

Hochschule
Kempten

University of Applied Sciences



Leiterplatten-Prepackages: Bausteine für hochintegrierte Leistungselektronik

Labor für Elektronikintegration

Till Huesgen, Ankit Sharma, Johann Schnur, 18.03.2021

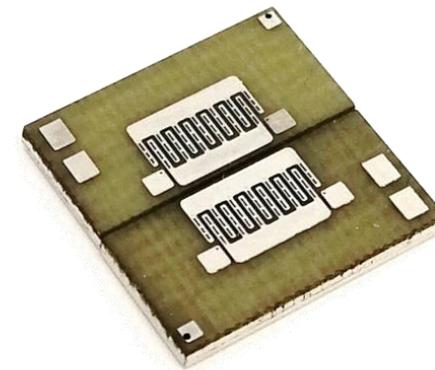
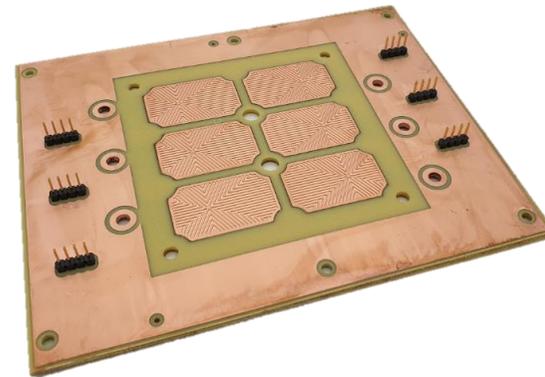


Agenda

Einführung

Beispiele aus der Forschung

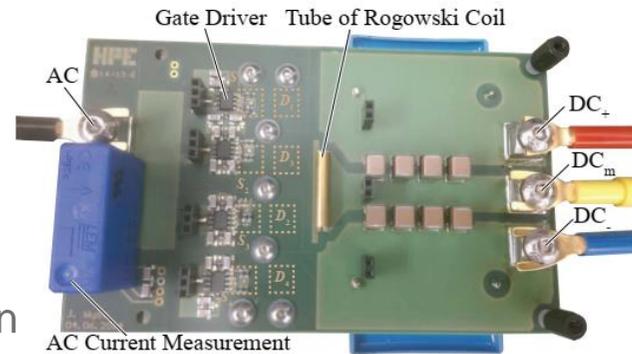
- **IGBT Single-Switch-Prepackage**
→ Direktkühlung
- **GaN Prepackage**
→ integrierter Thermistor



Zusammenfassung

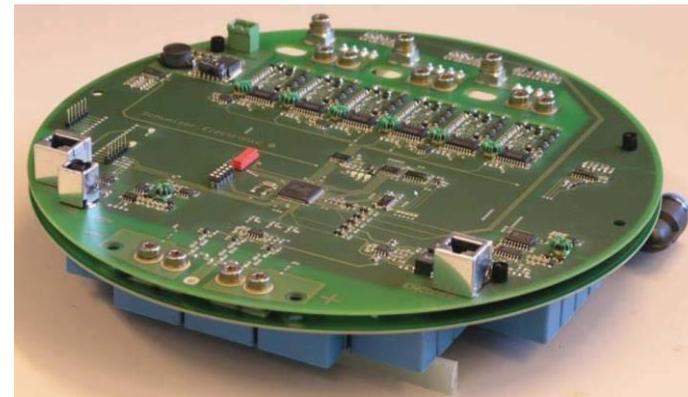
Einführung „Converter in a board“

- **Miniaturisierung, da Gehäuse und Kontakte entfallen**
- **Kürzere Strompfade**
 - Reduziere parasitäre Widerstände und Induktivitäten
 - Geringere Schalt- und Durchlassverluste
- **Verbesserte Entwärmung bei Verwendung von Dickkupfer-substraten**
 - Höhere Stromtragfähigkeit
 - Höher Lastwechselfestigkeit
- **Potential zur kostengünstigen Herstellung auf Panelebene**



30kW boost PFC converter

[J. Wyss and J. Biela, EPE 2016]

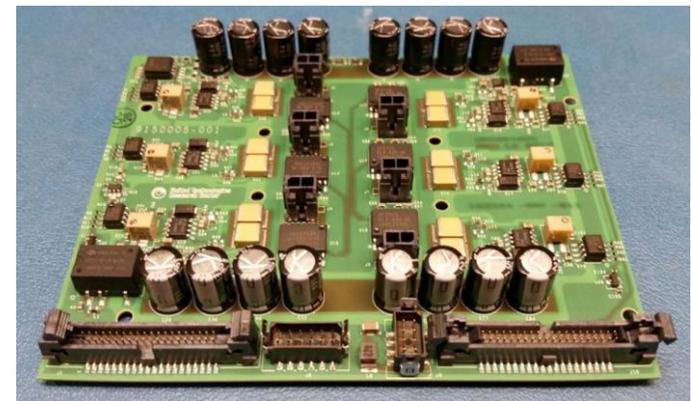


32 kW Antriebsumrichter

[T. Gottwald and C. Roessle, ESTC 2018]

5 kW GaN Antriebsumrichter

[S. Savulak et al., APEC, 2018]



Einführung Herausforderung Fertigungsausbeute

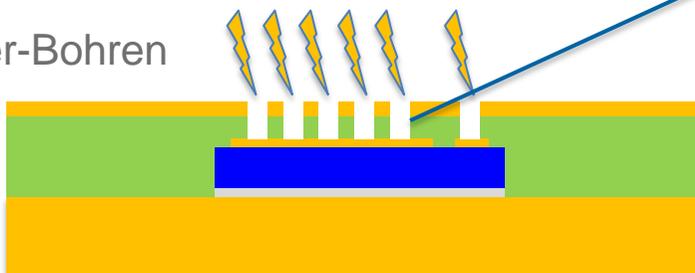
Chip-Montage



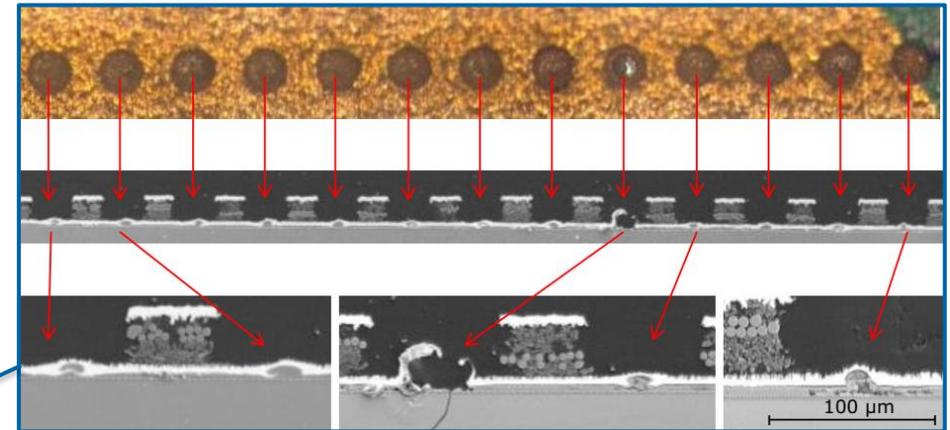
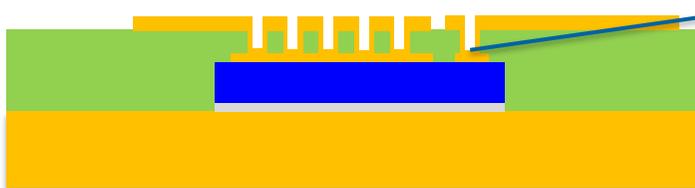
Laminieren



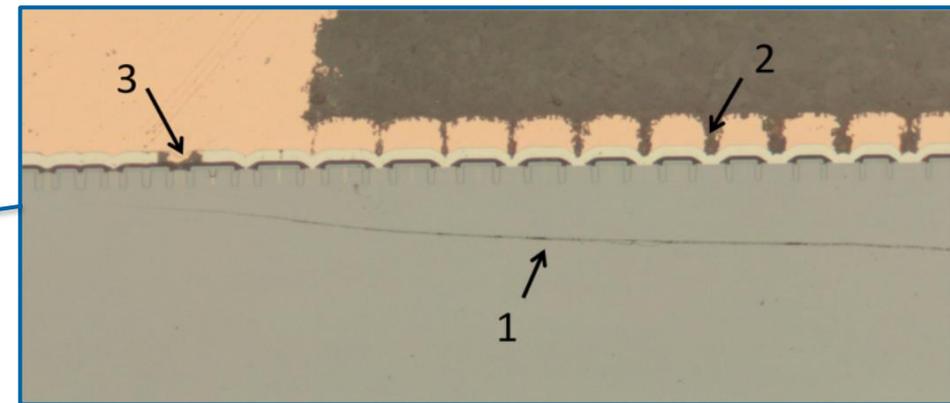
Laser-Bohren



Galvanische Kontaktierung



[A. Munding et al., ECTC 2017]



[R. Randoll, Dissertation 2017]

Einführung Prepackages

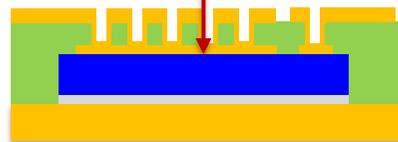
„Verpacken“ von Leistungschip (IGBT, MOSFET, Diode) mit Leiterplattentechnologie

- Einbetten in Prepregs → kein weiteres Isolationsmaterial erforderlich
- Kontaktierung mit Micro-Vias (Cu Metallisierung erforderlich)
- Fan-out von Kontakten
- Test nach kritischem Prozessschritt möglich → nur Gutteile werden weiterverarbeitet
- Integration durch weiteres Einbetten oder Montage als SMD-Bauteil

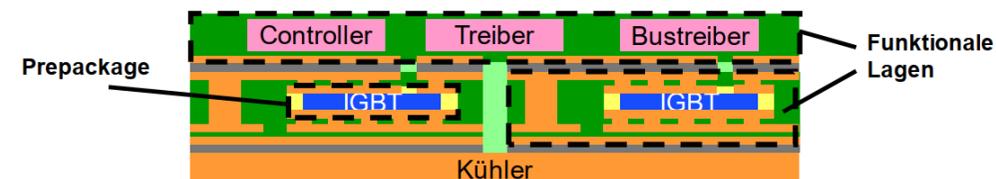
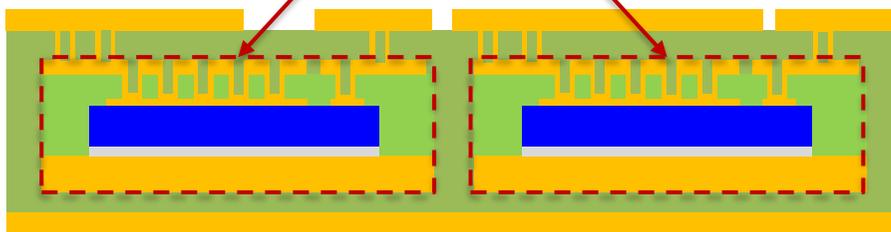
„Bare Die“



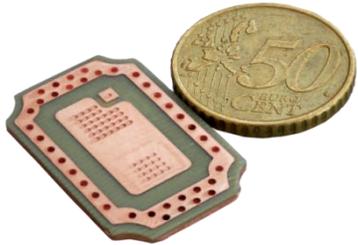
Prepackage



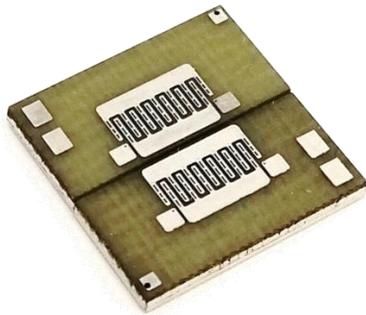
Leiterplattenmodul



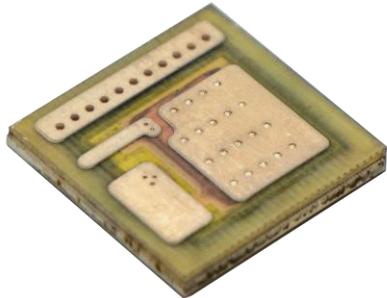
Prepackages aus Kempten



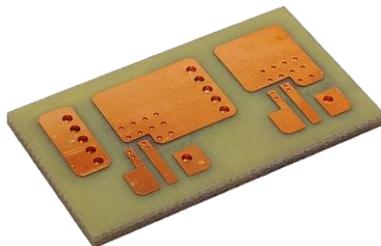
Single-Switch Prepackage mit 1200V, 50A IGBT+Diode
→ integrierte Kühlung
[Sharma et al. CIPS 2020]



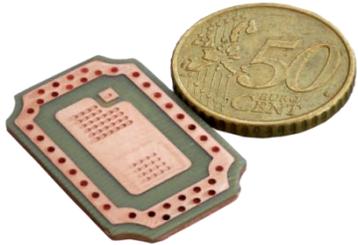
Asymmetrisches 100V / 100A GaN HEMT Single-Chip Prepackage
→ integrierter Thermistor
[Sharma et al. accepted for publication at PCIM 2021]



1200V / 150 A IGBT Prepackage mit DBC Substrat
[Huesgen et al., submitted to EMPC2021]

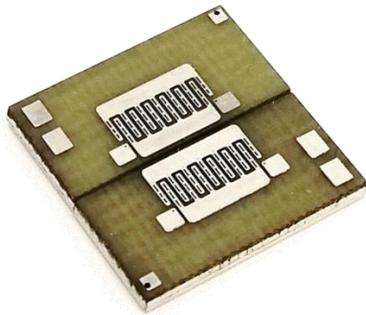


Half-Bridge Prepackage mit 100V / 100A MOSFET



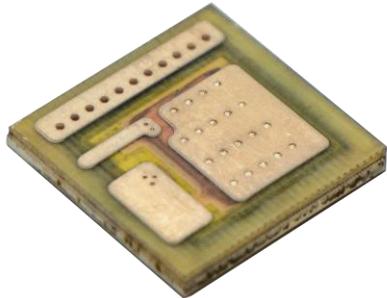
Single-Switch Prepackage mit 1200V, 50A IGBT+Diode
→ integrierte Kühlung

[Sharma et al. CIPS 2020]

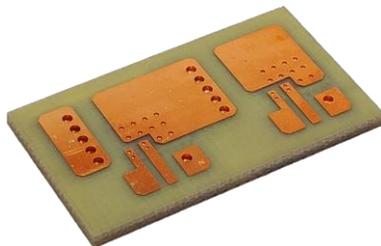


Asymmetrisches 100V / 100A GaN HEMT Single-Chip Prepackage
→ integrierter Thermistor

[Sharma et al. accepted for publication at PCIM 2021]

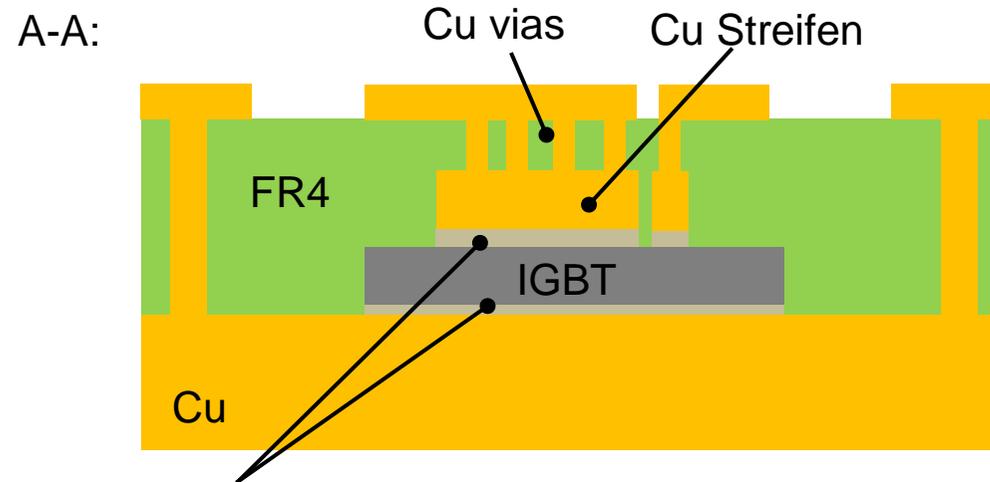
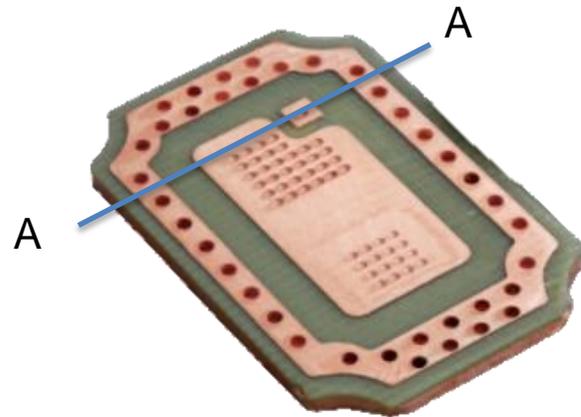


1200V / 150 A IGBT Prepackage mit DBC Substrat
[Huesgen et al., submitted to EMPC2021]

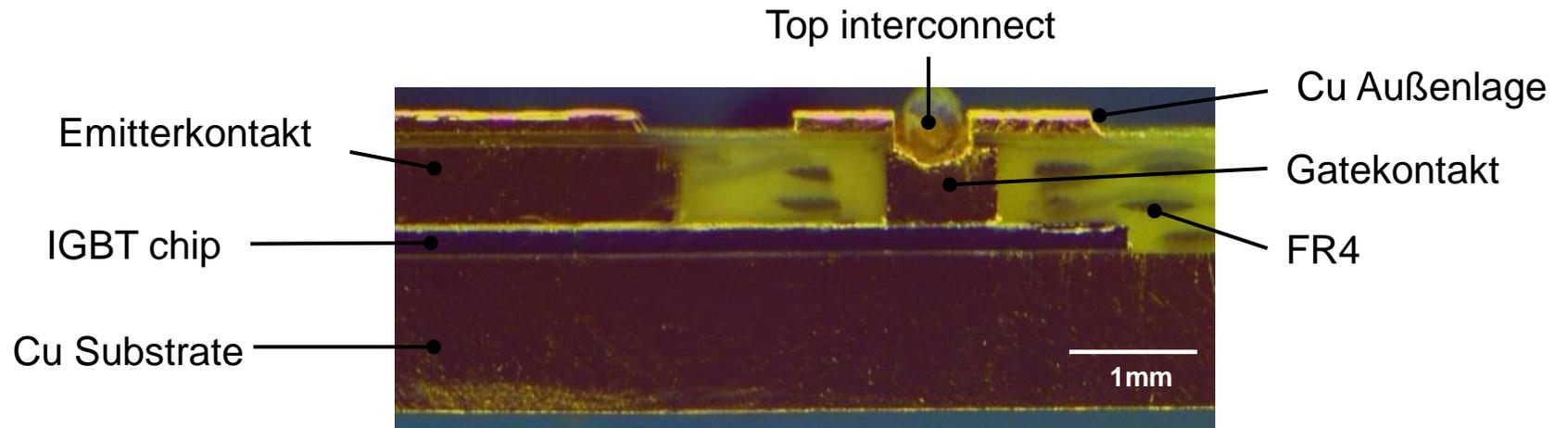


Half-Bridge Prepackage mit 100V / 100A MOSFET

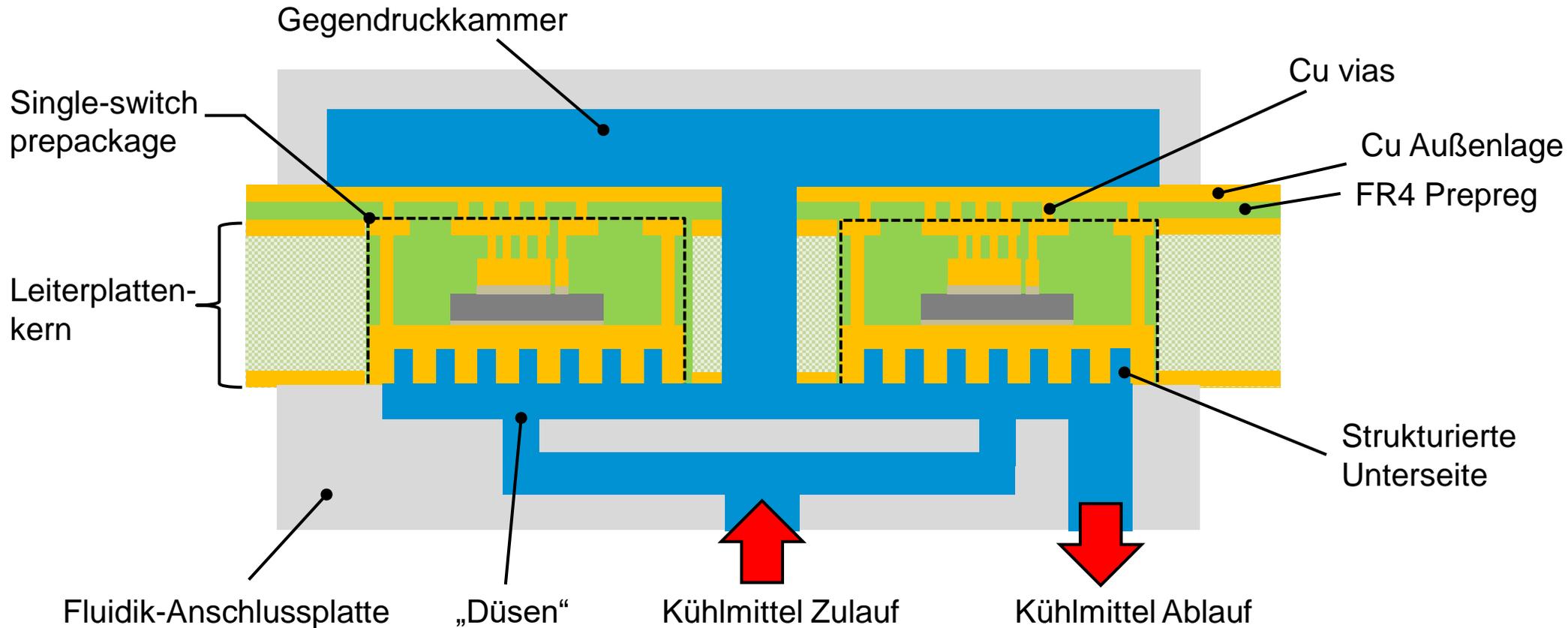
1200 V / 50 A IGBT Prepackage



Ag Sinterverbindung



1200 V / 50 A IGBT Prepackage Leiterplattenmodul mit integrierter Kühlung

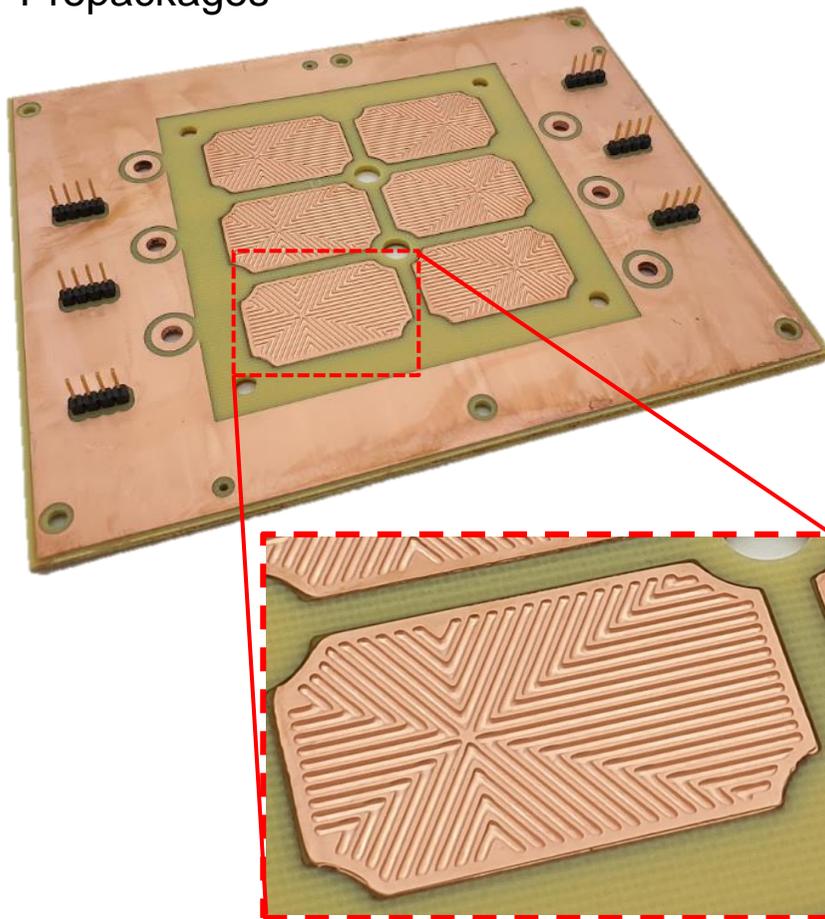


Leiterplattenintegrierte Kühlung

- Isolierendes Kühlmittel → Keine modulinterne Isolation notwendig
- Prallstrahlströmung auf strukturierte Oberfläche
- 2 Varianten: mit und ohne Gegendruckkammer

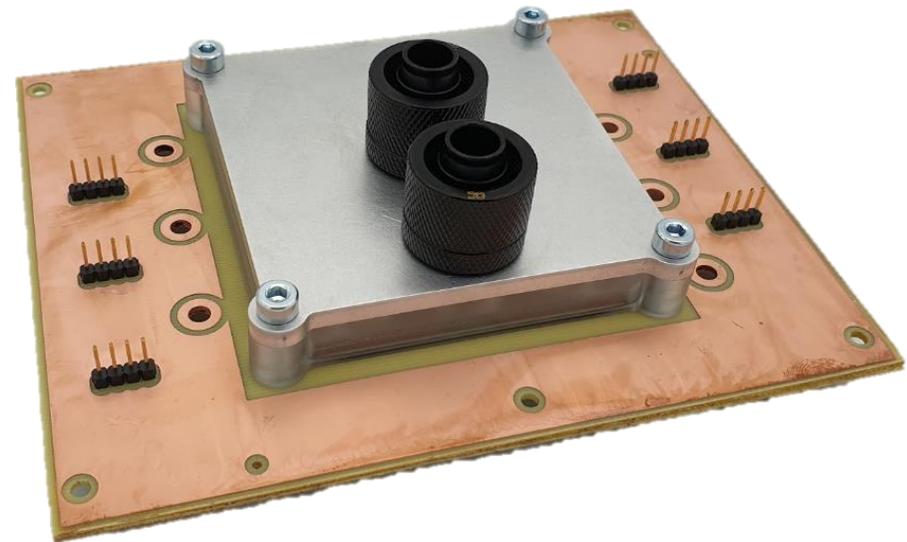
1200 V / 50 A IGBT Prepackage Leiterplattenmodul mit integrierter Kühlung

Modul mit 6 eingebetteten
Prepackages

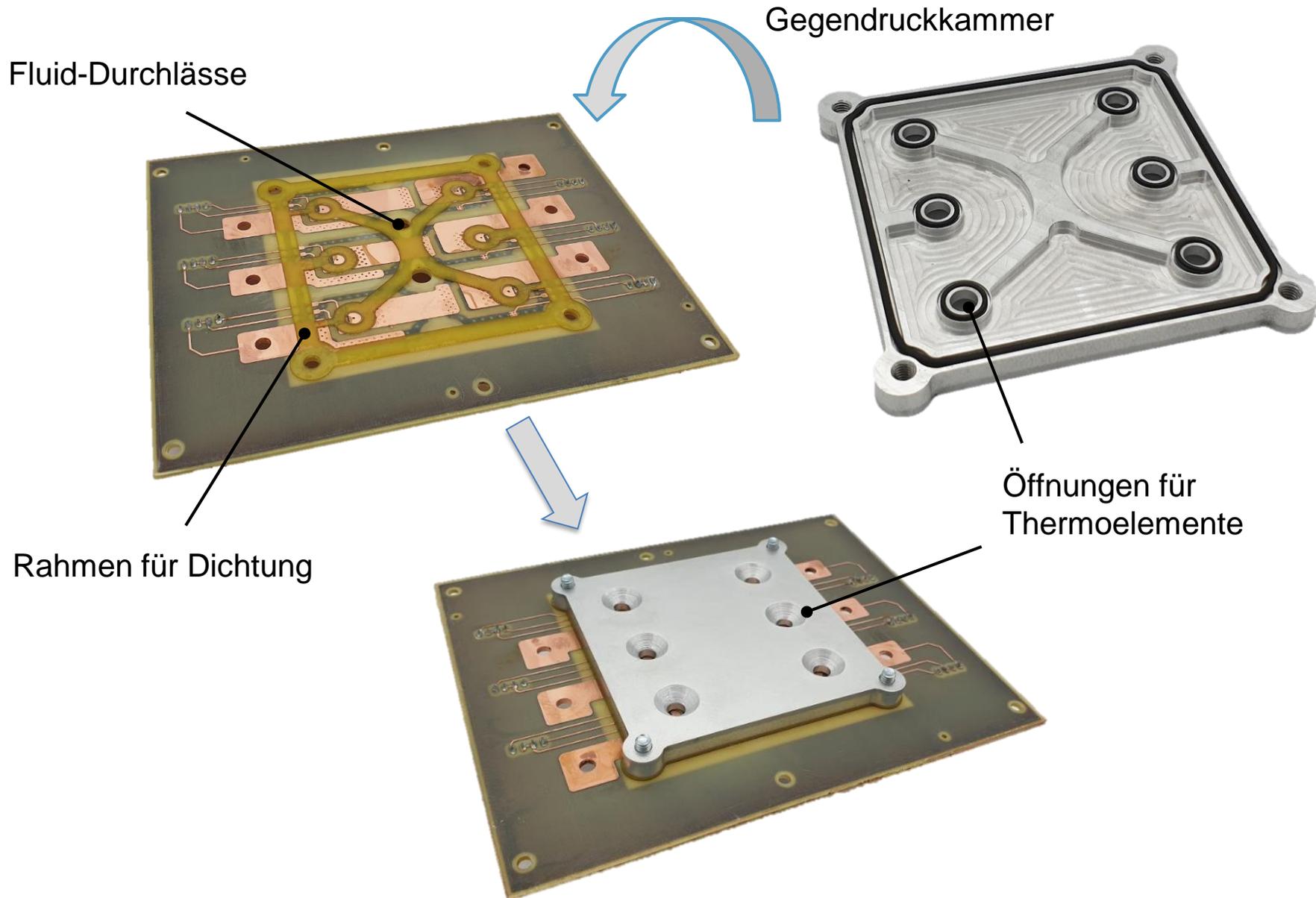


Strukturierte Rückseite der SSPP

Modul mit Fluidikanschluss

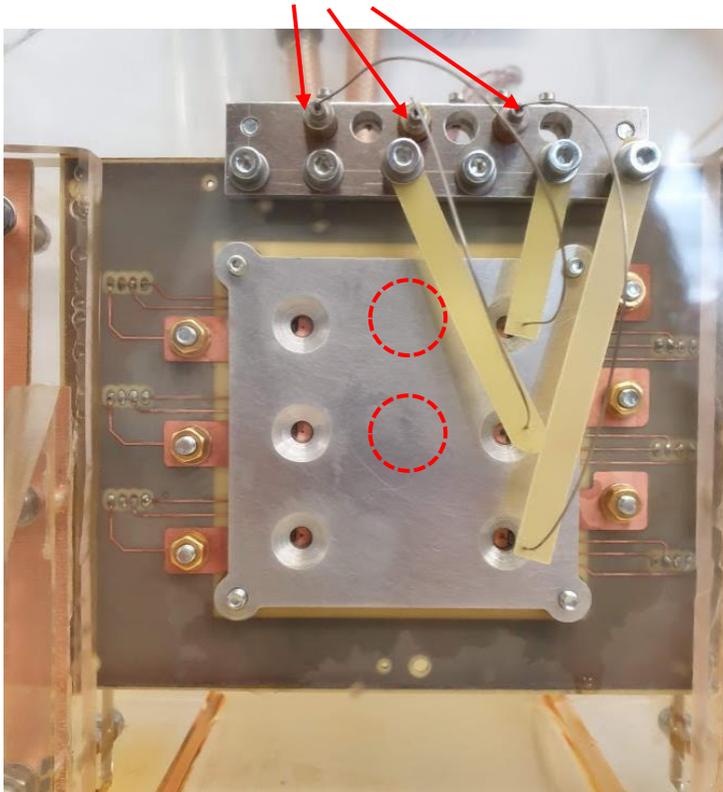


1200 V / 50 A IGBT Prepackage Leiterplattenmodul mit integrierter Kühlung

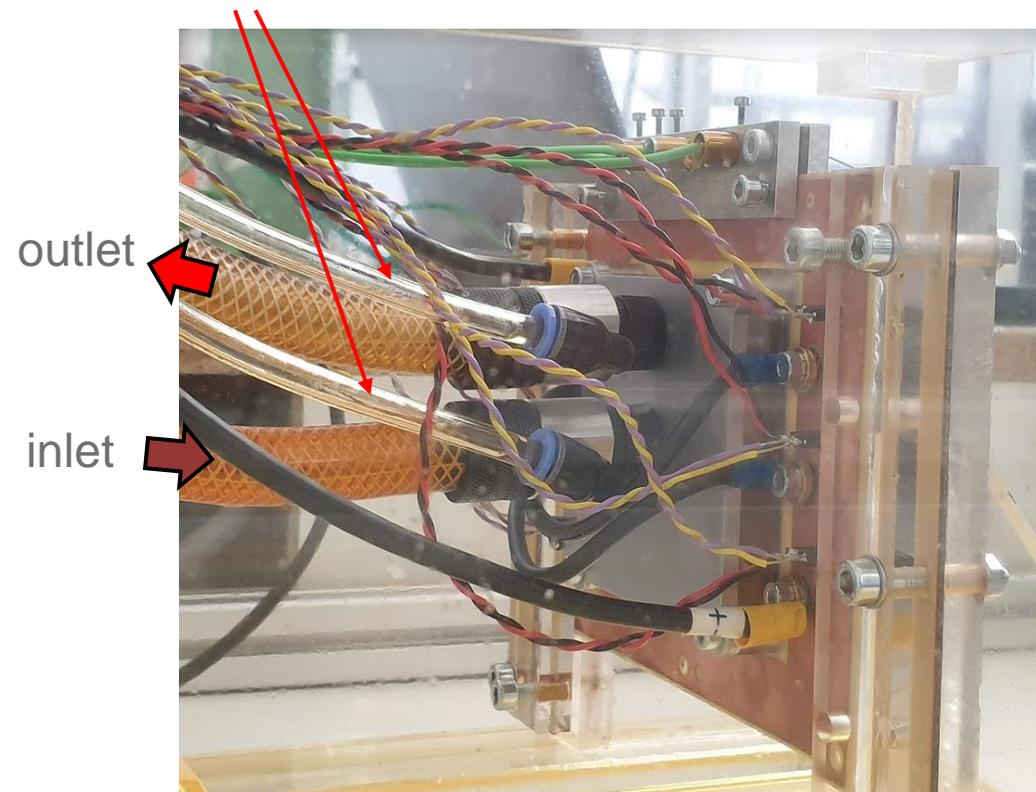


1200 V / 50 A IGBT Prepackage Leiterplattenmodul mit integrierter Kühlung

Thermoelemente



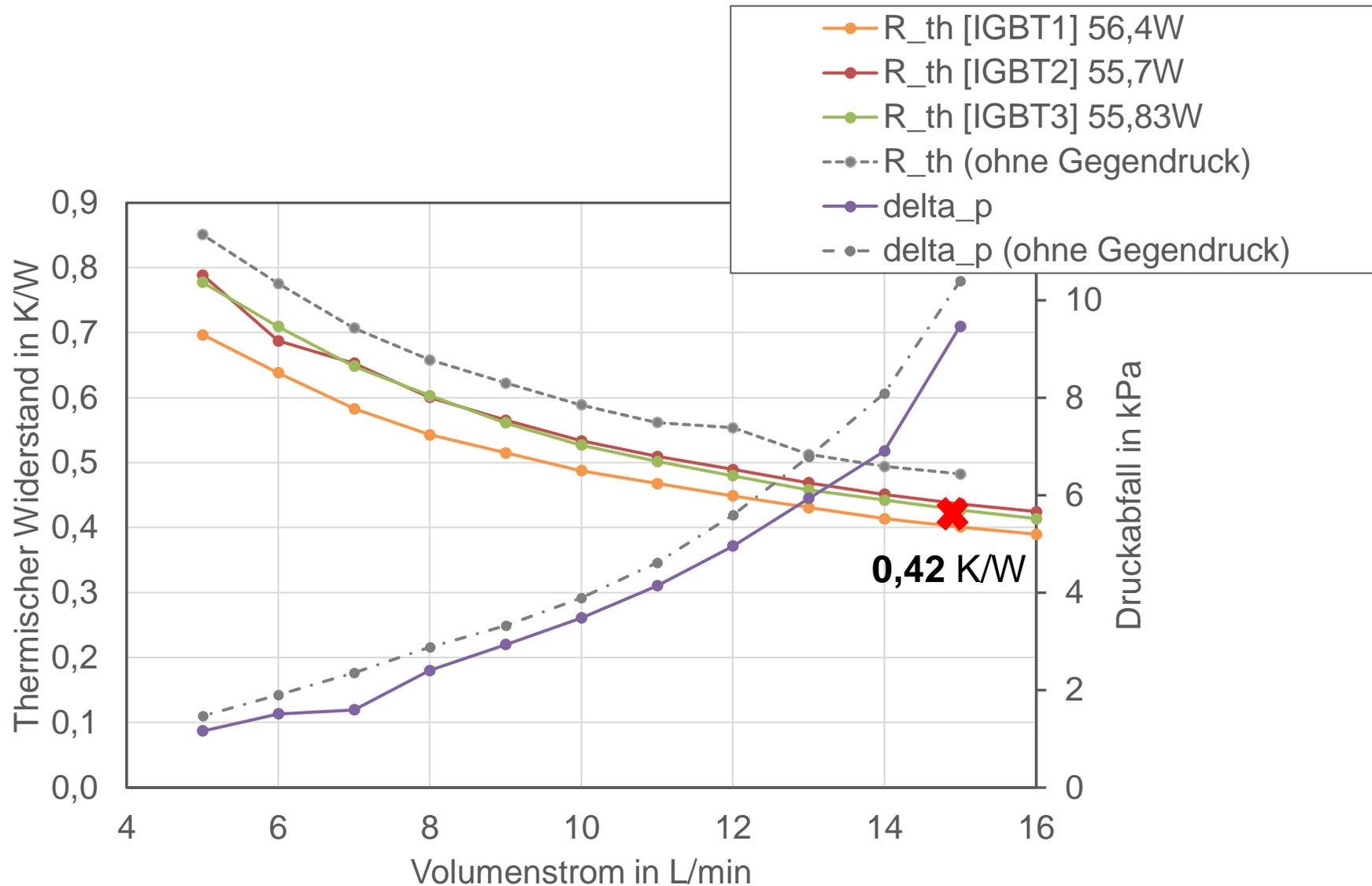
Anschlüsse für Druckmessung



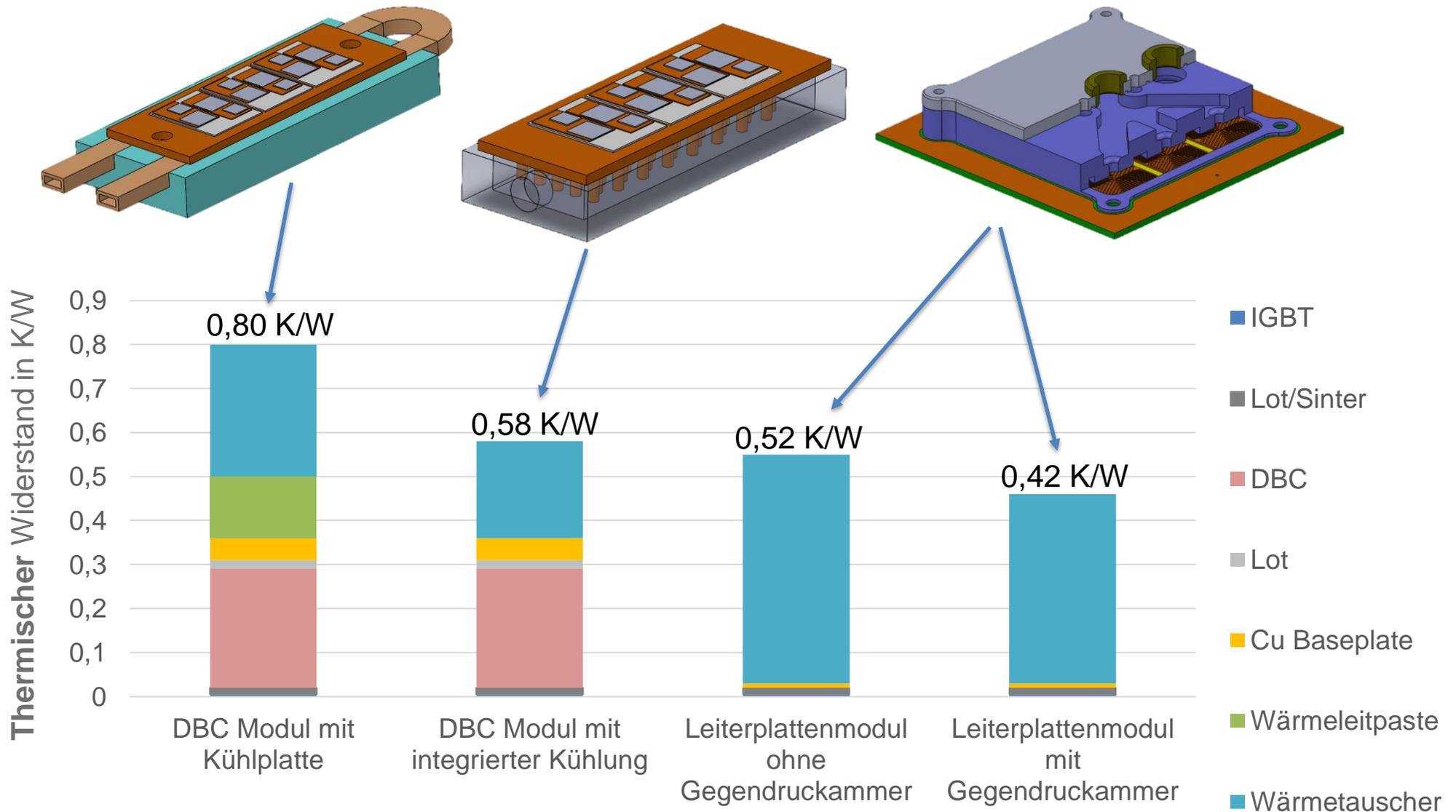
Messung von

- Strom und Spannung an Bauteil
- Bauteil- und Fluidtemperatur mit Thermoelement
- Volumenstrom des Kühlmediums
- Druckabfall über Wärmetauscher

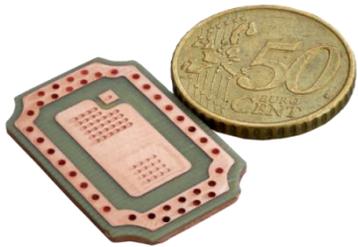
1200 V / 50 A IGBT Prepackage Leiterplattenmodul mit integrierter Kühlung Messergebnisse



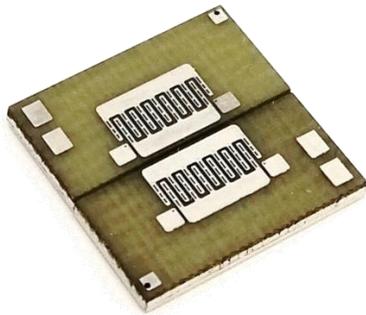
1200 V / 50 A IGBT Prepackage Leiterplattenmodul mit integrierter Kühlung Benchmark



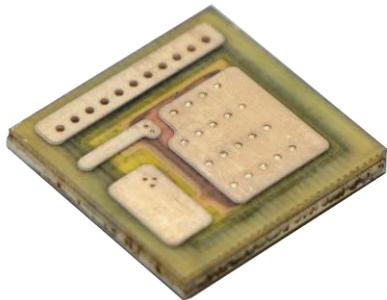
Prepackages aus Kempten



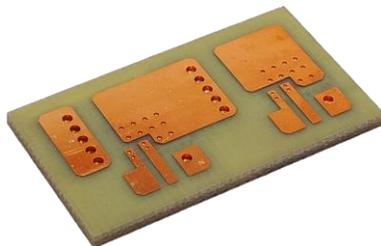
Single-Switch Prepackage mit 1200V, 50A IGBT+Diode
→ integrierte Kühlung
[Sharma et al. CIPS 2020]



Asymmetrisches 100V / 100A GaN HEMT Single-Chip Prepackage
→ integrierter Thermistor
[Sharma et al. accepted for publication at PCIM 2021]



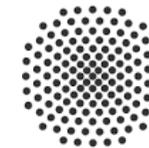
1200V / 150 A IGBT Prepackage mit DBC Substrat
[Huesgen et al., submitted to EMPC2021]



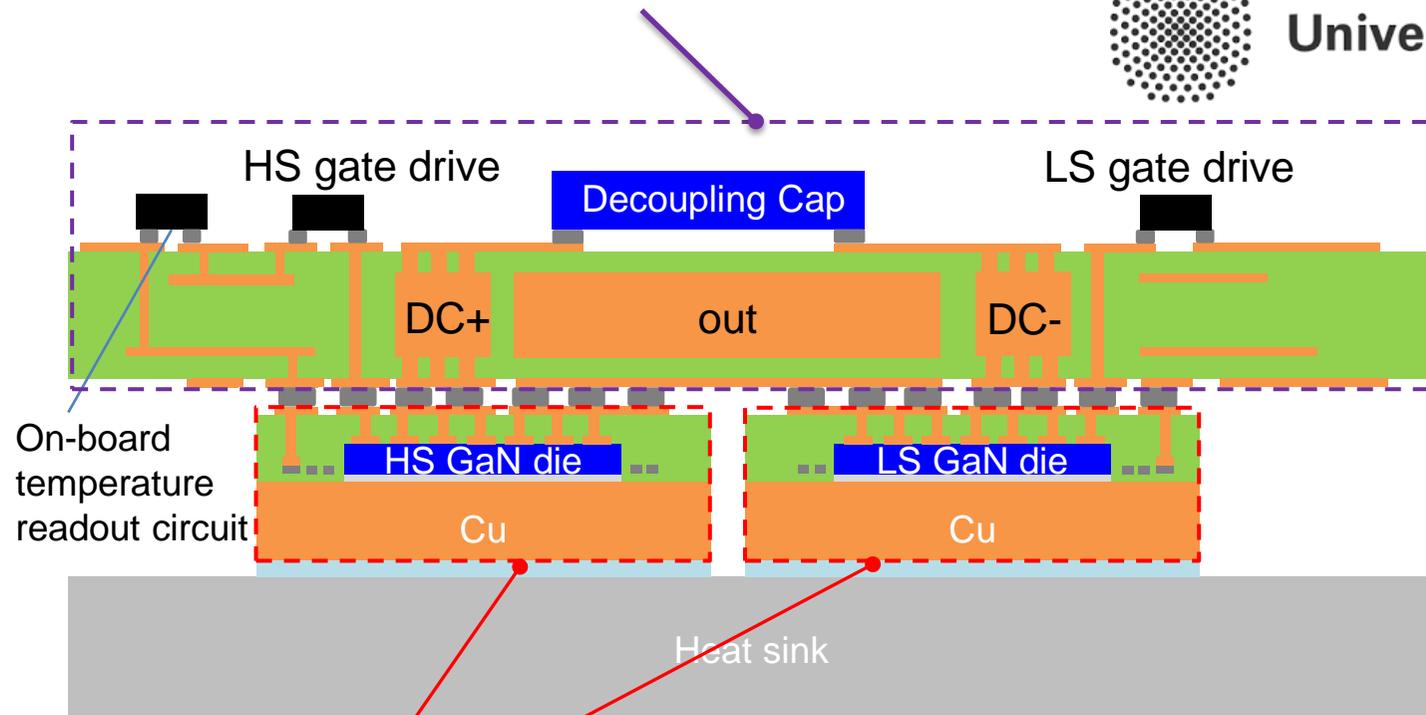
Half-Bridge Prepackage mit 100V / 100A MOSFET

100V / 100A GaN Prepackage modular scalable Power Electronic Building Block

Leistungsstufe: Halbbrücke mit integrierten Gate-Treibern, Strom und Temperaturmessung und Snubber/Entkopplungskondensator



Universität Stuttgart

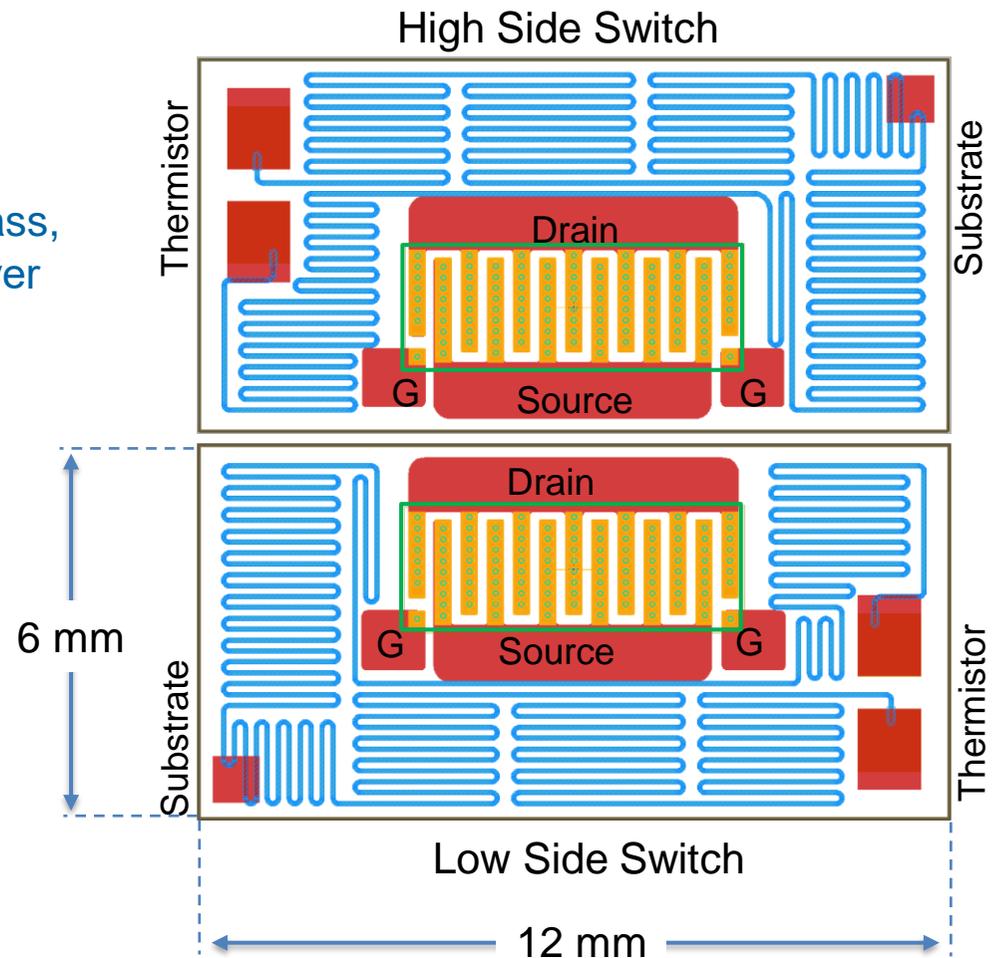


Prepackages: 100V / 100A GaN HEMT mit Dickkupfersubstrat
und integriertem Temperatursensor

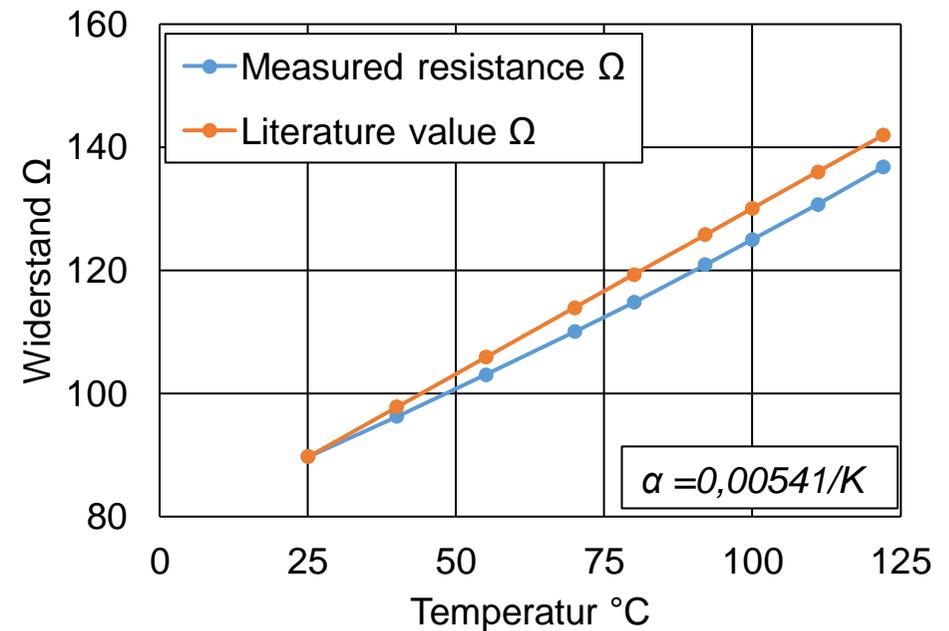
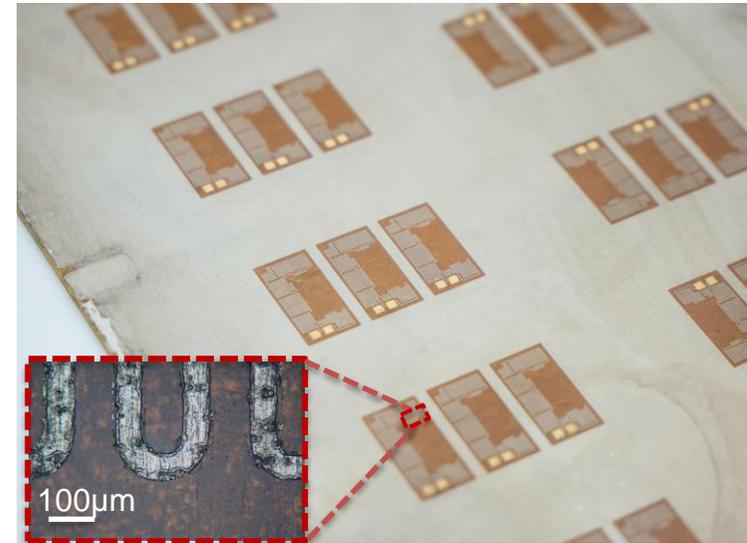
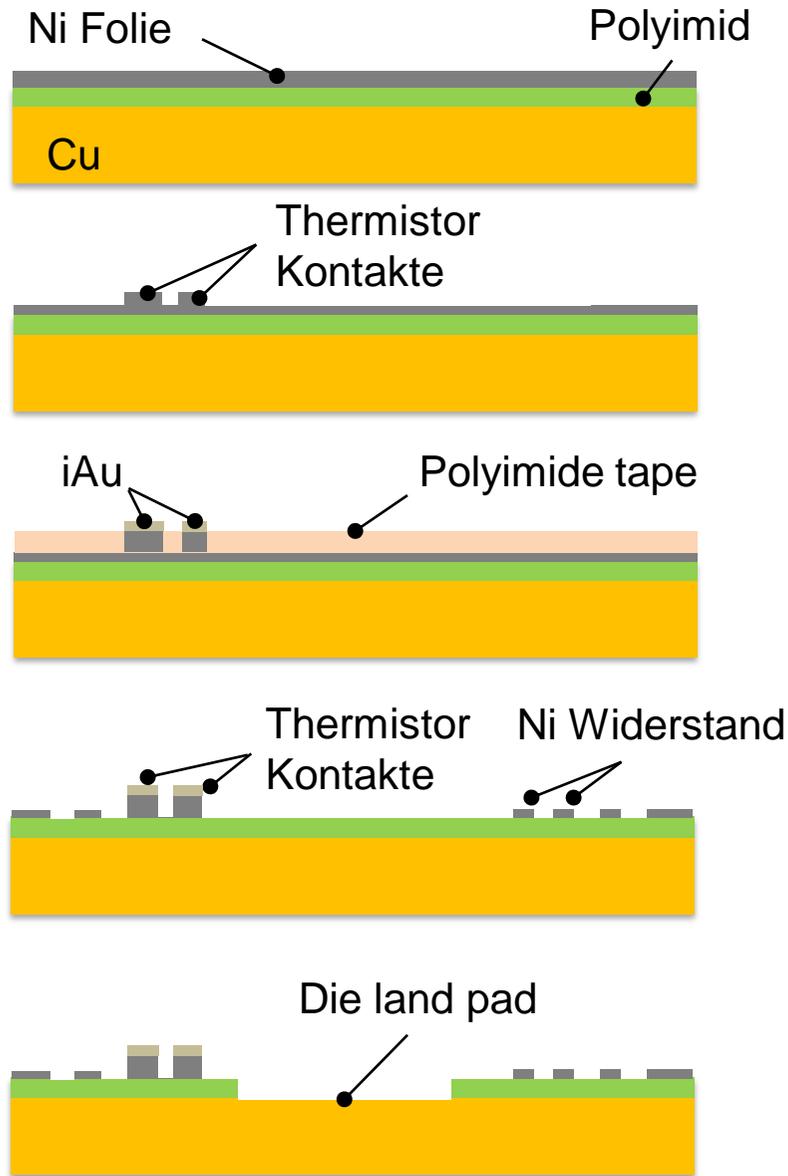
100V / 100A GaN Prepackage Design

Eigenschaften:

- Thermisch optimiertes Kupfersubstrat
→ siehe 15:30 Uhr: J. Weimer/I. Kallfass, „Thermische Auslegung niederinduktiver Kommutierungszellen mit hoher Leistungsdichte“
- Asymmetrisches Layout für niederinduktiven Kommutierungskreis
- Integrierter Temperatursensor



100V / 100A GaN Prepackage Thermistor Fertigung



100V / 100A GaN Prepackage Fertigung

1. Montage von Chip- und Kupferstreifen

- iAg Oberfläche auf Chip und Kupferstreifen
- Druckloses Silber-Sintern



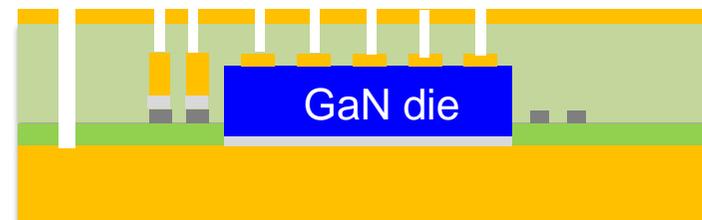
2. Einbetten

- Oberflächenvorbehandlung
- Laminieren von Prepregs



3. Sackloch herstellen

- UV Laser

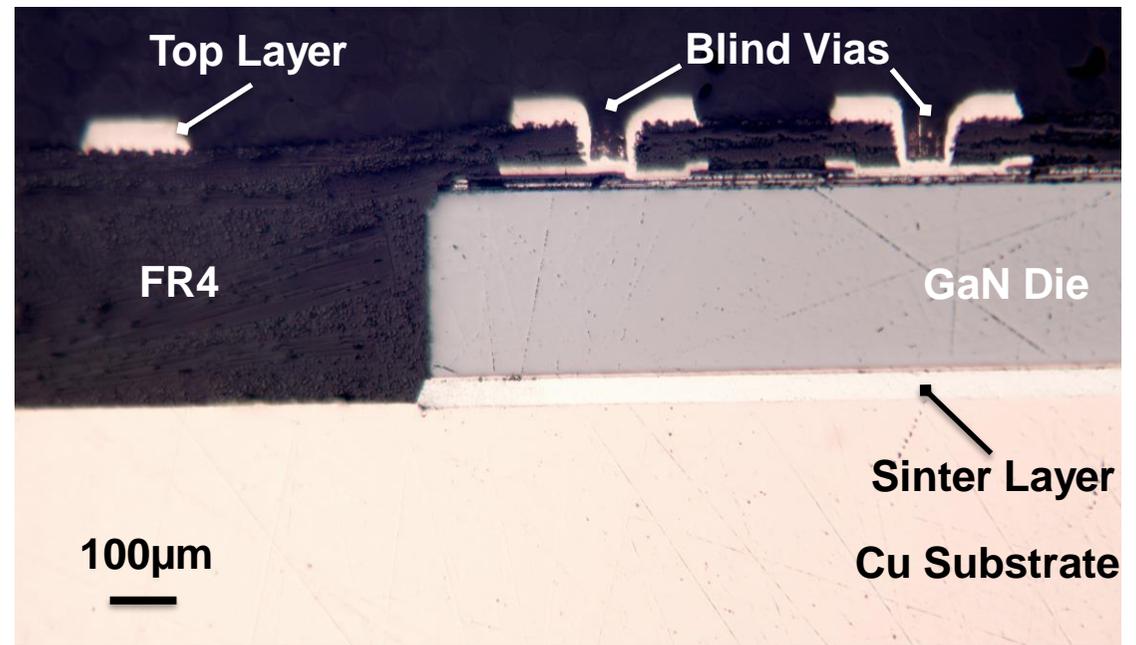
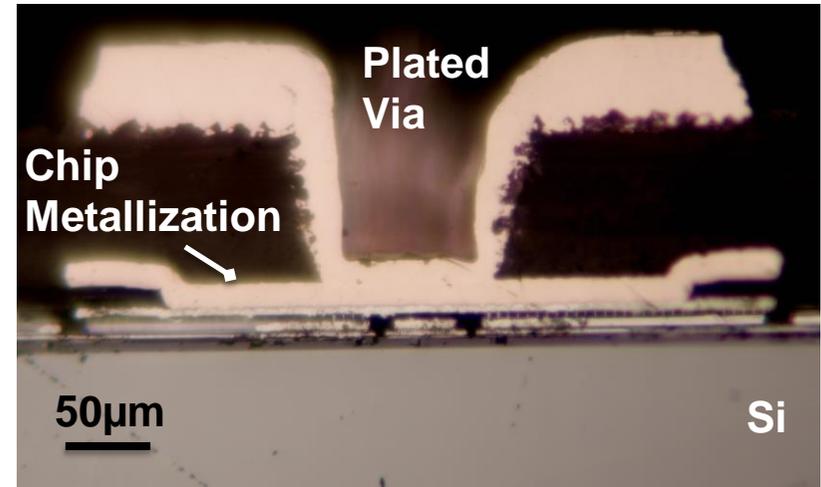
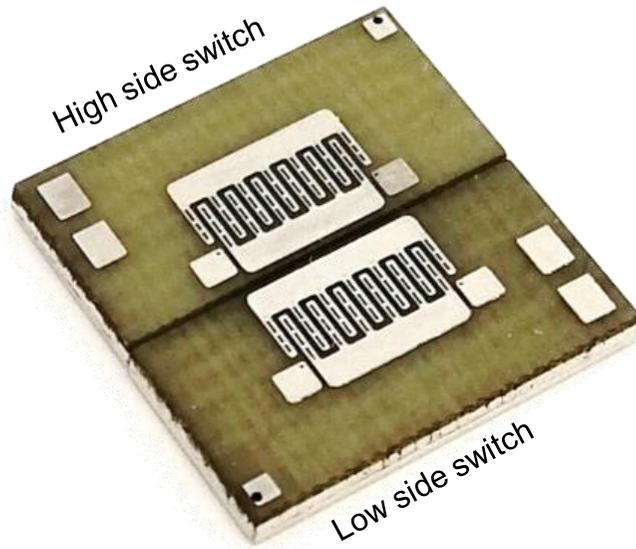


4. Kontaktieren und strukturieren

- Galvanisches Füllen der Kontakte
- Strukturieren der Außenlage
- Oberflächenfinish mit iAg
- Vereinzeln der Prepackages



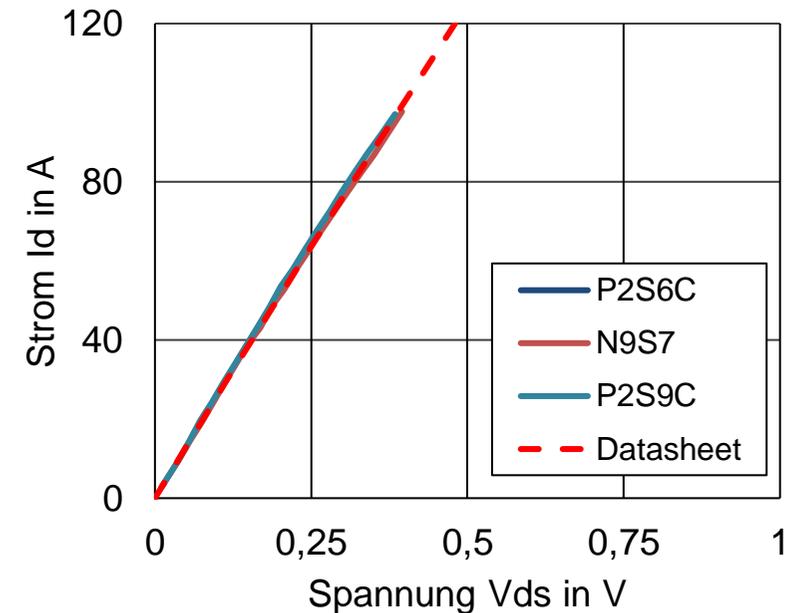
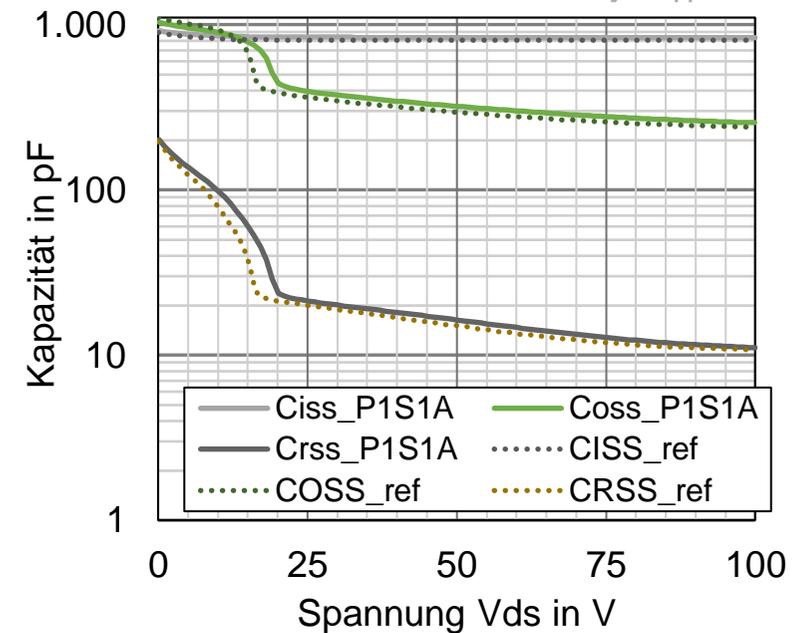
100V / 100A GaN Prepackage Herstellung



100V / 100A GaN Prepackage Elektrische Charakterisierung

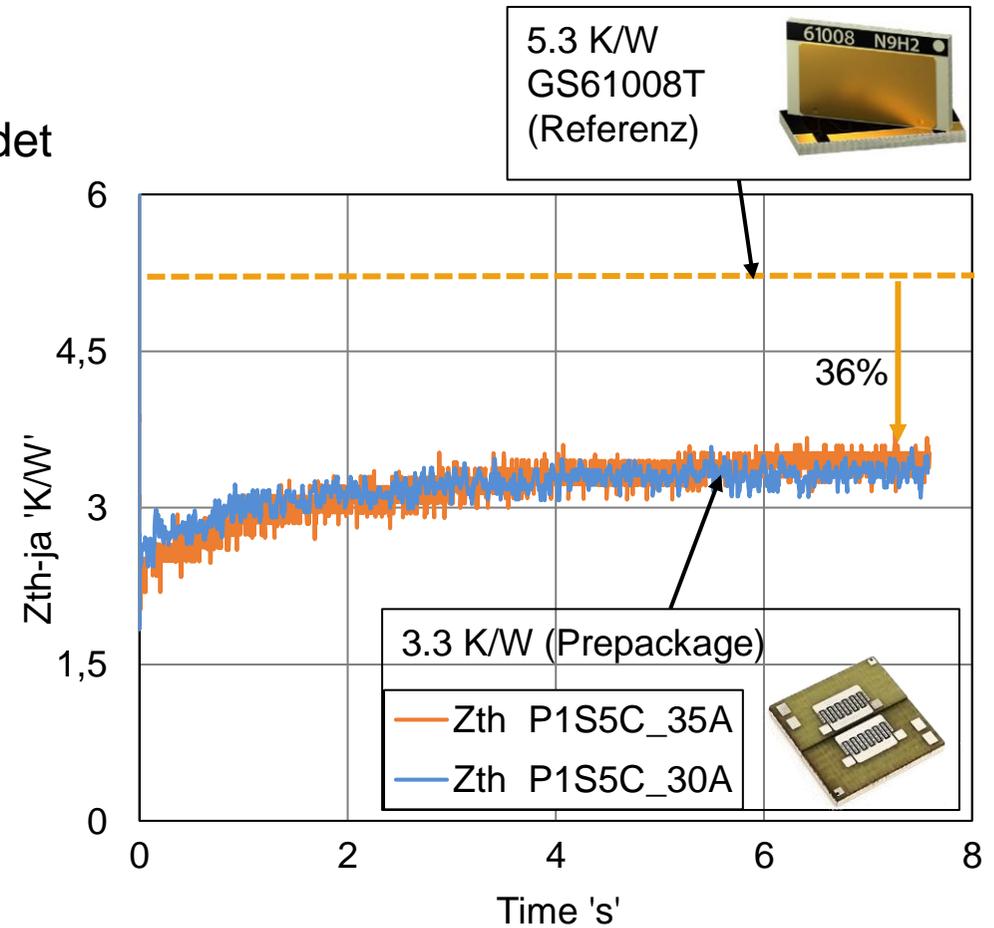
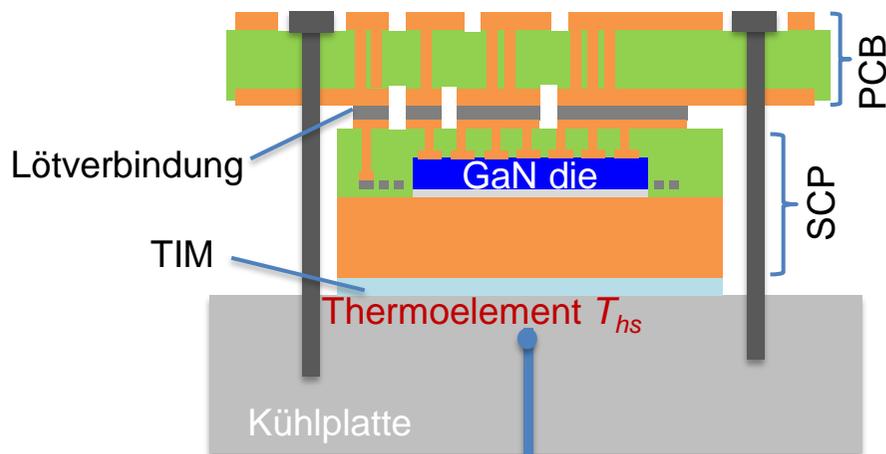
		Pre-package	Datenblatt	Bemerkung
Durchlasswiderstand	mΩ	4,58	5	$V_{GS} = 6\text{ V}$ $T_J = 25\text{ °C}$ $I_{DS} = 36\text{ A}$
Threshold Voltage	V	1,34	1,3	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 7\text{ mA}$
Drain-Source Leckstrom	μA	0,099	0,75	$V_{DS} = 100\text{ V}$ $V_{GS} = 0\text{ V}$
Gate-Source Leckstrom	μA	200	300	$V_{GS} = 6\text{ V}$ $V_{DS} = 0\text{ V}$
C_{oss}	pF	320	373	$V_{DS} = 50\text{ V}$ $V_{GS} = 0\text{ V}$ $f = 100\text{ kHz}$
C_{iss}	pF	838	885	
C_{rss}	pF	16,3	18,6	

Labormuster elektrisch voll funktionsfähig!



100V / 100A GaN Prepackage Thermische Charakterisierung

Durchlasswiderstand R_{dson} wird als
Temperatursensitiver Parameter verwendet

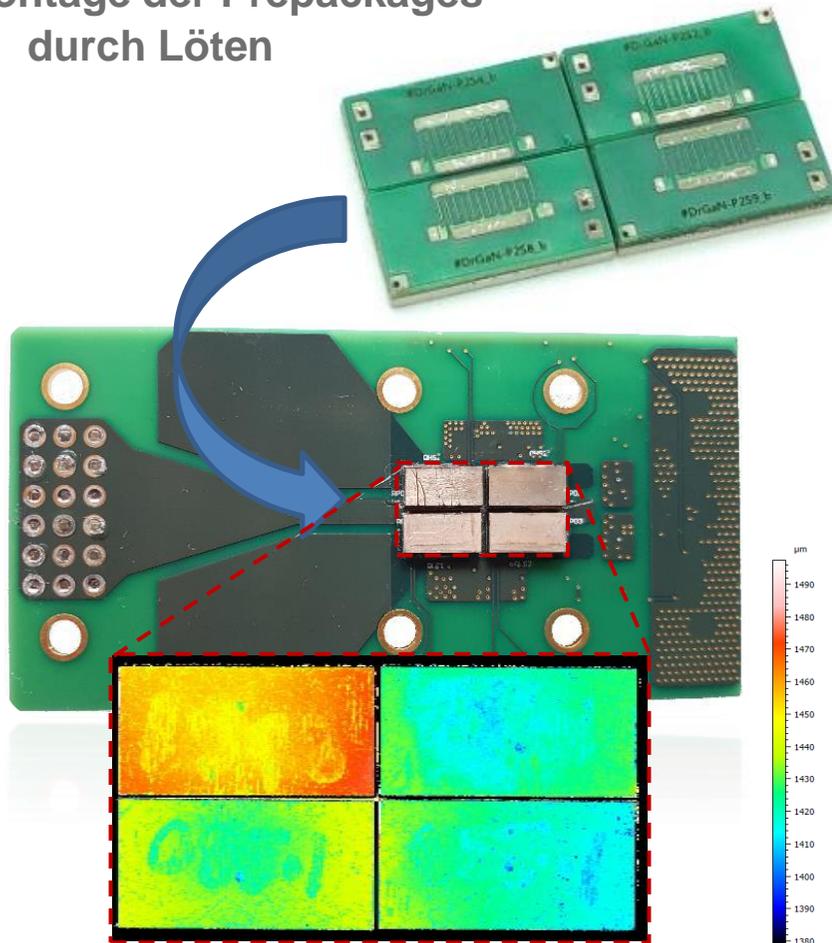


Gemessener thermischer Widerstand $R_{th} = 3,3 \text{ K/W}$

- nahe am Zielwert von 3,0 K/W
- 36% niedriger als kommerziell erhältliches Vergleichspackage

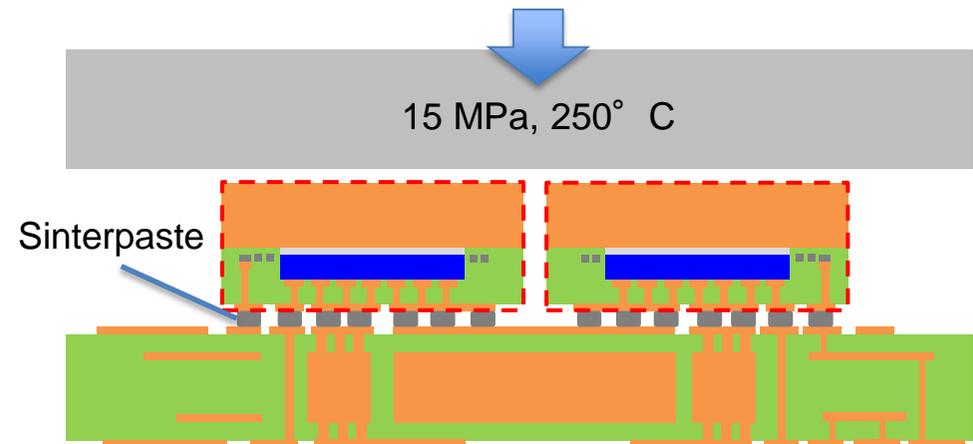
100V / 100A GaN Prepackage Integration in msPEBB

Montage der Prepackages durch Löten



Höhenunterschieden von bis zu 169 μm im thermischen Interface!

Montage der Prepackages mit Silbersintern



Board	Δh SCP μm	Thermal interface		
		Min μm	Max μm	$\Delta\mu\text{m}$
1	2	3018	3039	21
2	31	2995	3025	39
3	26	2996	3028	32
4	44	3012	3069	57

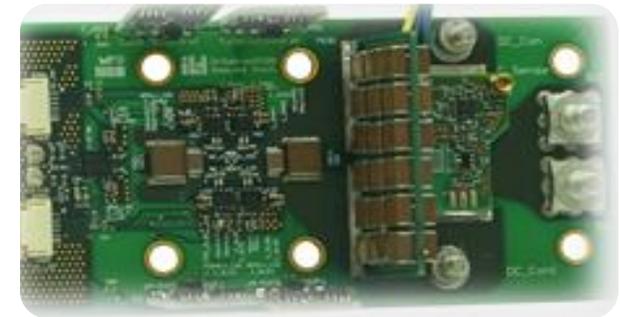
Sintern verbessert die Planarität des thermischen Interfaces.

Leiterplatten-Prepackages bieten vielfältige Möglichkeiten zur Integration in hochkompakte Leistungselektronik:

- Hohe Fertigungsausbeute durch Test und Selektion nach kritischem Prozessschritt
- Integration mittels Embedding oder als SMD-Bauteil
- Sehr niedriger thermischer Widerstand durch Dickkupfer-Substrat
- Direkte Kühlung mit isolierendem Kühlmedium möglich
- Montage als SMD → Herausforderung Planarität des thermischen Interfaces
- Integrierter Temperatursensor → In-Package Temperaturmessung

15:30 Uhr: J. Weimer, I. Kalfass, „Thermische Auslegung niederinduktiver Kommutierungszellen mit hoher Leistungsdichte“

- Thermische Optimierung
- Betrieb als DC/DC Wandler



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Finanzielle Unterstützung



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

