

Aluminium Schmelzbefüllung zur Erzeugung von Through Glass Vias (Al-TGV)

IMAPS Herbstkonferenz 2026

Vortragender: Alexander Barnbrock

Fünf Kapitel verbinden Prozess, Anträge und Ergebnisse

Inhalt

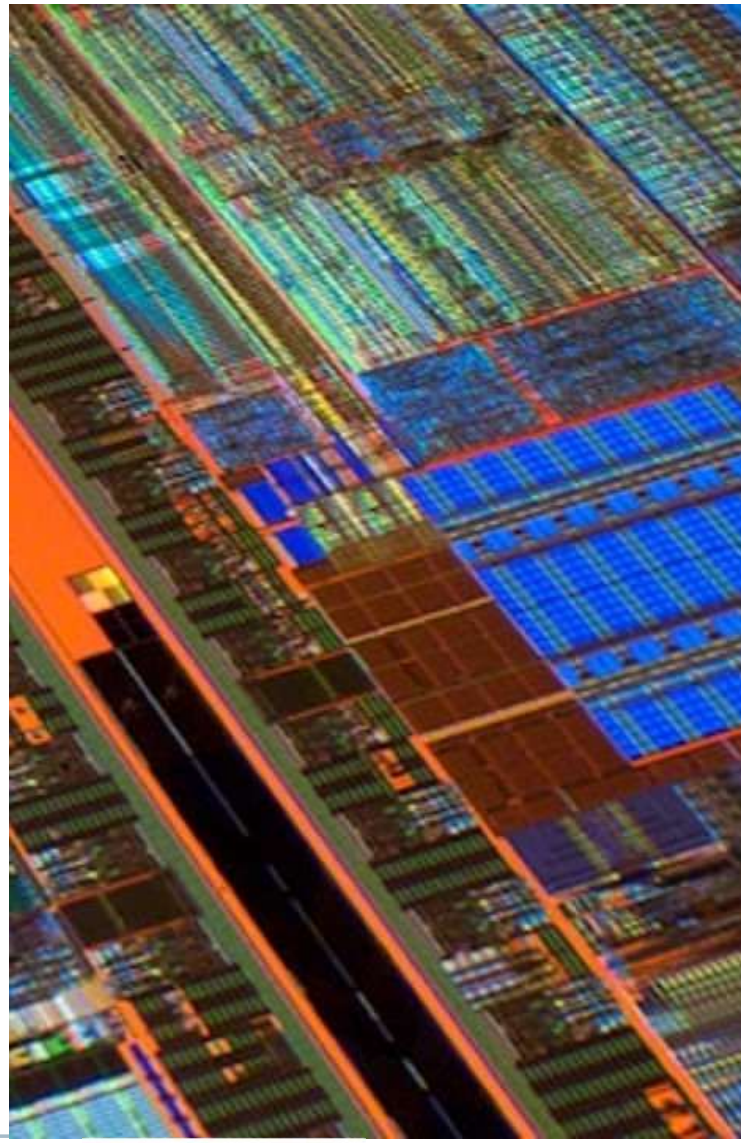
A Motivation

B Glas als Packaging Material und Integrationsplattform

C Unser Weg von Si-Stiftvias zu Al-TGV

D Herstellungsprozess von Aluminium TGVs

F Beispiele und Ausblick



APECS Fraunhofer ISIT

ISIT Baukasten für hermetische Glasgehäuse mit Durchführungen

A

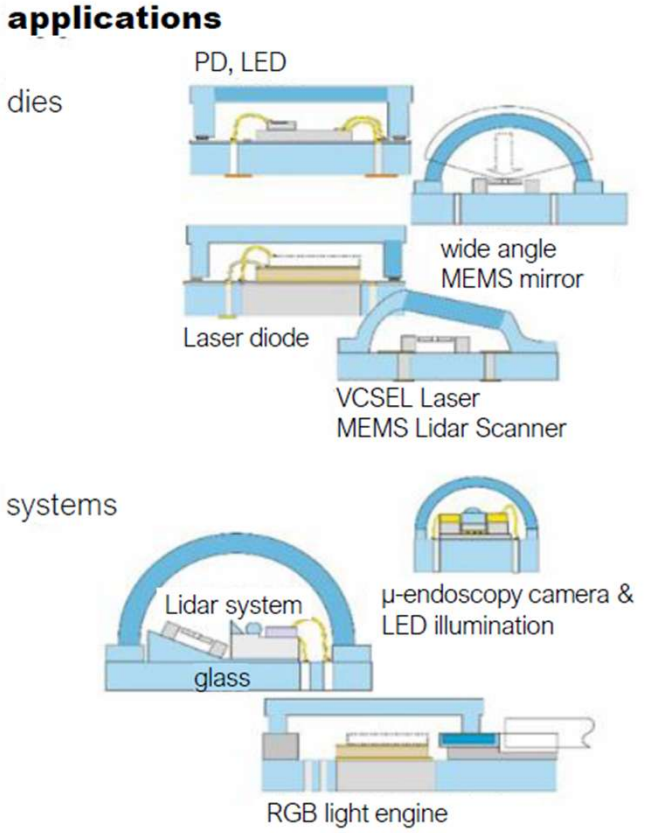
Suche nach einer passenden Via-first Technologie

Motivation:

- Wunsch von lateralen Durchführungen wegzukommen
- Kein Zwang zu sehr dünnen Wafern
- Prozesskompatibilität mit Vakuum Wafer Bonden
- Geringe Maschineninvestition
- Echte Hermetizität
- Hohe Robustheit im Einsatz

Versuche:

- Galvanisch aufgefüllte Cu-Vias: schwierig zu beherrschen
- Hochdotierte Si-Stiftvias in Glaseinbettung: hoher Durchgangswiderstand aber gut für einige Anwendungen



3D-Glasform- und TGV-Substrattechnologien @ ISIT

 © Fraunhofer

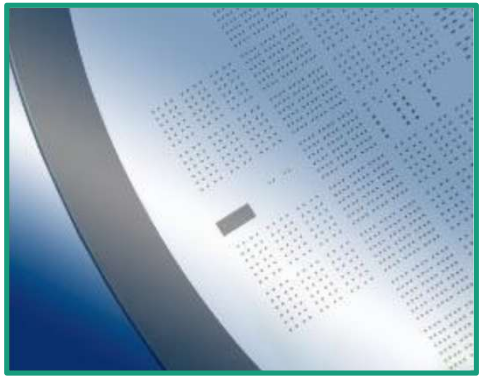
APECS Fraunhofer ISIT

Hermetische Stromdurchführungen für MEMS-Gehäuse

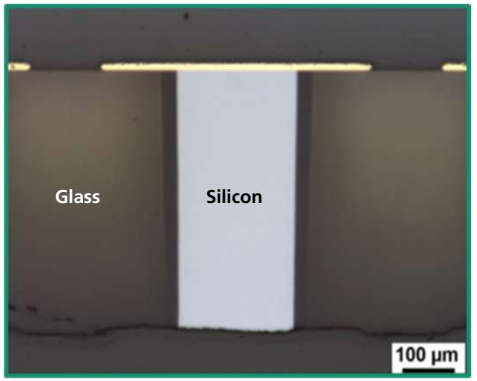
Leitfähige Si-Stiftvias in Si- und Glaswafern

A

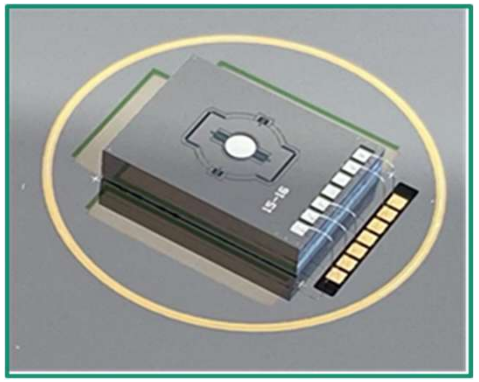
Hermetische MEMS-Gehäuse für optische Anwendungen



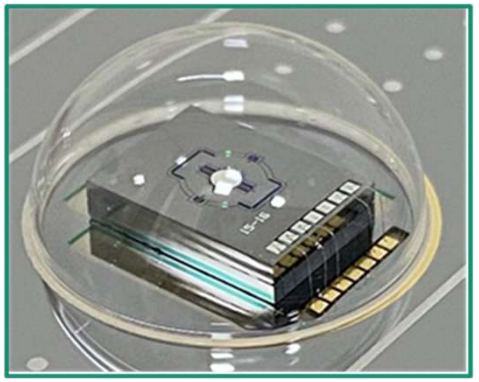
Wafer mit SI-Vias eingebettet in Glas



SI-Via eingebettet in Glas



Spiegel mit Wirebonds auf SI-Via



Demonstrator für MEMS-Laserscanner mit Kuppelfenster

 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

Glaskerne verbessern die Signalintegrität und Zuverlässigkeit

B

High End Elektronik

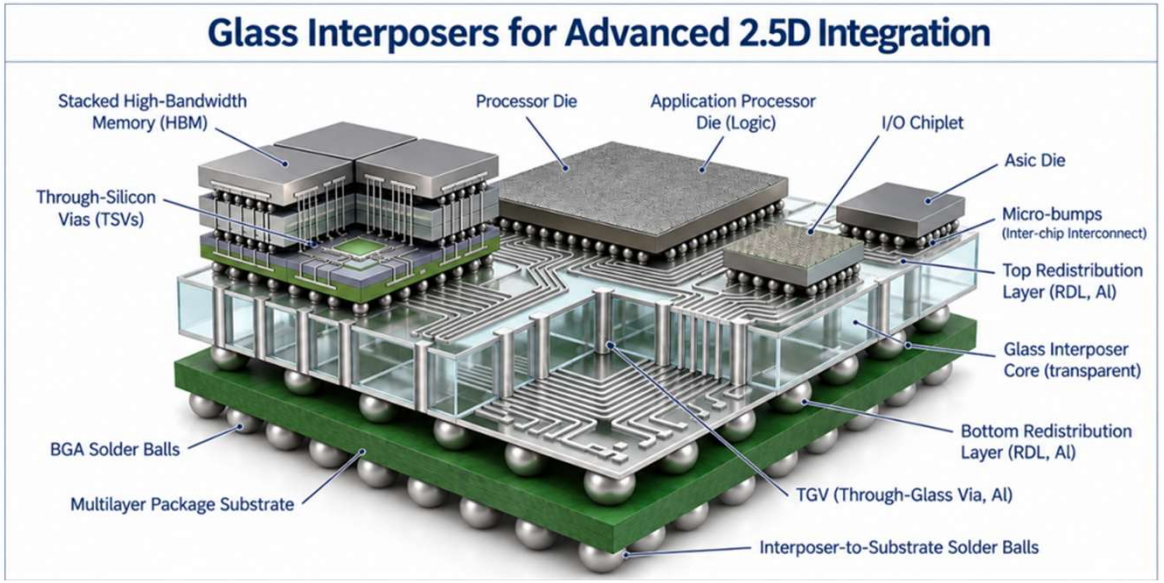
Glaskerne ermöglichen eine leistungsstärkere, dichtere Verpackung.

Wesentliche Vorteile

- Niedriger Dielektrischer Verlust bei mmWave / HF
- Feinpitch-Routing und präzise TGVs
- Thermische Ausdehnung näher an Silizium
- Hohe Ebenheit und dimensionale Stabilität

Anwendungen

- 5G- und mmWave-Kommunikation
- KI-/HPC-Systeme
- Automobilsensoren und -displays
- Optoelektronik



 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

Herstellungsprozess von Aluminium TGVs

D

Glasmikrobearbeitung · SLE und LIDE decken komplementäre Glasstrukturen ab

3D glass structuring: SLE



Free-form 3D structures
- Focused laser beam
- Femtosecond laser

Materials
- BF33, AF32, quartz
- Sapphire

Accuracy
- Minimum feature: 2 µm
- Roughness: 1 µm

Application
- Prototyping

2.5D glass wafer patterning: LIDE

2.5D vertical structures
- Bessel laser beam
- Femtosecond laser

Materials
- BF33, AF32, quartz

Accuracy
- Minimum via diameter: 10 µm

Applications
- Feedthroughs and blind holes
- Micromachining and fluidics



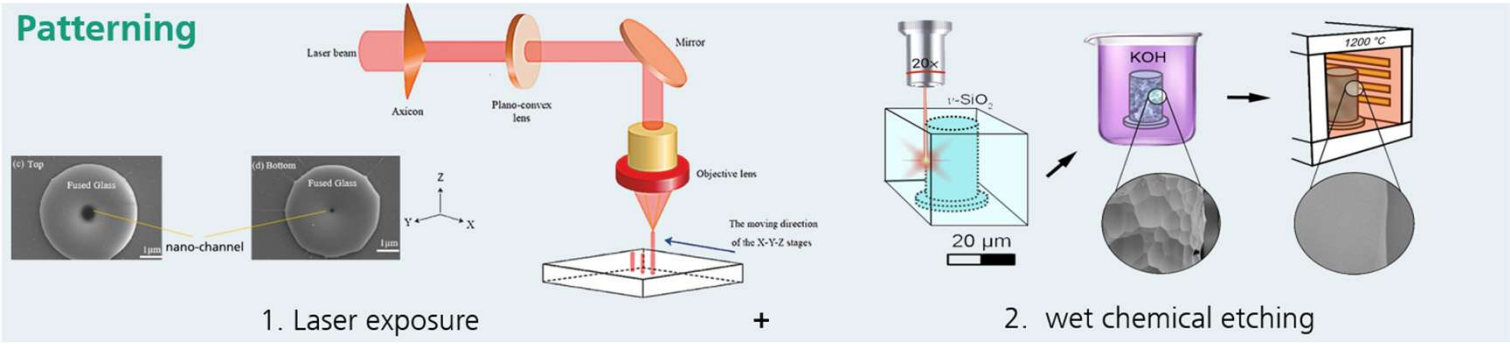
 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

Herstellungsprozess von Aluminium TGVs

D

Glasmikrobearbeitung · Strukturierungsverfahren durch Laserbelichtung und Nassätzung





Source: Lightfab

 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

Unser Weg von Si-Stiftvias zu Al-TGV

C

Aluminium-TGV-Herstellung: Saugfüllung

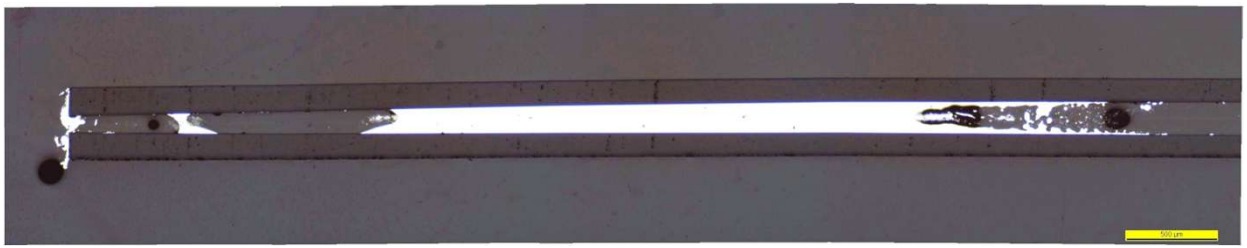
Ziel Identifizieren einer Metallisierungsroute ohne Sputtern

Ansatz Vakuum Ansaugung von aktivem Lötzinn und geschmolzenem Aluminium

Befundung Beide füllen lange Kanäle; eine zuverlässige Durchflussstoppfunktion ist weiterhin erforderlich



SnAg – aktives Lot SB220 (Ti, Cer & Gallium legiert) in Quarzwafer



Quarz-Kapillarsaugung gefüllt mit geschmolzenem Aluminium

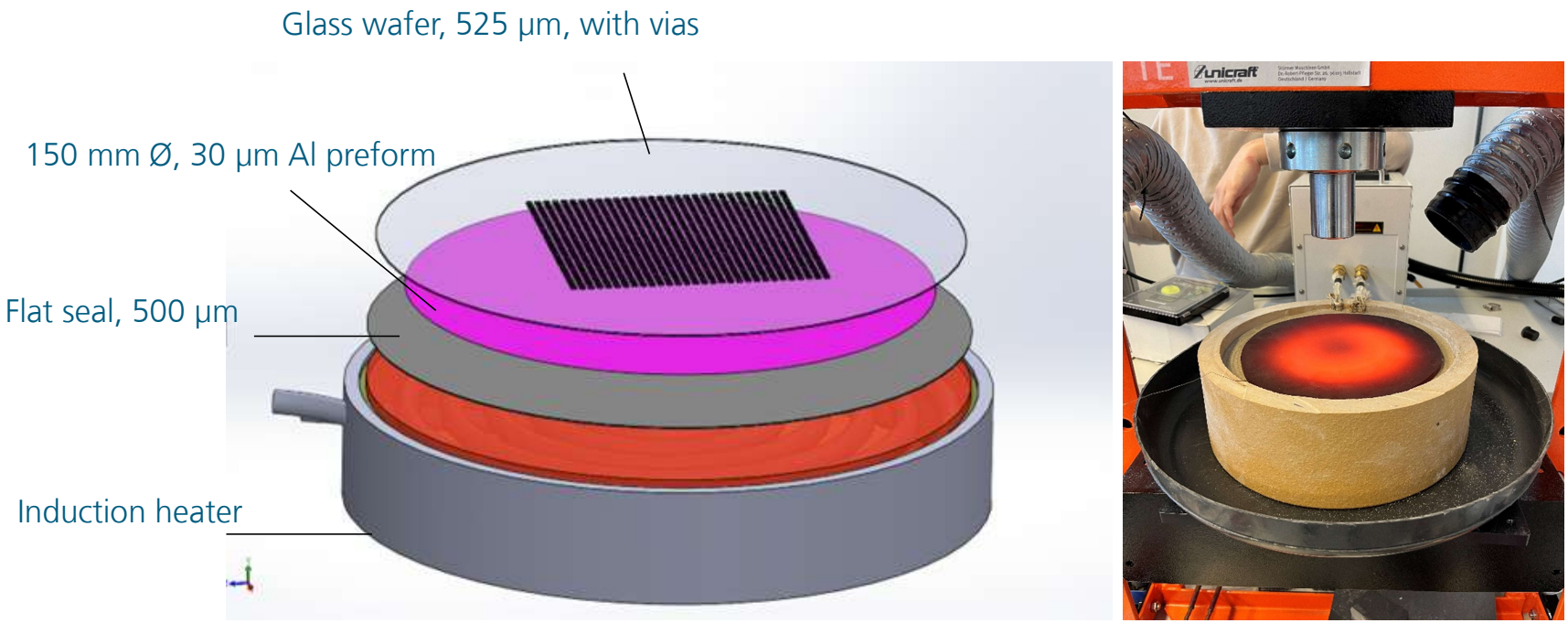
 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

Herstellungsprozess von Aluminium TGVs

D

Al-TGV-Herstellung · Prozessaufbau für druckunterstützte Aluminiumfüllung



Patented: 102023207522.9

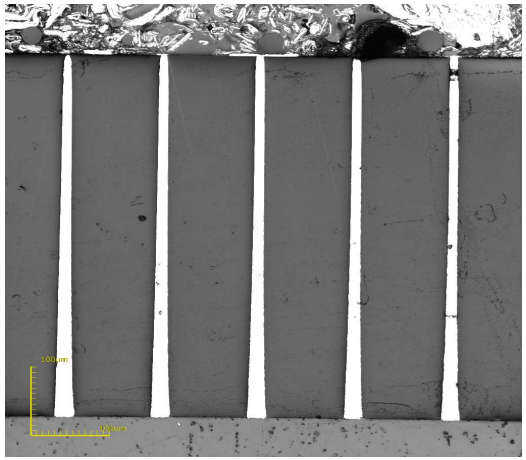
 © Fraunhofer

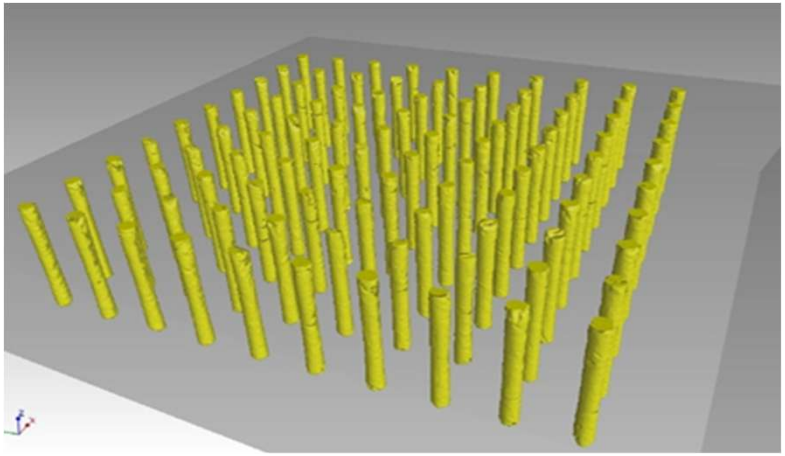
APECS Fraunhofer ISIT

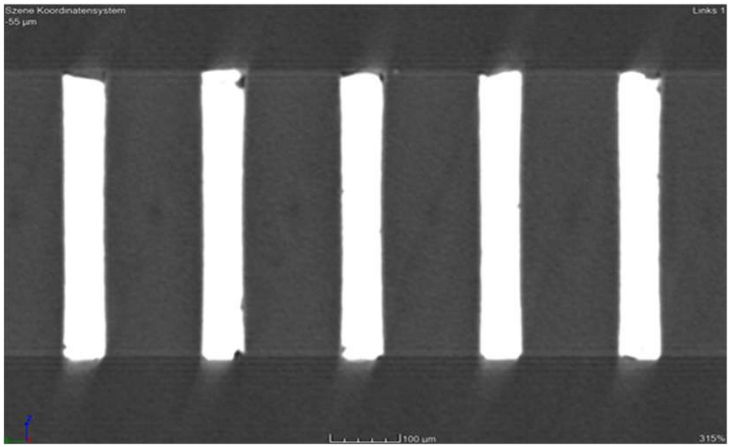
Herstellungsprozess von Aluminium TGVs

D

Aluminium füllt >15 µm Ø TGVs ohne Seitenwandmetallisierung – SLE-Laser







Quartz glass

LIDE channel structures

- 200 mm wafer
- No sidewall metallisation
- Blind holes included

TGV

- Via diameter >15 µm at pitch >60 µm
- typ. Substrate thickness 500 µm

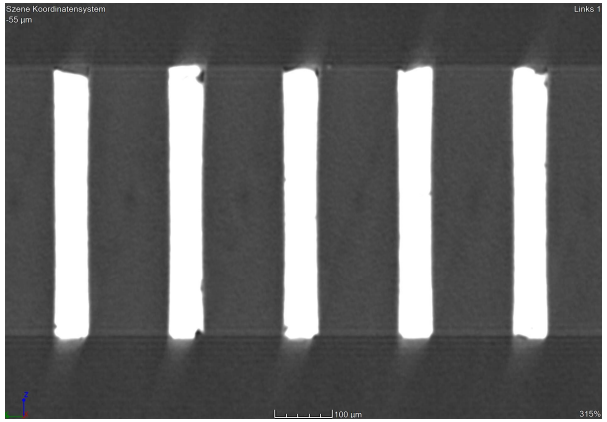
 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

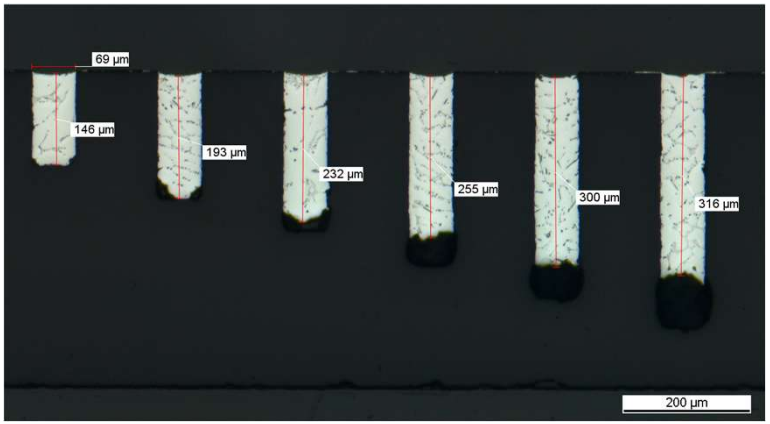
Herstellungsprozess von Aluminium TGVs

D

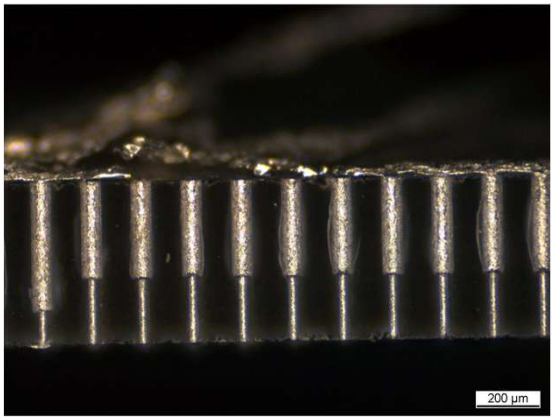
Aluminiumfüllungen in Durchgangsbohrungen und in gestuften Sacklöchern – LIDE-Verfahren



through hole (Fused Silica)



stepped blind holes (Fused Silica)



stepped blind holes with a tap hole (Fused Silica)

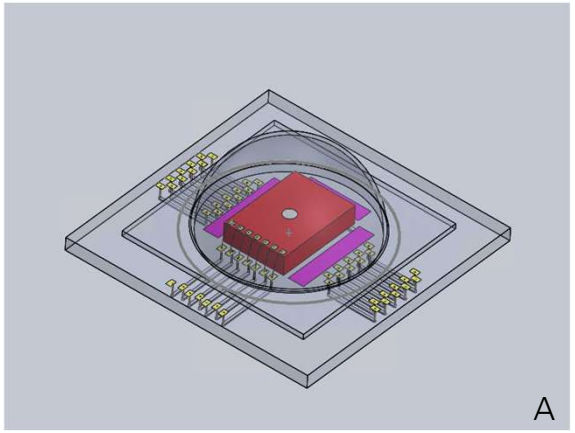
 © Fraunhofer

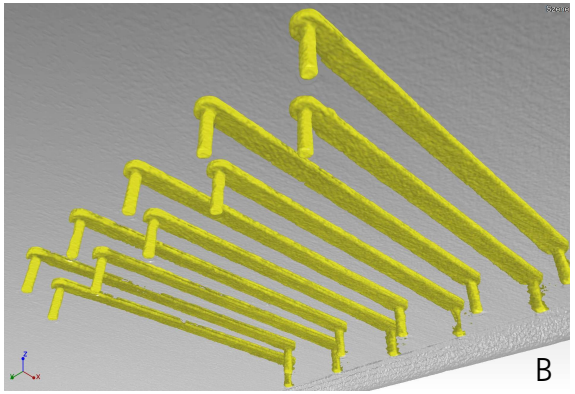
APECS Fraunhofer ISIT

Beispiele und Ausblick

D

Eingebettete Leiterbahnen und TGV



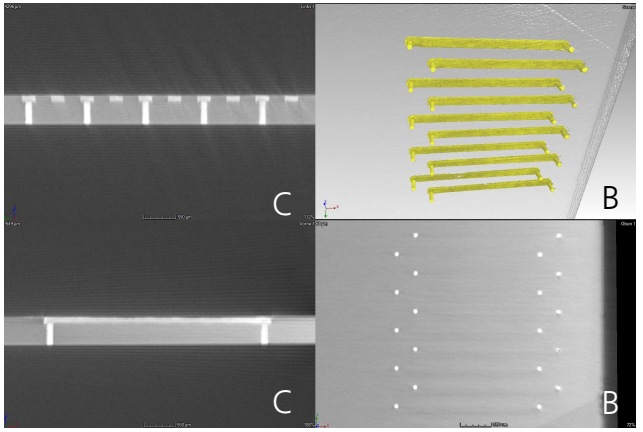


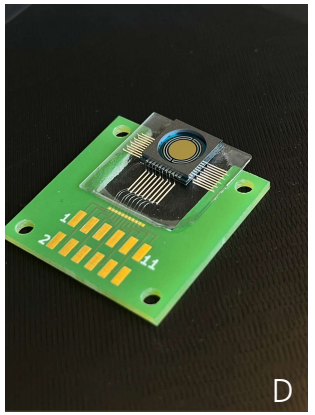
a) Transparentes Glasgehäuse mit integrierten Al-Verbindungen, hermetischer Abdichtung und hochpräzisen elektrischen Durchführungen.

b) 3D-Röntgentomographie von Al-gefüllten TGVs und eingebetteten Spuren.

c) Querschnitt eines TGV mit eingebetteten Tracks

d) MEMS-Spiegel auf TGV-Substrat





 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

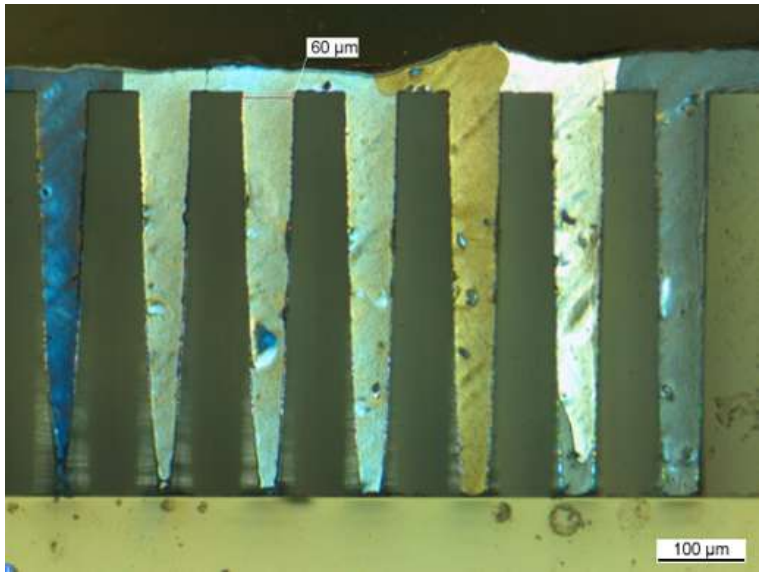
Beispiele und Ausblick

D

Reines Aluminium unterstützt supraleitende und einkristalline Vias

Hochreines Aluminium vereint außergewöhnliche elektrische und thermische Leitfähigkeit bei kryogenen Temperaturen.

Single-crystal Al, pitch 120 µm



Baker etch

- Fremdatome beeinflussen Keimbildung negativ
- Langsame Abkühlgeschwindigkeit – weniger Körner
- Weniger Körner - Weniger Übergänge – bessere Leitfähigkeit
- Keine Schäden nach Temperaturbelastung (77°K - 1023°K)

Applications: Quantum Computing

 © Fraunhofer

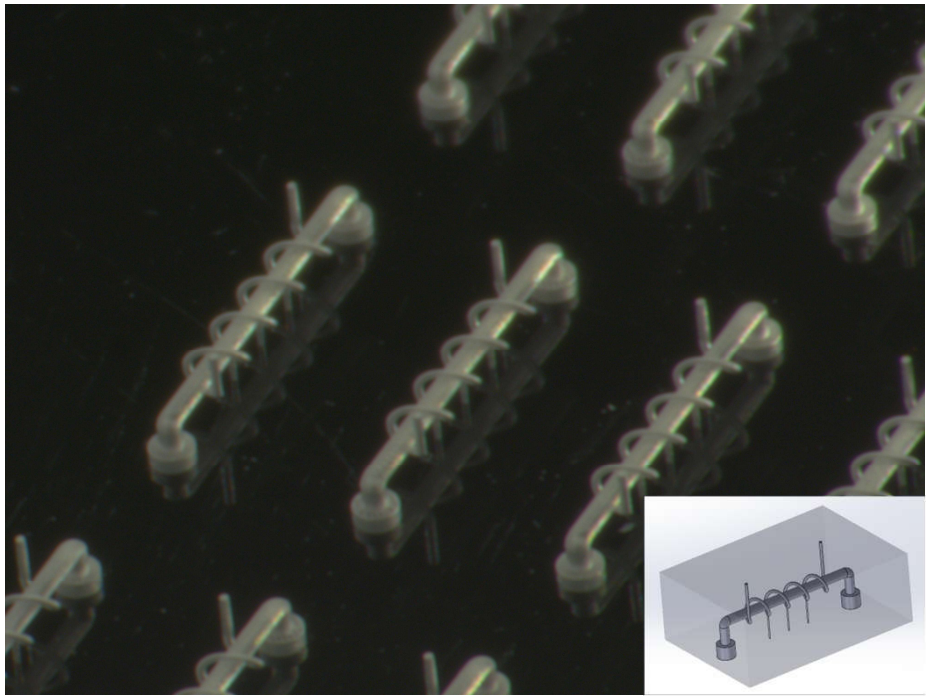
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland APECS Fraunhofer ISIT

Beispiele und Ausblick

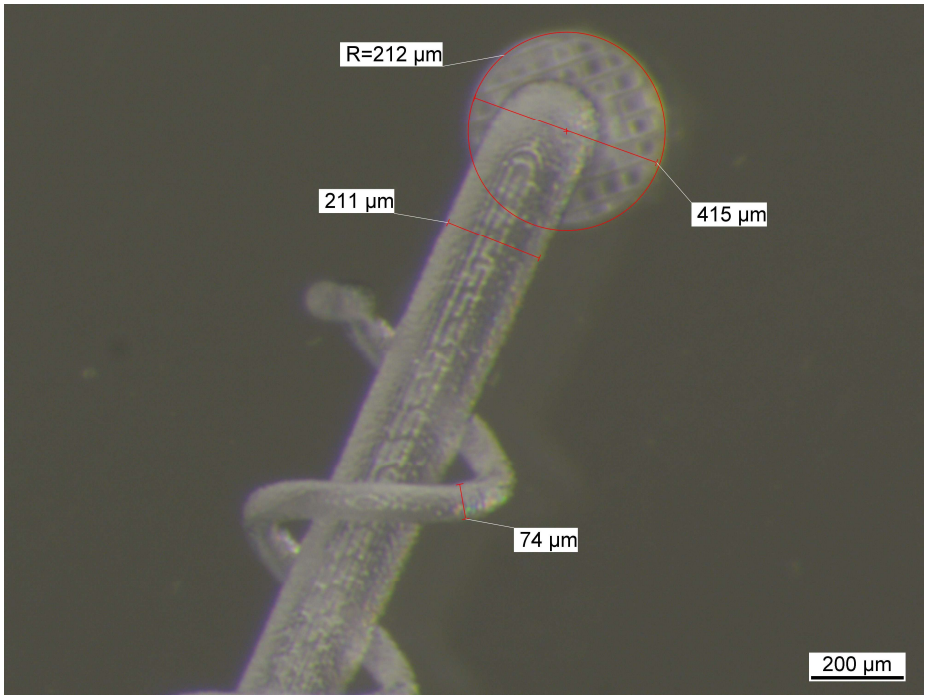
F

Aluminiumfüllung ermöglicht Spulen und Fluidik-Integration

Hohlraumstrukturen für Spule im Quarzglas



Kombination aus Spule und Kanalstruktur

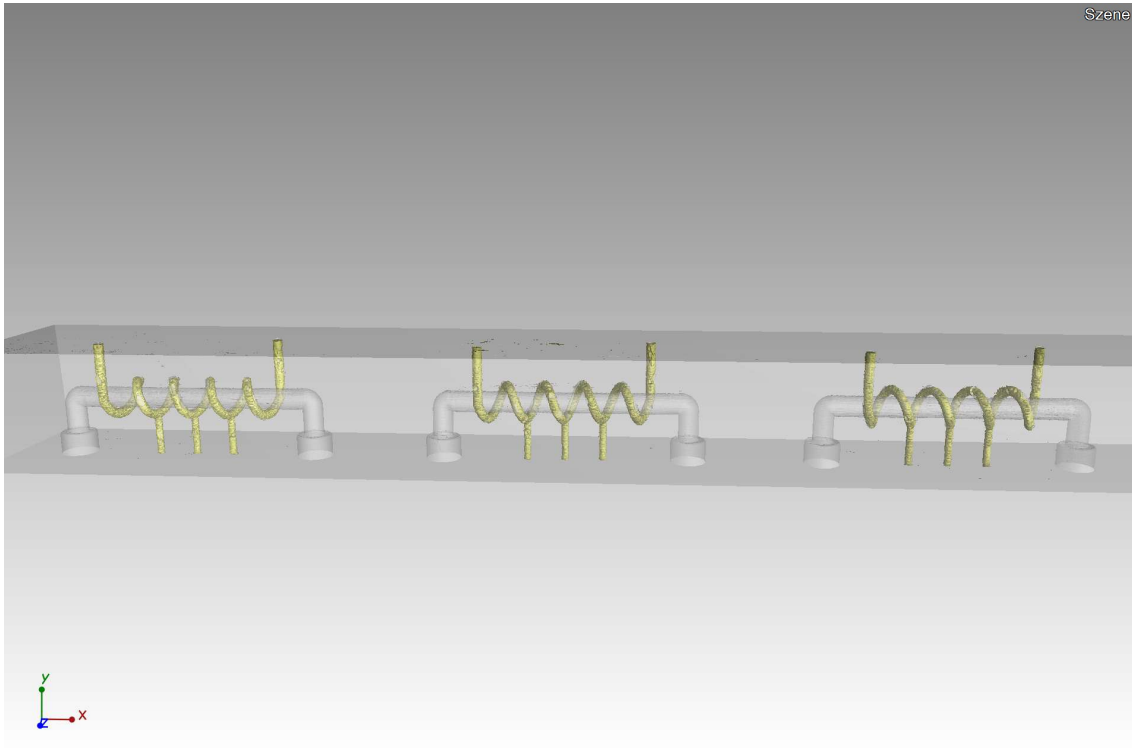


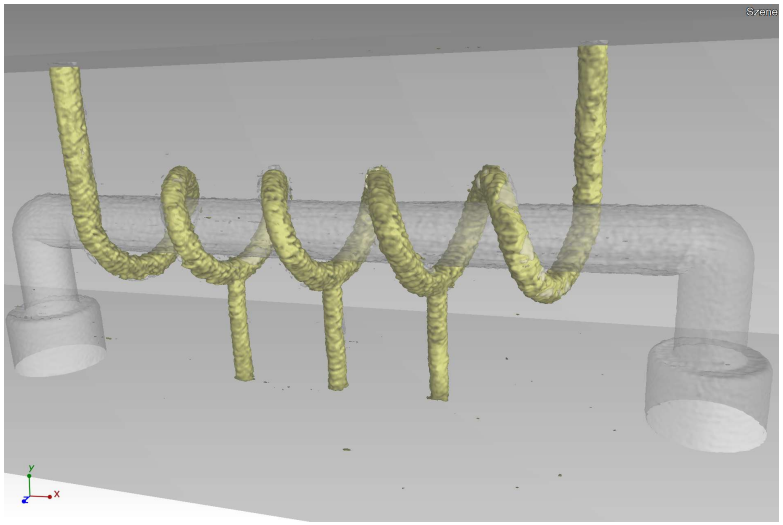
 © Fraunhofer

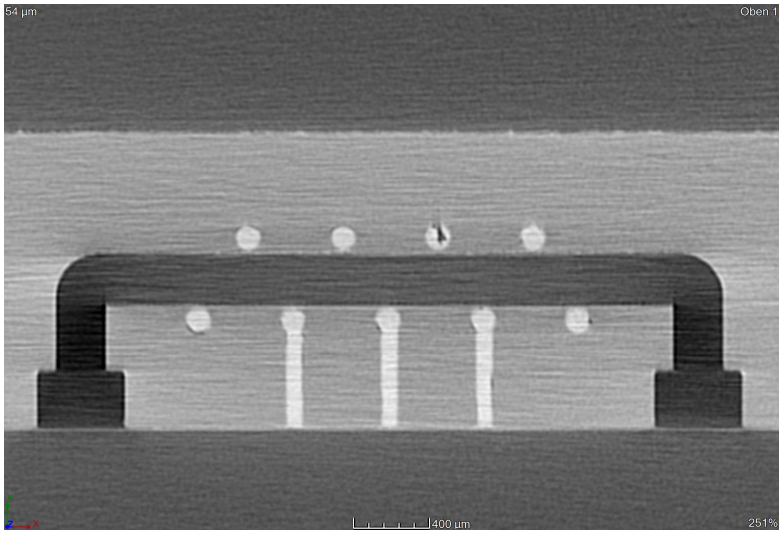
APECS Fraunhofer ISIT

Beispiele und Ausblick

3D-Bildgebung bestätigt kontinuierliche aluminiumgefüllte Spulen







F

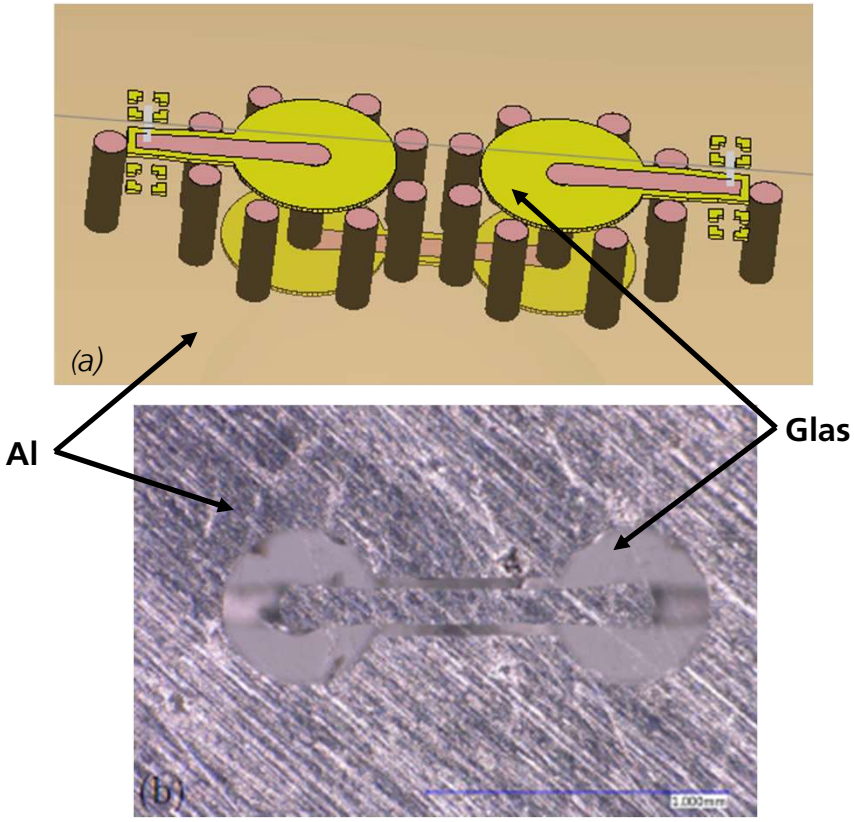
 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT

Beispiele und Ausblick

F

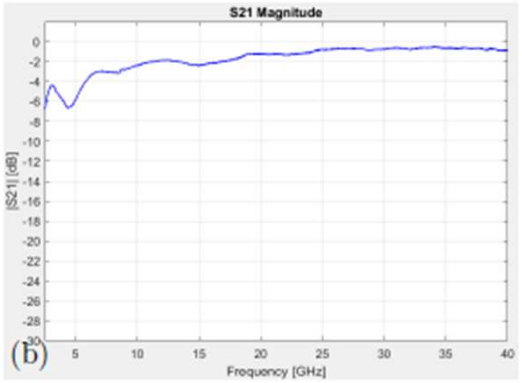
Aluminiumverbindungen senden mit geringem Verlust bis 40 GHz



HF test model

a) Validiert die verlustarme Übertragung von Aluminiumverbindungen bis zu 40 GHz.

b) Teststruktur wurde gefüllt und das Übertragungsspektrum bis zu 40 GHz gemessen.



 © Fraunhofer

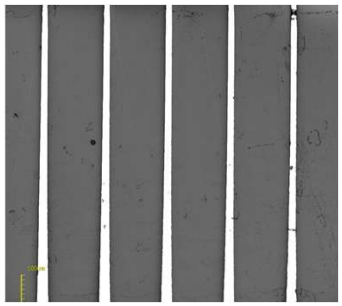
APECS Fraunhofer ISIT

Beispiele und Ausblick

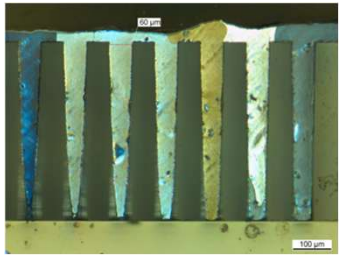
F

Fazit · Al-TGV Übersicht

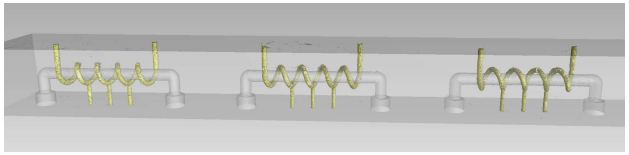
PROZESS	Maskenfreies Druck Befüllen von Aluminium
SKALA	Substrat: d>200 mm · h>500 µm
VIAS	<15 µm Durchmesser · <60 µm Pitch
PERFORMANCE	Seitenverhältnis >50:1 · kryogene Tests bis 4° K
Prozess Temperatur	Al 750 °C · AlCu >650 °C, andere Legierungen denkbar



Al-TGV on quartz, Ø >14.5 µm , Substratdicke 525 µm



Single-crystal Al 5N in Quarz, Pitch 120 µm



3D-Röntgentomographie von Al-gefüllten Spulen (gelb) um einen fluidischen Kanal, 3 mm dick, Quarz

© Fraunhofer

Thank you very much for your attention

Kontakt—
M.Sc. Nils Burmeister
Micro-Manufacturing Processes
Tel. +494821173433
nils.burmeister@isit.fraunhofer.de

Kontakt—
Dr.-Ing. Wolfgang Reinert
Director of Science and Technology |
Micro-Manufacturing Processes
Tel. +494821173557
wolfgang.reinert@isit.fraunhofer.de

Fraunhofer ISIT
Fraunhoferstraße 1
25524 Itzehoe
www.isit.fraunhofer.de

 © Fraunhofer

APECS Fraunhofer ISIT