



Stand und Tendenzen thermischer Infrarot-Sensoren für die Thermografie

Helmut Budzier, Gerald Gerlach

Institut für Festkörperelektronik

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Technische Universität Dresden

Stand und Tendenzen thermischer Infrarot-Sensoren für die Thermografie

- 1. Einleitung**
- 2. Thermografie**
- 3. Sensoren für die Thermografie**
- 4. Thermische Sensoren**
- 5. Auflösungsgrenzen von thermischen Sensoren**
- 6. Thermoelektrische Kleinarrays**
- 7. Tragarmsensoren**
- 8. Zusammenfassung**



1.Einleitung

Aus dem Inhalt:

- Physikalische Grundlagen
- Raumwinkel, Fotometrisches Grundgesetz
- Rauschen
- Sensorkenngrößen und deren Messung
- Modulationsübertragungsfunktion MTF
- Thermische Sensoren
 - Wirkprinzipien, thermische Modelle
 - Thermoelektrische Sensoren
 - Pyroelektrische Sensoren
 - Mikrobolometer
 - Mikromechanische Sensoren

2. Thermographie

Bildgebendes Verfahren zur Darstellung der Infrarotstrahlung einer Szene

Infrarot-Strahlung = „natürliche“ Strahlung eines Körpers

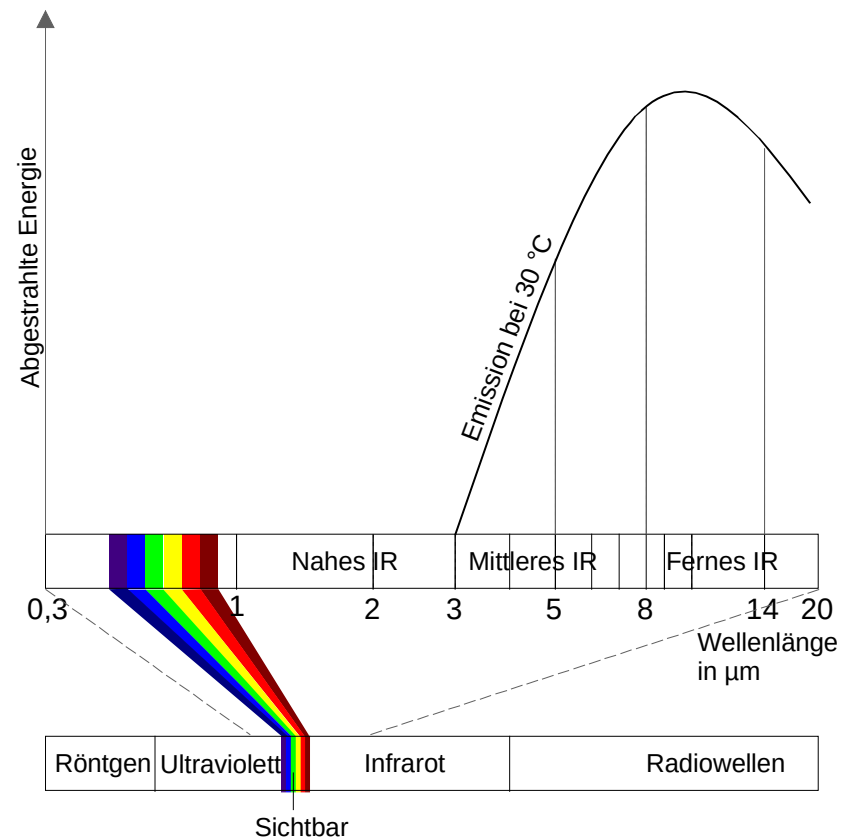
-> Messung der Oberflächentemperatur

Unabhängig von Beleuchtungsquelle

-> passive Systeme: können nicht erkannt werden

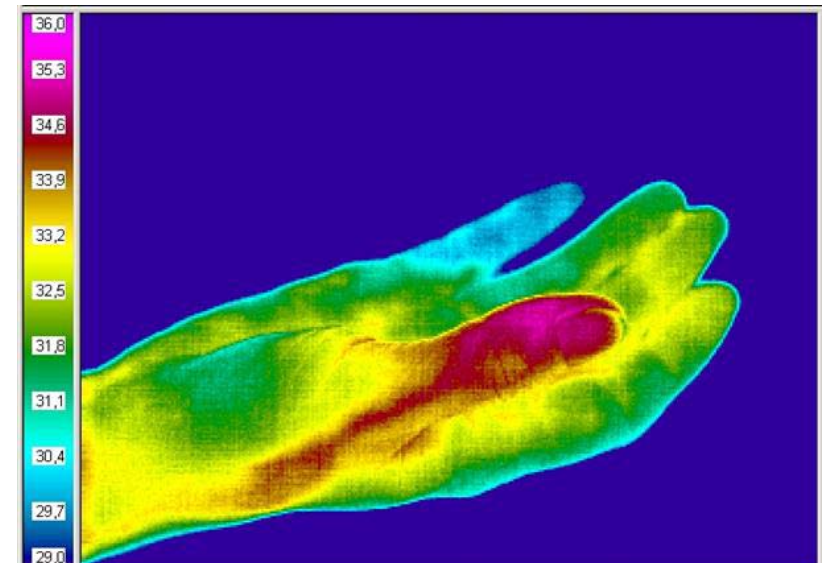
Wärmeabgebende Strukturen werden hervorgehoben

Elektromagnetisches Strahlungsspektrum



Wichtige Anwendungsbereiche:

- Bauthermografie: Energie sparen
- Nachtsichtgeräte: Fahrerassistenzsysteme
- Prozesskontrolle: Steuern, Regeln, Überwachen
- Zerstörungsfreie Prüfung: Vorbeugende Wartung
- Medizin: Früherkennung



3. Sensoren für Thermografie

Zweidimensionale (2D)-Array-Sensoren (Focal Plane Arrays FPA, Matrizen):

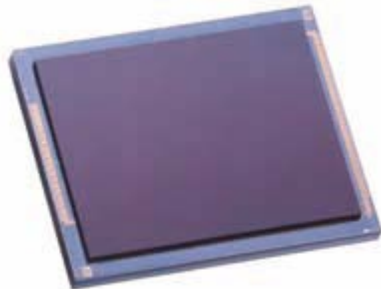
- Photonensensoren (Halbleitersensoren)
 - innerer fotoelektrischer Effekt (Photonenzähler)
 - gekühlte Sensoren

- Thermische Sensoren
 - Messung der Strahlungsleistung durch Eigenerwärmung
 - ungekühlte Sensoren

3. Sensoren für Thermografie

Photonensensoren (gekühlte Sensoren):

- sehr hohe Empfindlichkeit, auch Multispektral
- sehr gute Temperaturlösung ($< 10 \text{ mK}$)
- sehr große Pixelzahlen (bis $1280 \times 1024 \text{ Pixel}$)
- aufwändige Kühltechnik
- eingeschränkte Lebensdauer
- sehr teuer

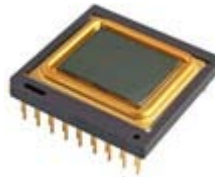


QWIP IR Photodetector (384x288 Pixel)
Pixelraster: $25 \mu\text{m}$
NETD: $< 35 \text{ mK}$ (Detektortemperatur: 73 K)
Quelle: SOFRADIR (Frankreich)

3. Sensoren für Thermografie

Thermische Sensoren (ungekühlte Sensoren):

- keine Kühlung erforderlich
- hohe Langzeitstabilität
- preiswert

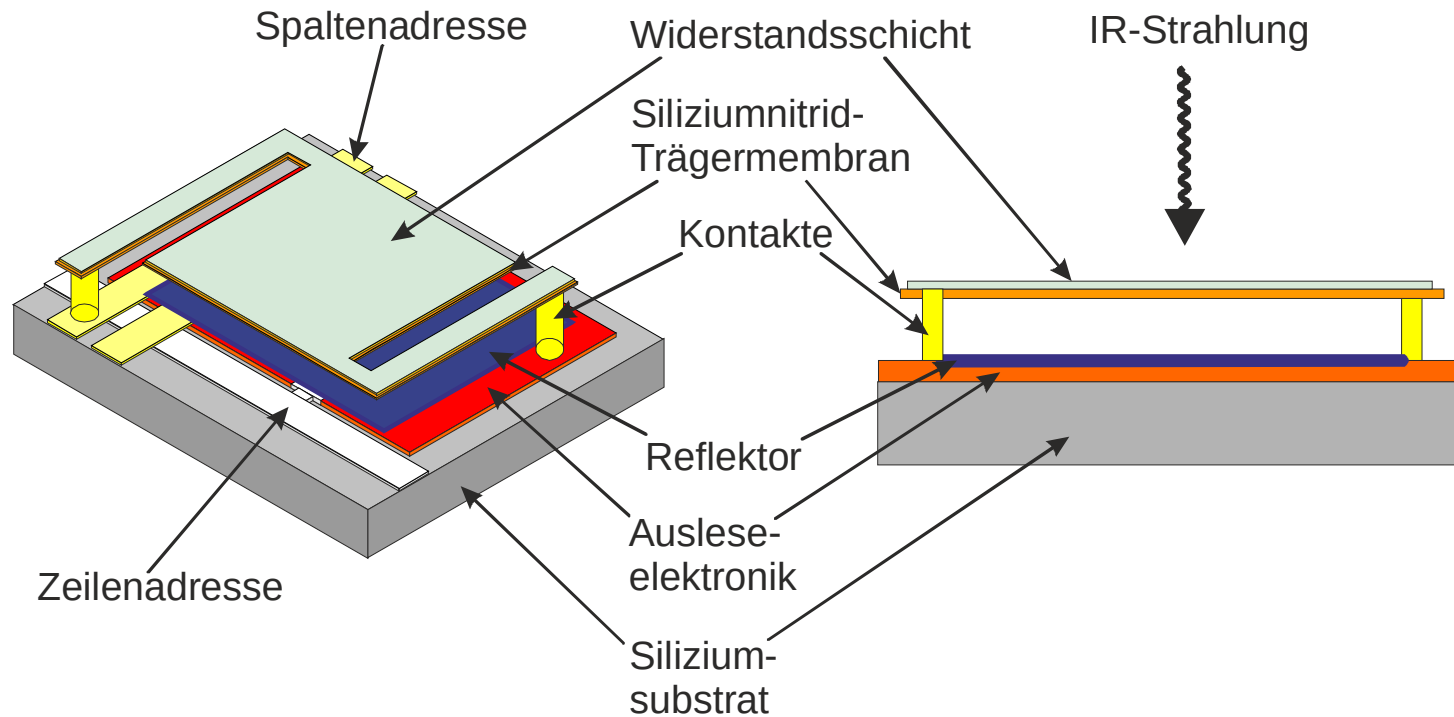


Für kommerzielle Systeme ausschließlich Mikrobolometerarrays

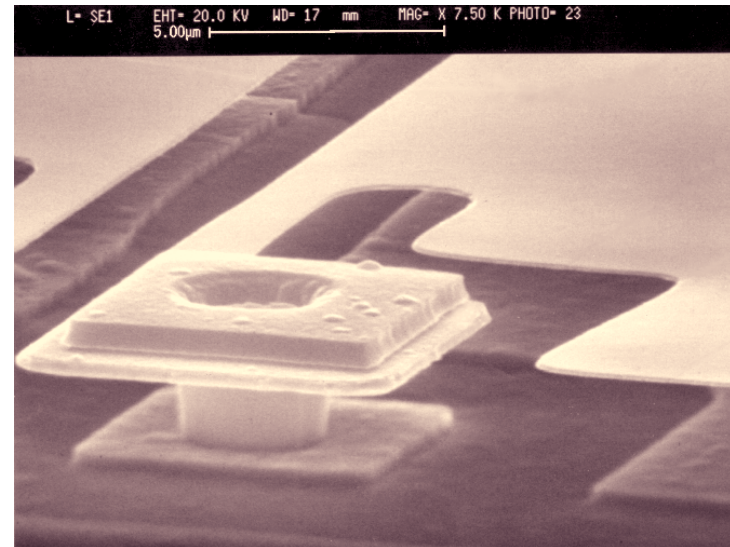
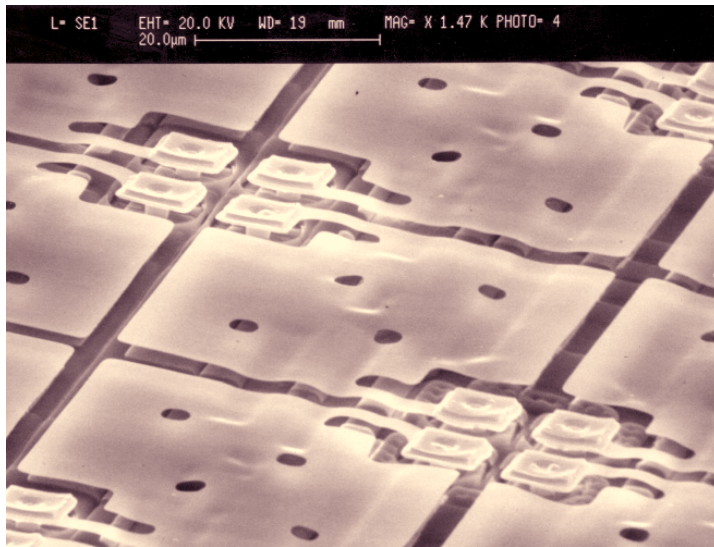
4. Thermischer Sensoren

Funktionsweise

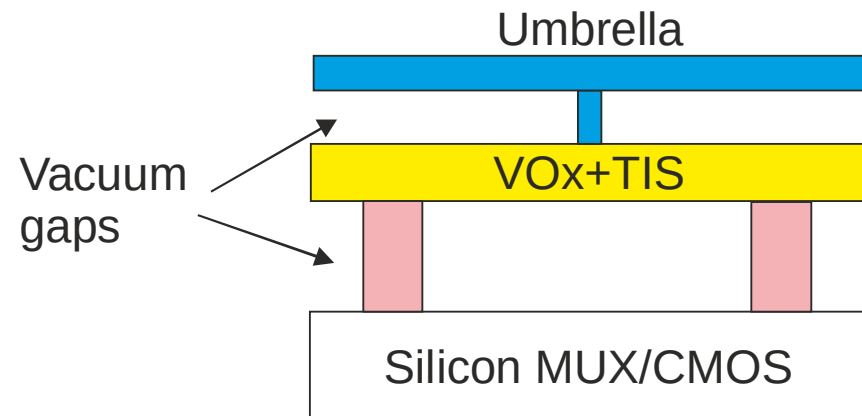
Beispiel **Mikrobolometer**:



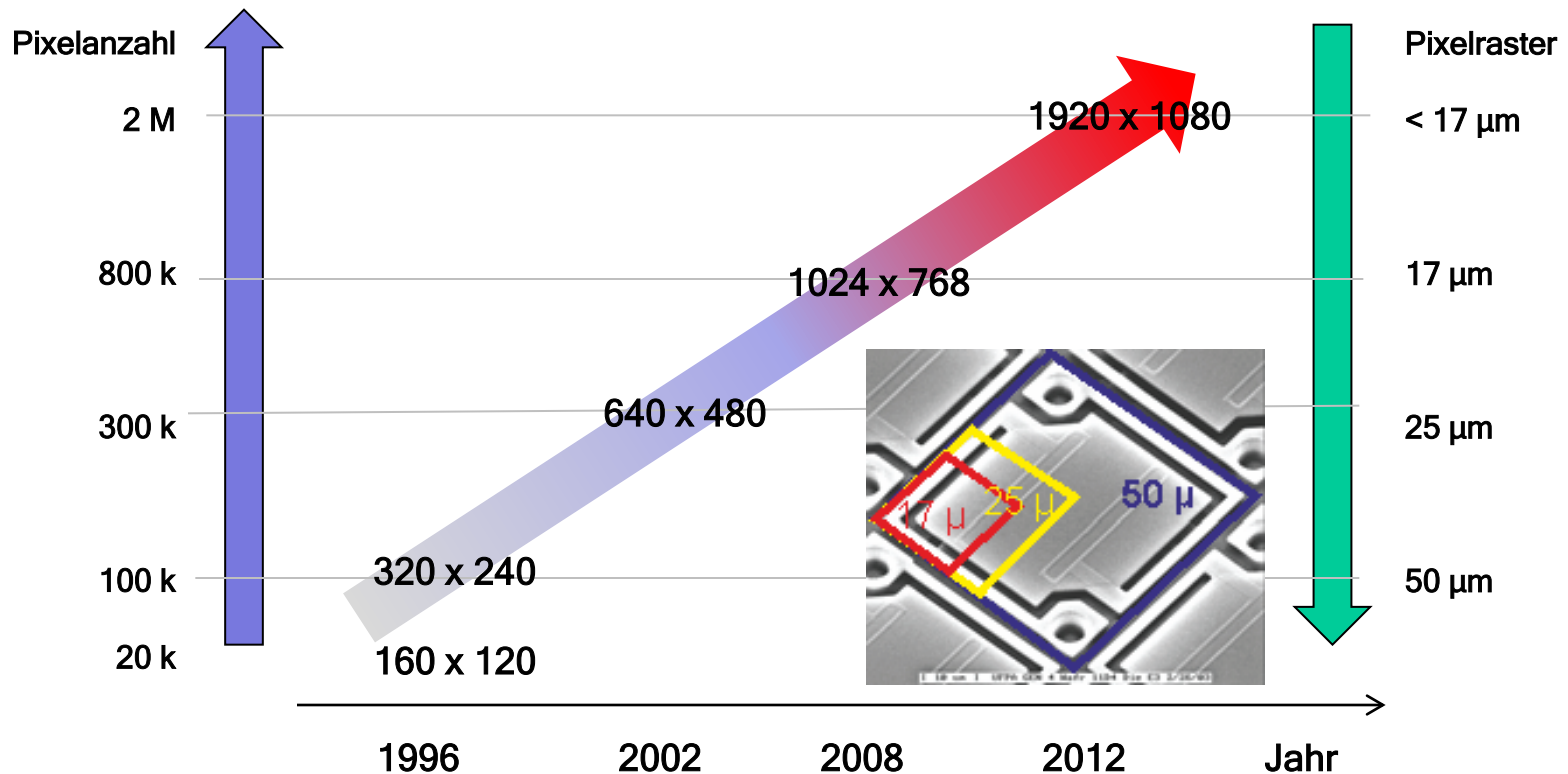
4.1. Mikrobolometer



4.1. Mikrobolometer



5. Auflösungsgrenzen thermischer Sensoren



Mikrobolometer

Vakuumgehäuse eines 320 x 240 Pixel-Sensors:

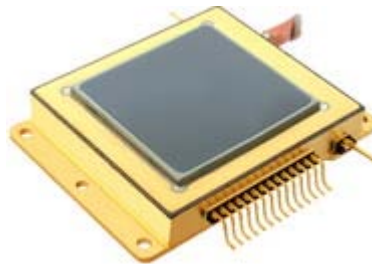
90ziger Jahre



$37,5 \times 37,5 \times 12,5 \text{ mm}^3$

50 g

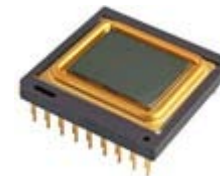
2000



$28,2 \times 23,5 \times 6,7 \text{ mm}^3$

25 g

jetzt



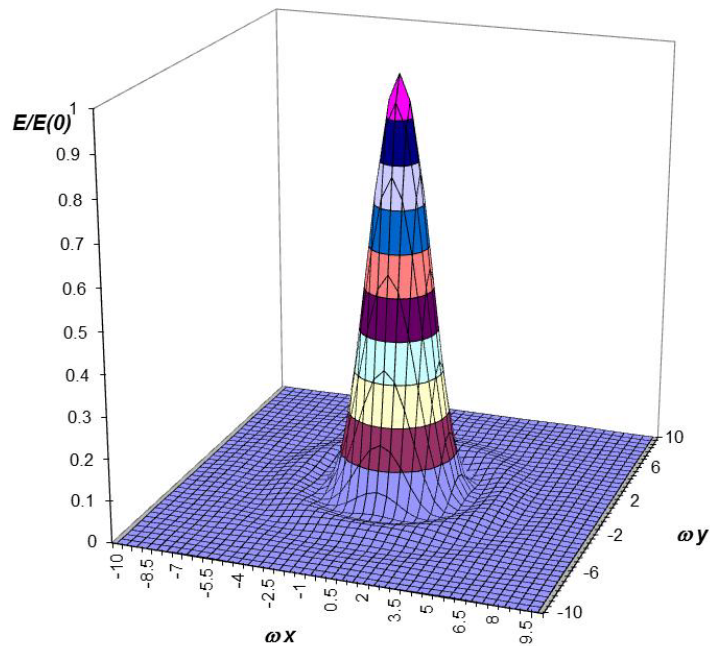
$24,1 \times 21,6 \times 4,1 \text{ mm}^3$

6,5 g

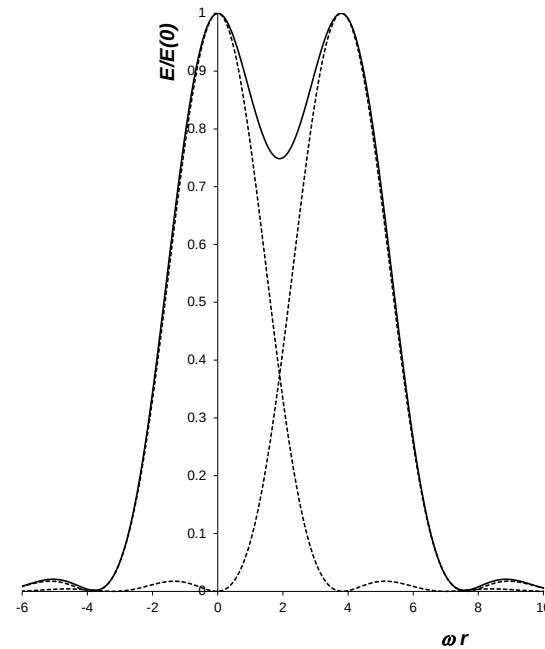
5.1. Grenzen der räumlichen Auflösung

FRAUNHOFER Beugung $\rightarrow$ AIRY-Scheibe: $r_{\min} \approx 0,61 \lambda k$

Beispiel: $k = 1$ und $\lambda = 10 \mu\text{m}$: $r_{\min} \approx 6 \mu\text{m}$

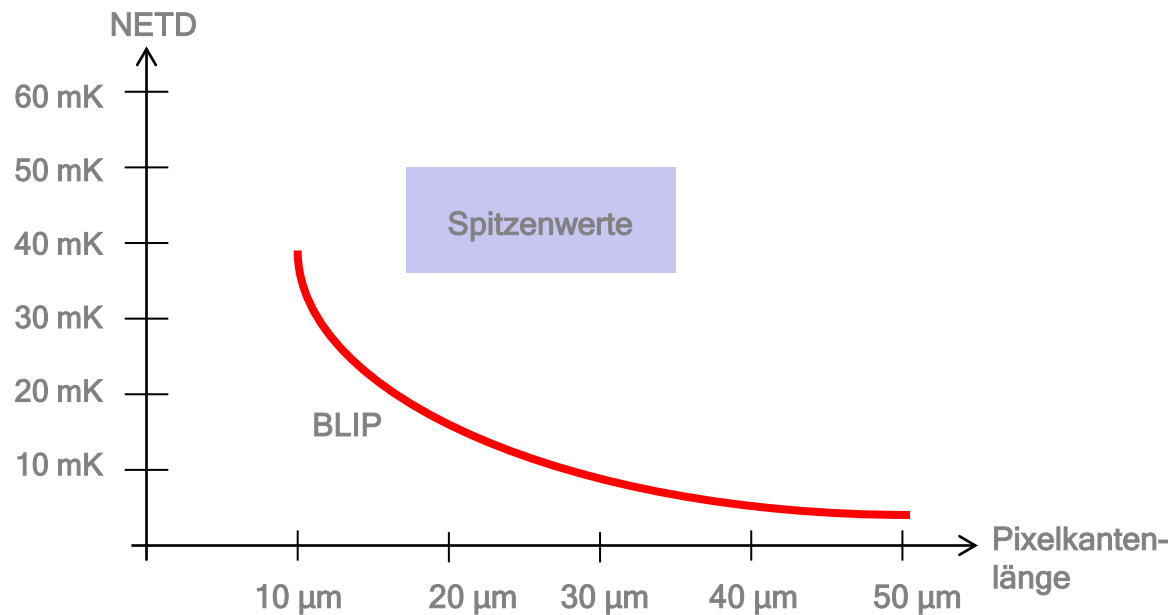


AIRY-Scheibe



Überlagerung zweier AIRY-Scheiben

5.2 Grenzen der thermischen Auflösung



Heutige Sensoren sind durch thermische Leitfähigkeit der Pixelaufhängung begrenzt!

5.3. Thermische Zeitkonstante

$$\tau_{th} = \frac{\text{thermische Kapazität } C_{th}}{\text{thermische Leitwert } G_{th}}$$

Reale Werte: 5 bis 15 ms

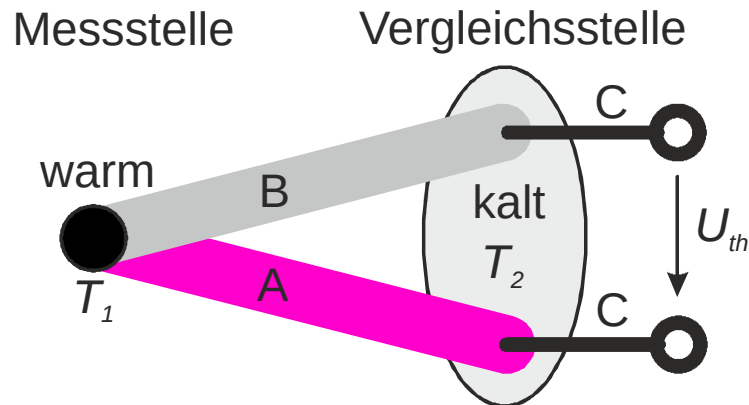
Grenzen:

Thermische Kapazität: kleinere und dünnere Pixel → - Technologie-begrenzt
- Mechanisches Rauschen

Thermischer Leitwert: Leitwert der Aufhängung < Leitwert durch Abstrahlung
→ Technologie-begrenzt

6. Thermoelektrische Kleinarrays

Thermoelektrische Sensoren: SEEBECK-Effekt



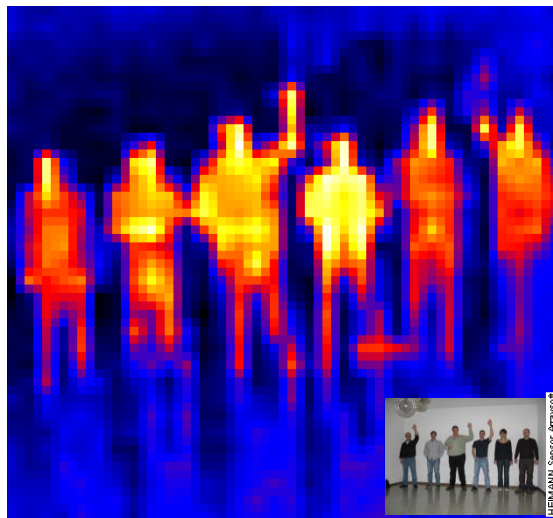
A und B: zwei unterschiedliche leitende Materialien, z. B. Fe/Cu-Ni oder n- und p-dotiertes Silizium
C: A oder B

6. Thermoelektrische Kleinarrays

Thermopile-Arrays mit 16x16, 32x32 oder 64 x 64 Pixel

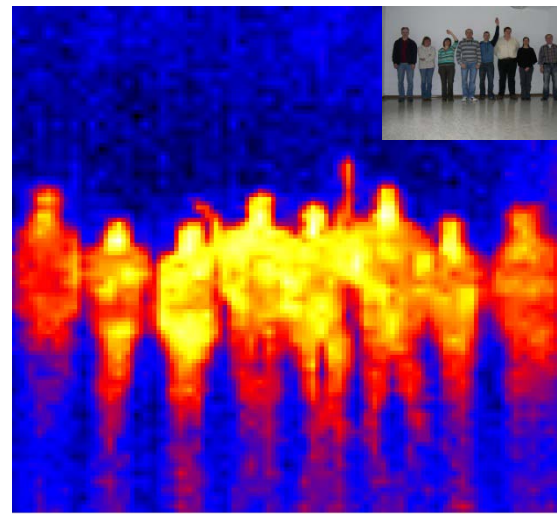
Anwendungen:

- Personendetektion
- Präsenz- und Bewegungsmelder
- eingebettete Systeme



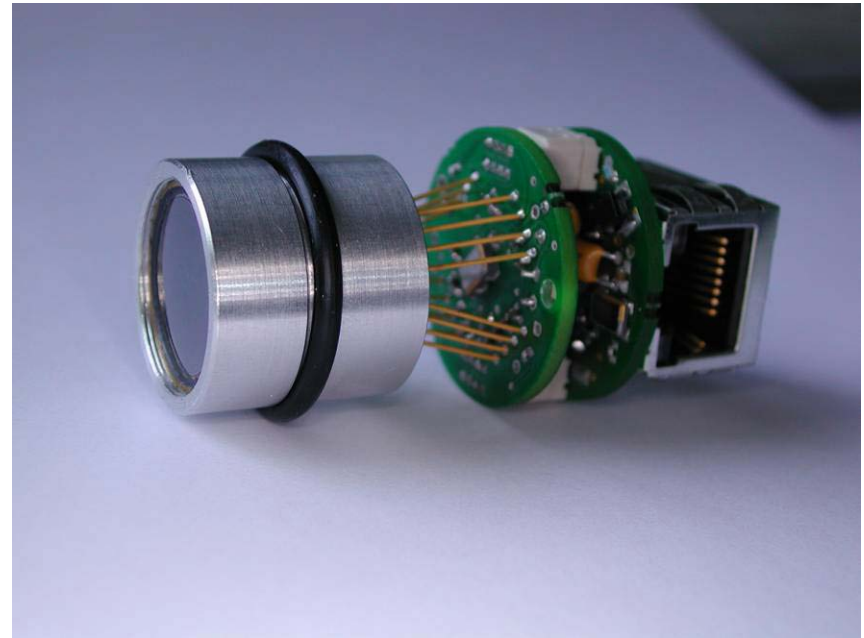
32 x 32 Pixel

Bildquelle: Heimann Sensor GmbH Dresden



64 x 64 Pixel

16x16 / 32x32 - element Array modules:



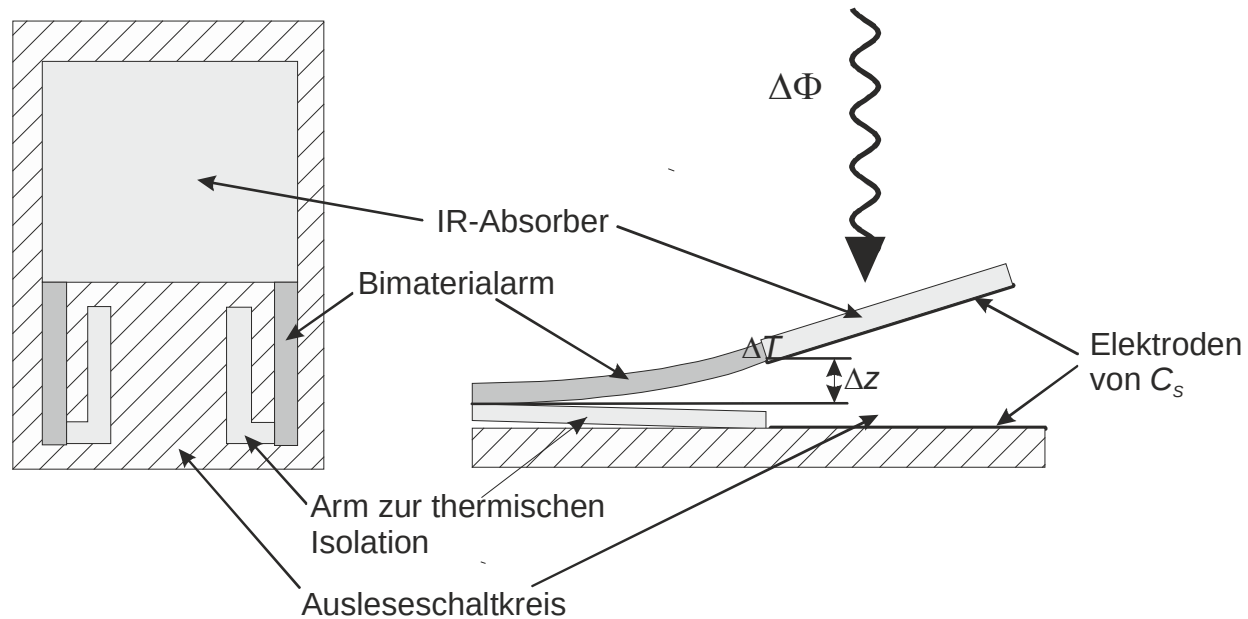
Application Set for thermal Imaging:

- Ethernet connector
- Monolithic Sensor array with ADC in TO-8 housing

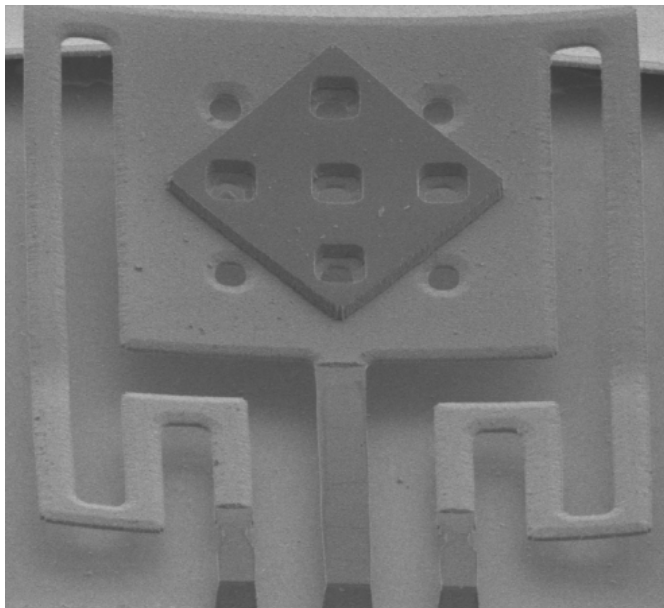
Sensorgroße: $\varnothing 16,75 \times 10,3$

7. Tragarmsensoren

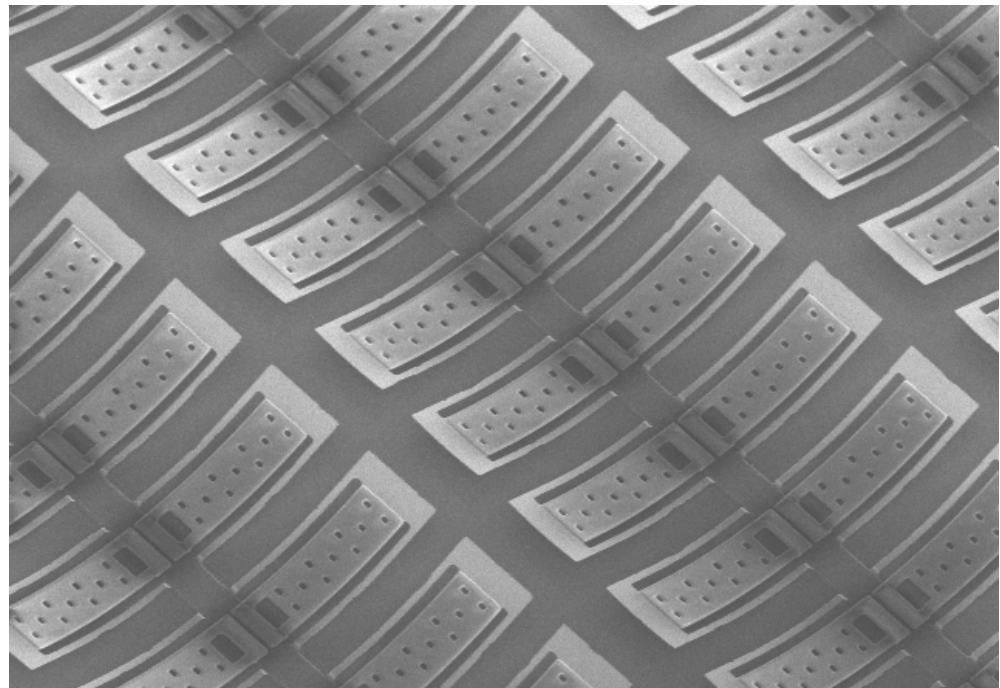
Mikromechanisches Bimorph-Pixel



Designstudie



REM-Aufnahme Pixelgruppen



8. Zusammenfassung

1. Ziel: Entwicklung von Systemen für Jedermann:

- preiswert
- einfach zu bedienen

2. Ziel: Höchstauflösende Thermografiesysteme

- Erreichen der theoretischen Grenzen
- HDTV-Auflösung