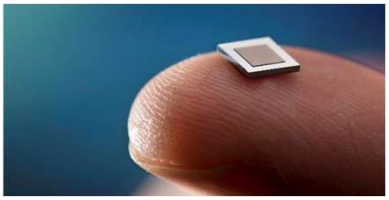
Thermography in Microelectronics
From Failure Localization to Degradation Analysis

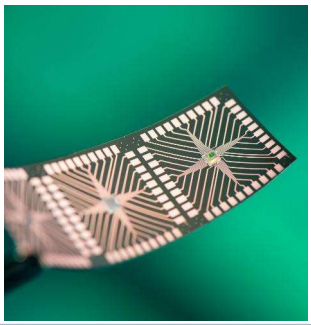
Dominik Muß
Fraunhofer EMFT

Übersicht

1. Kurzer Überblick über die Fraunhofer-Gesellschaft, Fraunhofer EMFT und FMD
2. Experimentelles Setup
3. Fallbeispiel 1: Fehleranalyse
4. Fallbeispiel 2: Degradationsanalyse
5. Fallbeispiel 3: Temperaturmessung
6. Fallbeispiel 4: Materialcharakterisierung







Fraunhofer-Gesellschaft
Auf einen Blick

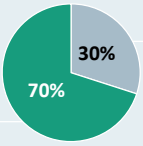
Anwendungsorientierte Forschung mit Fokus auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie. Wegweiserin und Impulsgeberin für innovative Entwicklungen.

Rund 30 000 Mitarbeitende

74 Institute und Forschungseinrichtungen

3,6 Mrd. € Finanzvolumen
3,2 Mrd. € Vertragsforschung

Industrieaufträge und öffentlich finanzierte Forschungsprojekte



Grundfinanzierung durch Bund und Länder

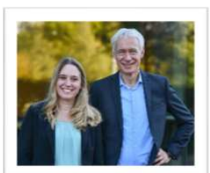
Wer sind wir?
Das Fraunhofer EMFT Team

Wir haben …

- **195+ Mitarbeitende**
  - aus insgesamt 28 Ländern
  - an 4 Standorten: München, Weßling/ Oberpfaffenhofen, Regensburg, Kassel



- eine **Doppelspitze** als Institutsleitung:
  - Prof. Dr.-Ing. Amelie Hagelauer
  - Prof. Dr. rer. nat. Christoph Kutter





Forschungsfelder

Sensoren und Aktoren für Mensch und Umwelt



 © Fraunhofer EMFT

Fraunhofer EMFT

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)

Industrienahe Kooperation für anwendungsorientierte Mikro- und Nanoelektronikforschung

13 Fraunhofer und **2 Leibniz** Institute	**5500** Mitarbeitende Patentanmeldungen: **270** Aktive Patentgruppen: **3150**	**19 500 m² Reinraumfläche** **ISO9001** Zertifizierung **1 MES** bei 10 Institute	> **2200 Geräte** in **13 Reinräumen**	**€ 800 Mio.** Budget/Jahr **€ 340 Mio.** Wirtschaftsertrag

- Angewandte Forschung mit fundierter Grundlage in akademischer Forschung / Bildung und Mission zum Technologietransfer
- Forschung zu heterogener Systemintegration und fortgeschrittenem Packaging auf EU-Ebene für technologische Souveränität im Rahmen des EU-Chipgesetzes (APECS-Pilotlinie)
- Besonderes Engagement für grüne IKT, Quanten- und neuromorphes Computing, Chipdesign, heterogene Systemintegration und vertrauenswürdige Elektronik
- Projektorientiertes Fördermodell mit geringem Anteil an Grundfinanzierung
- Starker Anwendungs- und Industriebezug
- Verteilte Struktur als Institutsverbund
- Unterstützung von Innovatoren und Start-ups

Zahlen beziehen sich auf das Jahr 2025.

Fraunhofer EMFT

Experimentelles Setup

Verwendetes Lock-in-Thermografie-Kamerasystem





Modell	ImageIR® 5300	ImageIR® 5800	ImageIR® 8300 ImageIR® 8300 hp
Spektralbereich	(2,0 ... 5,5) µm	(8,0 ... 9,3) µm	(2,0 ... 5,5) µm
Pitch	30 µm	30 µm	15 µm
Detektortyp	MCT oder InSb	MCT oder QWIP	MCT oder InSb
Detektorformat (IR-Pixel)	(320 × 256)	(320 × 256)	(640 × 512)
Auslesemodus	ITR	ITR	ITR / IWR
Detektorkühlung			Stirlingkühler
Temperaturmessbereich	(-40 ... 1.500) °C (bis 2.000 °C)*	(-40 ... 1.500) °C (bis 2.000 °C)*	(-40 ... 1.500) °C (bis 2.000 °C)*
Messgenauigkeit			± 1 °C oder ± 1 %
Temperaturauflösung bei 30 °C	0,015 K	0,025 K	0,02 K
IR-Bildfrequenz (Vollbild/Halbbild/Viertelbild/Linie)*	Bis 450 / 1.500 / 4.500 / 13.000 Hz	Bis 250 / 900 / 4.500 / 10.000 Hz	Bis 117 / 420 / 1.200 / 2.700 Hz Bis 350 / 670 / 1.200 / 5.000 Hz
Fenstermodus			Ja
Fokussierung			Manuell, motorisch oder automatisch
Dynamikbereich			14 bit
Integrationszeit	(1 ... 20.000) µs in Schritten von 1 µs	(1 ... 20.000) µs in Schritten von 1 µs	(0,6 ... 20.000) µs in Schritten von 1 µs

Makrovorsätze und Mikroskopobjektive	ImageIR® 5300	ImageIR® 8300 ImageIR® 8300 hp	ImageIR® 9300
	Pixel (µm) / FOV (mm)	Pixel (µm) / FOV (mm)	Pixel (µm) / FOV (mm)
Close-Up für Tele 50 mm	180 / (58 × 46)	90 / (58 × 46)	90 / (115 × 92)
Close-Up für Tele 100 mm	150 / (48 × 38)	75 / (48 × 38)	75 / (96 × 77)
Mikroskopobjektiv M=1,0×	30 / (9,6 × 7,7)	15 / (9,6 × 7,7)	15 / (19,2 × 15,4)
Mikroskopobjektiv M=3,0×	10 / (3,2 × 2,6)	5 / (3,2 × 2,6)	5 / (6,4 × 5,1)
Mikroskopobjektiv M=8,0×	3,8 / (1,2 × 0,96)	1,9 / (1,2 × 0,96)	1,9 / (2,4 × 1,92)



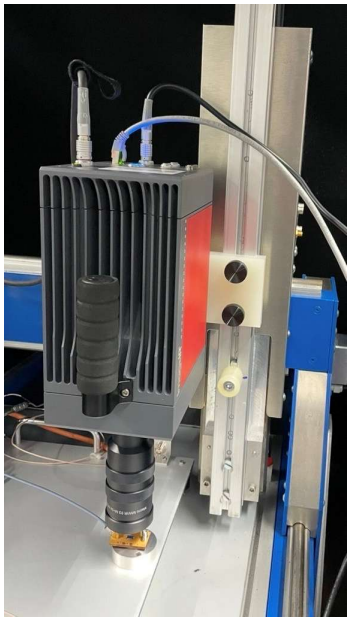
Experimentelles Setup

Thermografie-Messstation

Messumgebung
Thermografische Messungen erfolgen in einer lichtdichten Messkammer mit CNC-gesteuerten Achsen zur präzisen und reproduzierbaren Positionierung von Kamera und Prüfling.

Kameraoptik
Je nach Messaufgabe werden unterschiedliche Kameraoptiken eingesetzt. Dadurch können Field of View und Ortsauflösung flexibel an die Bauteilgröße und die zu untersuchende Struktur angepasst werden.

Anregungsmethoden
Die Anregung erfolgt in der Regel elektrisch über Strom- oder Spannungsquellen. Je nach Anwendung können auch thermische oder optische Anregungen, beispielsweise Peltier-Elemente, geregelte Heißluft oder Strahler, eingesetzt werden.



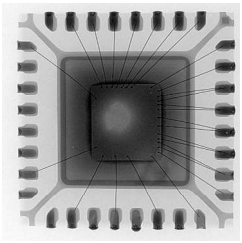
Fallbeispiel 1: Fehlerlokalisierung auf Halbleiterchips mittels Lock-in-Thermografie

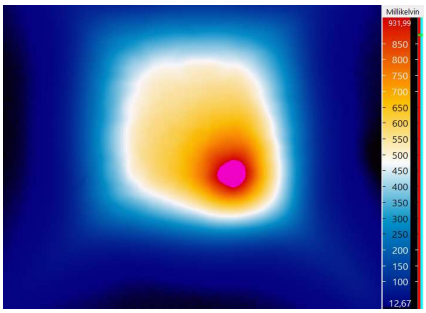
Lokalisierung einer elektrisch auffälligen Struktur im Vergleich zur Referenz

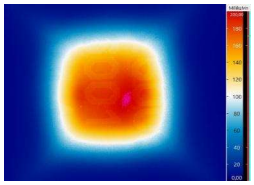
Ausgangssituation
- Elektrisch auffälliger Halbleiterchip
- Röntgenanalyse ohne Befund

Lock-in-Thermografie
- Eindeutige Lokalisierung eines thermischen Hotspots
- Deutlicher Unterschied zur Referenz

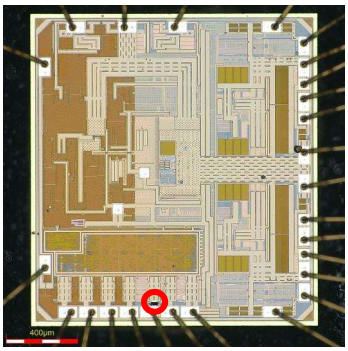
Ergebnis
- Zielgerichtete Präparation des Hotspots
- Lokaler Defekt auf Chipebene bestätigt

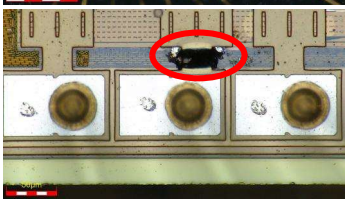






Neuware





 © Fraunhofer EMFT

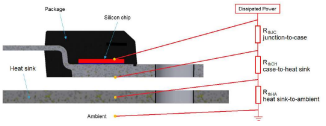
Fraunhofer EMFT

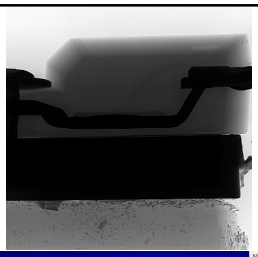
Fallbeispiel 2: Degradations- und Fehleranalyse an funktionsfähigen Leistungs-MOSFETs

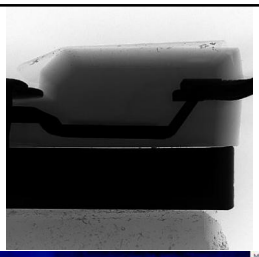
Ausgangssituation
- Funktionsfähige Leistungs-MOSFETs mit unterschiedlicher thermischer Anbindung an den Kühlkörper

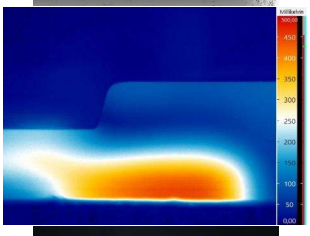
Lock-in-Thermografie
- Deutliche Unterschiede in der Temperaturverteilung und Wärmeableitung
- Thermisches Verhalten korreliert mit der Qualität der Kühlkörperanbindung

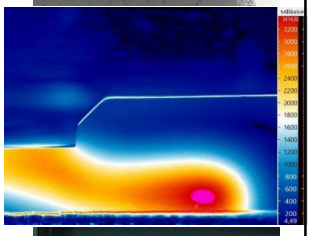
Weiterführende Fehleranalyse
- Zielgerichtete Präparation thermisch auffälliger Bauteile
- Alterungs- bzw. Schädigungsmerkmale an den Source-Anschlüssen nachgewiesen

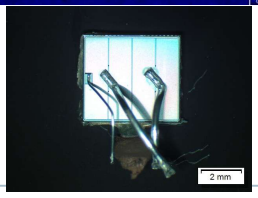


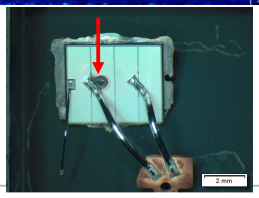








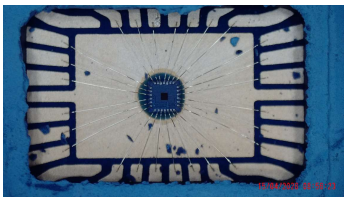




 © Fraunhofer EMFT

Fraunhofer EMFT

Fallbeispiel 3: Temperaturmessung an einem Chip mit integrierter Heizung

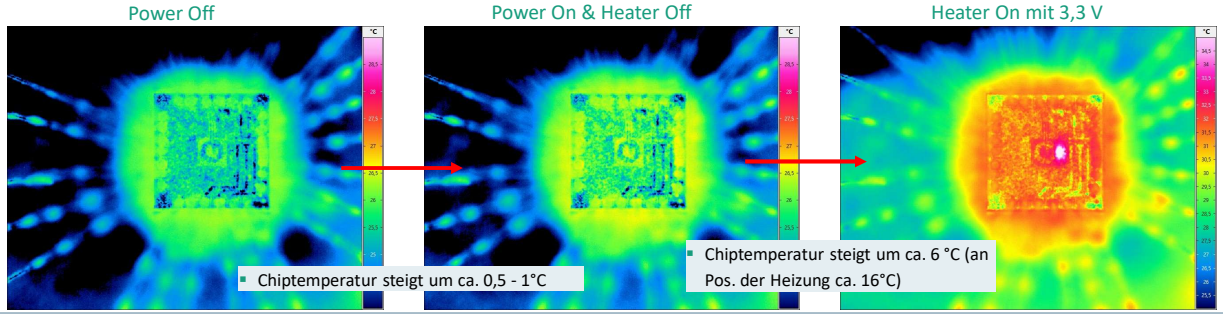


- Berührungslose Temperaturmessung mittels Thermografiekamera am freigelegten Chip
- Verwendung eines Beschichtungssprays mit hohem Emissionsgrad, um Reflexionen und den Einfluss unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften zu reduzieren
- Vergleich verschiedener Betriebszustände zur Bewertung der integrierten Chipheizung

Ergebnis

➢ Heizstruktur und resultierende Temperaturverteilung eindeutig erfassbar

Power Off | Power On & Heater Off | Heater On mit 3,3 V



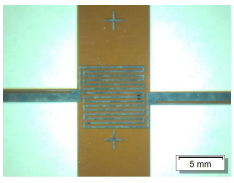
- Chiptemperatur steigt um ca. 0,5 - 1°C
- Chiptemperatur steigt um ca. 6 °C (an Pos. der Heizung ca. 16°C)

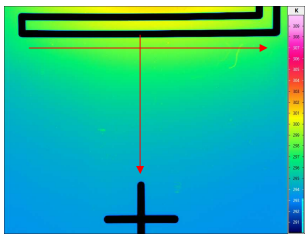
Fallbeispiel 4: Thermografische Materialcharakterisierung eines funktionalen Dünnschichtverbunds -

Thermische Kopplung zwischen Niob und Polyimid

Versuchsaufbau und Anregung

- Mäanderförmige Niob-Struktur zur definierten lokalen Wärmeerzeugung
- Elektrische Joule-Erwärmung mit ca. 37 mW Heizleistung
- Thermografische Erfassung der zeitlichen und räumlichen Temperaturverteilung im Polyimid

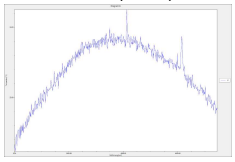




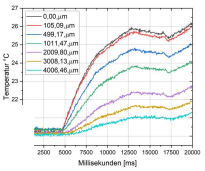
Thermischer Wirkmechanismus

- Wärmeübertragung vom Niob über die Grenzfläche in das Polyimid
- Laterale Wärmeausbreitung im Polyimid durch thermische Diffusion
- Zusätzliche Wärmeabgabe senkrecht zur Folienebene

Horizontales Temperaturprofil

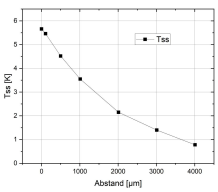


Laterales Wärmeprofil bei verschiedenen Abständen



Ziel der Untersuchung

- Charakterisierung der thermischen Kopplung Niob–Polyimid
- Bestimmung von Wärmeausbreitung und thermischem Zeitverhalten
- Ableitung von Kenngrößen wie Temperaturleitfähigkeit, Diffusionslänge und Reaktionszeit



- Tss = Temperaturänderung bis zum erreichen des thermischen Gleichgewichts

➢ „Thermografie ermöglicht die zeit- und ortsaufgelöste Untersuchung der Wärmeübertragung und thermischen Wechselwirkung zwischen metallischer Leiterstruktur und Polymerträger."

Research Collaboration

Partner networks of Fraunhofer EMFT

Fraunhofer EMFT

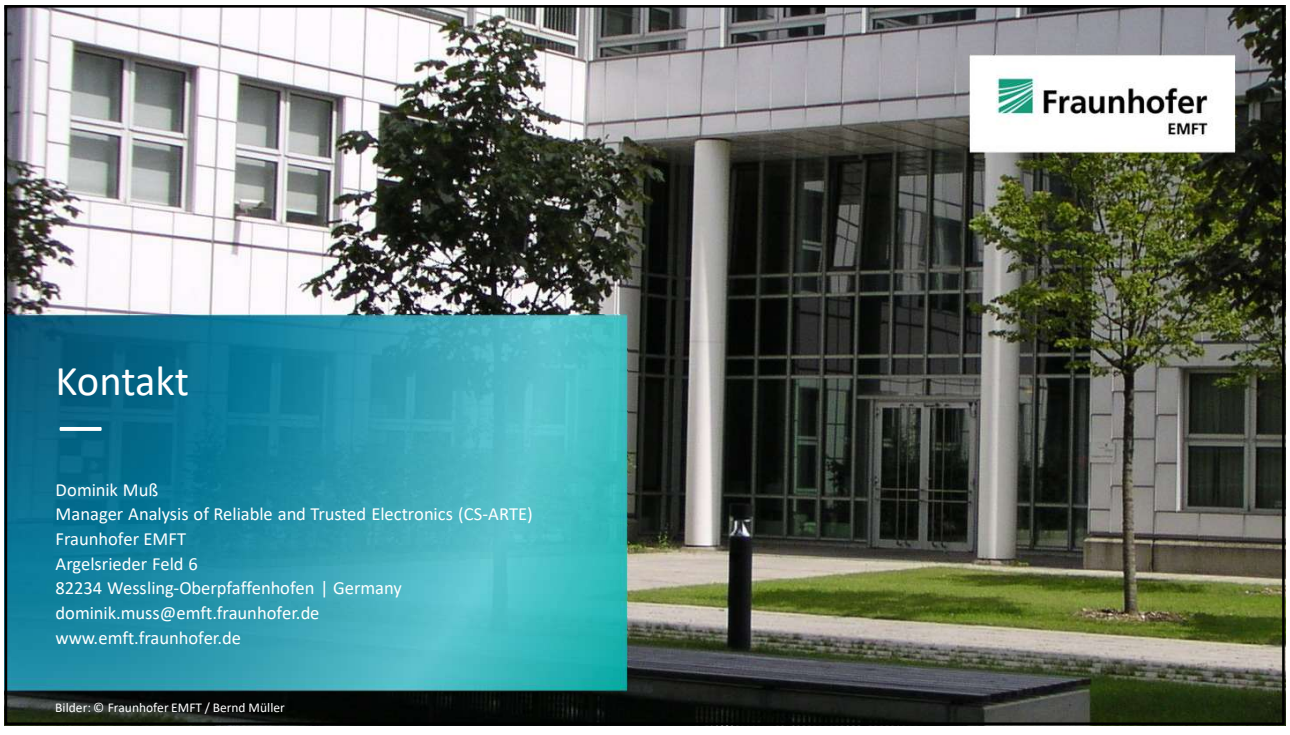
MUNICH QUANTUM VALLEY MQV

APECS

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Bavarian Chip-Design-Center

BAVARIAN CHIPS ALLIANCE



Kontakt

Dominik Muß
Manager Analysis of Reliable and Trusted Electronics (CS-ARTE)
Fraunhofer EMFT
Argelsrieder Feld 6
82234 Wessling-Oberpfaffenhofen | Germany
dominik.muss@emft.fraunhofer.de
www.emft.fraunhofer.de

Bilder: © Fraunhofer EMFT / Bernd Müller