

Optoelektronische Messtechnik

Vorlesung | Nr. 8 |
Empfänger | Thermische Empfänger

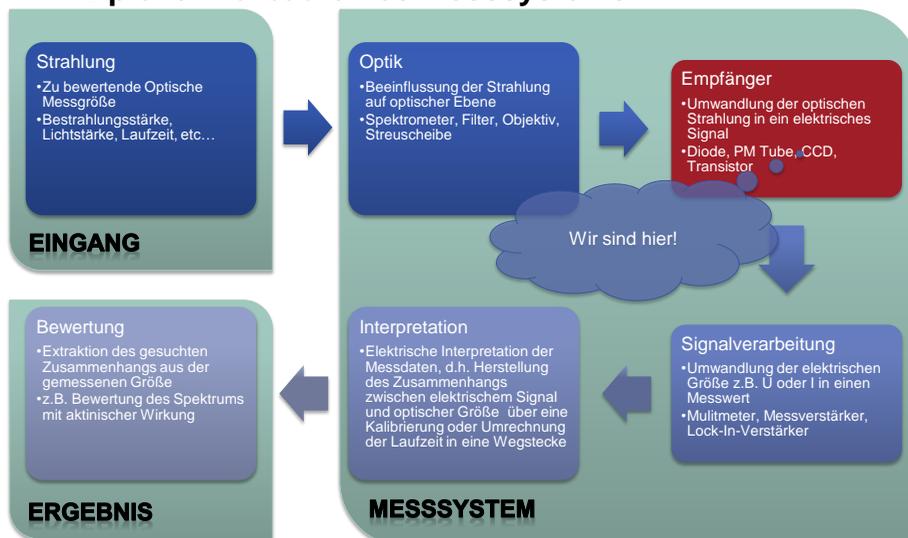
LTI | Lichttechnisches Institut

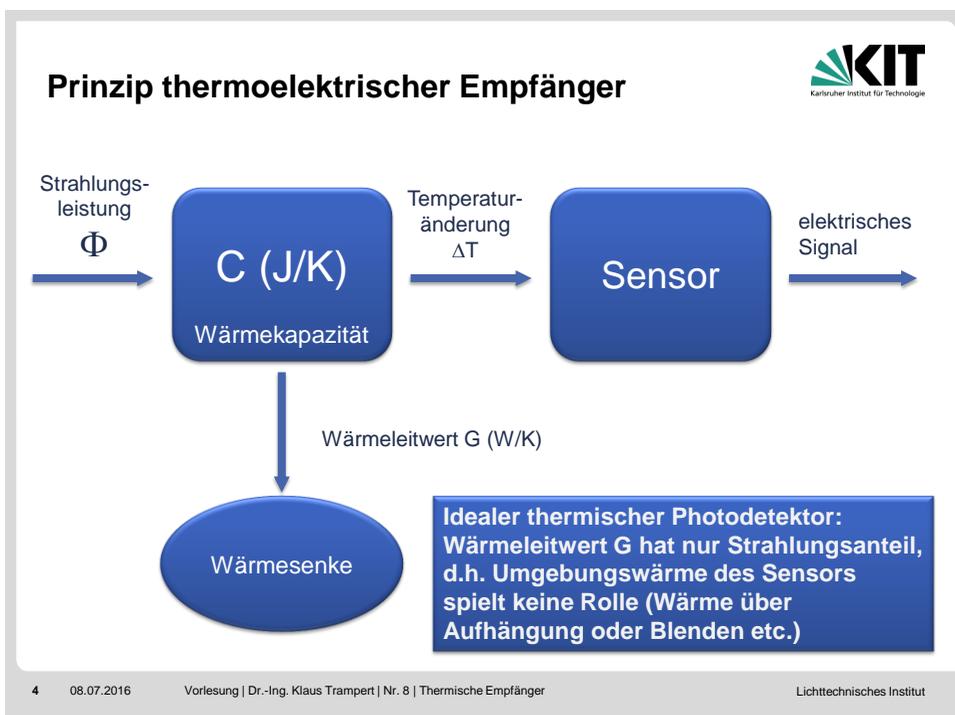
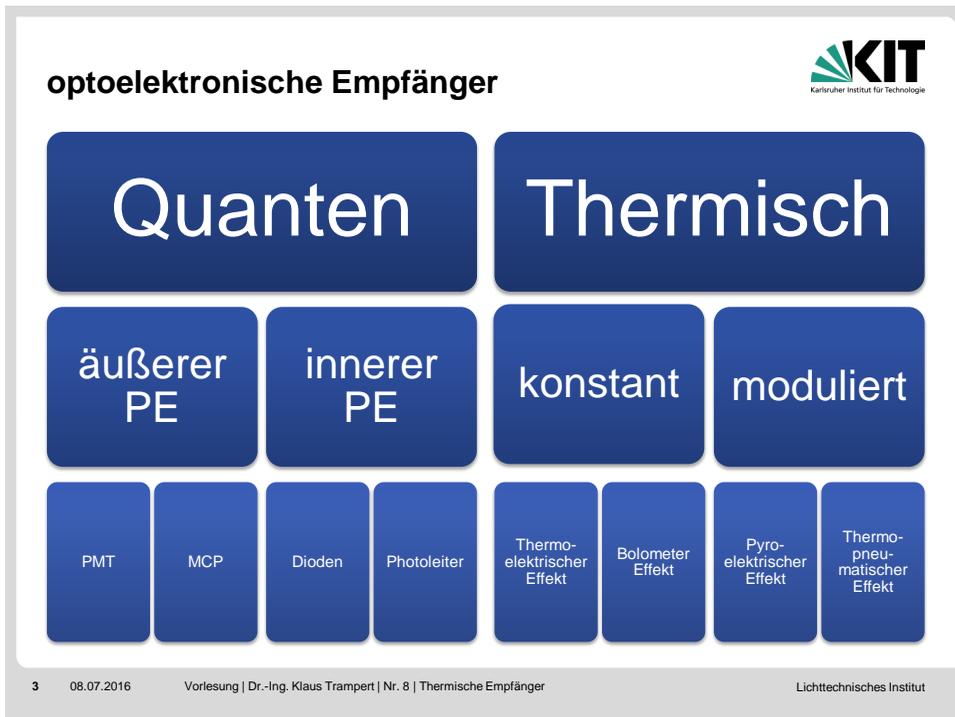


KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

www.lti.kit.edu

Prinzipieller Aufbau eines Messsystems







Thermische Effekte

Thermoelektrischer Effekt zeitlich konstant
<ul style="list-style-type: none"> Spannung über zwei ungleichen, einseitig kontaktierten Halbleitern mit höherer Temperatur am Kontakt Thermoelement, - säule
Bolometer Effekt zeitlich konstant
<ul style="list-style-type: none"> Widerstandsänderung durch Temperatur Metall-, Halbleiterbolometer
Pyroelektrischer Effekt zeitlich moduliert
<ul style="list-style-type: none"> Änderung der spontanen Polarisation durch Temperaturänderung Verschiebungsstrom im pyroelektrischen Detektor
Thermopneumatischer Effekt zeitlich moduliert
<ul style="list-style-type: none"> Druckänderung in geschlossener Gas Zelle durch Temperaturänderung Golay-Zelle

5 08.07.2016 Vorlesung | Dr.-Ing. Klaus Trampert | Nr. 8 | Thermische Empfänger
Lichttechnisches Institut

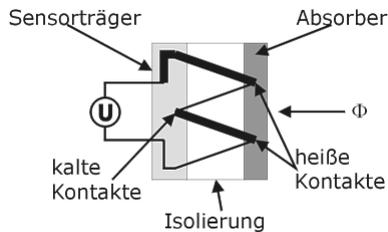


optoelektronische Empfänger

Quanten				Thermisch			
äußerer PE		innerer PE		konstant		moduliert	
				Neues Thema			
PMT	MCP	Dioden	Photoleiter	Thermo- elektrischer Effekt	Bolometer Effekt	Pyro- elektrischer Effekt	Thermo- pneu- matischer Effekt

6 08.07.2016 Vorlesung | Dr.-Ing. Klaus Trampert | Nr. 8 | Thermische Empfänger
Lichttechnisches Institut

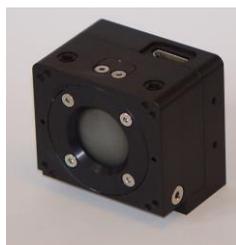
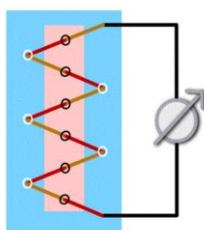
Seebeck-Effekt



$$\Delta U = (\alpha_{S,1} - \alpha_{S,2})(T_2 - T_1) = \alpha_{S,12} \cdot \Delta T$$

- Seebeck-Koeffizient
 - Metalle relativ klein – einige $\mu\text{V/K}$
 - Halbleitern relativ groß – einige zehn $\mu\text{V/K}$
- Sie addieren sich für n- und p-Halbleiter des gleichen Materials.
- Kombinationen
 - Ag – Pd | Bi – Te | Sb – Bi
 - n- und p-Halbleiter aus BiTeO₃.
- Leiter oder Halbleiter
- Temperaturdifferenz ΔT
 - heiße Elektronen diffundieren vom heißen zum kalten Ende
 - langsame Löcher in umgekehrter Richtung
 - Potentialdifferenz $\Delta U \sim \Delta T$ erzeugt resultierenden Diffusionsstrom
 - entgegengesetzt dem Feldstrom.
- Thermospannung
 - über Enden aus **verschiedenen** Materialien

Thermosäulen



- Thermosäule
 - Serien und Parallelschaltung von Thermoelementen
 - größere Empfindlichkeit
 - größere Empfängerfläche
- Einsatz in
 - Laserdetektor
 - Aselektiver Radiometrie
- Optimierung
 - großer Seebeck-Koeffizient α
 - große el. Leitfähigkeit σ (Minimierung der Wärme)
 - kleine thermische Leitung κ zur Minimierung der Wärmeleitung zwischen den Kontakten



optoelektronische Empfänger

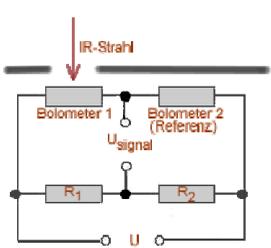
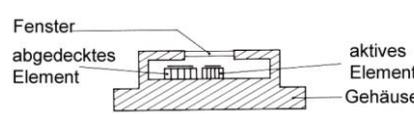
Quanten				Thermisch			
äußerer PE		innerer PE		konstant		moduliert	
PMT	MCP	Dioden	Photoleiter	Thermo- elektrischer Effekt	Bolometer Effekt	Pyro- elektrischer Effekt	Thermo- pneu- matischer Effekt

schon wieder ein
neues Thema!

9 08.07.2016
Vorlesung | Dr.-Ing. Klaus Trampert | Nr. 8 | Thermische Empfänger
Lichttechnisches Institut



Bolometer

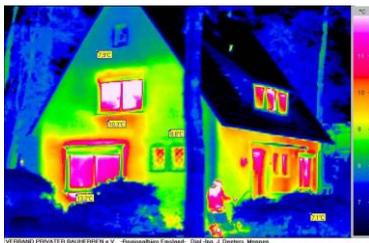
- Widerstandselement
 - mit großem Temp.Koeff. α
 - als Dünnschichttechnik
 - Auf Al_2O_3 oder SiO_2
- Abgriff in Brückenschaltung
 - I eingepreßt
 - ΔT erzeugt ΔU über Bolometer
- Sehr kleine Änderungen können erfasst werden.
- T-Kompensation mit Referenz Bolometer

10 08.07.2016
Vorlesung | Dr.-Ing. Klaus Trampert | Nr. 8 | Thermische Empfänger
Lichttechnisches Institut

Bolometer

- Ein **Mikrobolometer** ist ein thermischer Detektor für mittleres und langwelliges Infrarot (MIR und FIR). Es ist besonders klein und daher schnell und sehr empfindlich.
- Mikrobolometer nutzen wie auch Bolometer die Änderung ihres elektrischen Widerstandes aufgrund der an ihnen absorbierten und in ihnen zu einer Temperaturänderung führenden Strahlung. Sie werden als Detektor in Wellenlängenbereichen oberhalb von etwa 5 μm eingesetzt, für die ungekühlte Fotodioden nicht mehr verfügbar sind. Mikrobolometer können bei Raumtemperatur – also ohne aufwändige Kühlung – arbeiten, benötigen jedoch eine Temperaturstabilisierung.
- Es können auch tausende Mikrobolometer-Elemente zweidimensional angeordnet werden. Solche Mikrobolometerarrays werden als Bildsensor u.a. in der Astronomie und in Thermografie-Kameras eingesetzt.

Mikrobolometer - Anwendungen



- Thermographie Aufnahmen
 - Analyse von thermischen Prozessen
 - Bildgebendes Verfahren
- Voraussetzungen
 - thermisch stabiler Empfänger
 - bekannter Emissionsgrad zur Rückrechnung auf Planck

optoelektronische Empfänger

Quanten

Thermisch

äußerer
PE

innerer
PE

konstant

moduliert

PMT

MCP

Dioden

Photoleiter

Thermo-
elektrischer
Effekt

Bolometer
Effekt

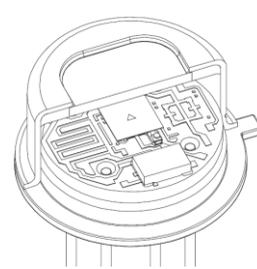
Pyro-
elektrischer
Effekt

Thermo-
pneu-
matischer
Effekt

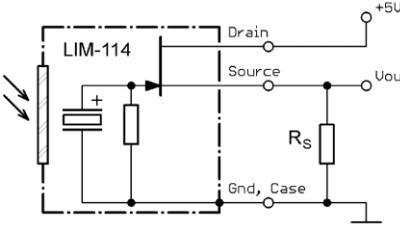
Puh das ist heute
aber schnell!

13 08.07.2016
Vorlesung | Dr.-Ing. Klaus Trampert | Nr. 8 | Thermische Empfänger
Lichttechnisches Institut

Pyroelektrischer Empfänger



- pyroelektrischer Kristall
 - niedrige kristalline Symmetrie
 - spontane elektrische Polarisation
 - dünn (40µm)
 - auch piezoelektrisch
- Temperaturerhöhung um tausendstel Grad
 - Erwärmung > pos. Ladungen
 - Abkühlung > neg. Ladungen
- Verstärkung mit FET oder CMOS
 - Rauscharm
 - geringe Leckströme
- Nur ΔT erfasst => Ausblendung des statischen Hintergrundes.
- modulierten IR-Quelle
 - mechanische Chopperung
 - elektrisch modulierte Quelle.

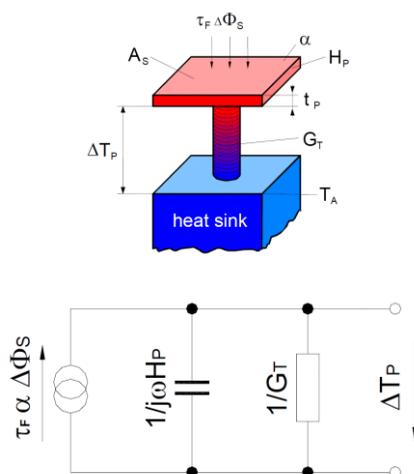


14 08.07.2016
Vorlesung | Dr.-Ing. Klaus Trampert | Nr. 8 | Thermische Empfänger
Lichttechnisches Institut

Wellenlängeabhängigkeit

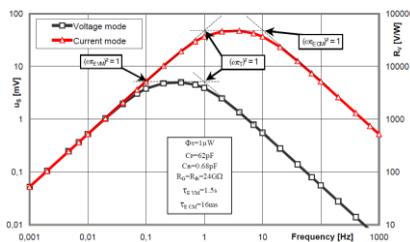
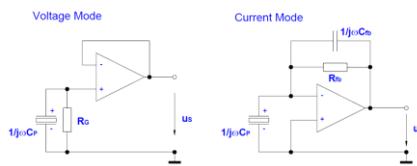
- Empfindlichkeit abhängig von der Absorption des pyroelektrischen Kristalls. Beeinflusst durch geeignete Absorptionsbeschichtung..
- Als thermischer Detektor besitzt der pyroelektrische Detektor im Gegensatz zu Halbleiterdetektoren eine sehr breite spektrale Empfindlichkeit von 100 nm (VUV) bis über 1000 μm (FIR) und benötigt selbst bei Wellenlängen $>5\mu\text{m}$ keine Kühlung
- Die am meisten eingesetzte Polymerschwarzschrift wird als Waferprozess erzeugt und bietet eine temperatur- und langzeitstabile hohe Absorption vom UV bis etwa 100 μm für Modulationsfrequenzen bis zu einigen kHz.
- Eine spezielle Metallschwarzschrift mit sehr hoher und flacher Absorption steht für anspruchsvolle Spektrometeranwendungen zur Verfügung, erfordert jedoch Einschränkungen hinsichtlich der maximalen Betriebstemperatur ($<60^\circ\text{C}$) und reagiert empfindlich auf hohe kollimierte Strahlungsleistungen sowie starke Vibrationen.

thermisches Schaltbild



- thermische Zeitkonstante (typisch 150ms)
 - thermische Kopplung des pyroelektrischen Elementes an die Umgebung
 - Betriebsartunabhängig
- Die elektrische Zeitkonstante
 - Spannungsbetrieb (typisch einige s) als Produkt von elektrischer Pyrochipkapazität und Gatewiderstand
 - Strombetrieb ergibt sich die elektrische Zeitkonstante aus dem Produkt von Feedbackwiderstand und Feedbackkapazität und kann in einem weiten Bereich unabhängig vom Pyrochip gewählt werden (typisch $<20\text{ms}$)

pyroelektrischer Empfänger



Spannungsbetrieb

- Ladung in elektrischer Kapazität des pyroelektrischen Elementes
- Signalspannung mit Impedanzwandlung
 - Sourcefolgers
 - Modulationsfrequenzen 1 -10Hz im 1/f-Bereich oberhalb der elektrischen und elektrischen Zeitkonstante
 - Signalspannungen einige mV.

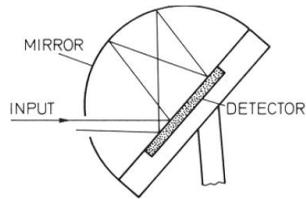
Strombetrieb

- Strom durch einen Strom-Spannungs-Wandler (OpAmp mit Feedback-Komponenten, sogenannter Transimpedanz-Verstärker TIA) in eine Signalspannung gewandelt
 - Frequenzbereich von 1 - 10 ... 1000 Hz
 - nahezu konstante Ausgangsspannung
 - Modulationsfrequenzen 1 -10...1000 Hz. zwischen der thermischen und der elektrischen Zeitkonstante
 - Signalspannungen einige > 100 mV

Einsatzgebiet

- Als thermischer Detektor besitzt der pyroelektrische Detektor im Gegensatz zu Halbleiterdetektoren eine sehr breite spektrale Empfindlichkeit von 100 nm (VUV) bis über 1000 μ m (FIR) und benötigt selbst bei Wellenlängen $>5\mu$ m keine Kühlung
- Verbreitete Anwendungsgebiete pyroelektrischer Detektoren sind Bewegungsmelder, die NDIR Gasanalyse, die IR-Flammendetektoren sowie Spektroskopie und Pyrometrie
- Im Gegensatz zum Thermopile kann ein pyroelektrischer Detektor selbst noch bis zu Modulationsfrequenzen von einigen kHz mit hoher Auflösung messen, was den Einsatz in FTIR-Spektrometern ermöglicht.
- Die Leistung kurzer Laserimpulse der Größenordnung μ s ist noch zeitlich auflösbar, Energiemessungen von gepulster IR-Laser-Strahlung funktionieren auch bei ns-Impulsen mit hoher Genauigkeit.

Strahlungsfalle



- Schaffung eines breitbandigen Radiometer-Messkopfes mit nahezu aselectiver spektr. Empfindlichkeit (Pyroelektrischer Empfänger)
- Durch Strahlungsfalle (Kavität) über dem Detektor und kleiner Öffnung (total absorbierend)
- absoluter Empfänger
=> Empfänger mit **berechenbarer** Empfindlichkeit

optoelektronische Empfänger

Quanten

Thermisch

äußerer
PE

innerer
PE

konstant

Fast geschafft!

PMT

MCP

Dioden

Photoleiter

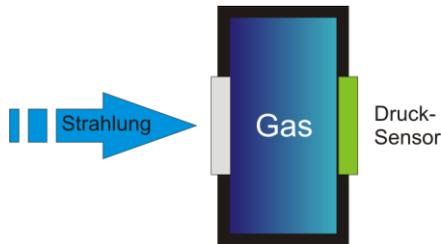
Thermo-
elektrischer
Effekt

Bolometer
Effekt

Pyro-
elektrischer
Effekt

Thermo-
pneu-
matischer
Effekt

Thermopneumatischer Effekt – Golay Zelle



- Zeitkonstante – ca. 10 ms
- Spektralbereich – VIS bis Millimeterwellen

- Gasgefüllte Zelle wird durch Fenster bestrahlt.
- Die vom Gas absorbierte Strahlung heizt dieses auf und erhöht den Gasdruck.
- Der Druckanstieg wird entweder durch ein piezokeramisches Element oder einen Kondensator, dessen eine Elektrode als bewegliche Membran ausgeführt ist, in eine Spannungsänderung umgesetzt.
- Besonders geeignet für die Gasanalyse, wenn die Wellenlänge der Strahlung auf eine starke Absorptionsbande – meist im IR -, eines Molekül-gases abgestimmt wird.