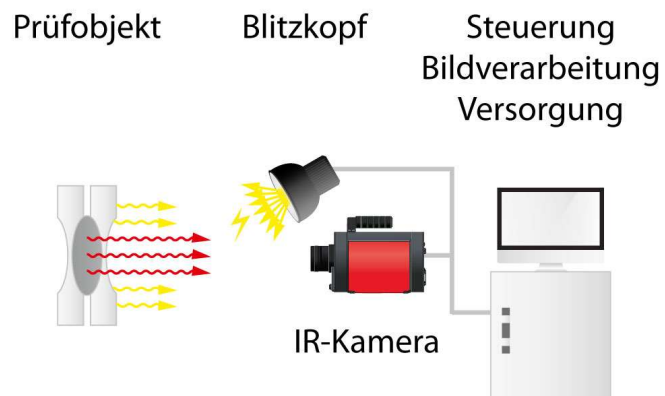


Applikationsbeispiele

AKTIV-THERMOGRAFIE

Aktiv-Thermografie

Thermografie zur zerstörungsfreien Prüfung (ZfP)



Aktiv-Thermografie

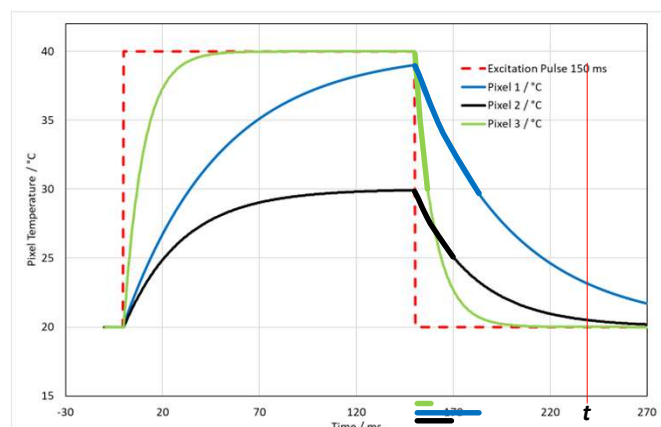
Thermografie zur zerstörungsfreien Prüfung – Prinzipien

- **Puls-Phasen-Thermografie (PPT)** – Einmalige Anregung
 - Der gemessene Temperaturverlauf (Abkühlkurve) wird nach verschiedenen Frequenzen ($n = 1, 2, 3, \dots$) untersucht; für jede Frequenz werden zwei Ergebnisbilder, ein Amplituden- und ein Phasenbild berechnet
- **Lock-In-Thermografie** – periodische Anregung
 - Die Sequenzen der zerstörungsfreien periodischen Anregung des Prüfobjektes werden analysiert
- **Quotientenmethode**
 - Der Wärmefluss wird im Prüfobjekt anhand der Steigung bzw. des Abfallens der Oberflächentemperatur untersucht

Aktiv-Thermografie

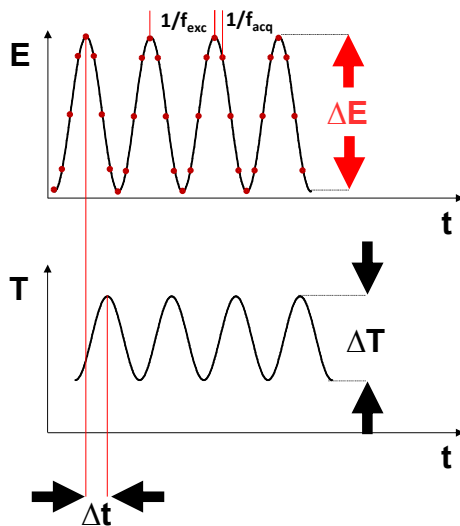
Puls-Phasen-Thermografie – Prinzip

- Einmalige (Impuls-) Anregung
 - Analyse von T von jedem Pixel zur Zeit t
→ **Amplitudenergebnis**
 - Analyse der normalisierten Zeit-Konstante“ (**Phasenwinkel**) von jedem Pixel → **Phasenergebnis**
- Kurze Messzeit möglich
- Variation des Analysezeitbereichs liefert zusätzliche Informationen



Aktiv-Thermografie

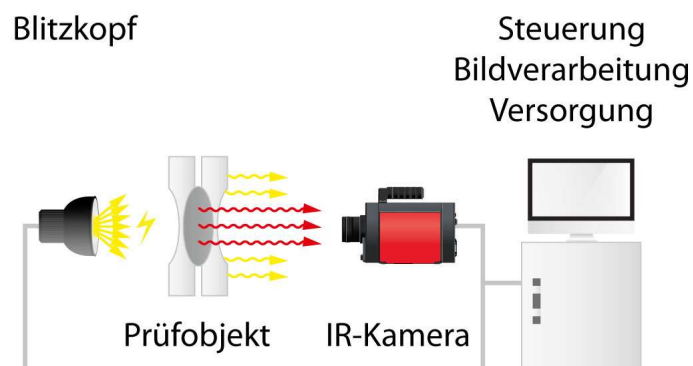
Lock-In-Thermografie – Prinzip



- Die Probe wird mit einer periodischen Anregungsfrequenz f_{exc} energetisch (ΔE) angeregt
- Die Oberflächentemperatur-Änderungen ΔT werden mit der IR Kamera mit einer Abtastrate von $f_{acq} \gg f_{exc}$ erfasst
- Für korrekte Rechenergebnisse müssen beide Frequenzen f_{acq} und f_{exc} synchronisiert und aufgezeichnet werden.
- **Lock-In Ergebnisse:**
 - ΔT : Amplitudenergebnisse für jedes Pixel
→ **Amplitudenbild** / mK
 - Δt : Phasenergebnisse für jedes Pixel
→ **Phasenbild** / °
 - **Komplexbild-Ergebnisse** errechnen sich aus den Amplituden- und Phasenergebnissen

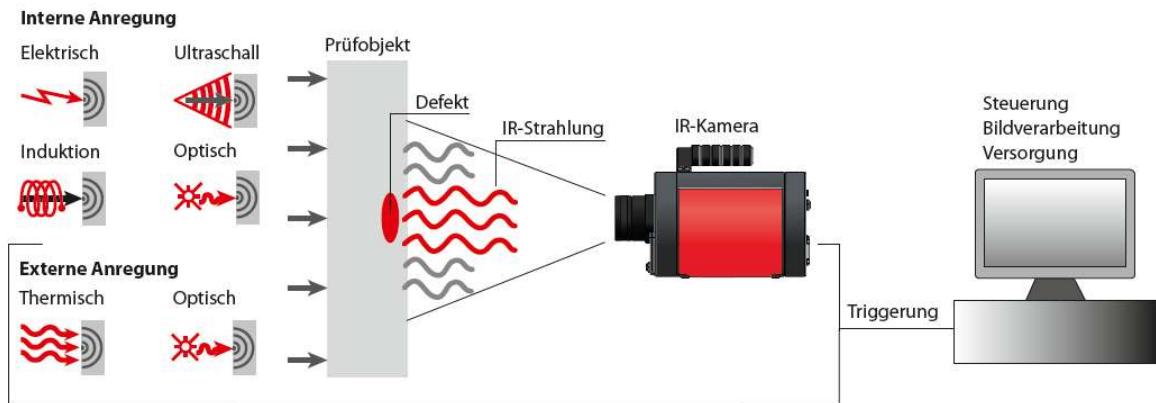
Aktiv-Thermografie

Thermografie zur zerstörungsfreien Prüfung (ZfP)



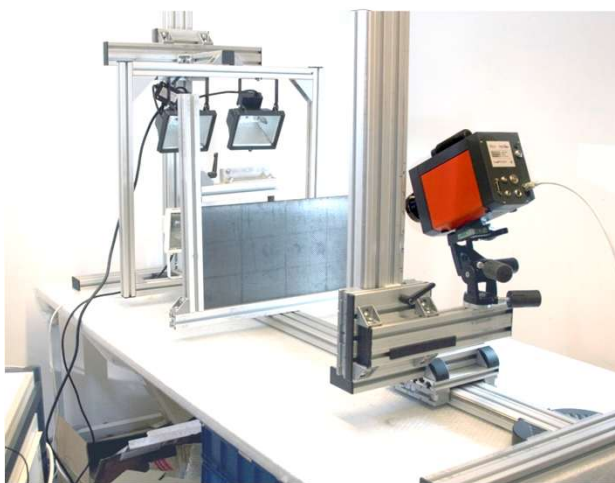
Aktiv-Thermografie

Thermografie zur zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) – Anregungsmethoden



Aktiv-Thermografie

Aktiv-Thermografie-Softwaremodul IRBIS® 3 active – Werkzeug für die zerstörungsfreie Prüfung



Thermografiekamera
ImageIR®

Anregung mittels
Halogenstrahlern

CFC-Platte mit eingebauten
Fehlstellen



Foto ähnlicher Prüfkörper

Aktiv-Thermografie

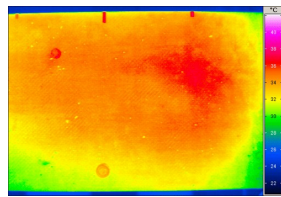
Aktiv-Thermografie-Softwaremodul IRBIS® 3 active – Werkzeug für die zerstörungsfreie Prüfung

Merkmale:

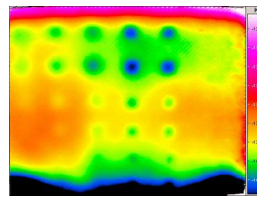
- ☐ Komfortable Datenauswertemöglichkeiten von Bildsequenzen
- ☐ Speicherung der Eingabeparameter
- ☐ Berechnung von Phasen- und Amplitudenbildern
- ☐ Analyse von *.irb-Sequenzen mit verschiedenen Verfahren der Aktivthermografie
- ☐ Emissionsgradunabhängige Algorithmen



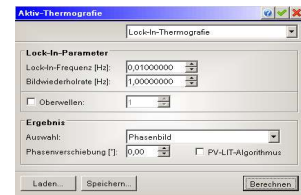
Foto ähnlicher Prüfkörper



Unbearbeitetes Thermogramm,
keine Strukturen erkennbar



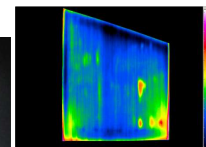
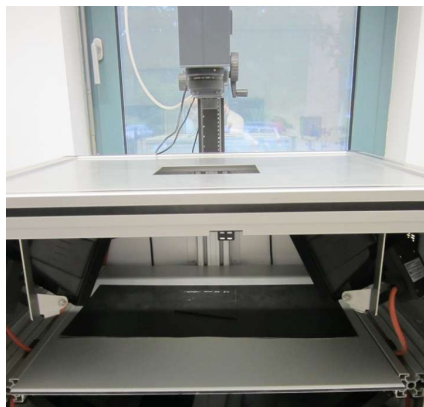
Prüfobjekt nach Analyse,
Strukturen deutlich erkennbar



Bedienoberfläche IRBIS® 3 active

Aktiv-Thermografie

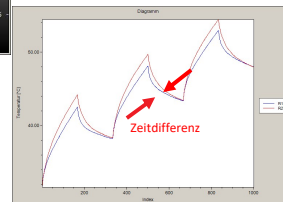
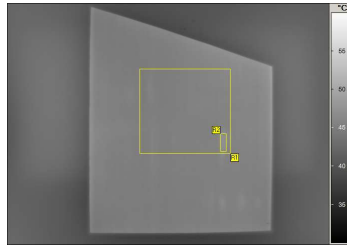
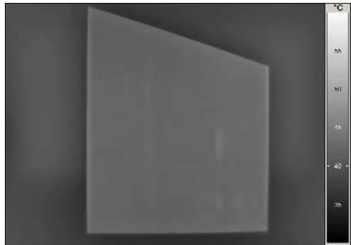
Laboruntersuchung: CFK-Material (1/2)



- ☐ Lock-In-Thermografie
- ☐ Halogenanregung
- ☐ Transmissive Anordnung
- ☐ Kamera: ungekühlter (VarioCAM®) oder gekühlter Detektor (ImageIR®)

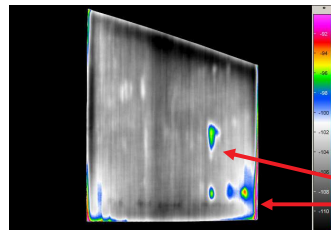
Aktiv-Thermografie

Laboruntersuchung: CFK-Material (2/2)



Lock-In-Auswertung

→ Ergebnis:
Phasenbild



örtliche thermische Inhomogenitäten
(Defektstellen im Materialinneren)

Aktiv-Thermografie

Laboruntersuchung: Lamierte Oberflächen (1/2)

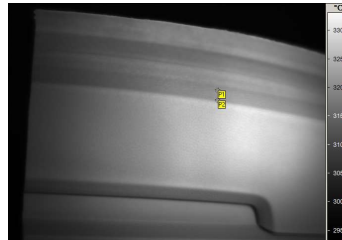
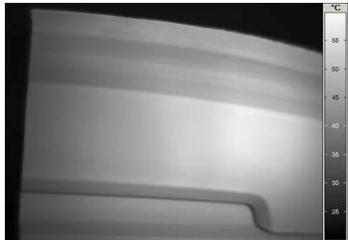
□ Qualitätskontrolle an oberflächenlamierten Fahrzeugbauteilen



- Puls-Phasenthermografie (PPT)
- Blitzanregung
- Reflexive Anordnung
- Kamera: ungekühlter (VarioCAM®) oder gekühlter Detektor (ImageIR®)

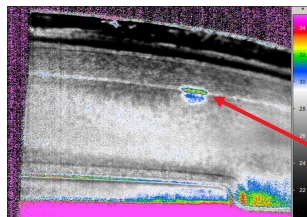
Aktiv-Thermografie

Laboruntersuchung: Lamierte Oberflächen (2/2)

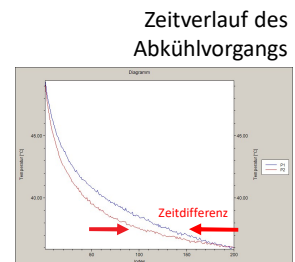


Puls-Phasen-Auswertung

→ Ergebnis: Phasenbild



Örtliche thermische Inhomogenität
(Defektstelle, Delamination der Deckschicht)



Aktiv-Thermografie

Laboruntersuchung: Schweißnahtprüfung (1/2)

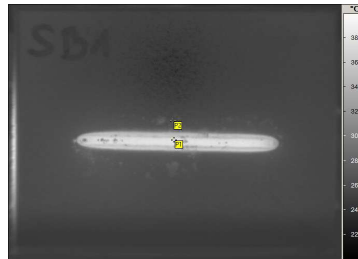
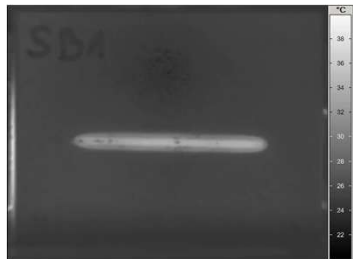
- ☐ Systematische Untersuchungen an Laserschweißnähten



- ☐ Puls-Phasen-Thermografie
- ☐ Blitzanregung
- ☐ Transmissive Anordnung
- ☐ Kamera: gekühlter Detektor (ImageIR®, 350 Hz)

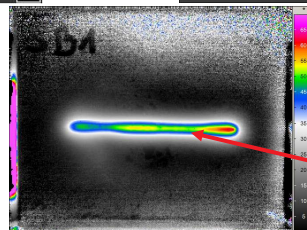
Aktiv-Thermografie

Laboruntersuchung: Schweißnahtprüfung (2/2)

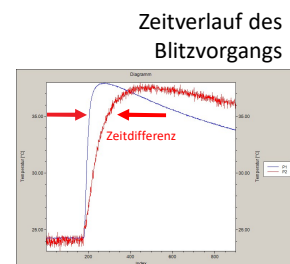


Puls-Phasen-Auswertung

→ Ergebnis: Phasenbild



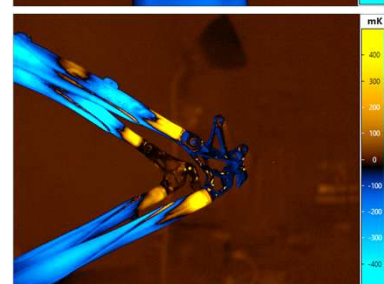
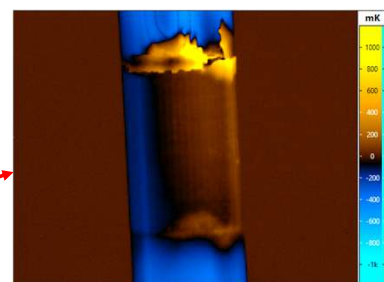
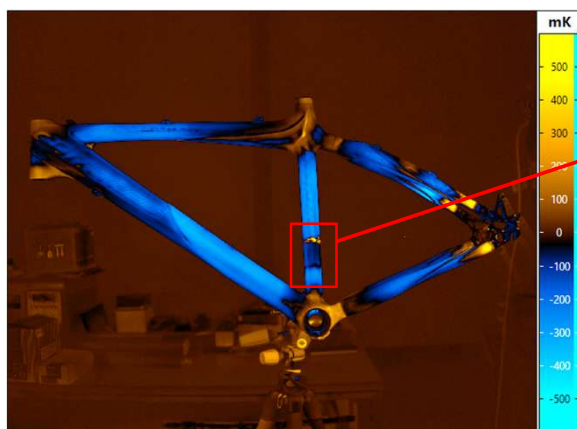
Lokalisierung der Schweißnaht-Ausdehnung
(nicht identisch mit visuellem Eindruck)



Aktiv-Thermografie

Laboruntersuchung: Fahrrad Carbon-Rahmen

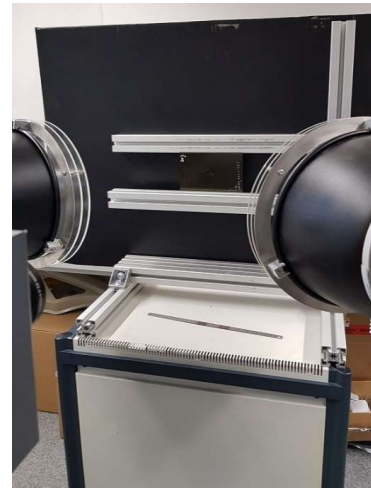
Interne Strukturen und Schäden



Aktiv-Thermografie

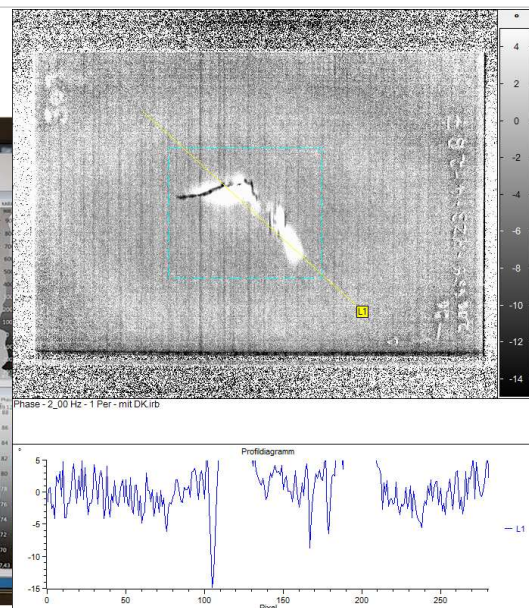
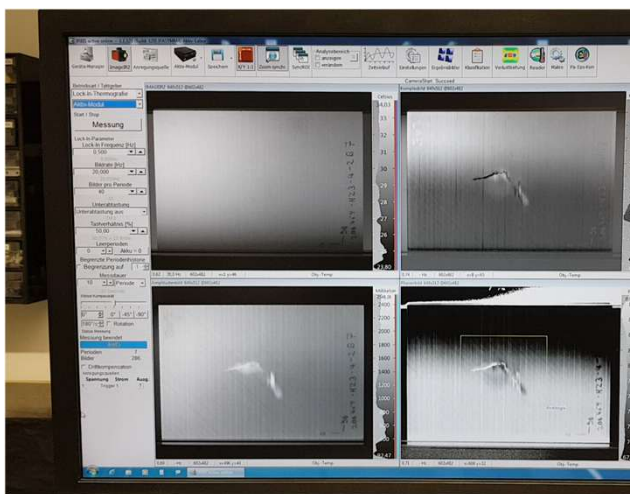
F&E: Aktiv-Thermografie – Impact-Schaden CFK-Platte

- Anregungs- bzw. Auswertungsverfahren
 - Halogenstrahler-Anregung periodisch (Lock-In-Thermografie)
 - Halogenstrahler-Anregung einmalig (Puls-Phasen-Thermografie)
- Doppel-Halogenstrahler-Einheit 2× 2 kW (betrieben mit 2× 1 kW)



Aktiv-Thermografie

F&E: Aktiv-Thermografie – Impact-Schaden CFK-Platte



Aktiv-Thermografie

Rissdetektion mittels Induktionsanregung / Lösung vom Institut Dr. Foerster



Puls-Phasen-Thermografie (PPT)



- Kamera: ImageIR® 7300
- MWIR
- (640 x 512) Pixel; 100 Hz

Aktiv-Thermografie

Integrierte Systeme als Prüfstände: Photovoltaik- und Elektronik-Lock-in-Prüfstand als Komplettlösung

- Prüfung von Solarzellen/Modulen und Elektronik mit VarioCAM® oder ImageIR® mit geeigneten Detektorgößen und Objektiven (z. B. auch Nahaufnahmen und Mikroskopaufnahmen)
- Modulares Konzept ermöglicht verschiedene Anregungsarten, Leistungs-, Strom- und Temperaturregelungs- sowie Haltekonzepte
- Verschiedene Probengrößen geeignet
- Vollständige Steuerung durch angeschlossene Steuereinheit mit umfassender und anpassbarer Software
- Beispiel Solarzellentests:
 - Modi DLIT und ILIT
 - Shunt-Erkennung, Verlustbestimmung, usw.



Aktiv-Thermografie

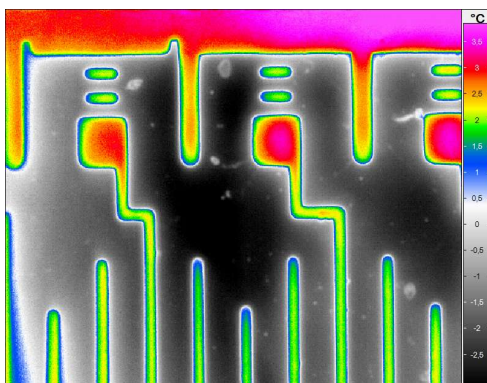
E-LIT – Electronic & Semiconductor Testing Solution: Worum geht es hier?



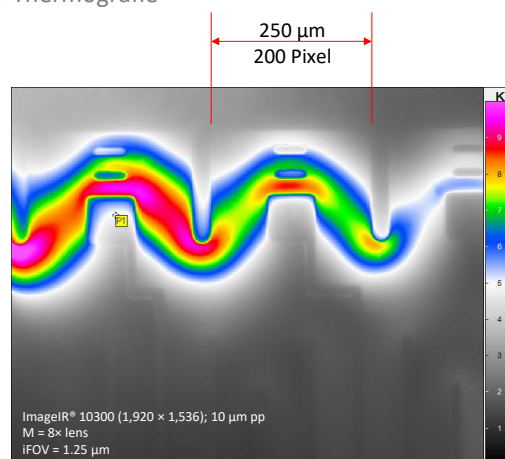
Aktiv-Thermografie

IR-Mikroskopie an elektronischen Bauteilen mit Aktiv-Thermografie

SMD-Widerstand (Metallfilm auf Keramik)



Passive Thermografie – Heißer Hintergrund, metallische Oberfläche ist kühl wegen geringer Wärmekapazität und niedrigem Emissionsgrad.

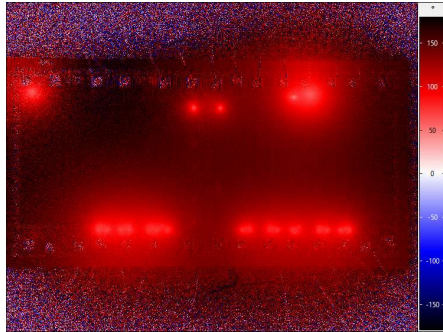


Lock-In-Amplitudenbild – Heißer Hintergrund wird durch das Lock-In-Verfahren herausgerechnet – Die durch den Strom erzeugte Wärme ist im Metall zu erkennen.

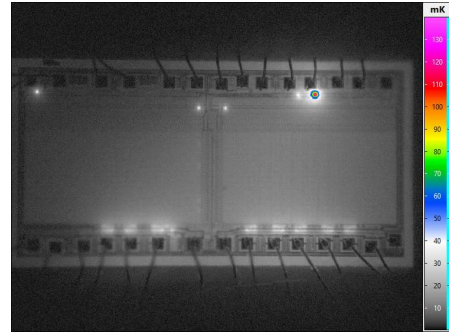
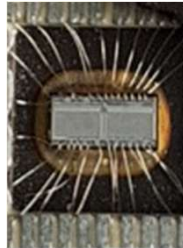
Aktiv-Thermografie

Hotspot-Detektion / Mikrochip

Lock-In in der Mikrochip-Entwicklung



Phasen-Ergebnisbild



Amplituden-Ergebnisbild