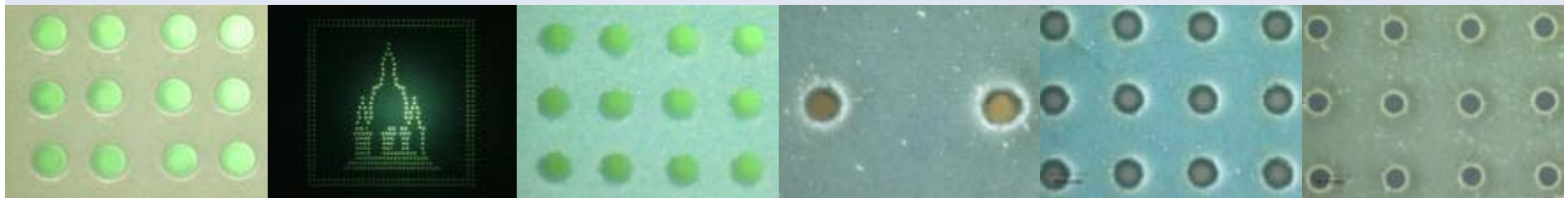


*Workshop „Materialbearbeitung mit ultrakurzen Pulsen“*

## ***Laserstrukturierung grünkeramischer Folien der Hybridtechnik***

Dr. Gunter Hagen  
KMS Technology Center GmbH  
Dresden / Germany



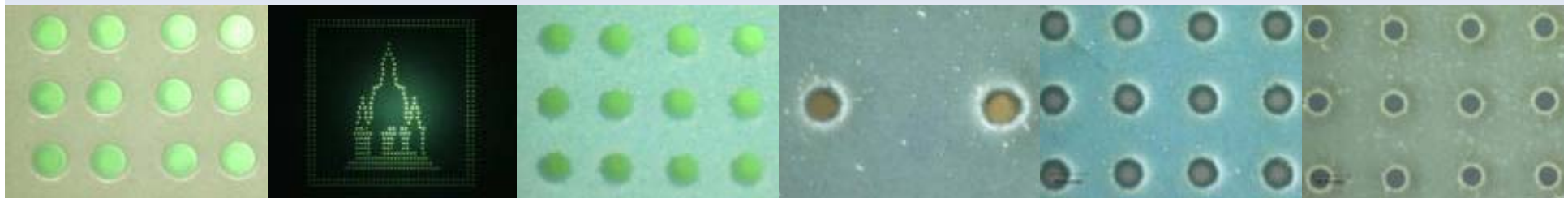
## 1) Einführung

- 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

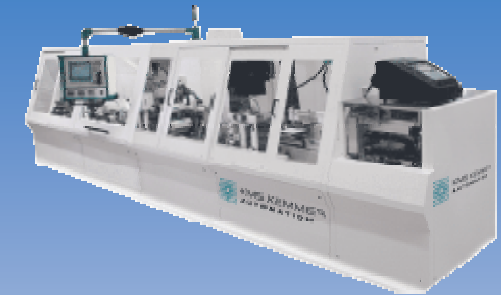


# Einführung Vorstellung des Unternehmens



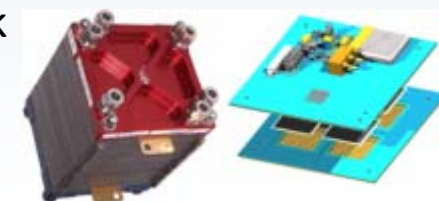
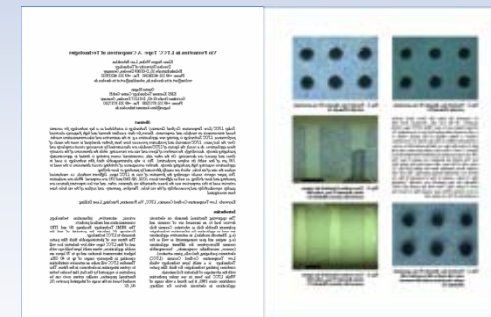
## KMS Automation GmbH (Schramberg / Germany)

- 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**



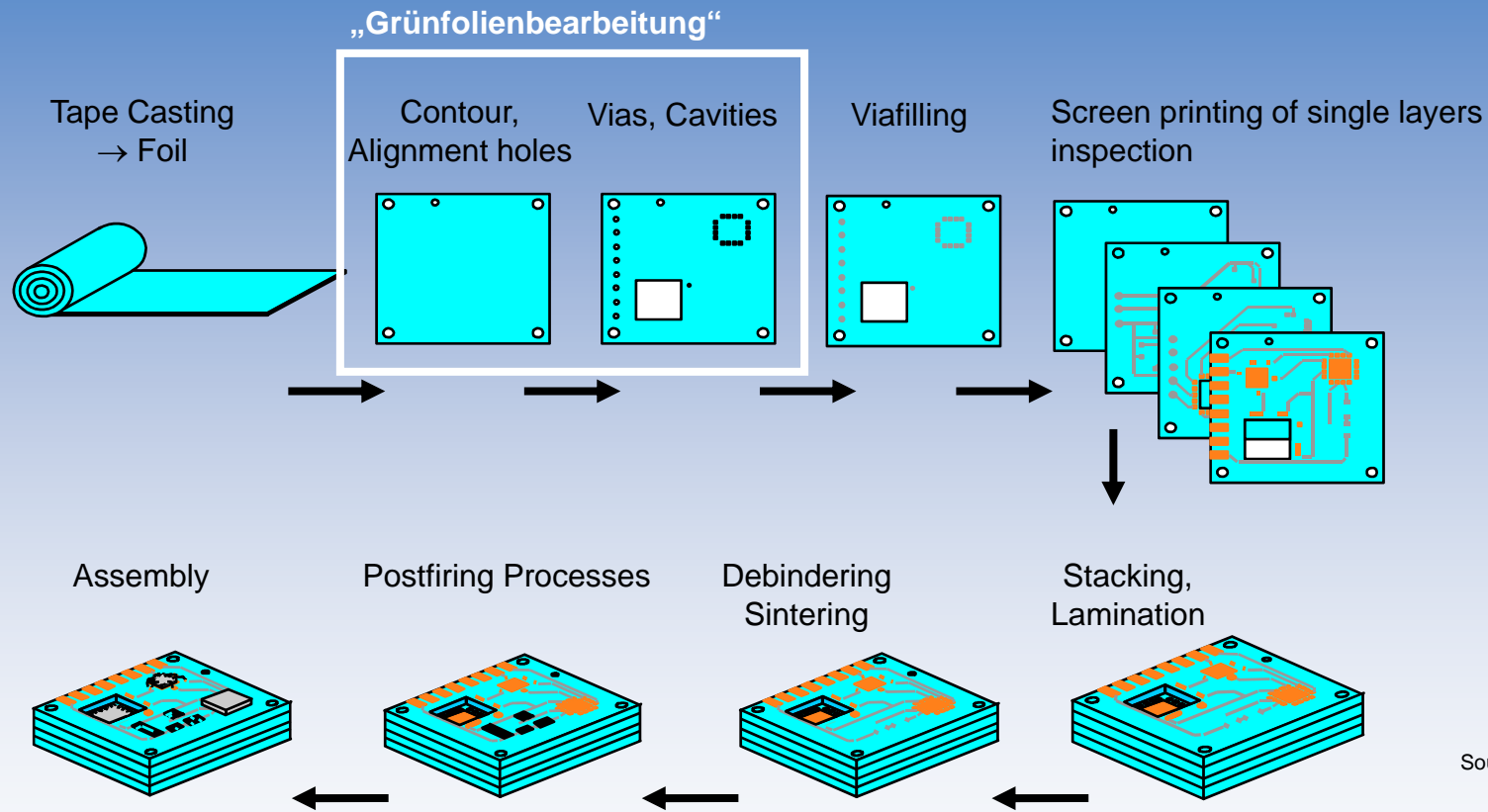
## Hybridtechnik:

- 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



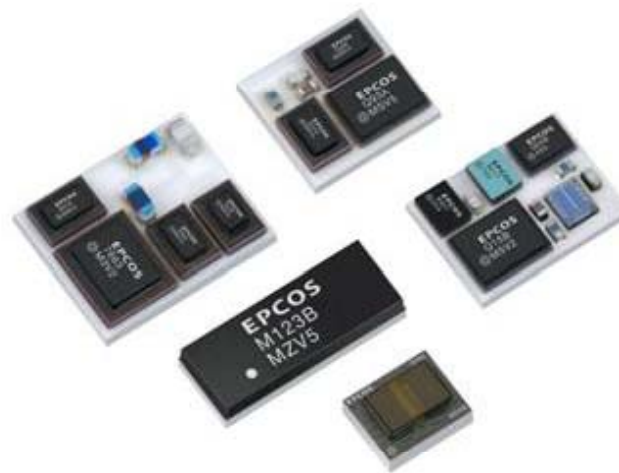
# Einführung keramische Hybridtechnik

## Eigenschaften und Anwendung von Hybridbaugruppen:

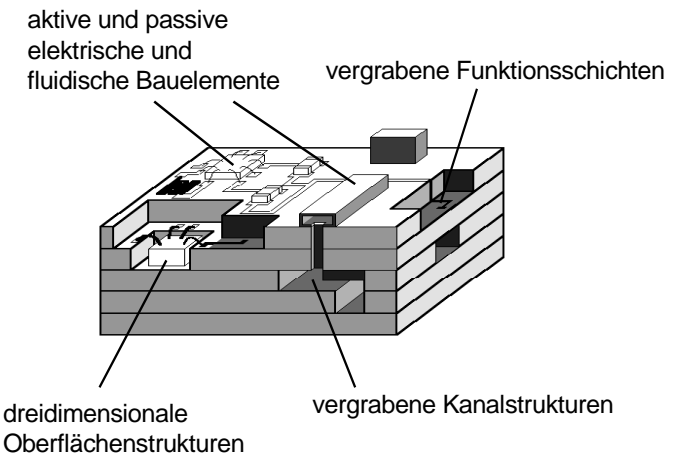
- mechanisch und thermisch belastbar
  - ☞ Elektronik für hohe Zuverlässigkeitsanforderungen und raue Umgebungsbedingungen
- gute Hochfrequenzeigenschaften
  - ☞ Hoch- und Höchsthochfrequenzschaltungen
- Baugruppen mit Anforderungen, die mit konventionellen Verdrahtungsträgern (PCB) nicht abgedeckt werden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



Engine Control Unit (Bosch)



miniaturized UMTS-Multiplexer (Epcos)

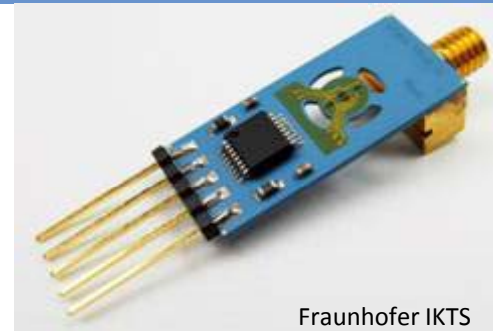
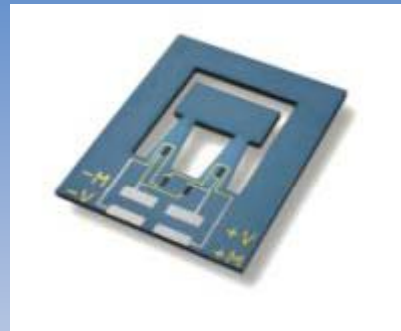


3D-Mikrofluidiksystem (TU Dresden)

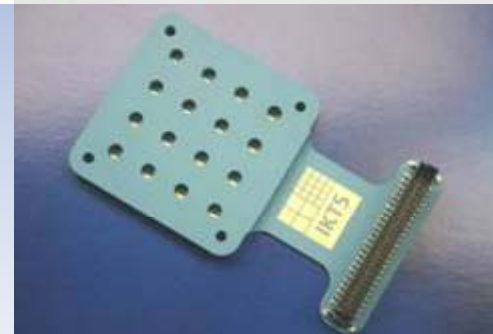
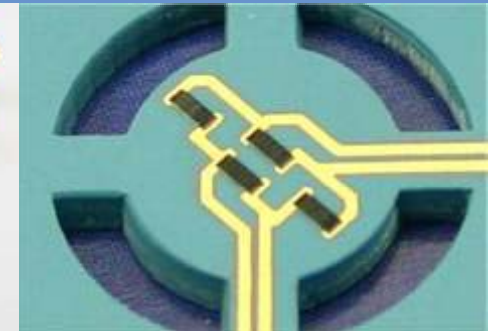
## Beispiele keramischer Mikrosysteme in MLC (LTCC) - Technologie:

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

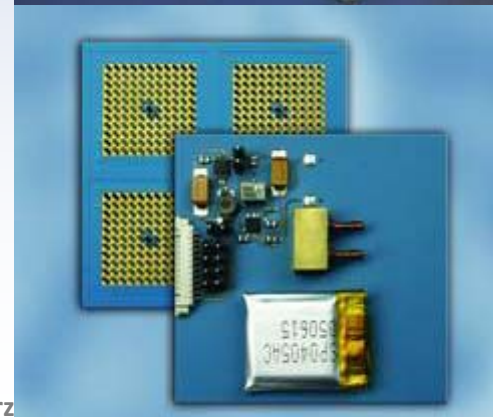
➤ **flexible Fertigungsverfahren benötigt**



Fraunhofer IKTS



TU Wien



Fraunhofer IKTS



### Anforderungen an Verfahren zur Grünfolienbearbeitung:

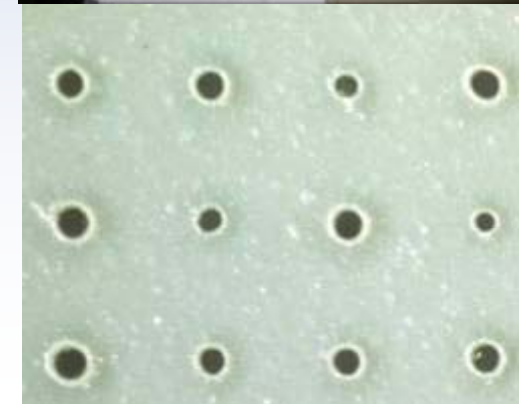
#### 1) derzeit

- Bohren von Löchern für Durchkontaktierungen (Vias)
  - Durchmesser 100 ... 150  $\mu\text{m}$   $\rightarrow$  80  $\mu\text{m}$   $\rightarrow$  50 ... 60  $\mu\text{m}$
  - 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

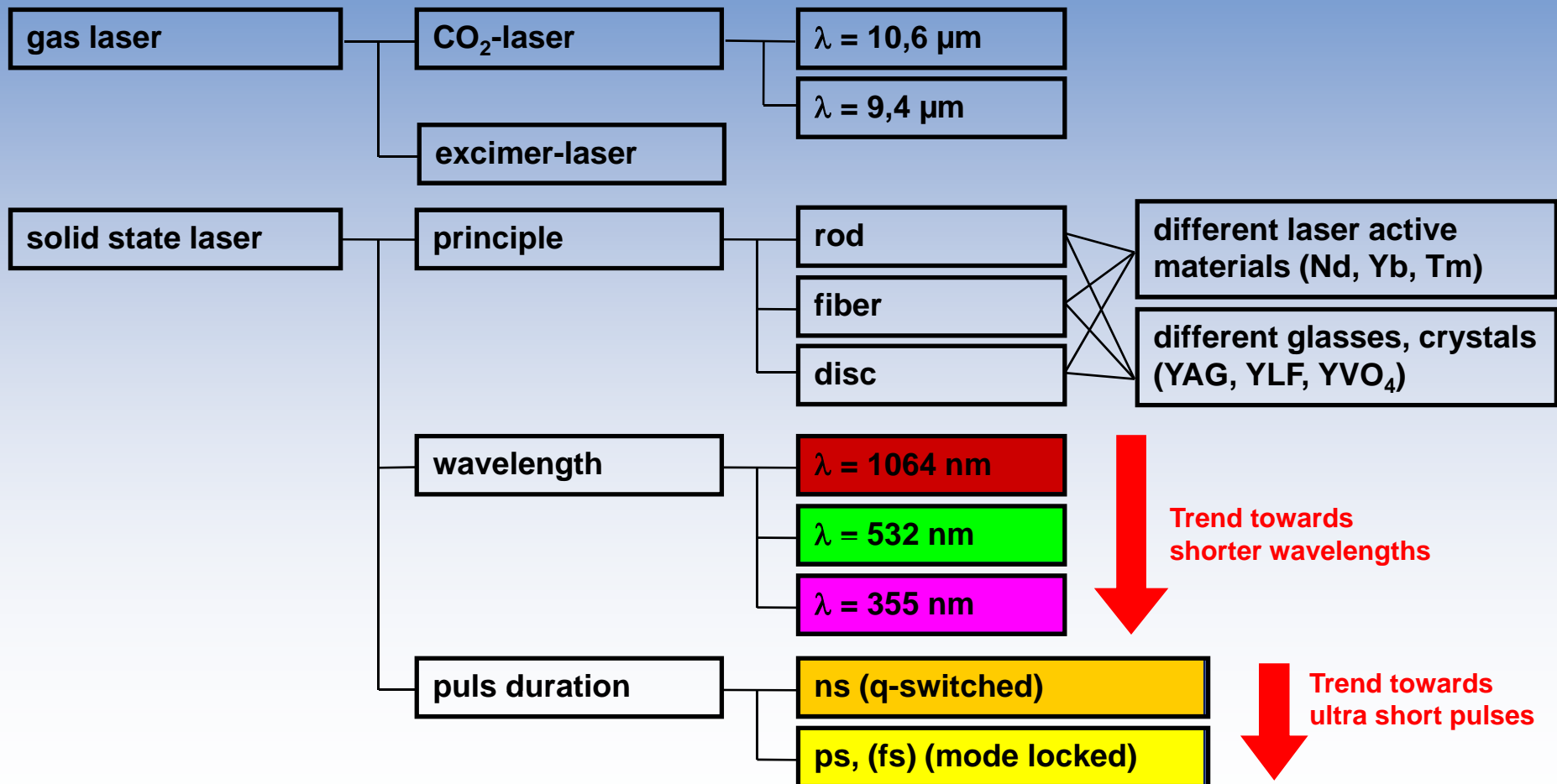
- zunehmend auch komplexere Formen
  - Kanalstrukturen, Kammern, ...
  - in Kombination mit elektrischen Schaltungen, d.h. Vias



# 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



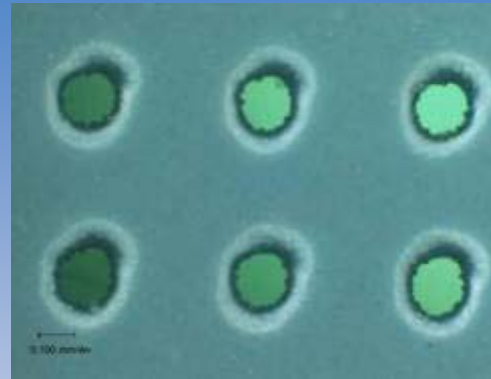
# Strukturierung grünkeramischer Folien

## Eignung verschiedener Laser

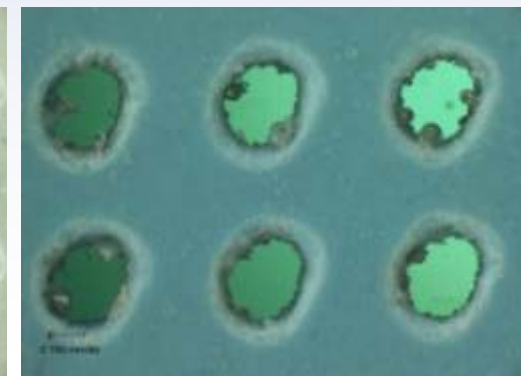
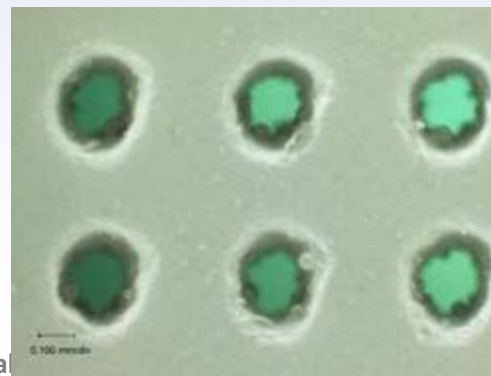
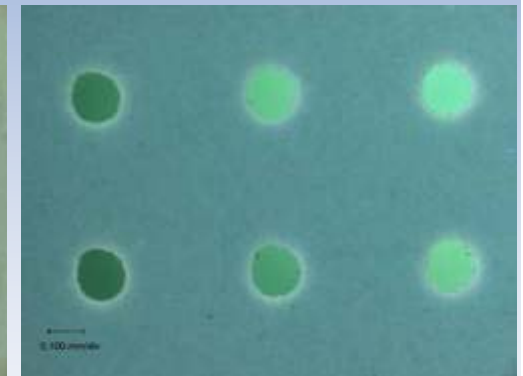
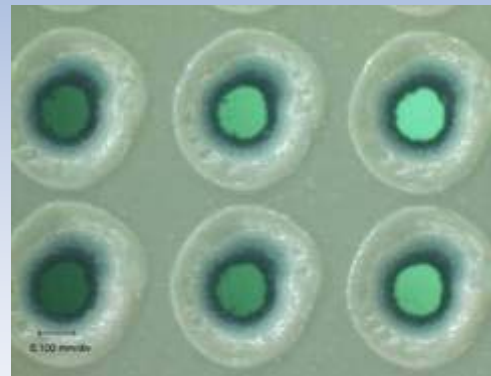
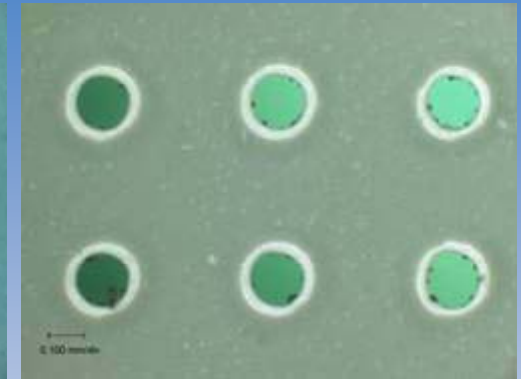
### CO<sub>2</sub>-Laser

- + 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



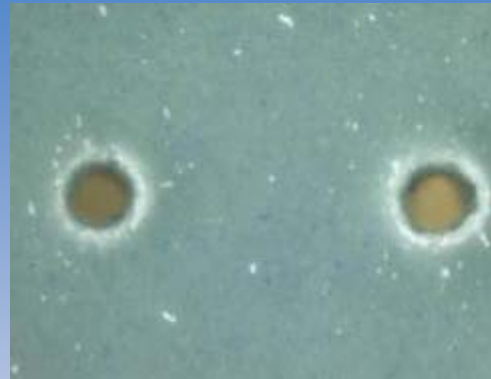
# Strukturierung grünkeramischer Folien

## Eignung verschiedener Laser

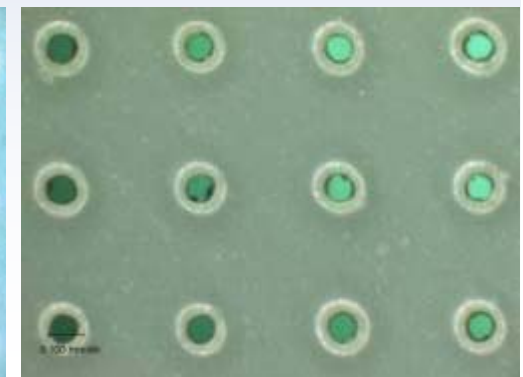
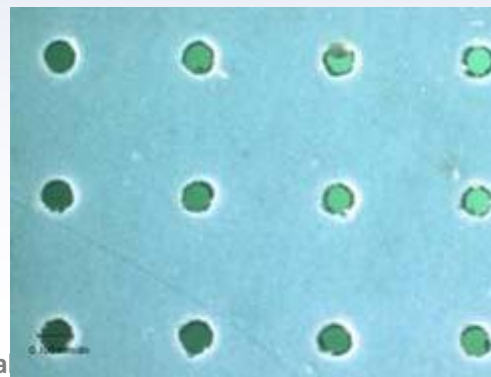
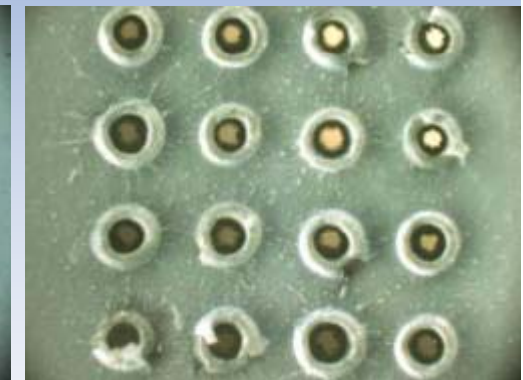
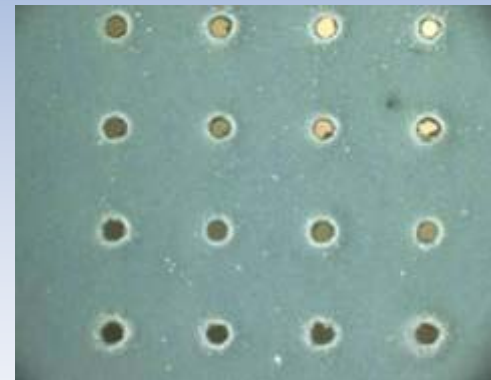
### diodengepumpte Festkörperlaser (gütegeschaltet, ns-Pulse) @ 1.064 nm

- + 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

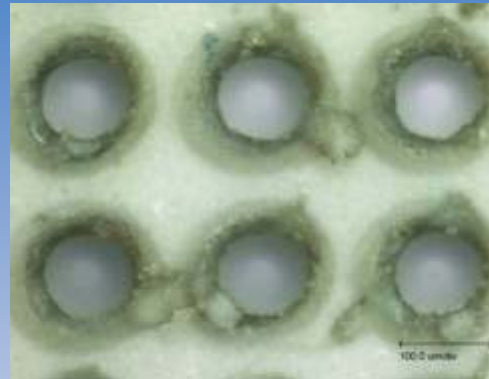
diodengepumpte Festkörperlaser  
(gütegeschaltet, ns-Pulse)  
frequenzkonvertiert  
@ 355 nm / @ 532 nm

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

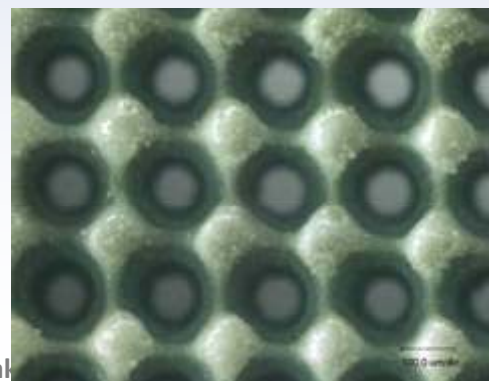
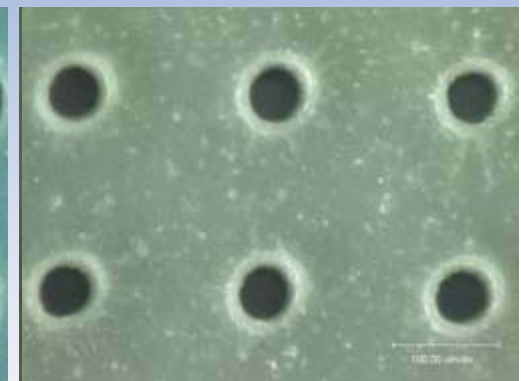
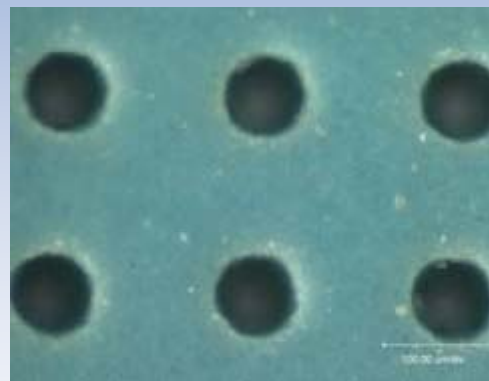
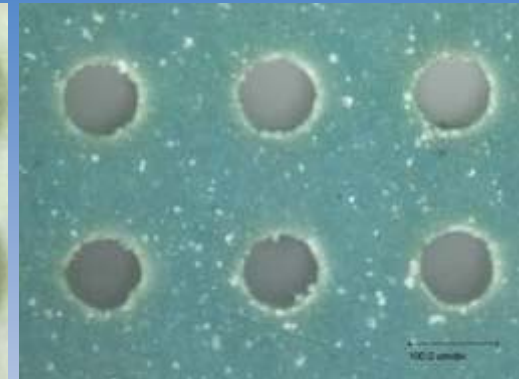
\* verglichen mit Grundwellenlänge

\*\* abhängig von Bohrstrategie

Strahleintritt



Strahlaustritt



# Strukturierung grünkeramischer Folien

## Eignung verschiedener Laser

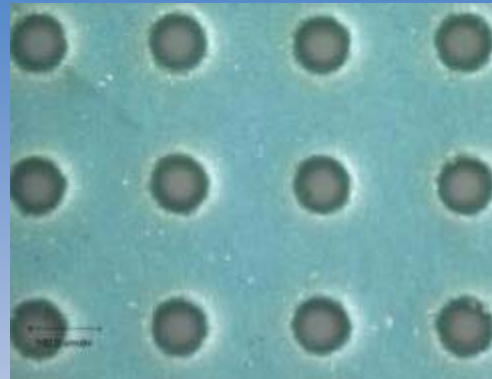
### diodengepumpte Festkörperlaser

(ps-Pulse)

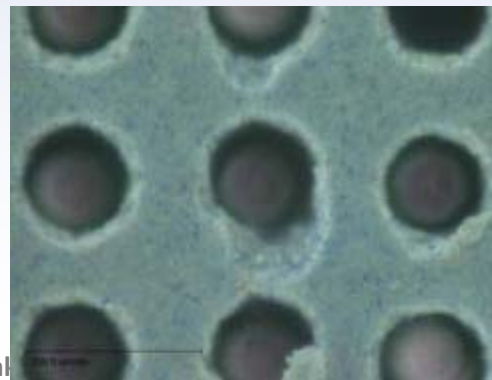
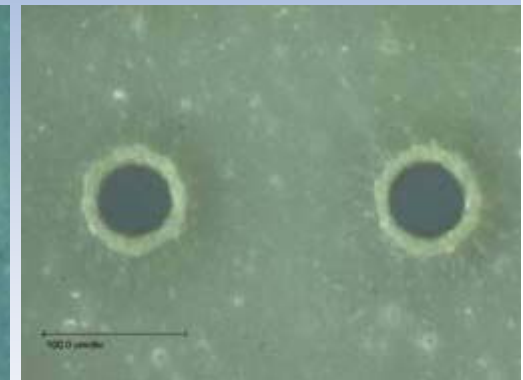
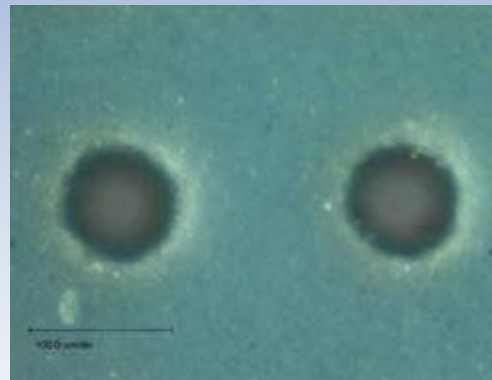
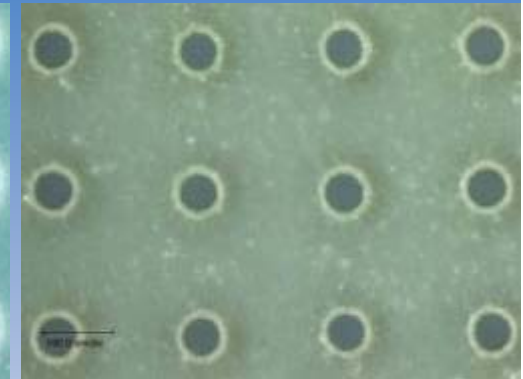
@ 1.030 nm

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

Strahleintritt



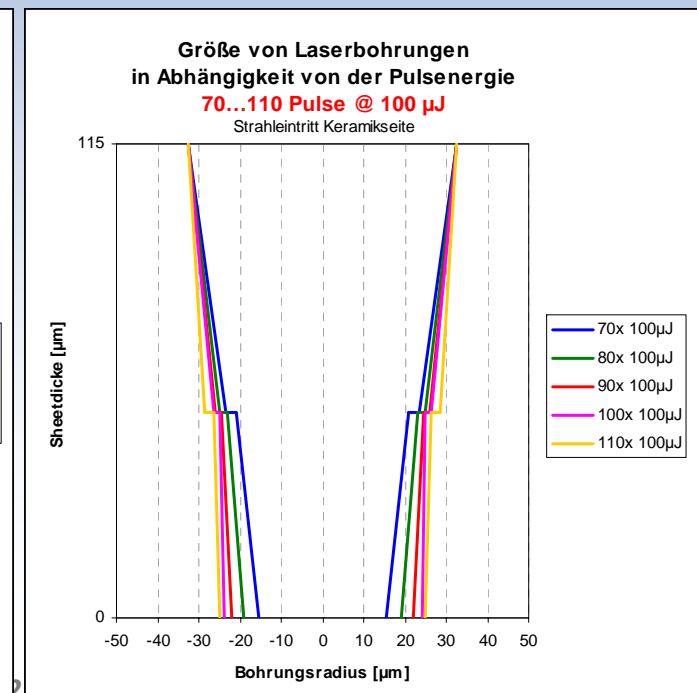
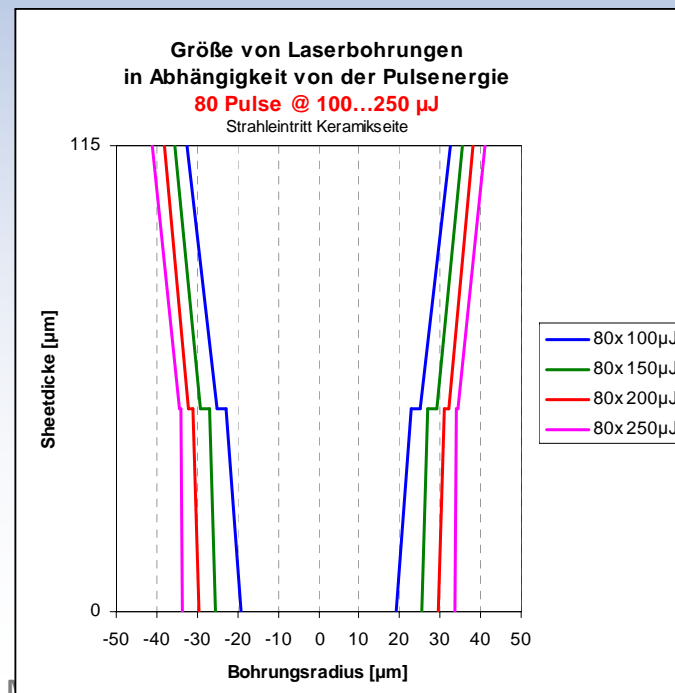
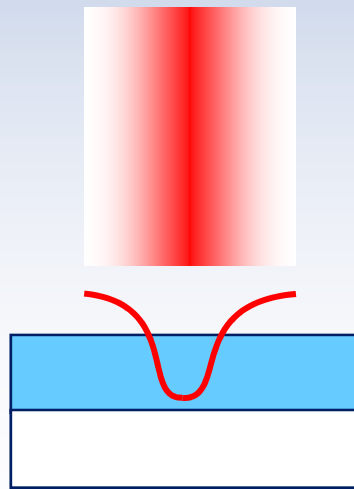
Strahlaustritt



# Strukturierung grünkeramischer Folien

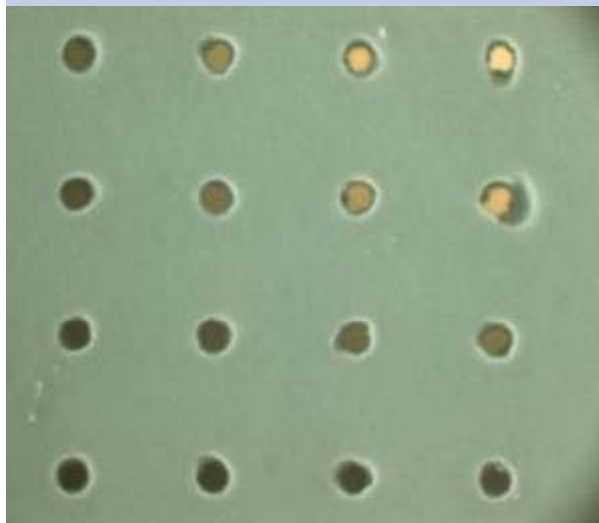
## Aspekte der Laserbearbeitung

- 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

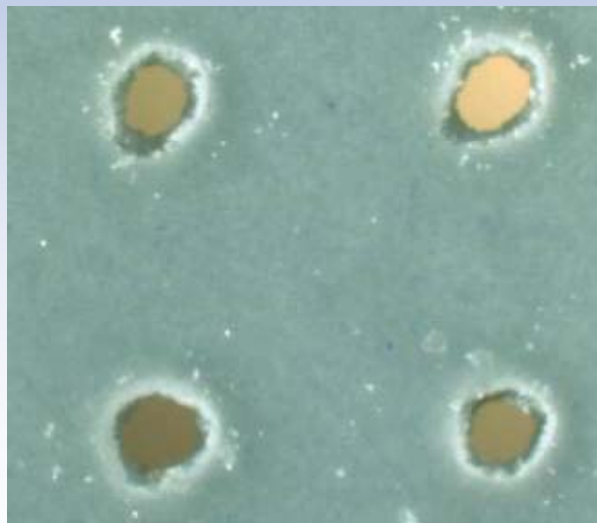


### mögliche Effekte: Abplatzungen an der Lochwandung

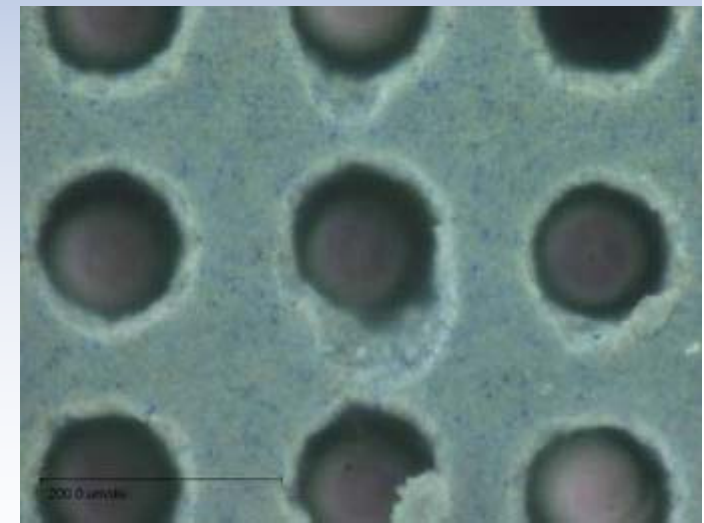
- mit längeren Pulsen stärker
- aber auch bei ps (materialabhängig)
- vermutlich auf geringen Materialzusammenhalt zurückzuführen



Yb:Faserlaser



Yb:Faserlaser



ps-Laser

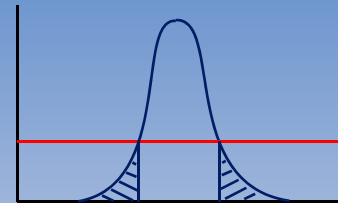


# Strukturierung grünkeramischer Folien

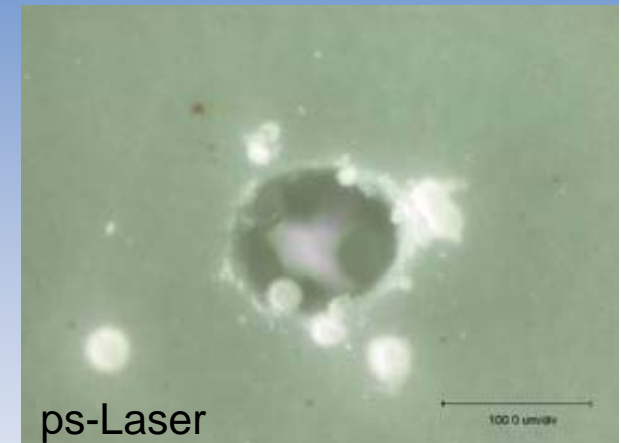
## Aspekte der Laserbearbeitung

### 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

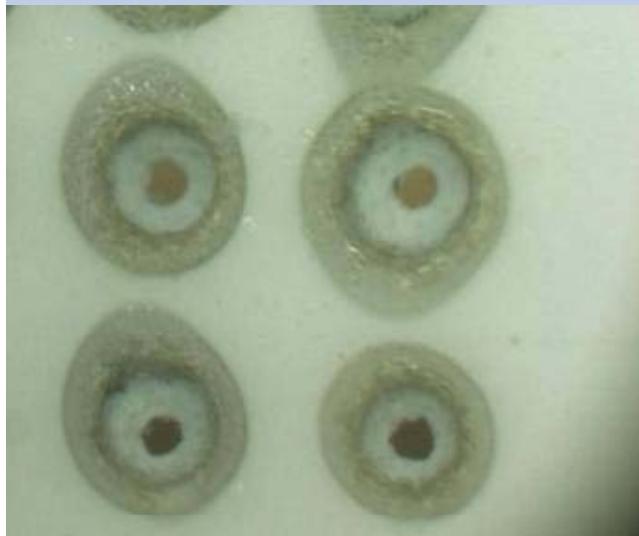
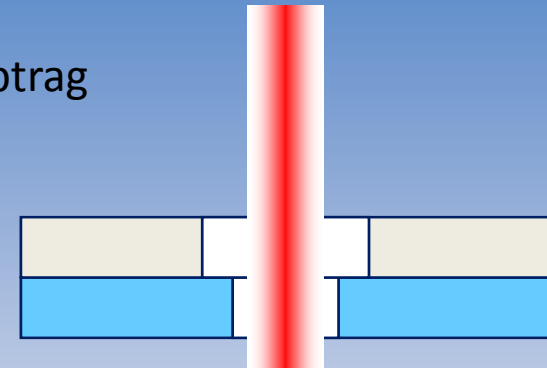


# Strukturierung grünkeramischer Folien

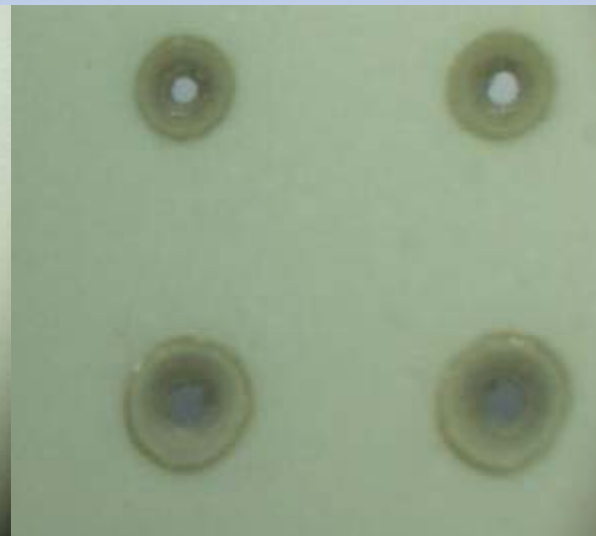
## Aspekte der Laserbearbeitung

### Effekte: Stufenbohrung

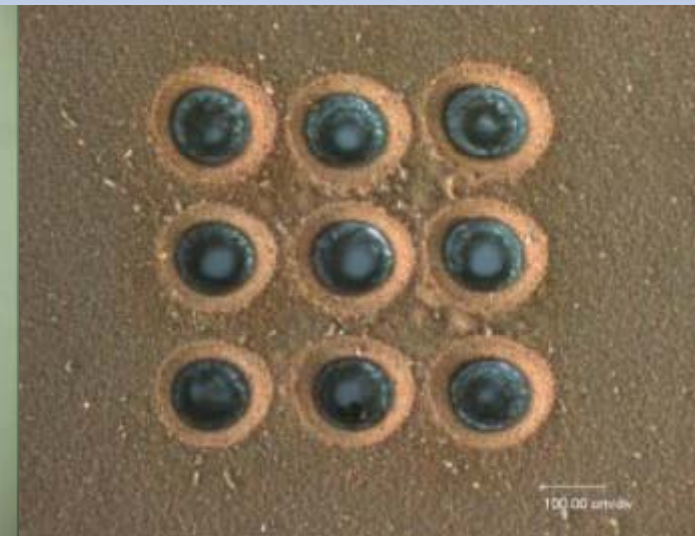
- unterschiedliche Absorption / unterschiedlicher Materialabtrag führen zu stufenförmiger Bohrung in geschichtetem Materialverbund
- prinzipiell bei allen Lasern zu beobachten



Yb:Faserlaser / Mylarseite



ps-Laser / Mylarseite



ps-Laser / Keramikseite

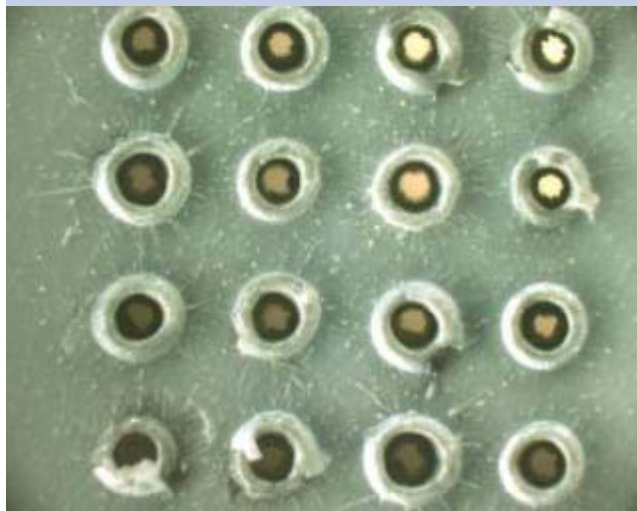
# Strukturierung grünkeramischer Folien

## Einfluss der Pulsdauer

### Pulsdauer $\Leftrightarrow$ Wärmeeintrag in die Bohrungsumgebung

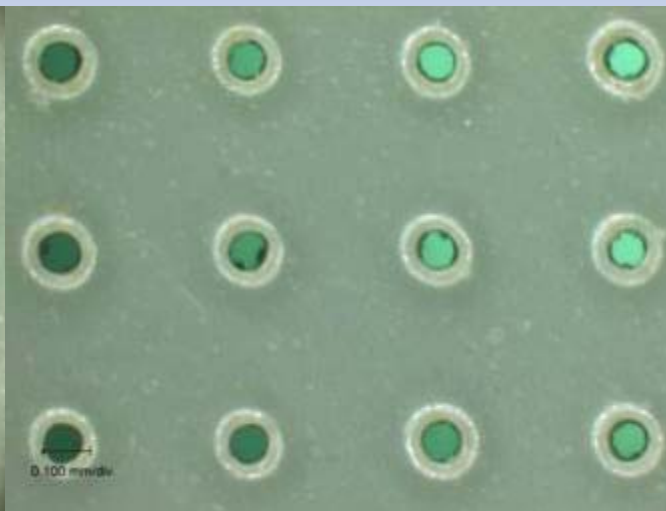
- kürzere Pulse bringen einen geringeren Wärmeeintrag und damit eine geringere thermische Schädigung der Bohrlochumgebung mit sich

Pulslänge **100ns**



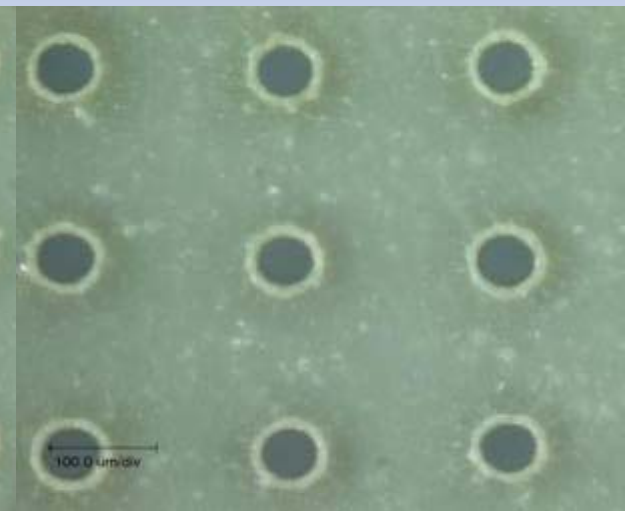
Yb:Faserlaser / Austrittseite

Pulslänge **25ns**



Yb:Faserlaser / Austrittseite

Pulslänge **5ps**



ps-Laser (1030 nm) / Austrittseite

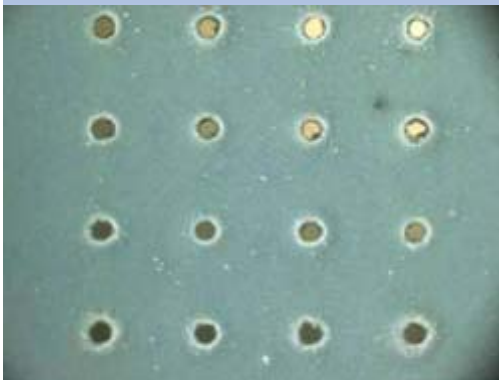
# Strukturierung grünkeramischer Folien

## Einfluss der Pulsdauer

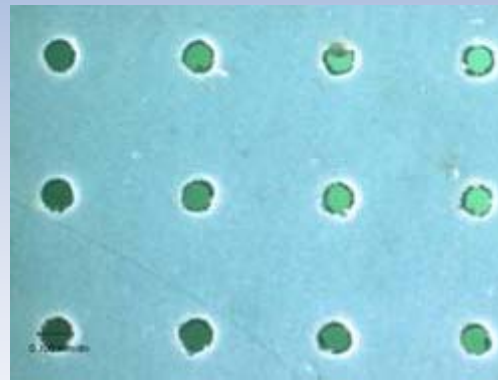
### Pulsdauer ⇔ Präzision der Bearbeitung (Rundheit von Laserbohrungen)

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

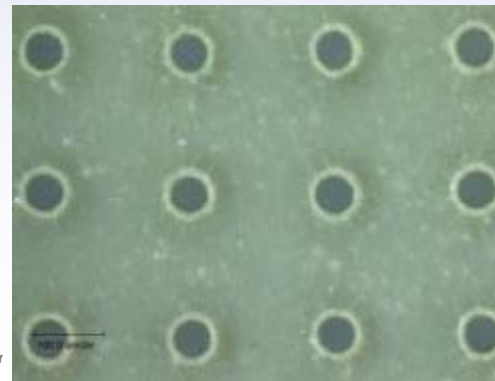
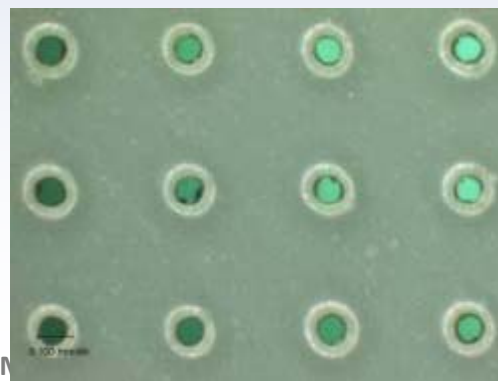
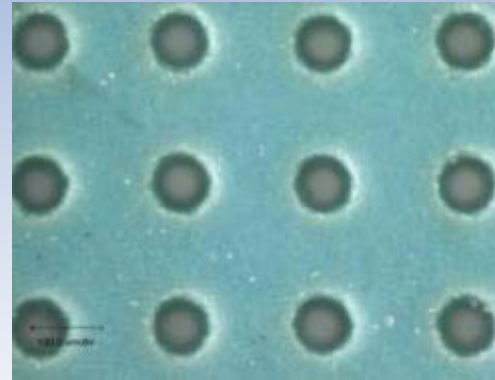
Pulslänge 100ns



Pulslänge 25ns



Pulslänge 5ps



- **Laser werden zunehmend zur Strukturierung grünkeramischer 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 !