet, ns-Pulse) @ 1.064 nm

- + weit verbreitete Laser
(Materialbearbeitung, Markieren)
- + luftgekühlte Faserlaser z.B.
sehr gut in Maschine zu integrieren
- + ökonomisch
- + gute Strahlqualität
- + kleine Laserspots erzielbar
- schlechtere Bearbeitbarkeit
von Polymeren und von Glas
(geringe Absorption)
- maximale Bohrungsgröße limitiert

Strahleintritt



Strahlaustritt



Strukturierung grünkeramischer Folien

Eignung verschiedener Laser

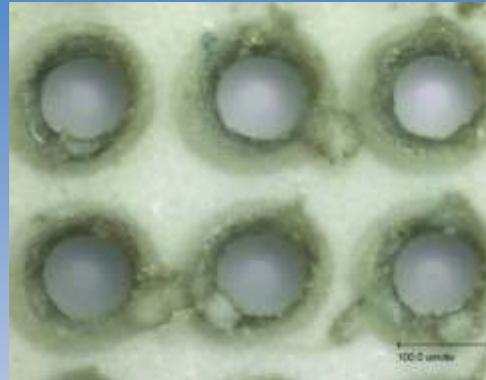
diodengepumpte Festkörperlaser
(güteschaltet, ns-Pulse)
frequenzkonvertiert
@ 355 nm / @ 532 nm

- + höhere Absorption in vielen Materialien *
- + kleinere Spots (10..20µm) *
- geringere Leistung *
- Equipment kostenintensiver *
- noch immer hoher Wärmeeintrag **
- maximale Bohrungsgröße limitiert

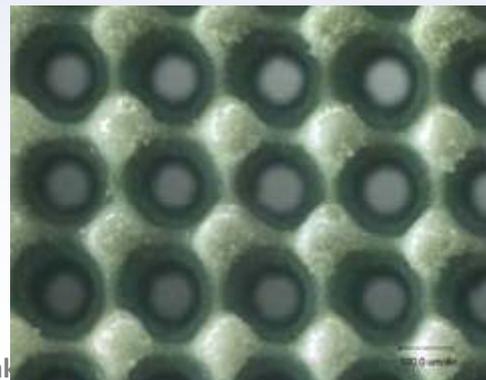
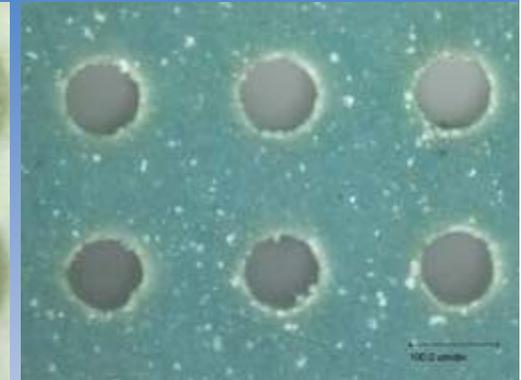
* verglichen mit Grundwellenlänge

** abhängig von Bohrstrategie

Strahleintritt



Strahlaustritt



Strukturierung grünkeramischer Folien

Eignung verschiedener Laser

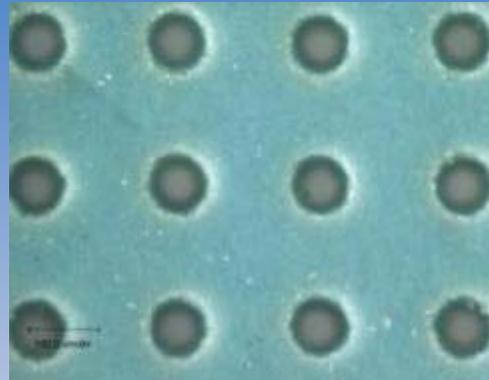
diodengepumpte Festkörperlaser

(ps-Pulse)

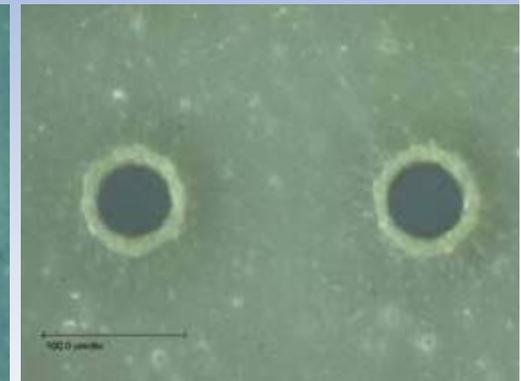
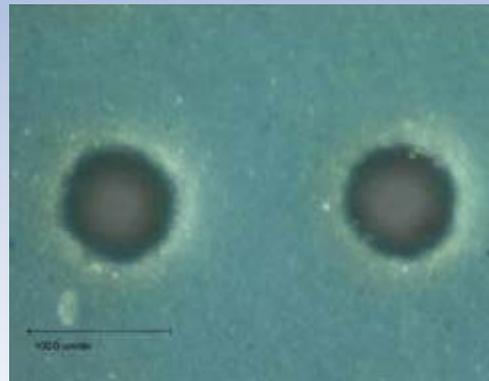
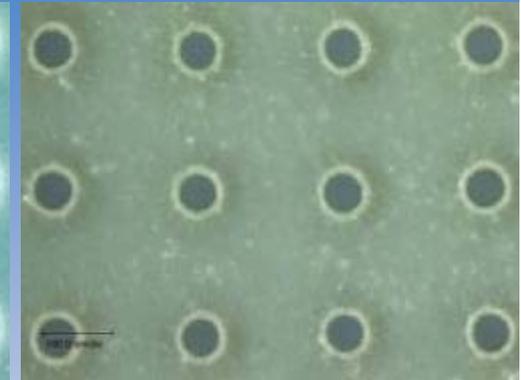
@ 1.030 nm

- + beste bisher erzielte Qualität und Reproduzierbarkeit (materialabhängig)
- + präziser Materialabtrag
- + „nebenwirkungsarme“ Bearbeitung (geringer Wärmeeintrag)
- + hohe Produktivität (250 μ J @ 200 kHz = 50W verfügbar)
- Equipment kostenintensiv
- maximale Bohrungsgröße limitiert

Strahleintritt



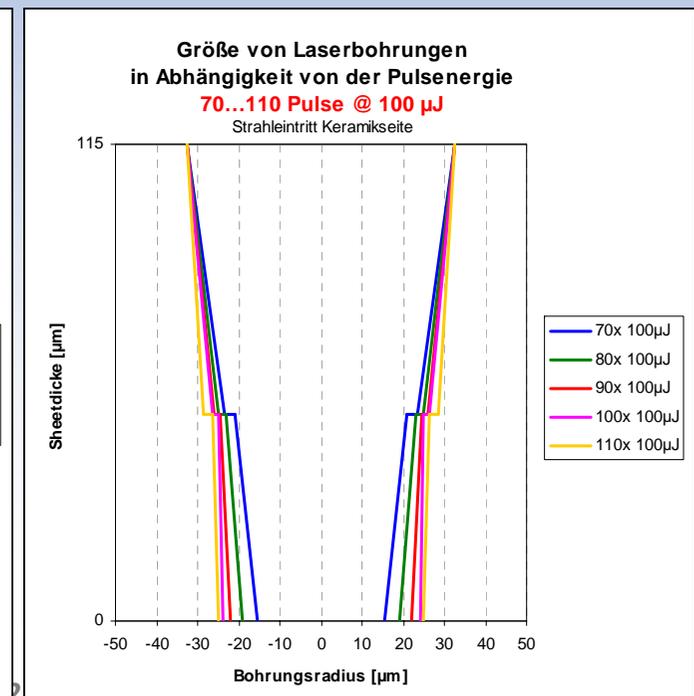
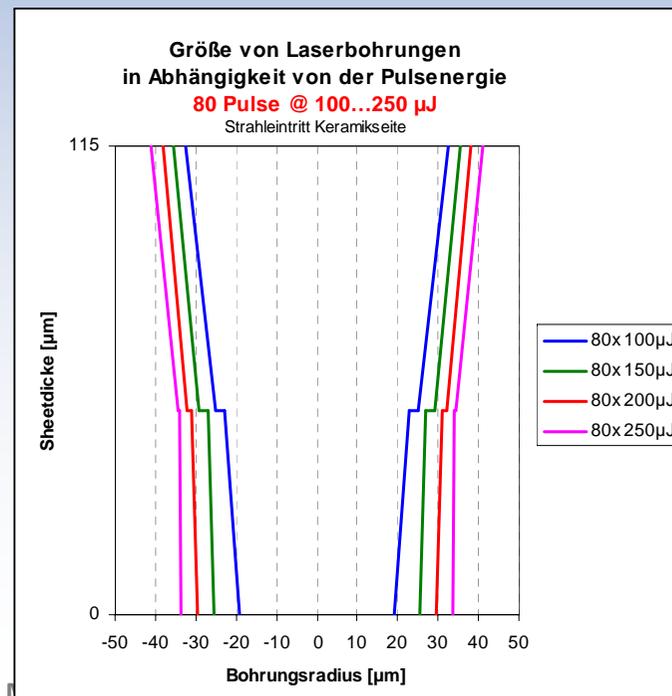
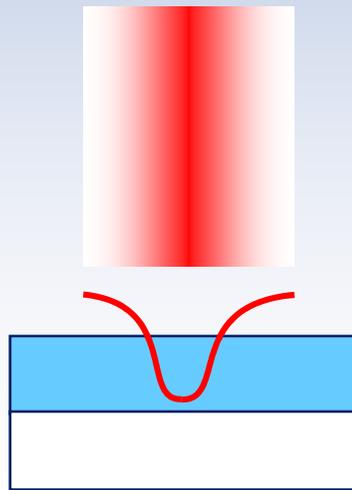
Strahlaustritt



Strukturierung grünkeramischer Folien

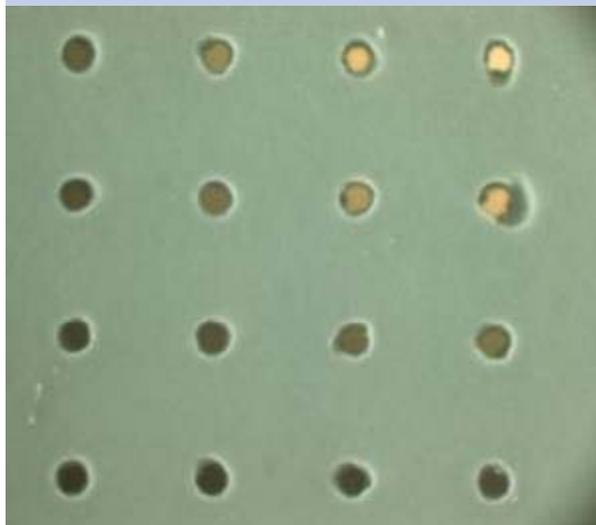
Aspekte der Laserbearbeitung

- der Materialabtrag bei der Laserbearbeitung resultiert aus der Wechselwirkung der absorbierten Laserstrahlung mit dem Material
- erzeugte Geometrie ist laser- und materialabhängig
- Laserbohrungen haben einen konischen Querschnitt
- es treten Schwankungen in der Geometrie auf
- thermische Nebeneffekte sind nicht völlig zu vermeiden

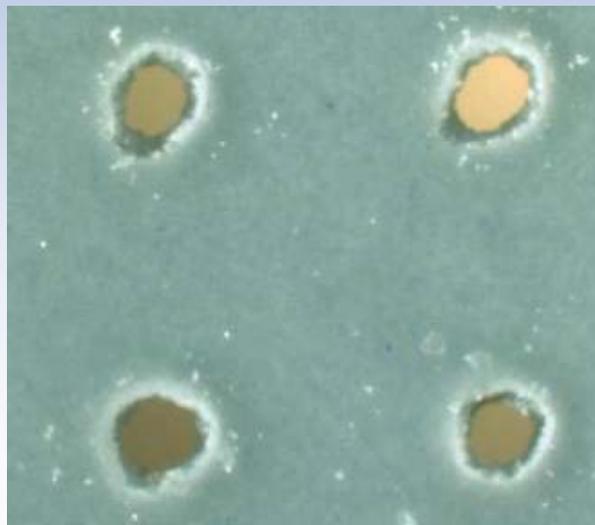


mögliche Effekte: Abplatzungen an der Lochwandung

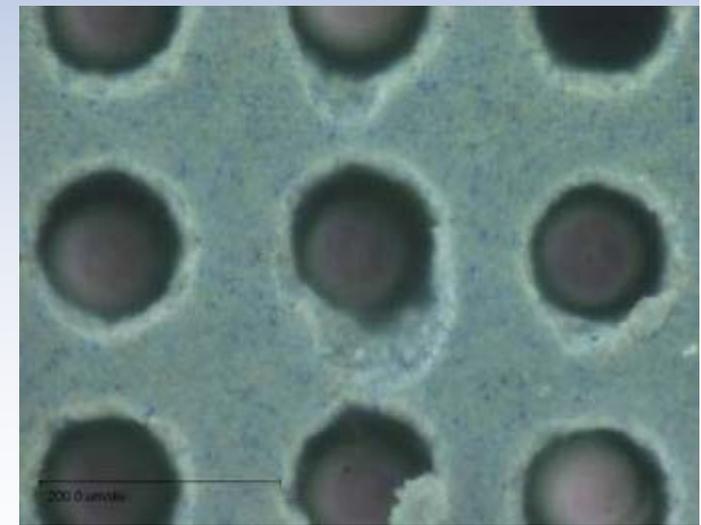
- mit längeren Pulsen stärker
- aber auch bei ps (materialabhängig)
- vermutlich auf geringen Materialzusammenhalt zurückzuführen



Yb:Faserlaser



Yb:Faserlaser



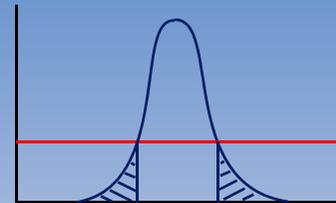
ps-Laser

Strukturierung grünkeramischer Folien

Aspekte der Laserbearbeitung

Effekte: thermische Nebenwirkung, Glasperlenbildung im Bohrloch

- in Randbereichen der Bohrung Energieeintrag unterhalb der Ablationsschwelle



100µJ
30 Pulse
60 Pulse
120 Pulse
150 Pulse
180 Pulse
210 Pulse
240 Pulse

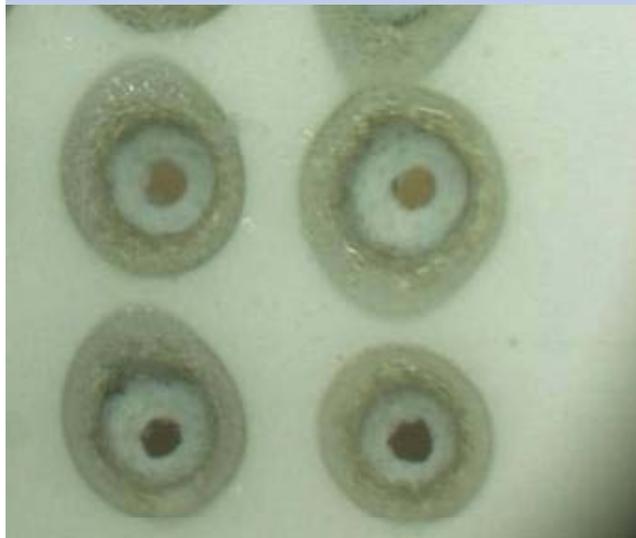
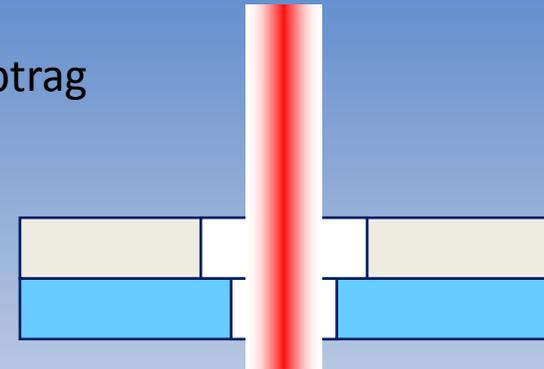


Strukturierung grünkeramischer Folien

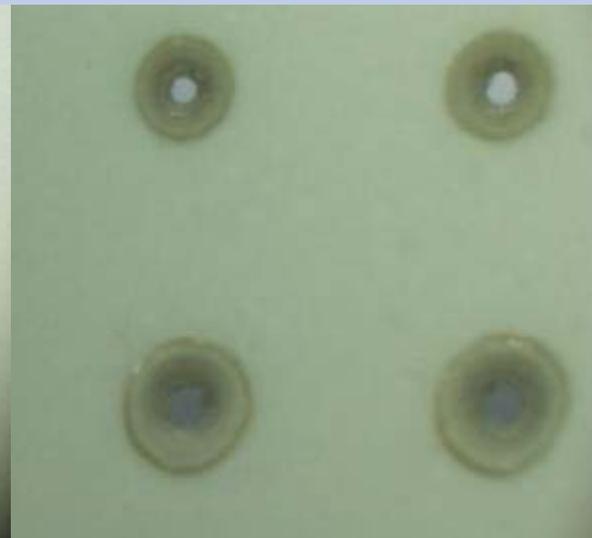
Aspekte der Laserbearbeitung

Effekte: Stufenbohrung

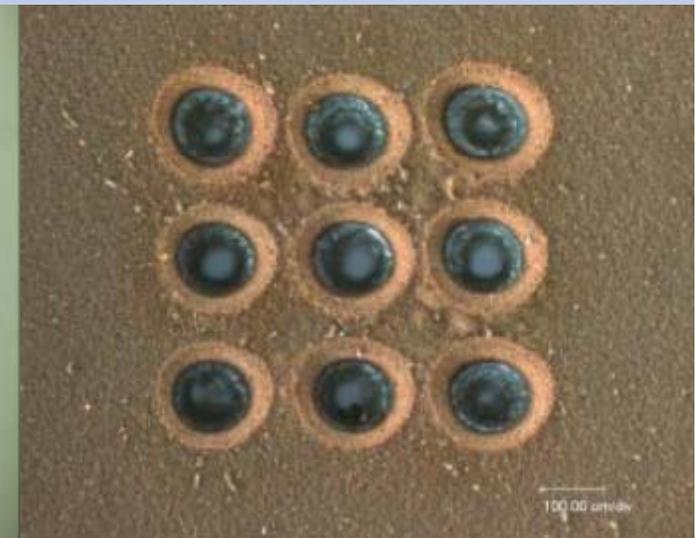
- unterschiedliche Absorption / unterschiedlicher Materialabtrag führen zu stufenförmiger Bohrung in geschichtetem Materialverbund
- prinzipiell bei allen Lasern zu beobachten



Yb:Faserlaser / Mylarseite



ps-Laser / Mylarseite



ps-Laser / Keramikseite

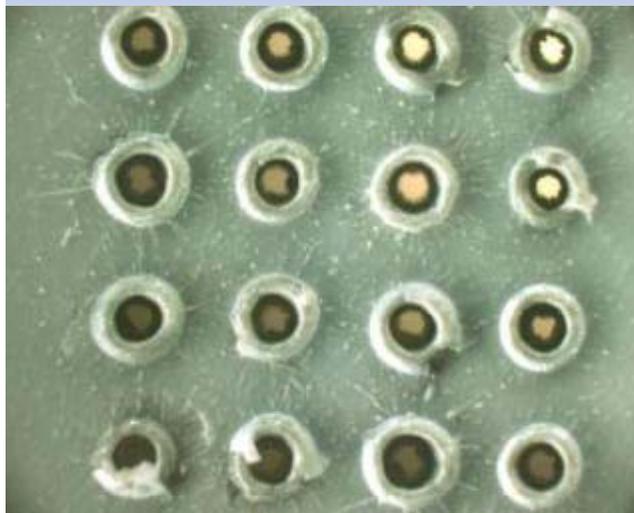
Strukturierung grünkeramischer Folien

Einfluss der Pulsdauer

Pulsdauer \Leftrightarrow Wärmeeintrag in die Bohrungsumgebung

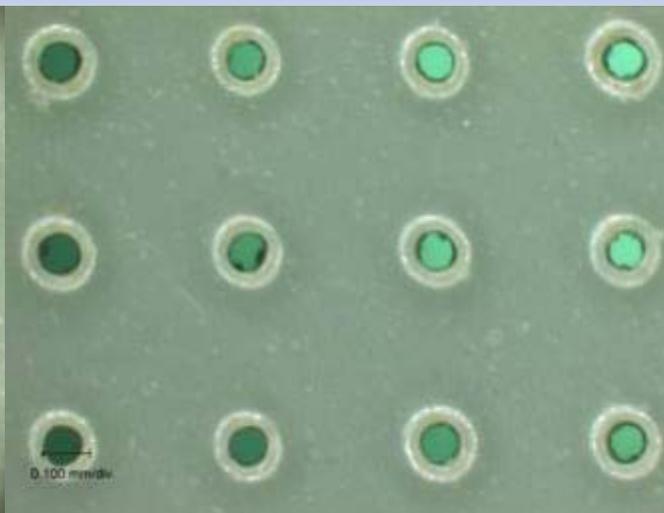
- kürzere Pulse bringen einen geringeren Wärmeeintrag und damit eine geringere thermische Schädigung der Bohrlochumgebung mit sich

Pulslänge **100ns**



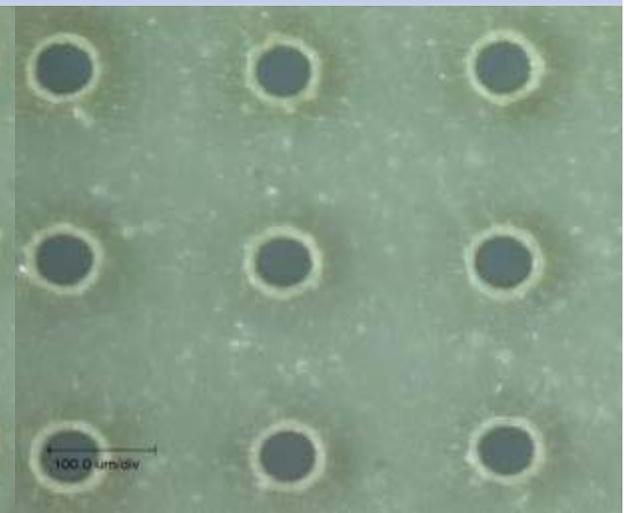
Yb:Faserlaser / Austrittseite

Pulslänge **25ns**



Yb:Faserlaser / Austrittseite

Pulslänge **5ps**



ps-Laser (1030 nm) / Austrittseite

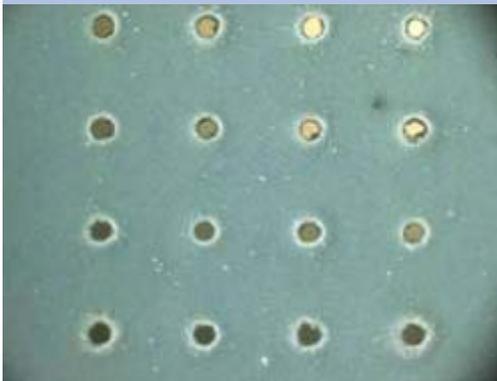
Strukturierung grünkeramischer Folien

Einfluss der Pulsdauer

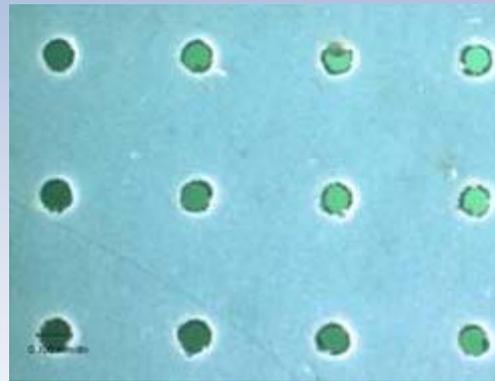
Pulsdauer ⇔ Präzision der Bearbeitung (Rundheit von Laserbohrungen)

- mit kürzeren Pulsen ausgeführte Bohrungen weisen eine bessere Rundheit und Uniformität auf (bei vergleichbarer Strahlqualität)

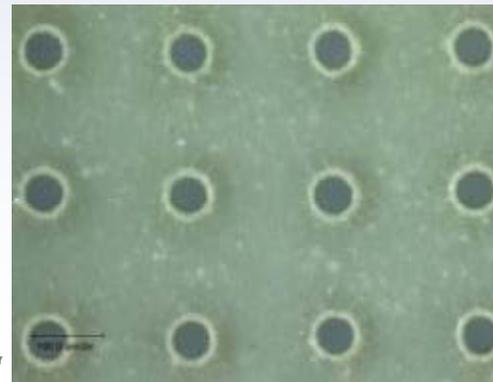
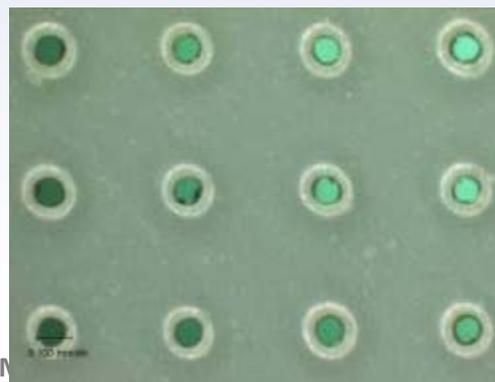
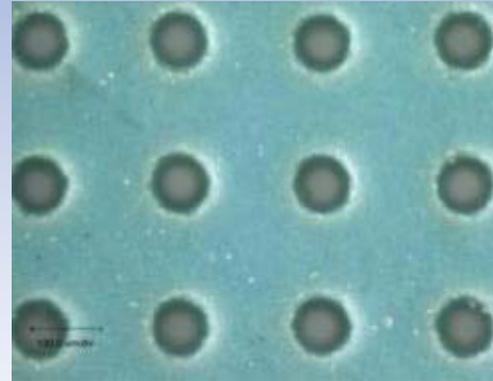
Pulslänge 100ns



Pulslänge 25ns



Pulslänge 5ps



- **Laser werden zunehmend zur Strukturierung grünerkeramischer Folien eingesetzt.**
- **Die Laserauswahl wird bestimmt durch:**
 - ⇒ die geforderte Qualität und Produktivität
 - ⇒ wirtschaftliche Randbedingungen
- **Die Nutzung von Ultrakurzpulslasern zur Materialbearbeitung bietet Vorteile hinsichtlich**
 - ⇒ der Qualität (Präzision) der erzeugten Strukturen
 - ⇒ der Minimierung unerwünschter thermischer Nebeneffekte
- **Anforderungen an Ultrakurzpulslaser zur Materialbearbeitung in der keramischen Hybridtechnik**
 - für die geforderte Produktivität ausreichende Leistung bzw. Pulsenergie
 - erforderliche Robustheit für industriellen Dauereinsatz (für ps-Laser gegeben?)
 - Wirtschaftlichkeit (insbesondere im Vergleich mit anderen Laservarianten)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !