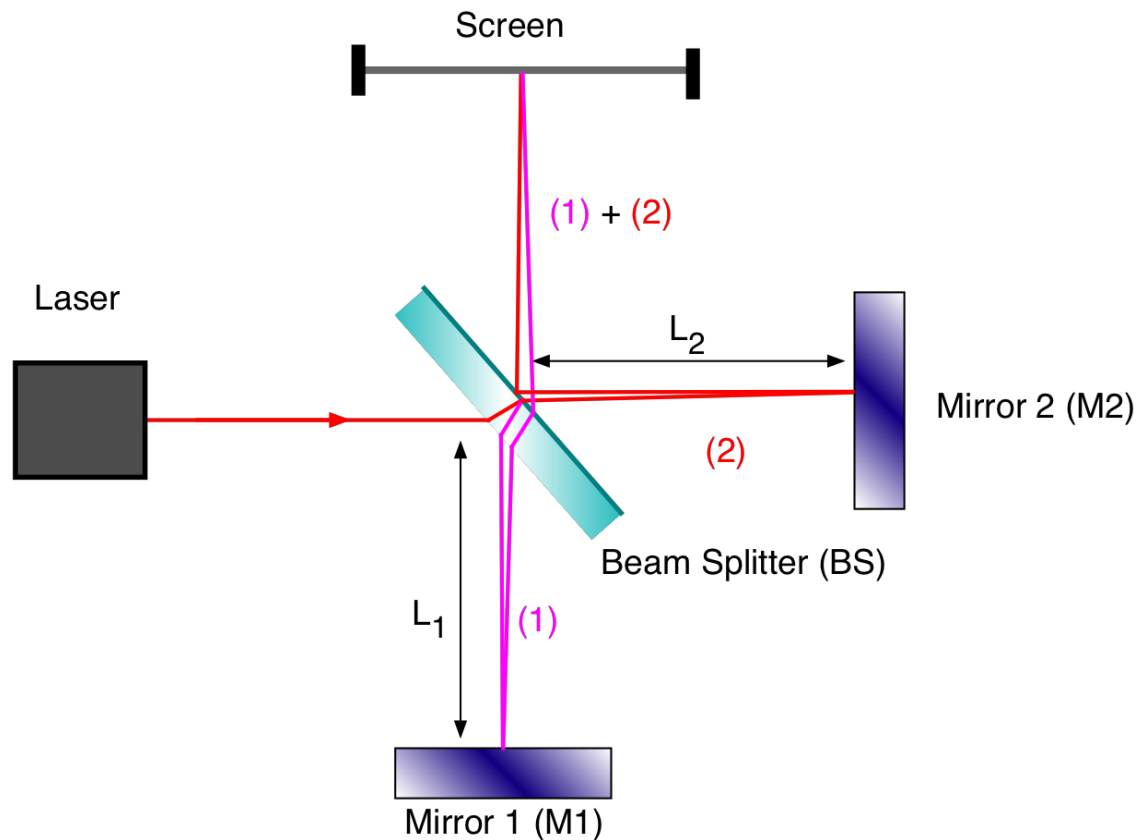


SZENZOROK ÉS MIKROÁRAMKÖRÖK

5. ELŐADÁS: HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELŐK II

<http://www.intechopen.com/>

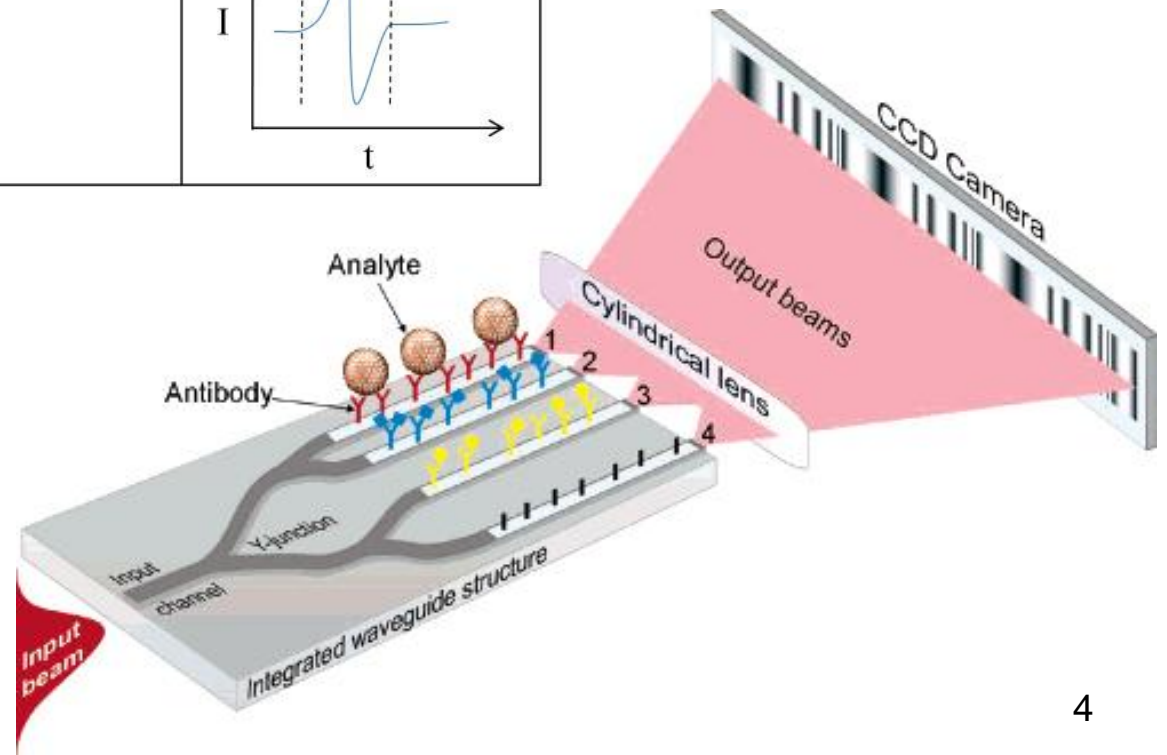
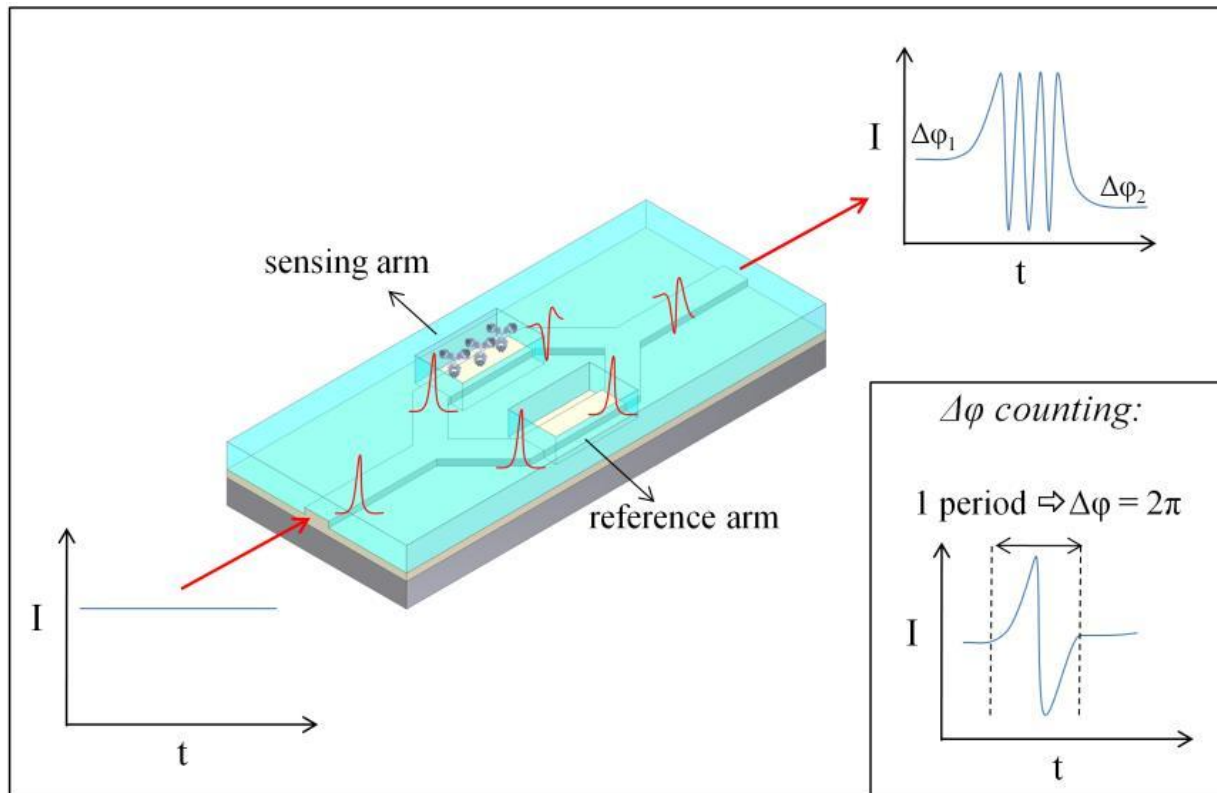
2015/2016 tanév 2. félév



A **Michelson–Morley-kísérletet** 1887-ben végezte el Albert Michelson és Edward Morley a mai Case Western Reserve University-n. A kísérlet célja az volt, hogy megmérjék a Földnek az éterhez, illetve az abszolút térhez viszonyított sebességét. A kísérlethez a Michelson által kifejlesztett Michelson-interferométert használták.

A kutatók az interferométer egyik karját a Föld sebességvektorával párhuzamosra állították, míg a másik merőleges volt rá. A párhuzamos kar mentén terjedő fény t_p idő alatt, míg a merőleges kar mentén terjedő fény t_M idő alatt jut az ernyőhöz. Az időkülönbség fáziskülönbséget okoz, ami interferenciagyűrűk formájában jelenik meg az ernyőn. Az egész interferométert 90° -kal elforgatva a másik kar lesz párhuzamos a Föld sebességvektorával. A forgatás közben figyeljük az interferenciagyűrűk változását, ami az időkülönbségtől függ. Ebből meghatározható a Földnek az éterhez viszonyított sebessége.

E kísérlet eredménye, mindenki legnagyobb meglepetésére, negatív volt, vagyis a keresett sebesség mindig nullával volt egyenlő. A kísérletet az év folyamán többször is elvégezték, és mindig ugyanarra az eredményre jutottak.



1. Termoelektromos effektusok, termoelemek
2. (Fém) ellenállás-hőmérők
3. Szilícium ellenálláshőmérő
4. Termisztorok

HŐMÉRÉSÉKLET MÉRÉS ÉS ÉRZÉKELÉS

A hőmérséklet villamos jellé való átalakításának, és így a hőmérsékletnek elektromos úton való érzékelésének és mérésének három klasszikus eszköze

- a termelem,
- az ellenállás-hőmérő
- és a termisztor.



A hőmérséklet az iparban a leggyakrabban mért paraméter, és a termelem az egyik legfontosabb hőmérsékletérzékelő. A termoelemek (hőelemek) működésének alapja a termoelektromos (Seebeck-) effektus.

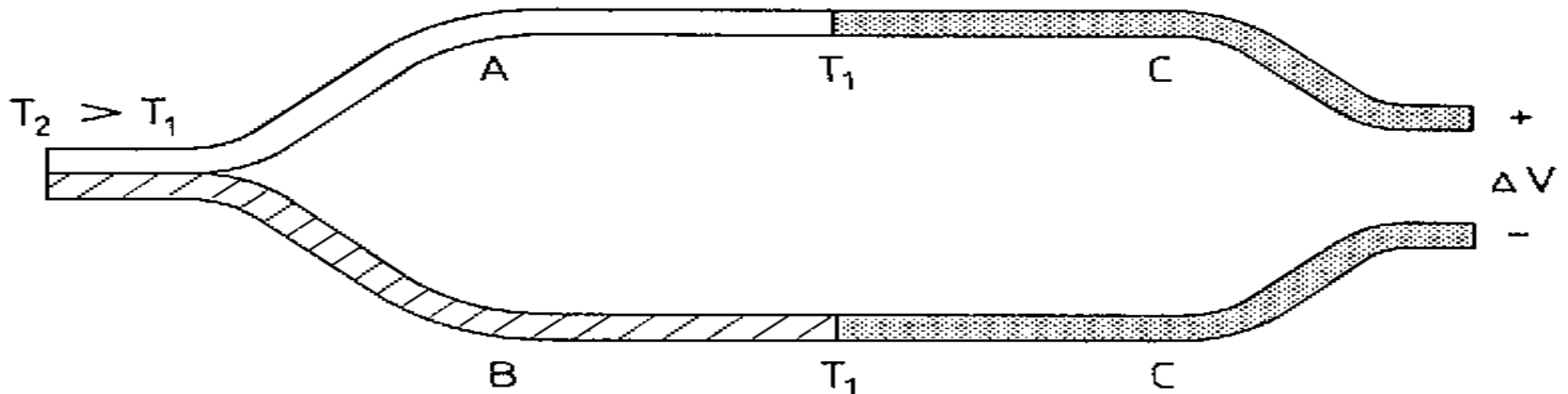
TERMOELEKTROMOS EFFEKTUSOK

A termoelektromos mérőátalakítók – vagy az elterjedtebben használt elnevezésük szerint hőelemek – néhány termikus-elektromos energiaátalakítással kapcsolatos fizikai hatáson alakulnak. Ezek az alábbiak

Seebeck –effektus,
Peltier-effektus,
Thomson- effektus.

A fenti effektusok általában együttesen érvényesülnek, ezek alapján jönnek létre az úgynevezett termofeszültségek, és lehetővé teszik a hőelemek készítését, használatát.

TERMOELEM – SEEBECK EFFEKTUS



- $\Delta V = \alpha_{ab} \Delta T$, α_{ab} a Seebeck állandó A és B anyag között
- Az AC és BC átmenetek hőmérséklete legyen azonos.
- A mért feszültség nem függ a vezetékek alakjától
- Hőmérsékletkülönbségek mérésére alkalmas
- A termoelem bármely két különböző fém vagy félvezető villamos érintkeztetésével kialakítható.

Thomas Johann Seebeck (1770-1831) német fizikus

A SEEBECK EFFEKTUS

Ha az érintkezési pont (ún. melegpont) hőmérséklete (T_1) a szabad végek hőmérsékletétől (T_0) eltér, akkor azok között ún. termofeszültség vagy Seebeck-feszültség (U_S) mérhető

$$U_S = (\alpha_A - \alpha_B) (T_1 - T_0) = \alpha_{AB} (T_1 - T_0)$$

α_A és α_B a Seebeck együtthatók
 α_{AB} az anyagpárra jellemző termoelektromos együttható

A Seebeck-együtthatók az anyagok sávszerkezetének (elektronszerkezetének) és a töltéshordozók transzportmechanizmusának függvényei.

A SEEBECK EFFEKTUS

Seebeck-együtthatók tipikus értékei

Fémek néhány $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ – néhányszor $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Félvezetők néhányszor $100 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

Néhány fém termoelektromos feszültségsora (pozitívtól a negatív felé):

Sc, Sb, Fe, Sn, Cu, Ag, Au, Zn, Pb, Hg, Pt, Ni, Bi

Termoelem: érintkezés pont melegítésekor az az ág lesz pozitív a másikhöz képest, mely a sorban előbb van.

A keletkező termofeszültségek egyértelmű meghatározására a platinát (Pt) tekintik alapfémnek. A relatív skálán a Pt termofeszültsége 0 V. A termoelem érzékenysége annál nagyobb minél távolabb helyezkedik el a két alkotó fém a termoelektromos feszültségsorban.

FÉMEK ELEKTRÓD-POTENCIÁLJA

Anyag	Termofeszültség [mV]	Anyag	Termofeszültség [mV]
Konstantán	-3,47...-3,04	Ólom	+0,41..+0,46
Kobalt	-1,99..-1,52	Magnézium	+0,4..+0,43
Nikkel	-1,94..-1,20	Alumínium	+0,37..+0,41
Kálium	-0,94	Wolfram	+0,65..+0,9
Nátrium	-0,21	Ezüst	+0,67..+0,79
Platina	0	Réz	+0,72..+0,77
Higany	-0,07..+0,04	Horgany	+0,6..+0,79
Garfit	+0,22	Manganin	+0,57..+0,82
Szén	+0,25..+0,3	Arany	+0,56..+0,8
Tantál	+0,34..+0,511	Vas	+1,87..+1,89
Ón	+0,4..+0,44	Nikkelkróm	+2,2

A keletkező termofeszültségek előjelének egyértelmű meghatározására a platinát tekintjük alapfémnek.

A termoelem érzékenysége annál nagyobb, minél távolabb helyezkedik el egymástól a két fém az elektród-potenciál sorban.

PELTIER-EFFEKTUS

A Peltier hatás a hőnek villamos energiává vagy viszont való átalakulása két vezető érintkezésénél. A két különböző anyagú vezető végeiket összekötve (forrasztva, hegesztve, vagy fémesen összesajtolva), ha áram folyik rajtuk, akkor az egyik kötési pont melegszik, a másik hűl, illetve a fordított folyamatban az egyik pont melegítése (vagy a másik hűtése) a hurkon áramot hajt keresztül.

$$Q = \pm \pi I$$

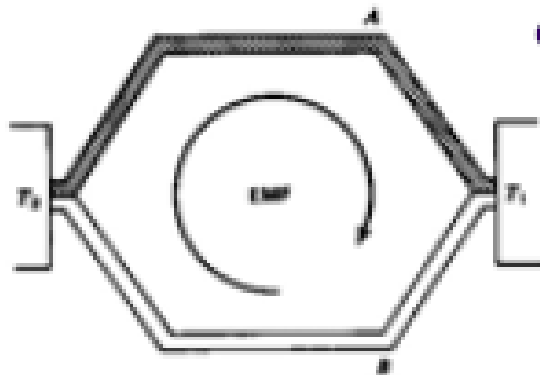
Q – a kötés által felvett (vagy leadott) teljesítmény, W

I – az áramkörben folyó áram, A

π – az úgynevezett Peltier-tényező, V

SEEBECK- ÉS PELTIER EFFEKTUS

- Thermoelectric effects



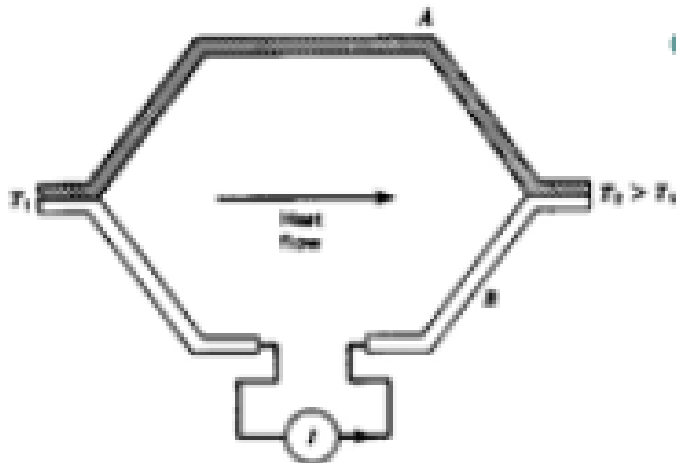
a) Seebeck effect

- Seebeck effect

- Temp difference \Rightarrow Emf voltage

- Peltier effect

- External voltage \Rightarrow Temp difference (refrigerator!)

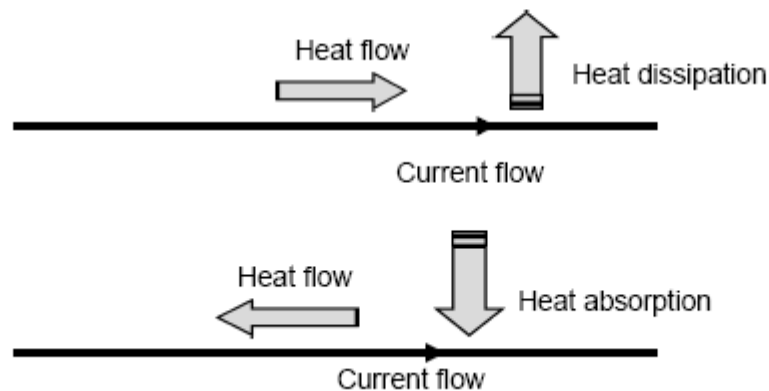


b) Peltier effect

THOMSON EFFEKTUS

Ha az árammal átjárt homogén vezető mentén hőmérsékletváltozás is fellép, akkor a vezeték mentén hő válik ki, vagy nyelődik el

Current flowing in a wire in which temperature gradient is present shows a heat exchange with its environment.



$$Q = \pm \sigma I$$

σ - Thomson tényező

KAPCSOLAT A TERMOELEKTROMOS JELENSÉGEK KÖZÖTT

Seebeck- gyüttható $\alpha = \frac{dU_T}{dT}$

A Peltier- és a Seebeck-együtthatók közötti összefüggés

$$\pi = \alpha T$$

A fenti két egyenletből adódik

$$U_T = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\pi}{T} dT$$

TERMEOELEMENK MEGHATÁROZÓ TÖRVÉNYEI

A termoelemek készítését és használatát meghatározó törvények:

1. Homogén áramkörök törvénye: Termoelektromosan egynemű fémekből álló áramkörben csak a hőmérsékletkülönbség hatására nem keletkezik termofeszültség.

A termofeszültség csak a választott anyagpártól és a csatlakozási pontok hőmérséklet különbségétől függ. A vezeték mentén kialakuló hőmérséklet-eloszlástól független.

2. Közbenső vezetők törvénye: Ha a két vezető közé egy vagy több közbenső, fémet építünk, s a csatlakozások hőmérséklete azonos és állandó, akkor a közbenső fém jelenléte nem befolyásolja a termofeszültséget. Ezt nevezik úgy, hogy termikus rövidzár.

TERMEOELEMENK MEGHATÁROZÓ TÖRVÉNYEI

3. Közbenső hőmérsékletek törvénye: *A több különböző homogén fémet tartalmazó áramkörben létrejövő termoelektromos erők algebrai összege a csatlakozási pontok hőmérsékletének függvénye.*

Ha a hőmérséklet nem állandó –másodlagos (parazita) feszültségek keletkeznek.

Járulékos termofeszültség nem keletkezik, ha az inhomogenitások szakaszok végpontjai azonos hőmérsékleten vannak

TERMEOELEMENK MEGHATÁROZÓ TÖRVÉNYEI

A termoelemes körben folyó áram hatásai:

1. *Az ellenállások (a huzalok és a műszer) melegednek (**Joule-hatás**).*

2. *Az érintkezési pontok hőmérséklete úgy változik, hogy az a termofeszültséget létrehozó hőmérséklet különbséget csökkenteni igyekezik (**Peltier-hatás**).*

A Peltier-hatás azt jelenti, hogy a melegebb érintkezési pont lehűl, a hidegebb érintkezési pont felmelegszik. Az áram fenti hatásai mérési hibát okoznak, ezért pontos mérésnél törekedni kell az áram csökkentésére.

Az áram csökkenthető:

- a. nagy belső ellenállású műszer alkalmazásával,*
- b. kompenzációs feszültség-mérési módszerekkel.*

TERMOELEM HŐÉRZÉKELŐ ÉS HŐMÉRŐ

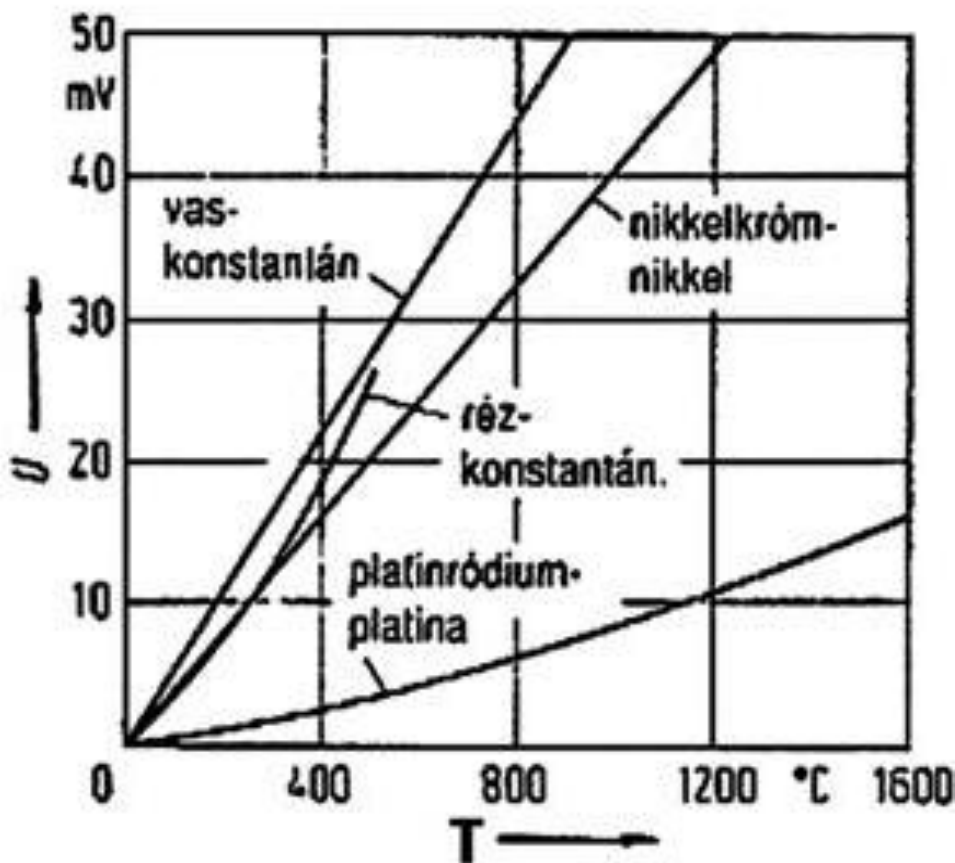
A gyakorlatban használt termoelemek szabványosítottak, számos (nemesfém és nem nemesfém alapú) típusuk terjedt el.

A hidegpont stabil hőmérséklete olvadó jég és víz elegyével biztosítható, vagy az ingadozásokat kiegyenlítő ún. kompenzátor elektronikát alkalmaznak.

Termoelem hőmérő/hőérzékelő előnyei:

- biztosítja a hőérzékelő kis hőkapacitását és kis sugárzási hibáját,
- a hőmérsékleti értékek regisztrálása könnyen megoldható,
- nehezen hozzáférhető helyen is alkalmazható.

SZABVÁNYOS ILLETVE GYAKORI HŐELEMPÁROK



Gyakrabban alkalmazott hőelempárok és a maximális méréshatár:

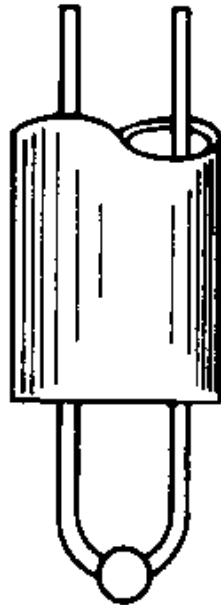
- *Cu-Ko* (réz-konstantán) kb. 500 °C (T típus) ,
- *Fe-Ko* (vas-konstantán) kb. 700 °C (J típus) ,
- *NiCr-Ni* (Nikkelkróm-nikkel) kb. 1000 °C
- *PtRh-Pt* (platina-rhodium-platina) 1300 °C (korlátozottan 1600°C) (S illetve R típus)
- *W-W26%Re* 2800 °C-ig (G típus)

HŐELEMOK MEGVALÓSÍTÁSI FORMÁI

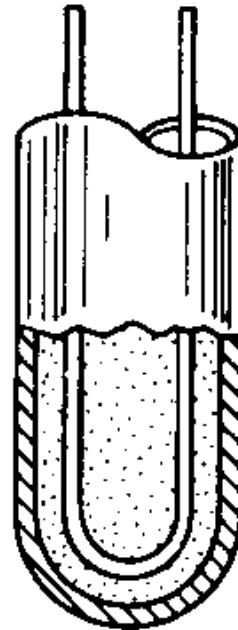
A gyakorlati megvalósítás két eltérő fém jó minőségű hegesztési pontjának létrehozása. Gyakori forma az ún. köpenyhőelem (termokoax).



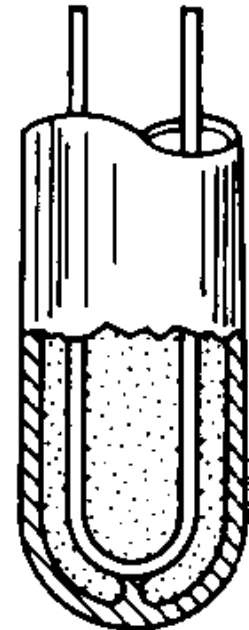
Bare wire
butt welded



Bare wire
beaded



Insulated
junction

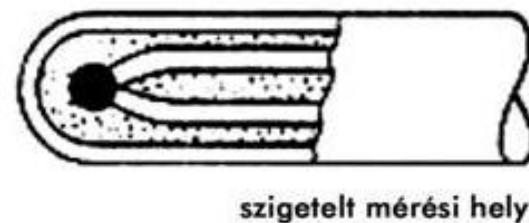
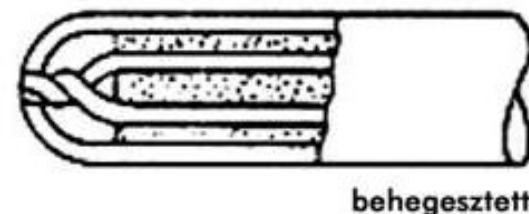


Grounded
junction

KÖPENYHŐELEMOK

Ipari felhasználásoknál a hőelempárok huzaljait egymástól pl. kerámiagyűrűkkel elszigetelik és szabványos kivitelű tokba szerelik. A tok anyaga a mérendő közeg hőmérsékletéhez illeszkedik.

Rövid beállási idejű hőelemek a köpenyhőelemek. Ezeknél a szigetelés Al_2O_3 kerámia, ami egy nemesacél burkolatba van ágyazva. Az érzékelő külső mérete illeszkedik a mérési feladathoz, pl. nagyon kicsi átmérő, akár tűszerű érzékelő, vagy becsavarozható tok, pl. belső égésű motorok, vagy csapágyak figyelésére.



TERMOELEMEK A GYAKORLATBAN

Igen jó linearitás viszonylag széles hőmérsékleti tartományban, de az érzékenység kicsi.

Mérete kicsi, működése gyors. A hőelemhuzal ellenállása nem lényeges.

Pontosság (ipari/szabványos) típusok $\pm(1,5-2,5)$ °C.

A termoelemek típusait, a használható hőmérséklet-tartományokat és a termofeszültség-hőmérséklet táblázatokat nemzetközi szabványok rögzítik.

TERMOELEMENK ALKALMAZÁSA

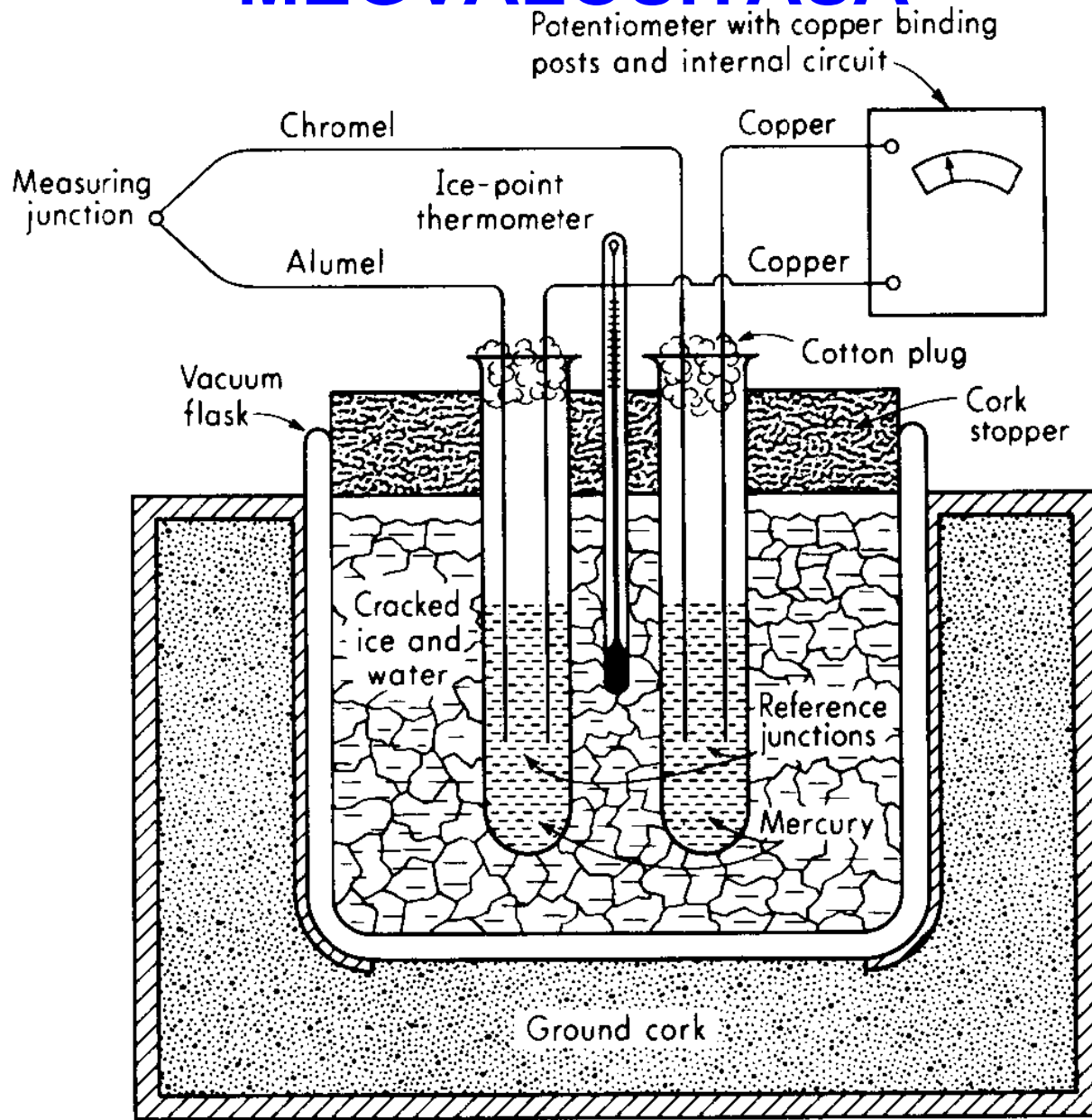
A kivezetések, illetve a hidegpont hőmérsékletét stabilizálni kell. Ma is az olvadó jég a legjobb módszer.

Elektronikus hidegpont stabilizálás. PI. termosztát 50 °C-ra.

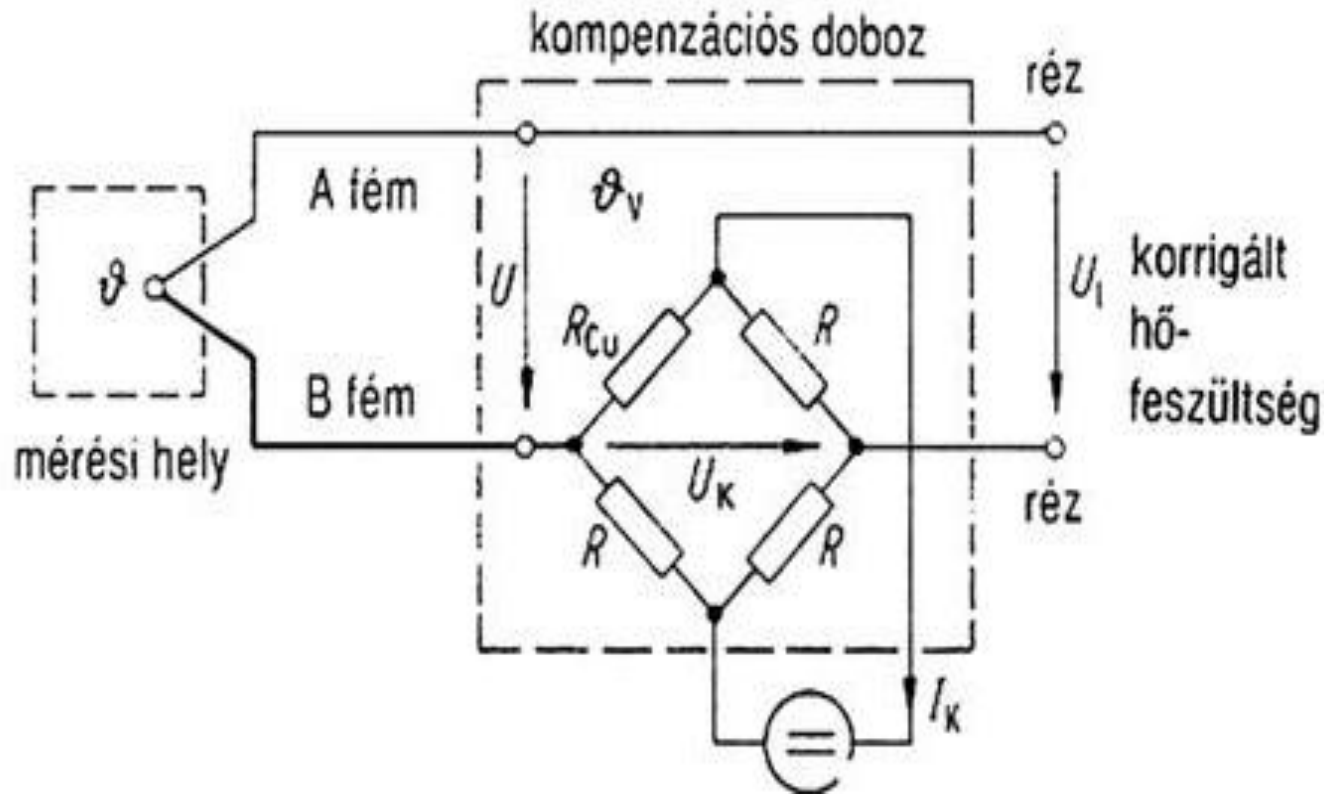
Hidegpont kompenzálás elektronikus referencia áramkörrel.

Magasabb hőmérsékletek mérésénél feladat és ha mérési pontosságra nem tartanak igényt, referenciahőmérséklet lehet a környezeti hőmérséklet (szobahőmérséklet) is, ilyenkor a kompenzátor el is maradhat.

HIDEGPONT LABORATÓRIUMI MEGVALÓSÍTÁSA

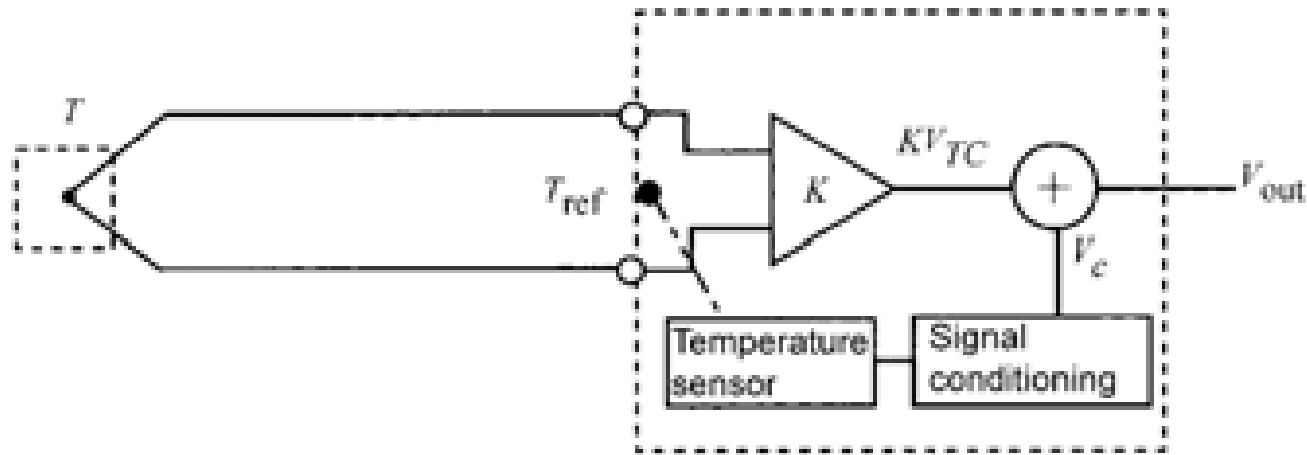


HIDEGPONT KOMPENZÁLÁS

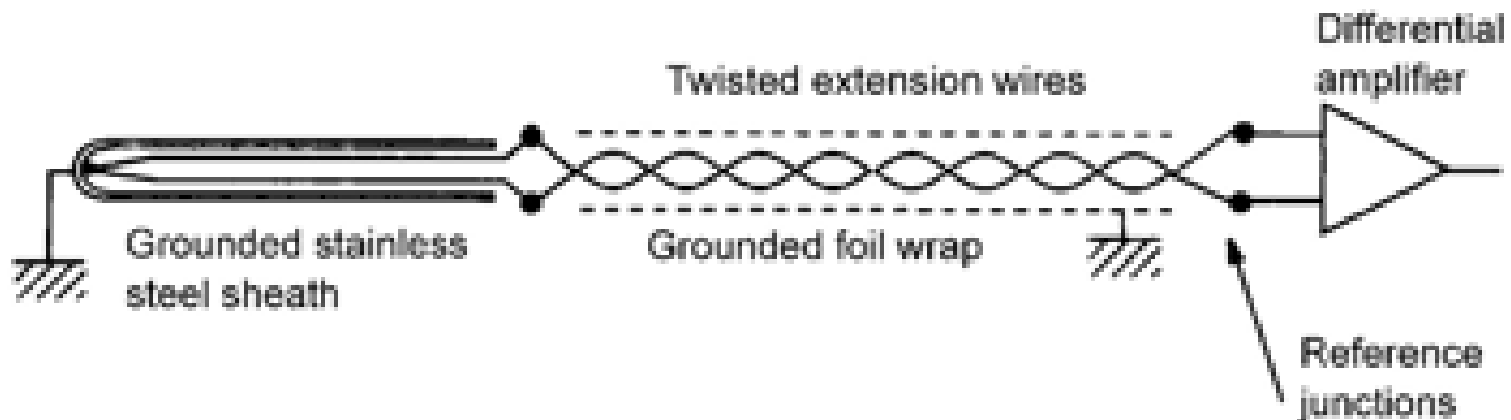


A hőmérsékletet a hídban elhelyezett R_{Cu} réz ellenállás-hőmérő érzékeli így a híd U_K kompenzációs feszültséget szolgáltat, mely a mért termofeszültséghez hozzáadódva kompenzálja az összehasonlító hely hőmérsékletváltozását .

HIDEGPONT KOMPENZÁCIÓ



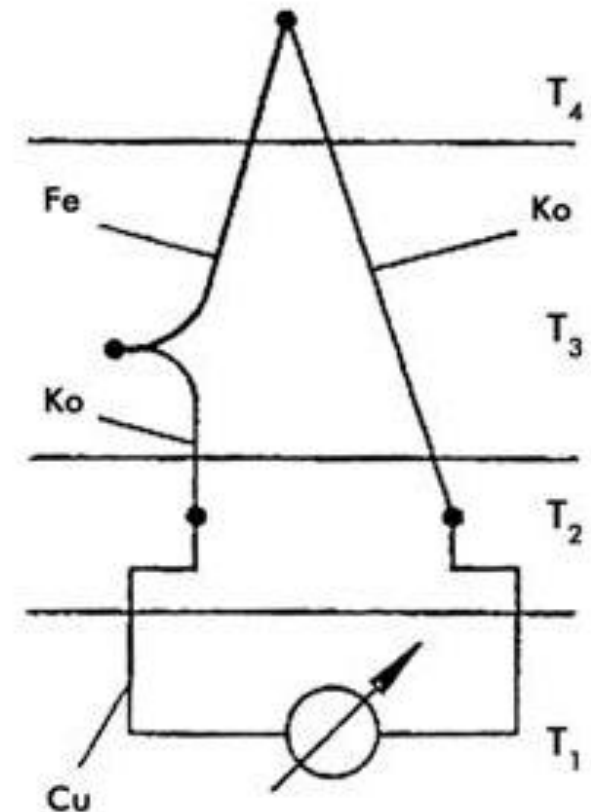
1. Szabályozott hőmérsékletű fémblokk.
2. Referencia (hidegpont vagy jégpont) kompenzáló áramkörök.
3. Szoftveres kompenzáció.



KONTAKTPOTENCIÁLOK KIEGYENLÍTÉSE

Nehézséget jelenthet, ha a termoelem jelét nagy távolságra kell eljuttatni. A vezeték saját ellenállása és az esetleges toldások kontaktpotenciálja jelentős mérési hibákat okozhat.

A T_3 hidegponton Fe-Ko forrasztási ponttal ellentétesen kapcsolt Ko-Fe forrasztási pont helyezkedik el, az itt keletkező termofeszültség levonódik a mérőpontban keletkező feszültségből. Ekkor az indikátor forrasztási pontnál keletkezett Ko-Cu és Cu-Ko hőelemek termofeszültségei egymást kiegyenlítik.

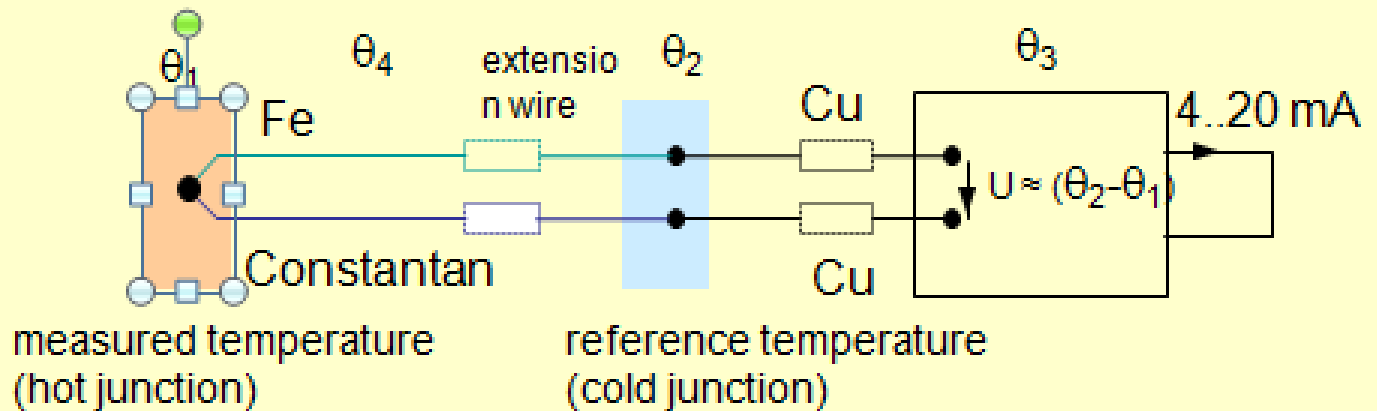


TERMOELEM TÁVADÓVAL

Thermo-element (*Thermocouple*)

two dissimilar
electrical
conductors

Fe-Const
also: Pt/Rh - Pt



TERVEZÉSI PÉLDA

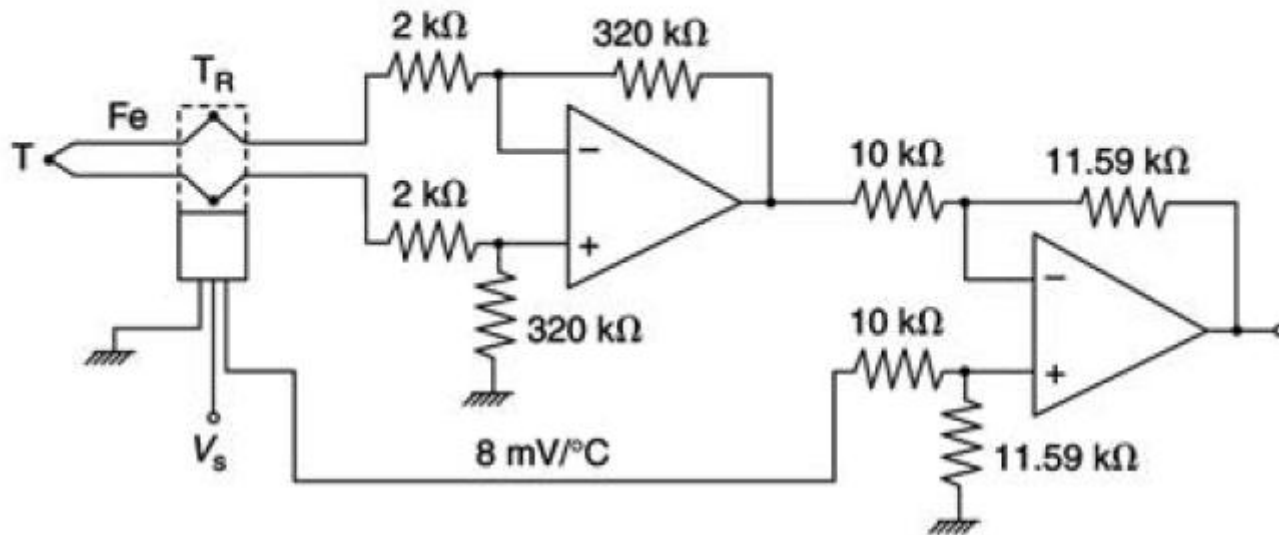
Want a system to have output 2.00 V at 200°C. Use type J thermocouple, and solid-state temp sensor, whose output voltage varies 8 mV/°C, for reference temp correction.

- $V_{J_0}(200^\circ\text{C}) = 10.78 \text{ mV}$
- $\text{Gain} = 2.00 \text{ V} / 10.78 \text{ mV} = 185.5$
- TC sensitivity $\approx 50 \text{ uV}/^\circ\text{C}$
 - Smaller than the sensor $(8 \text{ mV}/^\circ\text{C}) / (50 \text{ uV}/^\circ\text{C}) = 160$ times
- $V_{\text{out}} = 185.5(V_{\text{TC}} + V_{\text{C}}/160) = 1.159(160V_{\text{TC}} + V_{\text{C}})$

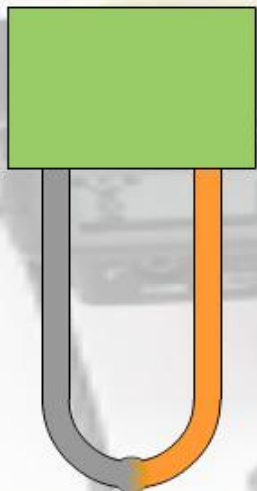
J-típus: Fe-CuNi
(vas-konstantán)

TERVEZÉSI PÉLDA

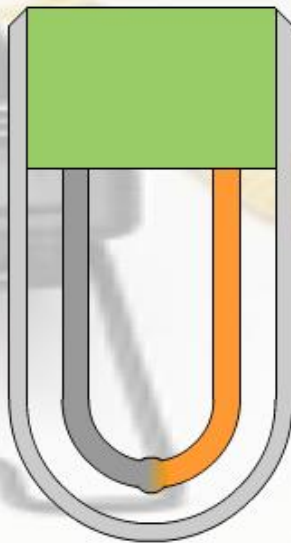
- $V_{out} = 1.159(160V_{TC} + V_C)$



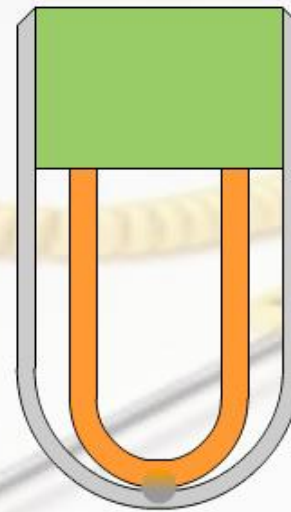
GYAKORLATI PÉLDÁK



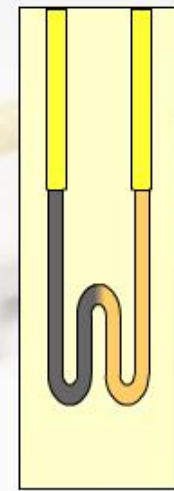
Exposed junction



Ungrounded junction



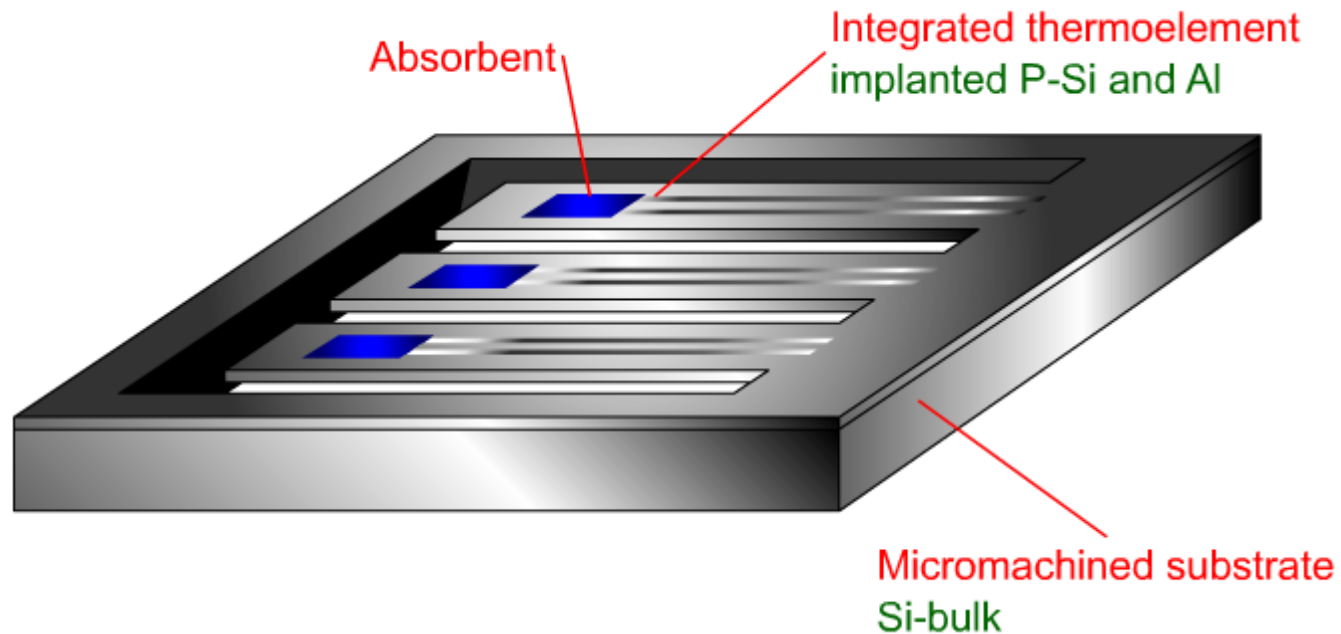
Grounded junction



Film junction



INTEGRÁLT TERMOELEM



Termoelem: Al-Si(p), több elem sorba kötve(termooszlop).

Si MEMS konzol: hőszigetelés.

Abszorbens réteg: sugárzás (IR) abszorpció.

Az eszköz (IR) sugárzás mérésére alkalmas .

ELLENÁLLÁS-HŐMÉRŐK ÉS ÉRZÉKELŐK

Fizikai mechanizmus:

A hőmérsékletváltozás hatására a vezetőkben, illetve a félvezetőkben megváltozik a töltéshordozók koncentrációja és/vagy mozgékonyága.

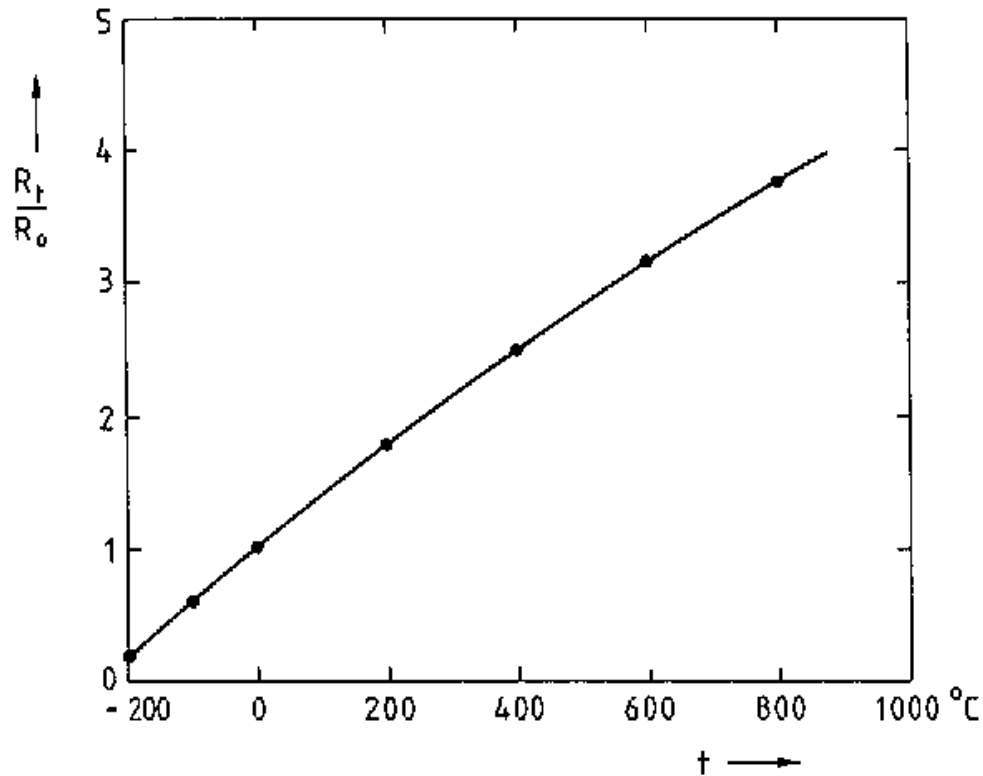
Az ellenállás-hőmérők működése a tiszta fémek fajlagos ellenállásának viszonylag nagymértékű és – korlátozott tartományokban – jó közelítéssel lineáris hőfokfüggésén alapszik.

$$\rho = \rho_0 + \Delta\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T)$$

$$TK = \alpha = \Delta\rho / \rho_0 \Delta T$$

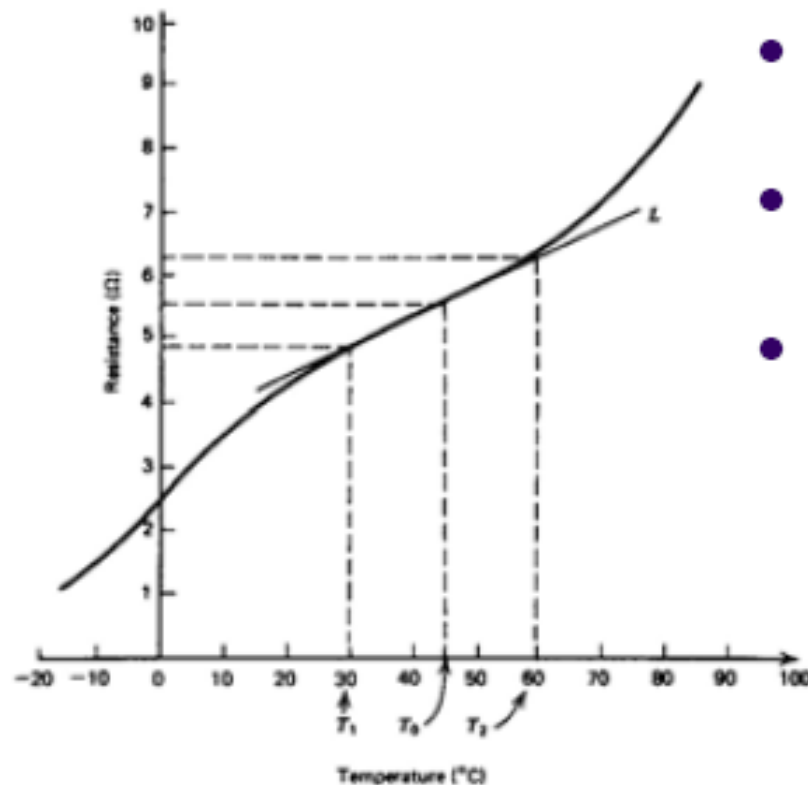
Fémek $\alpha = (4...7) \times 10^{-3} / K$

TISZTA FÉM ELLENÁLLÁS- HŐMÉRSÉKLET GÖRBÉJE



Platina (Pt) fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggése

ELLENÁLLÁS-HŐMÉRSÉKLET GÖRBE

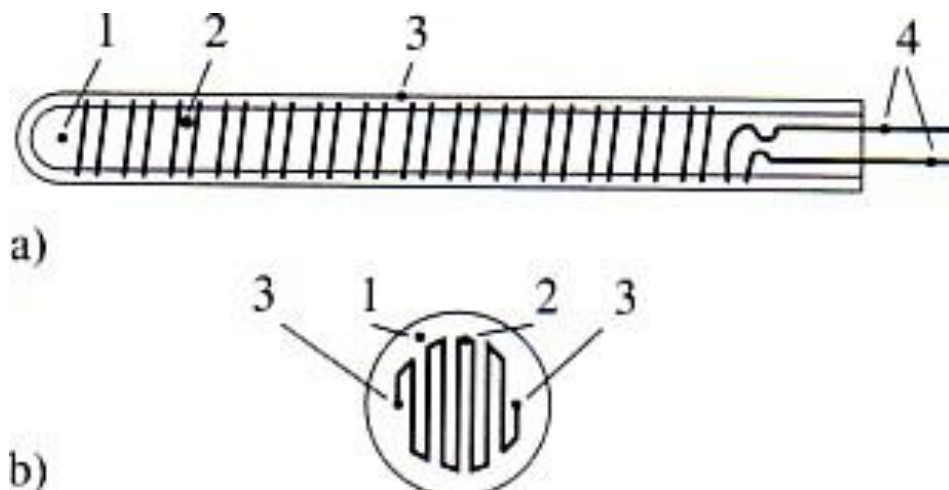


- Resistance vs. temp. is not linear over large range
- Use graphs or tables for accuracy
- Use Regression for approximation
 - Linear
 - Quadratic

$$R(T) = R(T_0)[1 + \alpha_0 \Delta T]$$

ELLENÁLLÁS-HŐMÉRŐK

Ellenállás-hőmérők szinte minden tiszta fém alkalmas.
A gyakorlatban a Pt, Ni és a Cu terjedt el.



Vékony vezeték üveg- (500°C-ig) vagy kerámiatestre (850°C-ig) tekerve, az üvegnél üveg védőréteggel, kerámiánál alumíniumoxiddal védve.

Vékony ellenállásréteg: viszonylag olcsó nagyszorozatú gyártás. Szigetelő hordozórétegre felgőzölögtetve, a törtvonal-struktúrát lézeres beégetéssel érik el, majd szintén lézerral 0°C-nál 100Ω-ra állítják be, majd védőréteggel vonják be.

ELLENÁLLÁS-HŐMÉRŐK

Pt – magasabb hőmérsékletek

Ni – alacsony és közepes hőmérsékletek

Cu – szobahőmérsékletek környezete

Ellenállás típus	Ajánlott T tartomány (°C)	Érzékenység ppm/°C (0 °C)
Réz	-50...150	4300
Nikkel	-60...180	6810
Platina (USA)	-220...850	3925
Platina (EU)	-220...850	3850
Platina (speciális)	-250...1000	3850

Szabványos alapérték (°C) legtöbbször 100 ohm

ELLENÁLLÁS-HŐMÉRŐK

Előnyei:

Pontos

T-t mér (nem ΔT -t)

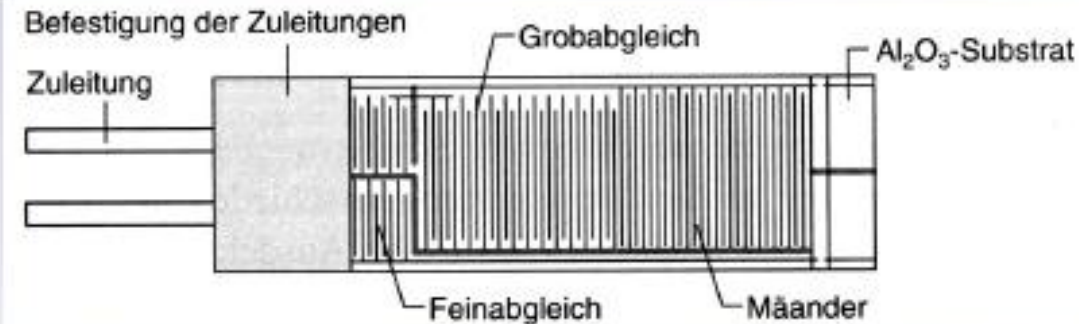
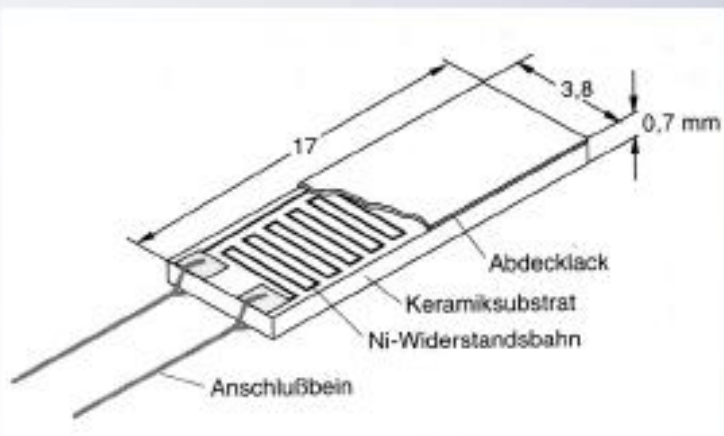
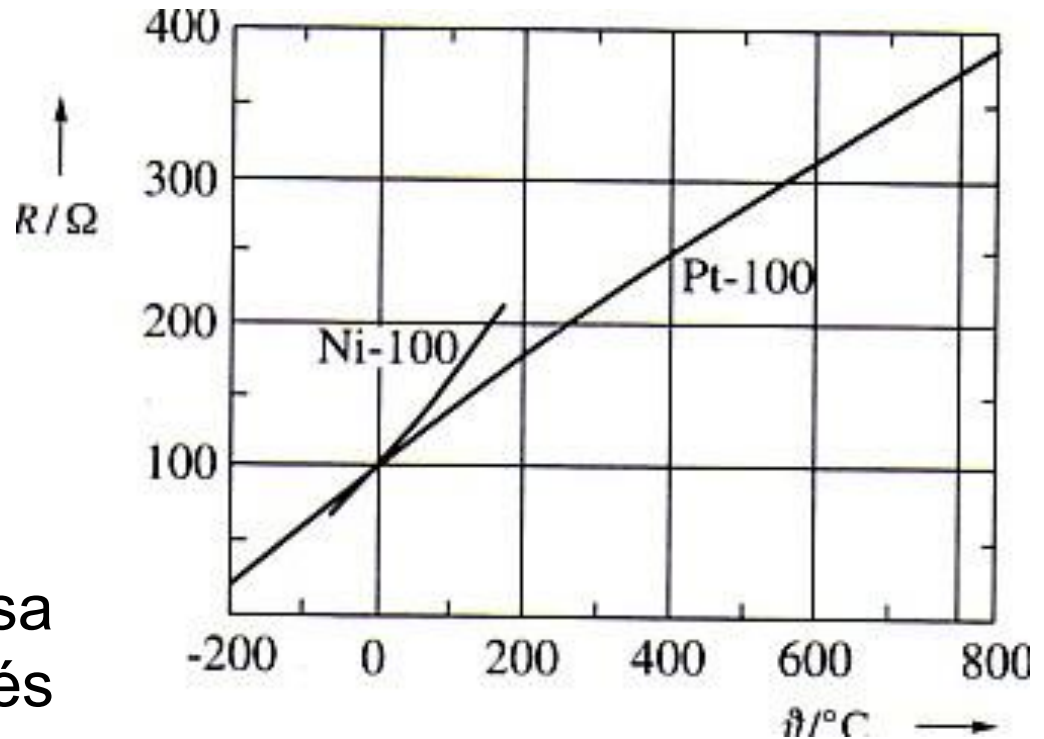
Hátrányai:

Korlátozott T-tartomány

Önfűtés

Nagy, lassú

Hozzávezetések ellenállása
(3- vagy 4-vezetékes mérés)



FÉM-ELLENÁLLÁS HŐMÉRŐK

- Metals
 - Platinum – repeatable, expensive
 - Nickel – less repeatable, less expensive
- Sensitivity
 - $\sim 0.4 \Omega/^{\circ}\text{C}$ for platinum
 - $\sim 0.5 \Omega/^{\circ}\text{C}$ for nickel
- Range
 - -100 to 650°C for platinum
 - -180 to 300°C for nickel



Pt – magasabb hőmérsékletek

Ni – alacsony és közepes hőmérsékletek

Cu – szobahőmérsékletek környezete

Pt-ELLENÁLLÁS HŐMÉRŐ

Platinum resistance thermometer devices (RTDs) have a linear temperature response in the range of -200 – 500 °C, and are well suited for the thermal measurement and control of wide array of chemical processes.

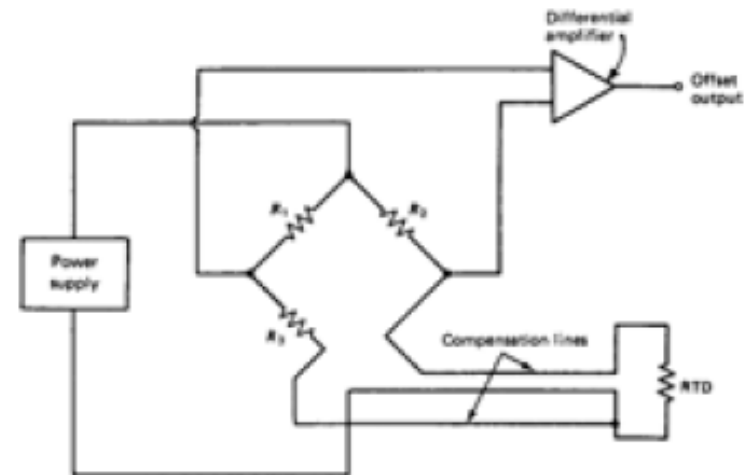
In particular, platinum RTDs exhibit a high accuracy and repeatability of temperature measurements when compared with thermocouples for temperatures below 600 °C.

Resistance-Temperature Detectors (RTD)



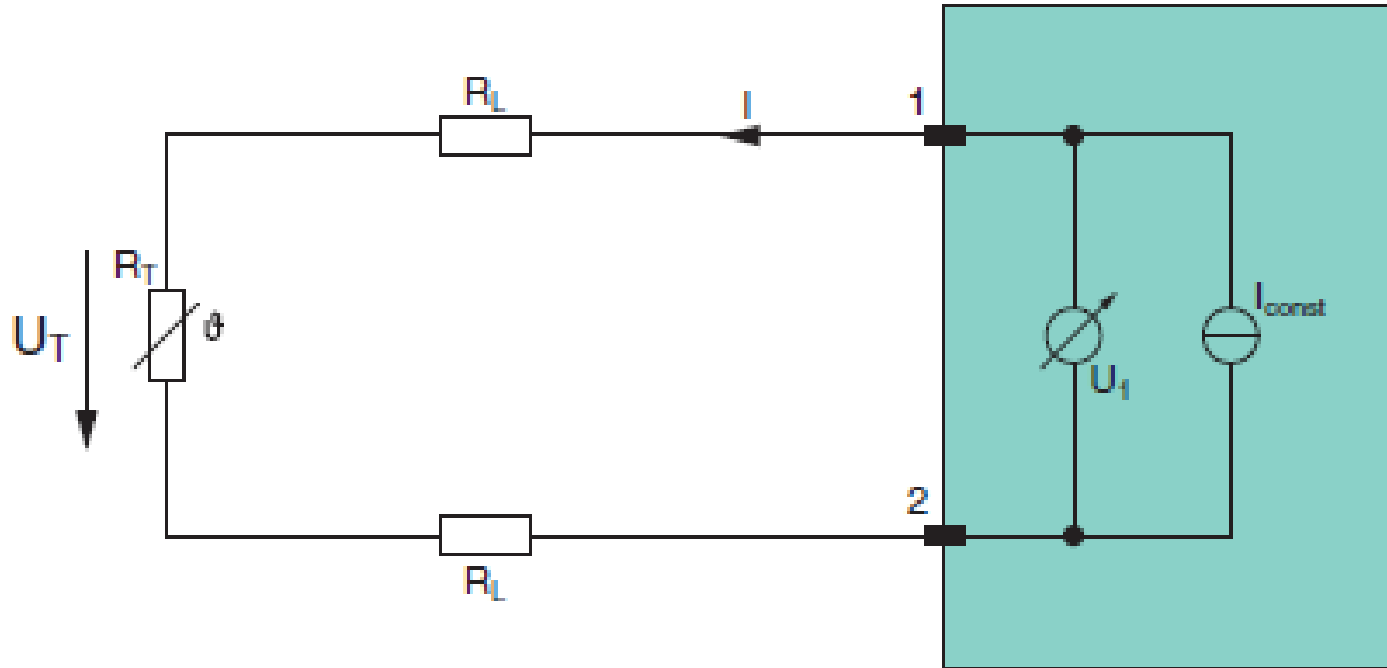
- Signal Conditioning
 - Bridge circuit
- Dissipation constant (P_D)
 - Temp rise from **Self heating**

$$\Delta T = \frac{P}{P_D}$$



- Example:
 - **PT-100** has a resistance of 100 ohms at 0 °C and 138.4 ohms at 100 °C (0.384 $\Omega/^\circ\text{C}$ sensitivity), price >1,200 Bath

MÉRÉSI ELRENDEZÉSEK: 2-VEZETÉKES

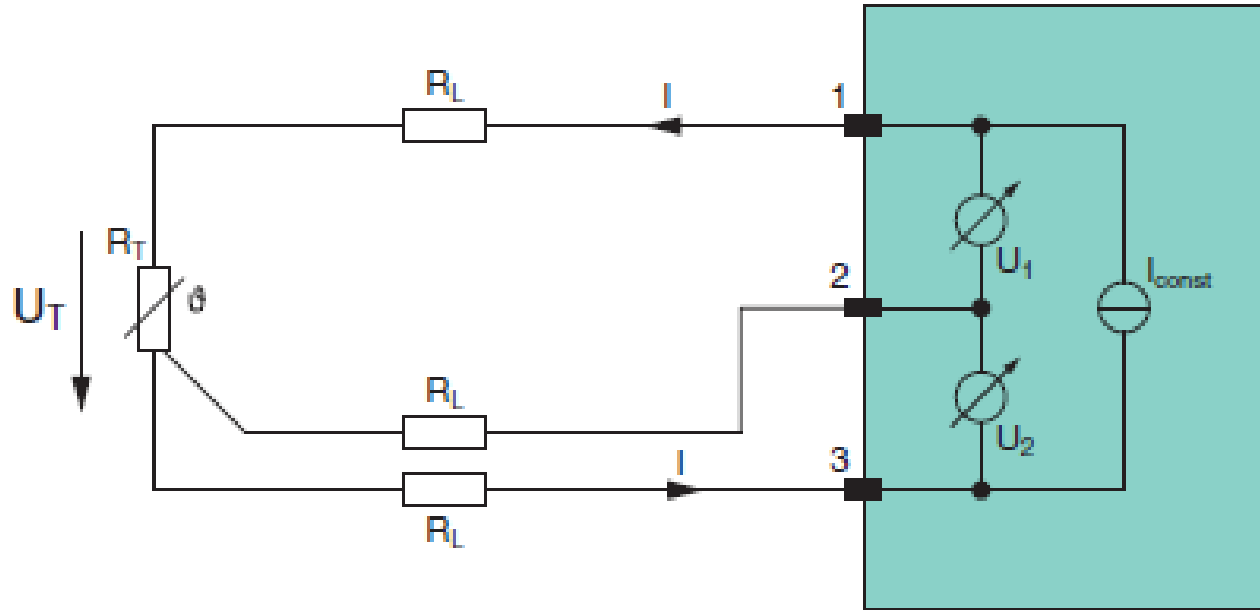


Az ipari gyakorlatban a különféle szenzorok (jelen esetben RTD-k) nem egyszer igen nagy távolságra (500m - 1000m) helyezkednek a mérési helytől (Monitoring System), így a vezetékek ellenállása az RTD ellenállásához hozzáadódva jelentős hibát okozhat. Az ábrán szemléltetett összeállításban a mérőrendszer által mért U_1 feszültséget a következő összefüggés írja le:

$$U_1 = I_{const} * (2R_L + R_T)$$

Ezt a mérési elrendezést a műszaki gyakorlatban $l_{max} = 100m$ hosszúságú mérővezetékekkel szokás alkalmazni. Ennél távolabb elhelyezkedő szenzorok mérésére a három illetve négyvezetékes mérési elrendezés alkalmazandó.⁴³

MÉRÉSI ELRENDEZÉSEK: 3-VEZETÉKES



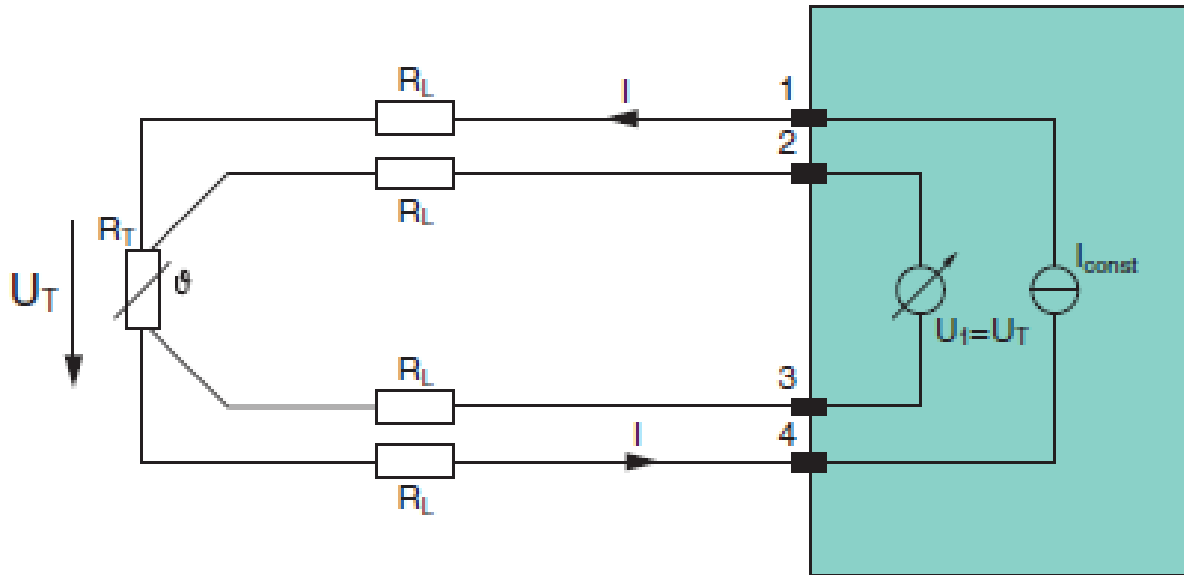
A háromvezetékes mérési elrendezés (ami az ipari gyakorlatban talán a legelterjedtebb mérési konfigurációnak számít) a hosszú mérővezetékek ellenállásának kompenzálására szolgál. A mérőrendszer által mért feszültséget a következő egyenletek írják le:

$$U_1 = I_{\text{const}} * (R_L + R_T)$$

$$U_2 = I_{\text{const}} * R_L$$

$$U = U_1 - U_2 = I_{\text{const}} * (R_L + R_T) - I_{\text{const}} * R_L = I_{\text{const}} * R_T$$

MÉRÉSI ELRENDEZÉSEK: 4-VEZETÉKES



A négyvezetékes mérési elrendezésben az árammeghajtási (Driving: 1-4) és a feszültségérzékelési (Sensing: 2-3) pontok elkülönítésre kerülnek. Mivel a feszültségmérő műszernek (ami egy műveleti erősítő) a belső ellenállása “végtelen” (de mindenképp $M\Omega$ nagyságrendű), ezért a 2.-3. vezetékeken nem folyik áram. Így a műszer az alábbi feszültséget méri:

$$U_1 = I_{const} * R_T$$

MÉRÉSI ELRENDEZÉSEK:ÉRTÉKELÉS

A négyvezetékes elrendezés rendelkezik a legnagyobb pontossággal az előbb ismertetett konfigurációk közül, de a háromvezetékes módszer jóval elterjedtebb az ipari gyakorlatban, mivel megfelelő mértékben korigálja a hozzávezetések ellenállásait. A kevesebb vezeték miatt a nagy, sok szenzort tartalmazó rendszerek megbízhatóságát jelentősen növeli és anyagi megfontolásból is kedvezőbb, hiszen egy vezetékekkel kevesebb kell, ami egy több száz szenzort tartalmazó ipari folyamatok mérésére szolgáló rendszerénél jelentős költség megtakarítást jelent.

Máté Sándor szakdolgozata alapján.

ALKALMAZÁSI/TERVEZÉSI SEGÉDLET



Application Report
SBAA180–January 2011

Example Temperature Measurement Applications Using the ADS1247 and ADS1248

Robert Burnham and Nagaraj Ananthapadamanabhan

Data Acquisition Products

ABSTRACT

This document discusses the use of the [ADS1247](#) and [ADS1248](#) precision analog-to-digital converters (ADCs) together with a resistive temperature device (RTD) and thermocouple to measure temperature. Included are detailed examples of the most common configurations of a two-wire RTD, a three-wire RTD (with and without hardware compensation), a four-wire RTD, and a thermocouple with cold junction compensation. This document provides sufficient information to enable several alternate configurations to be implemented.

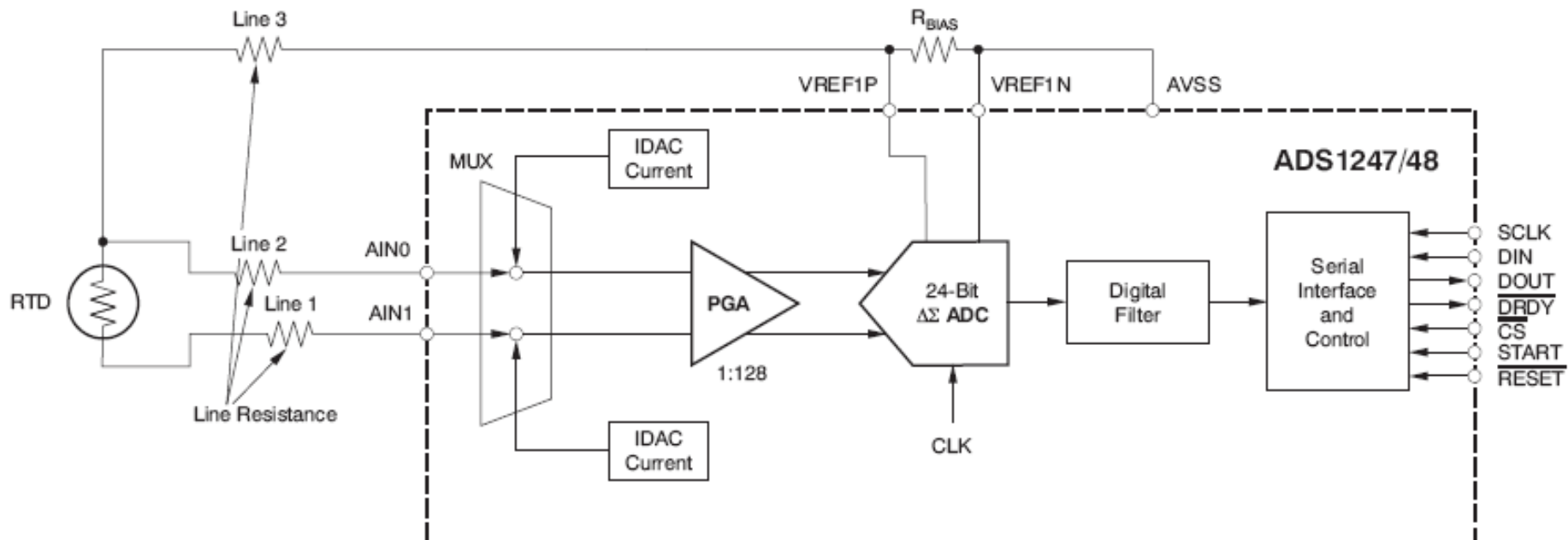
Contents

1	Introduction	2
2	Two-Wire RTD Application	2
3	Three-Wire RTD Application	3
4	Three-Wire RTD Application with Hardware Compensation	4
5	Four-Wire RTD Application	4
6	Thermocouple Application with RTD-Based Cold Junction Compensation	5
7	Hardware-Compensated Three-Wire RTD Measurement: Design Example	6
8	Conclusion	7

ALKALMAZÁSI PÉLDA

3 Three-Wire RTD Application

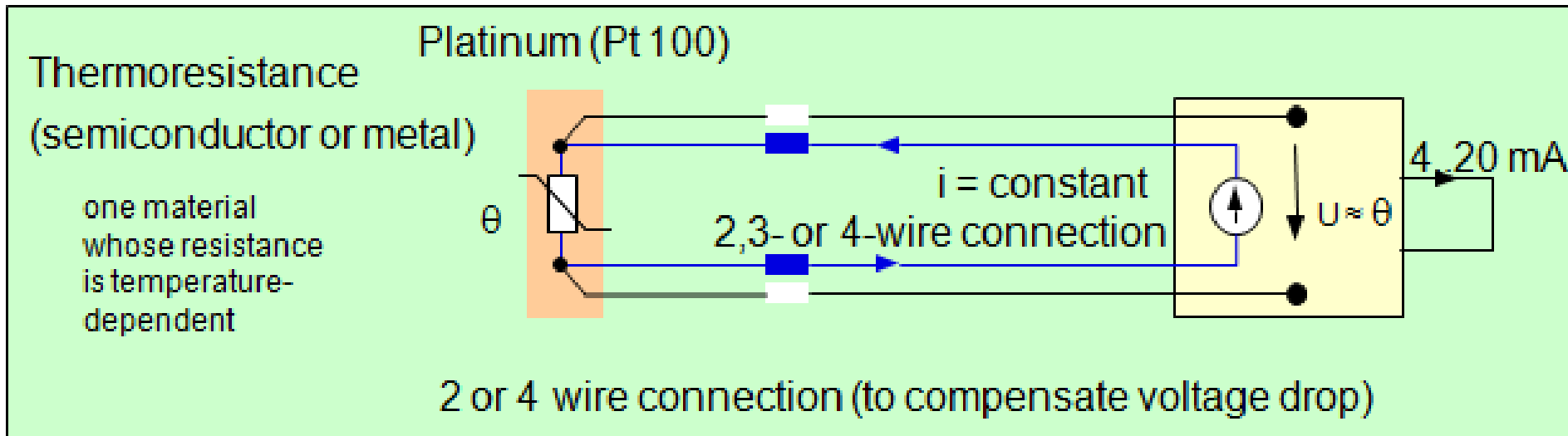
Figure 2 illustrates an example of a three-wire RTD application using either the ADS1247 or ADS1248.



Note: R_{BIAS} should be as close to the ADC as possible.

Figure 2. Three-Wire RTD Application Example

ELLENÁLLÁSHŐMÉRŐ TÁVADÓVAL



RÉTEGTECHNOLÓGIÁVAL MEGVALÓSÍTOTT HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELŐK

Termoelemek:

- Vékonyréteg termoelem:

- A megvalósításból adódóan a beállási idő akár $1\text{e-}6$ s is lehet

- Vastagréteg termoelem:

- Nem túl jó linearitás

- Kis érzékenység

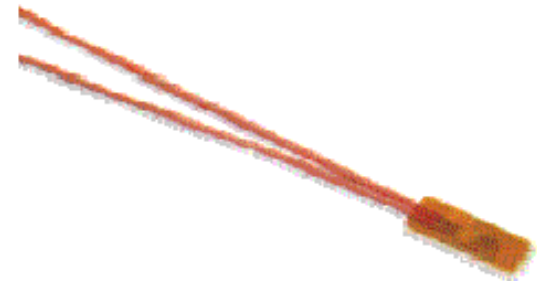
- Vékony és vastagréteg termoelemek hátránya:

Hozzávezetések megvalósítása nehéz

RÉTEGTECHNOLÓGIÁVAL MEGVALÓSÍTOTT HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELŐK

Vékonyréteg ellenállás-hőmérők:

- Pt, Ni, Cu alapanyag
- Hordozó: üveg, vagy zománcozott kerámia (tapadásjavító réteg: Cr)
- TK-t befolyásolja:
 - rétegvastagság
 - szennyezőanyag tartalom
 - hordozó anyaga és felületi érdessége
 - ellenállásötvszövet sztöchiometriai összetétele
 - a rétegleválasztás körülményei
 - rétegleválasztást követő hőkezelés

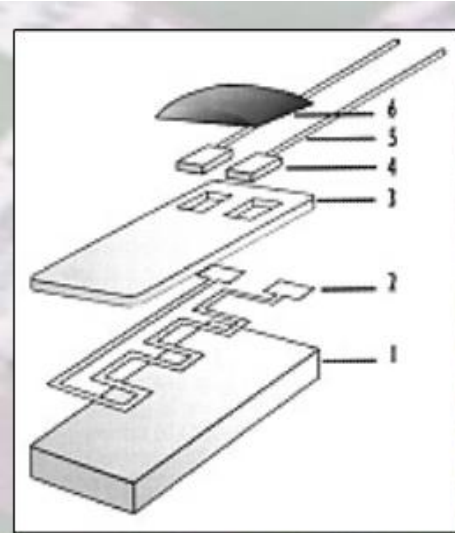


RÉTEGTECHNOLÓGIÁVAL MEGVALÓSÍTOTT HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELŐK

Szabványosítható rétegellenállás-hőmérők megvalósításának nehézségei:

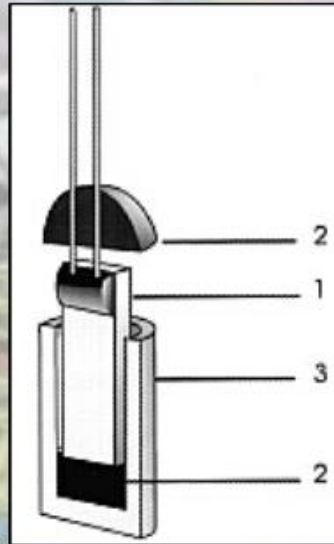
- hordozó hőtágulása módosítja TK-t (szabványos TK biztosítása nehéz)
- ilyen hatása van a vastagréteg pasztáknál alkalmazott tapadásjavító adalékoknak
- ilyen hatása van a vékonyréteg alatt alkalmazott tapadásjavító beötvöződésének
- vastagrétegnél probléma a négyzetes ellenállás kis értéke, ami miatt csak meanderrel, nagy méretben lehet elegendően nagy ellenállásértéket elérni
- vastagrétegnél csak pozitív TK valósítható meg

GYAKORLATI PÉLDÁK



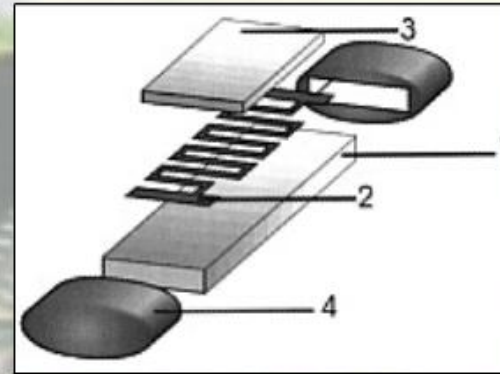
FK-series

1. Al₂O₃ substrate
2. Photolithographically structured platinum thin film
3. Passivation with glass layer
4. Connection pads
5. Connection leads
6. Glass-ceramic paste connection seal



FR-series

1. Thin film PRTD
2. Ceramic seal
3. Ceramic pot



SMD-series

1. Al₂O₃ substrate
2. Photolithographically structured platinum thin film
3. Glass layer covering
4. Edge metallisation



Pictures from Heraeus www.heraeus.com

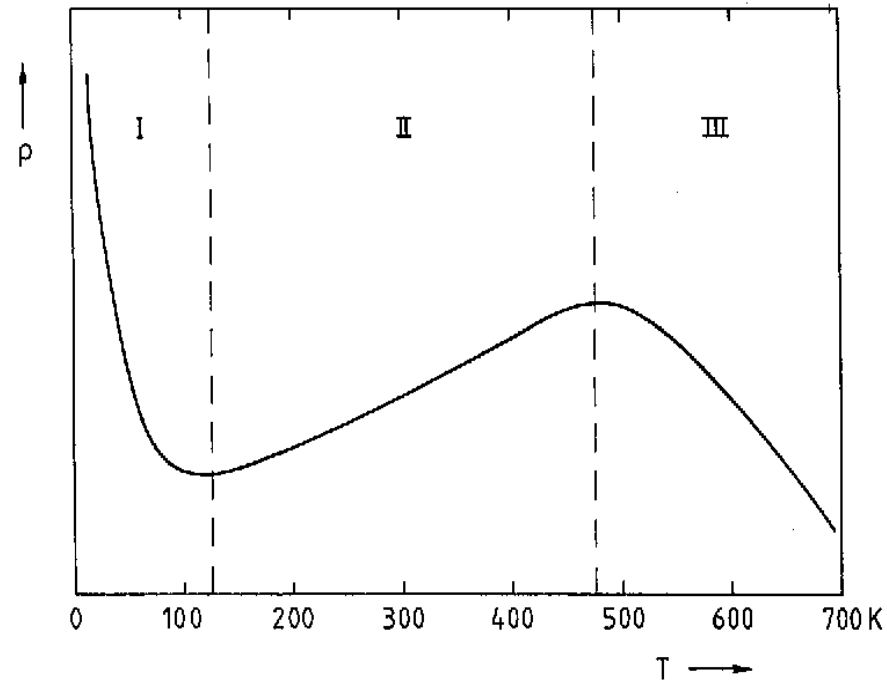
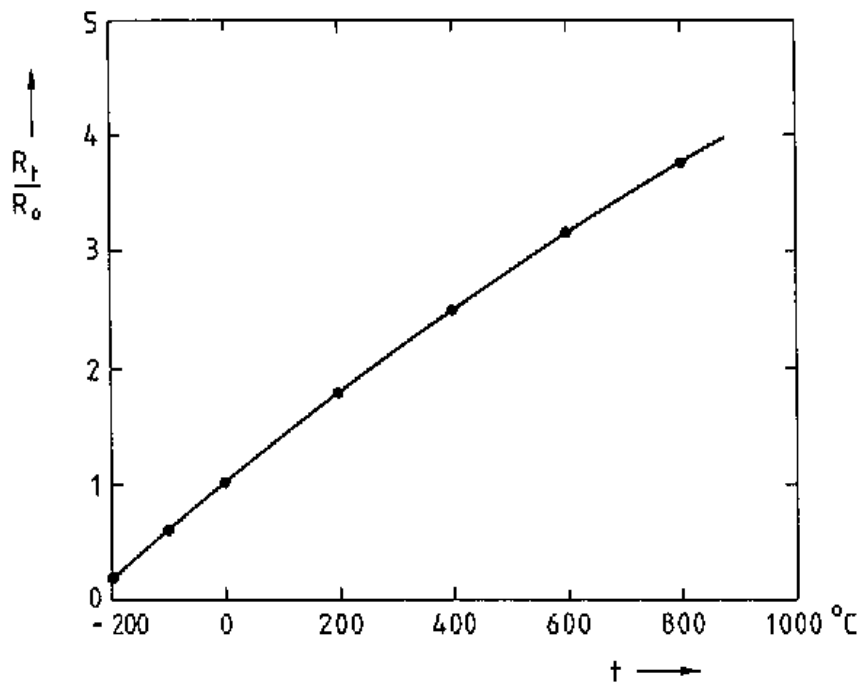
FÉLVEZETŐ ALAPÚ ELLENÁLLÁS TÍPUSÚ HŐÉRZÉKLŐK

Félvezető típusú anyagok termikus tulajadonságairól először Michael Farady értekezett még 1834-ben.

Iparban (gyártás): 1930-as évektől
Bell Telephone Company
Osram (világítástechnikai cég)

FÉLVEZETŐ (Si) ELLENÁLLÁS
HŐMÉRSÉKLETÉRZÉKELŐ (SILISTOR)

FAJLAGOS ELLENÁLLÁS A HŐMÉRSÉKLET FÜGGVÉNYÉBEN

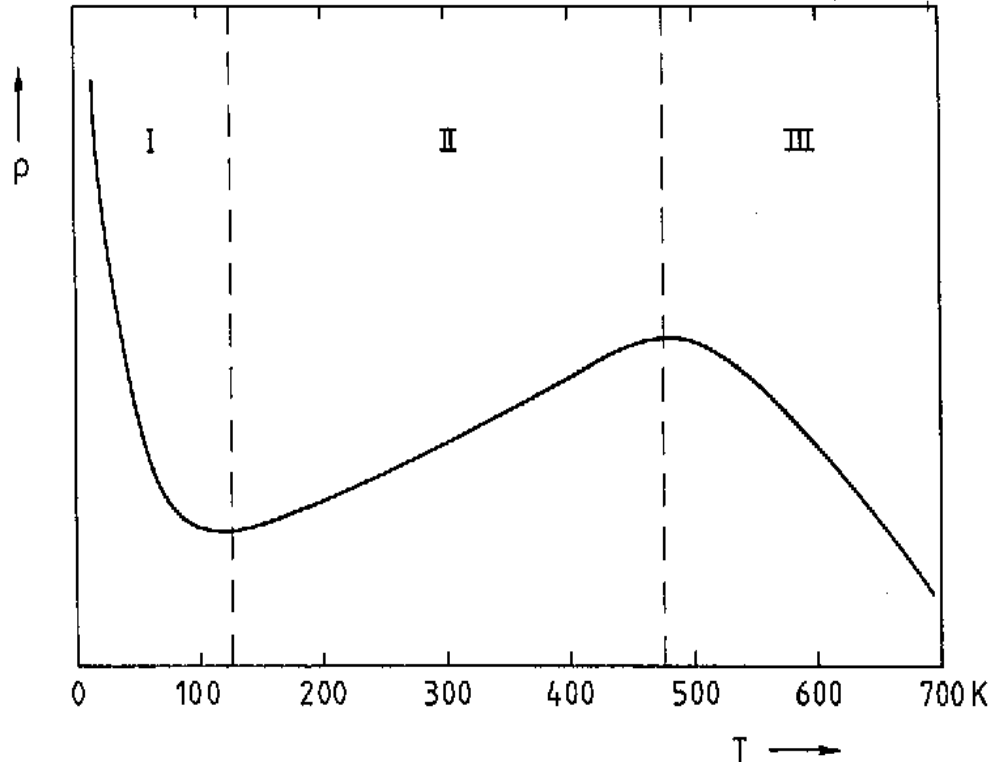


Bal oldalon a platina fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggése

Jobb oldalon n típusú Si hőmérsékletfüggése. A II. tartomány használható szenzorban.

FÉLVEZETŐK TULAJDONSÁGAI

Dependence upon temperature separated in 3 ranges (e.g. silicon):



Below 150K: « freeze out » region, influence of impurities is small (reduction of ionization).

Between 200K and 500K: doping effects exert maximum influence (positive temperature coefficient of resistance).

Over 600K: doped materials behave as intrinsic materials.

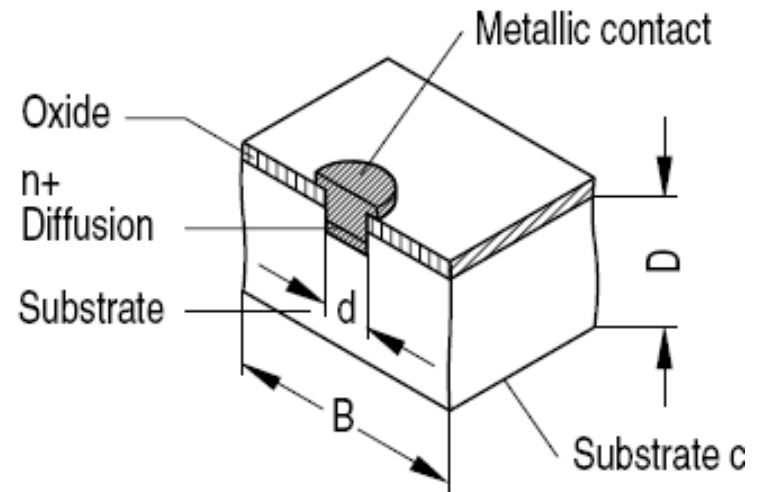
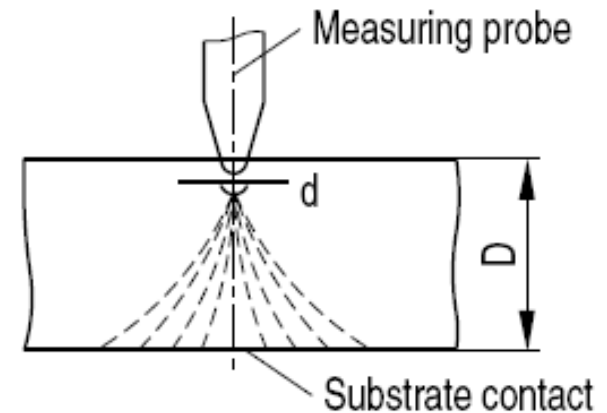
Si ELLENÁLLÁS-HŐMÉRŐ

A Si ellenállás-hőmérő a terjedési ellenállás mérésén alapul.

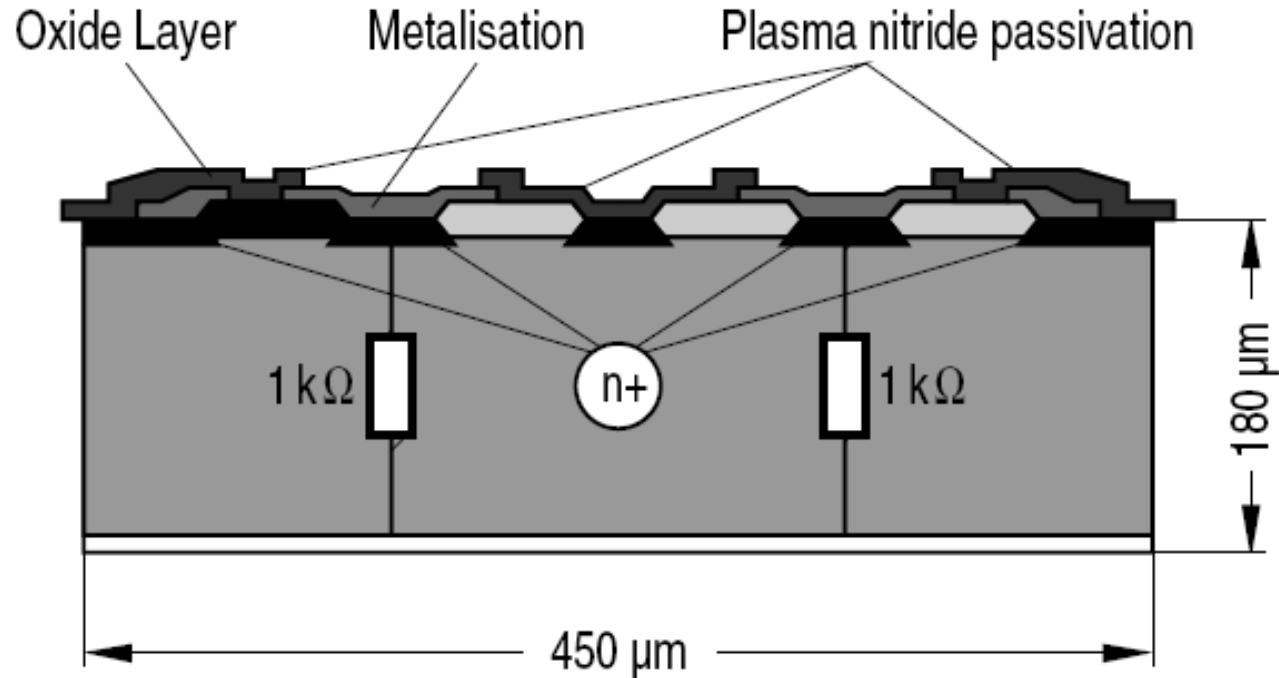
Terjedési ellenállás
(*spreading resistance*)

$$R = \frac{\rho}{\pi d}$$

Ha d elég kicsi, az eredmény nem függ a Si lapka méreteitől.



Si ELLENÁLLÁS-HŐMÉRŐ



A Siemens KTY Si ellenállás-hőmérő chip keresztmetszete.
 $\rho = 7 \text{ ohmcm}$, $d = 22 \text{ } \mu\text{m}$, $R = 2 \times 1000 = 2000 \text{ ohm}$.

General Technical Data: KT- and KTY-Series Temperature Sensors

These temperature sensors are designed for the measurement, control and regulation of air, gases and liquids within the temperature range of -50°C to $+150^{\circ}\text{C}$. The temperature sensing element is an n-conducting silicon crystal in planar technology. The gentle curvature of the characteristic, $R_T = f(T_A)$, is described as a regression parabola in the following expressions.

The resistance of the sensor can be calculated for various temperatures from the following second order equation, valid over the temperature range -30°C to $+130^{\circ}\text{C}$.

$$R_T = R_{25} \times (1 + \alpha \times \Delta T_A + \beta \times \Delta T_A^2) = f(T_A)$$

$$\text{with: } \alpha = 7.88 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}; \beta = 1.937 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-2}$$

The temperature factor k_T can be derived from this:

$$k_T = \frac{R_T}{R_{25}} = 1 + \alpha \times \Delta T_A + \beta \times \Delta T_A^2 = f(T_A)$$

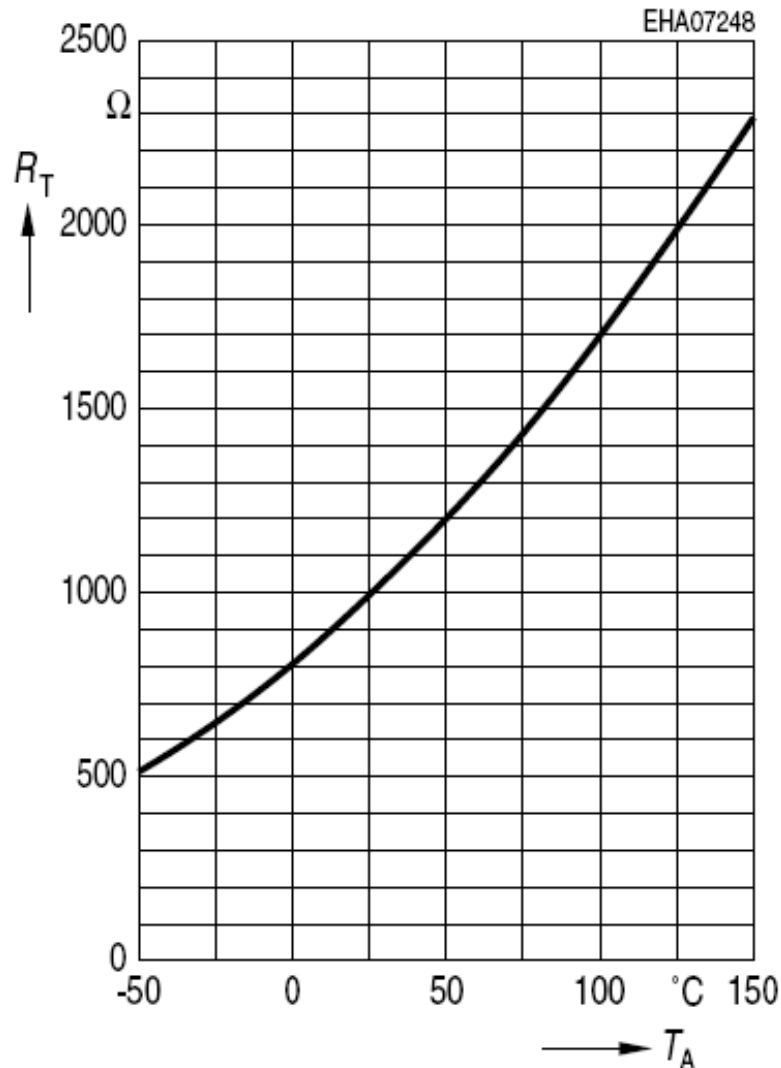
The temperature at the sensor can be calculated from the change in the sensors resistance from the following equation, which approximates the characteristic curve.

$$T = \left(25 + \frac{\sqrt{\alpha^2 - 4 \times \beta} + 4 \times \beta \times k_T - \alpha}{2 \times \beta} \right) ^{\circ}\text{C}$$

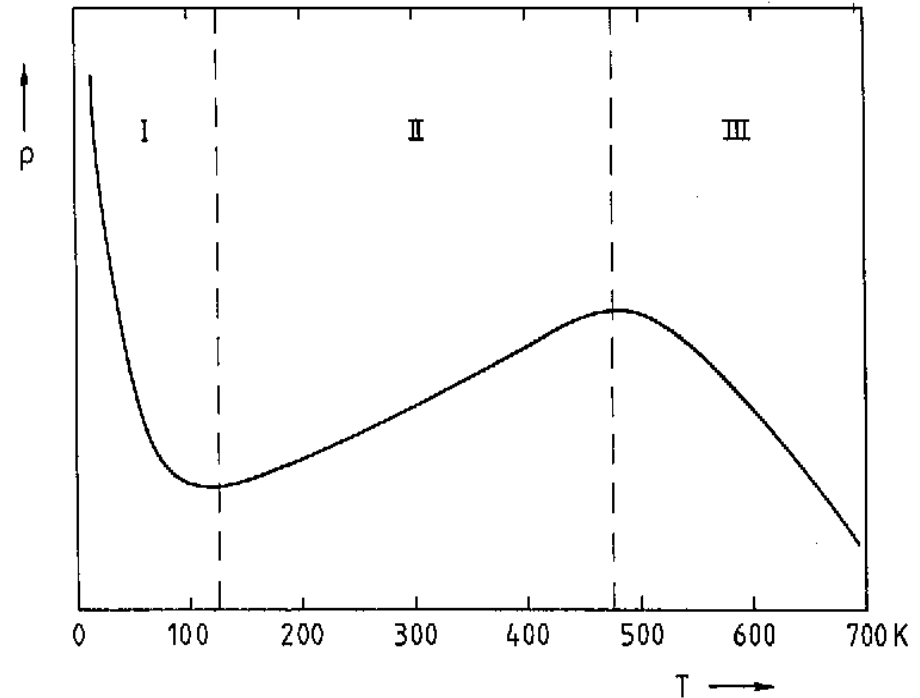
Si R-T KARAKTERISZTIKA

Sensor Resistance $R_T = k_T \times R_{25} = f(T_A)$

$I_B = 1 \text{ mA}$; Example: $R_{25} = 1000 \ \Omega$



Si ellenállás-hőmérő
jelleggöbéje



Gyengén/közepesen adalékolt
Si fajlagos ellenállása a hőmér-
séklet függvényében.

Si R-T KARAKTERISZTIKA

enyhén görbült jelleggörbe, pozitív hőmérsékleti együttható, kb. kétszer akkora, mint a platináé

$$R(T)=R_0[1+\alpha(T-T_0)+\beta(T-T_0)^2]$$

$T_0=25\text{ °C-on}$

$\alpha=7,8\times 10^{-3}\text{K}^{-1}$

$\beta=18,4\times 10^{-6}\text{K}^{-1}$

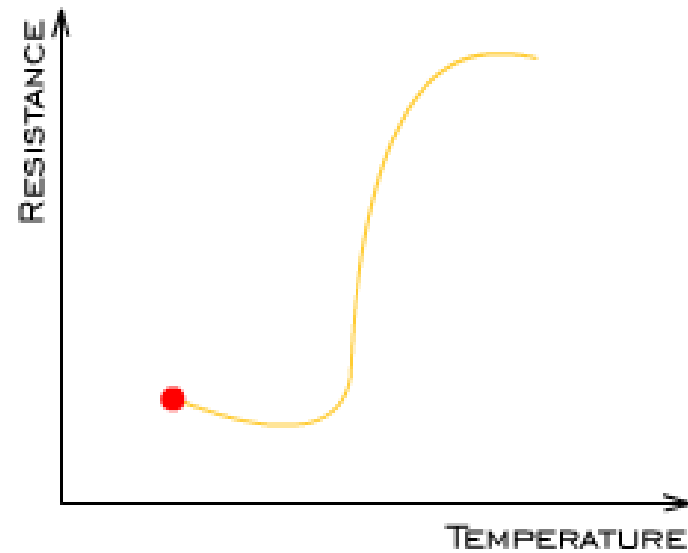
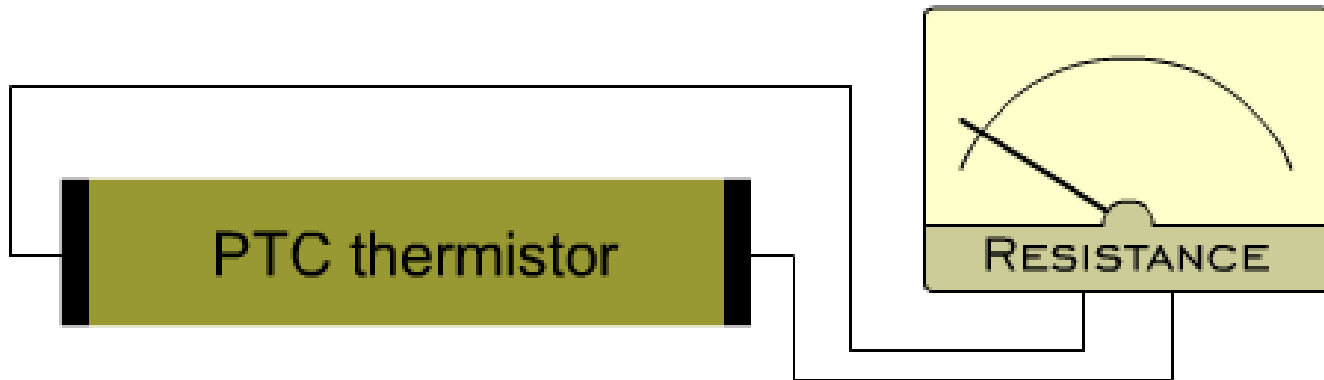
150 °C-nál nagyobb hőmérsékleten szabad töltéshordozók képződnek, vezetővé válik, az ellenállás lecsökken és az érzékelés nem marad egyértelmű.

TERMISZTOROK

A termisztorok olyan ellenállások, amelyek hőmérsékleti tényezője (TK) a szokásos fémek illetve normál áramköri ellenállások hőmérsékleti tényezőjéhez képest nagyságrendekkel nagyobb. A termisztor ellenállás hőmérsékleti tényezője nagy és általában negatív, de van pozitív együtthatójú típus is.

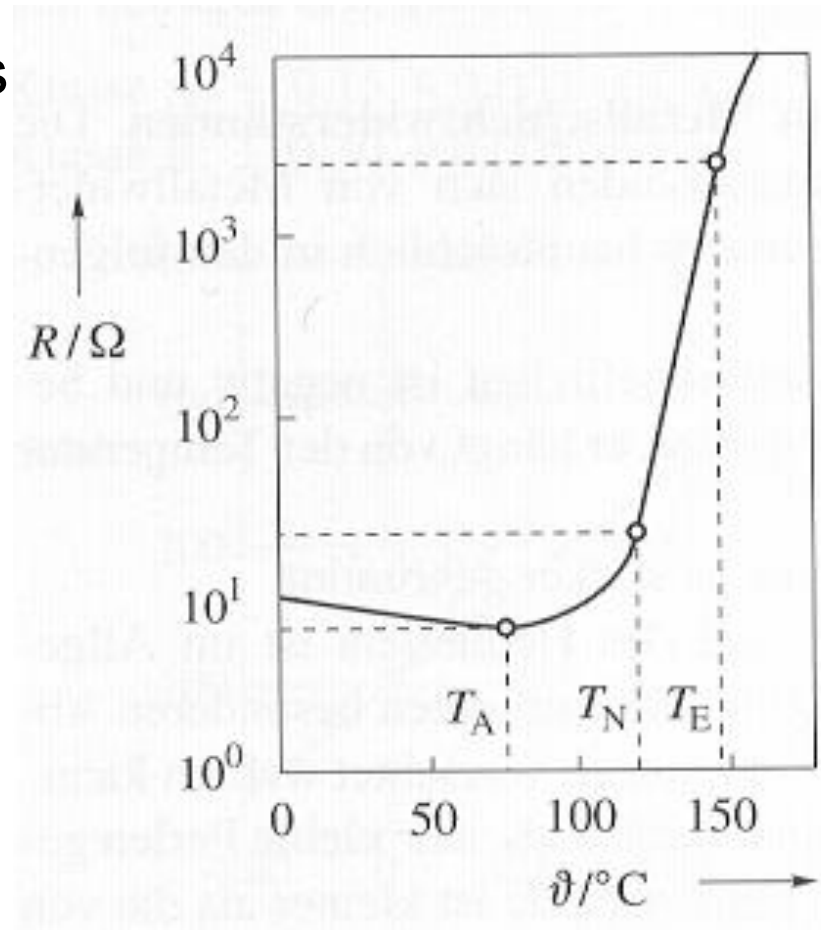
Elnevezések: negatív TK, NTC termisztor vagy melegen vezető, illetve pozitív TK, PTC termisztor, vagy hidegen vezető.

PTC TERMISZTOR

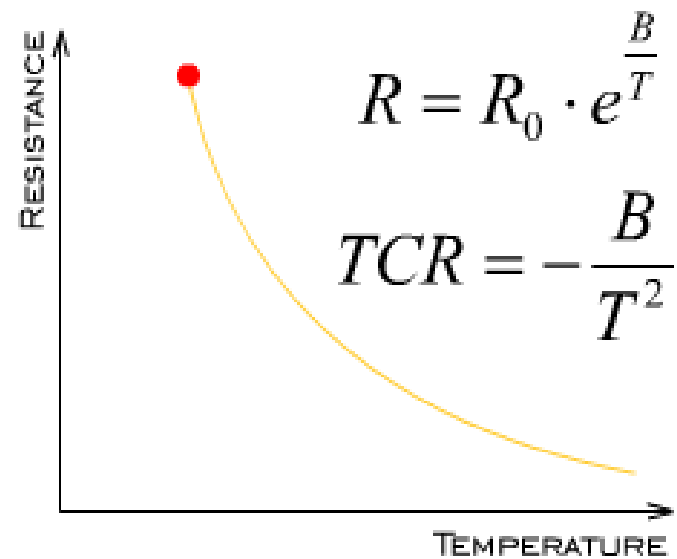
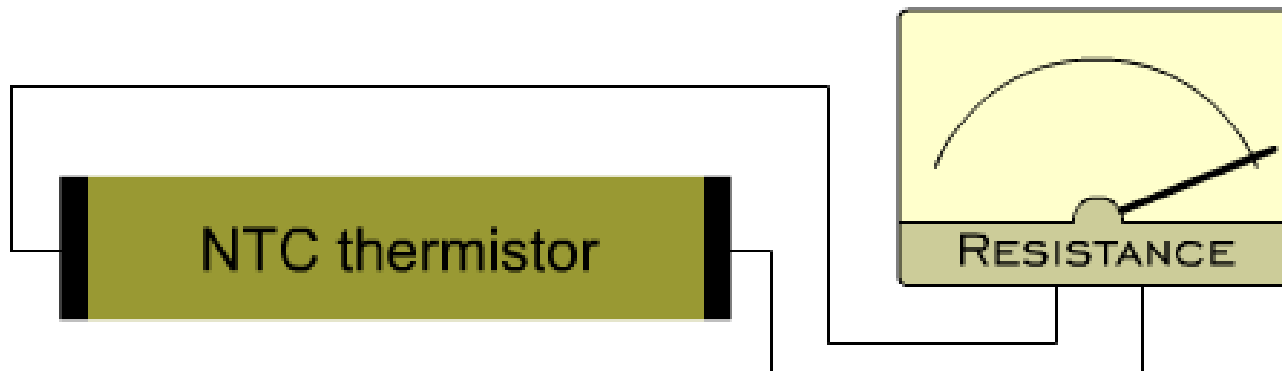


PTC TERMISZTOR

PTC-ellenállások
anyag: félvezető ferroelektromos
anyag, pl. báriumtitanát
hideg állapotban az ellenállás
viszonylag kicsi és negatív
együtthatójú.
Az anyagösszetételtől függő
Curie-hőmérsékleten az egyes
kristallitok egységes polaritása
megszűnik, ez egy keskeny
hőmérsékleti tartományban az
ellenállás exponenciális
növekedéséhez és pozitív
hőmérsékleti együtthatóhoz
vezet.



NTC TERMISZTOR

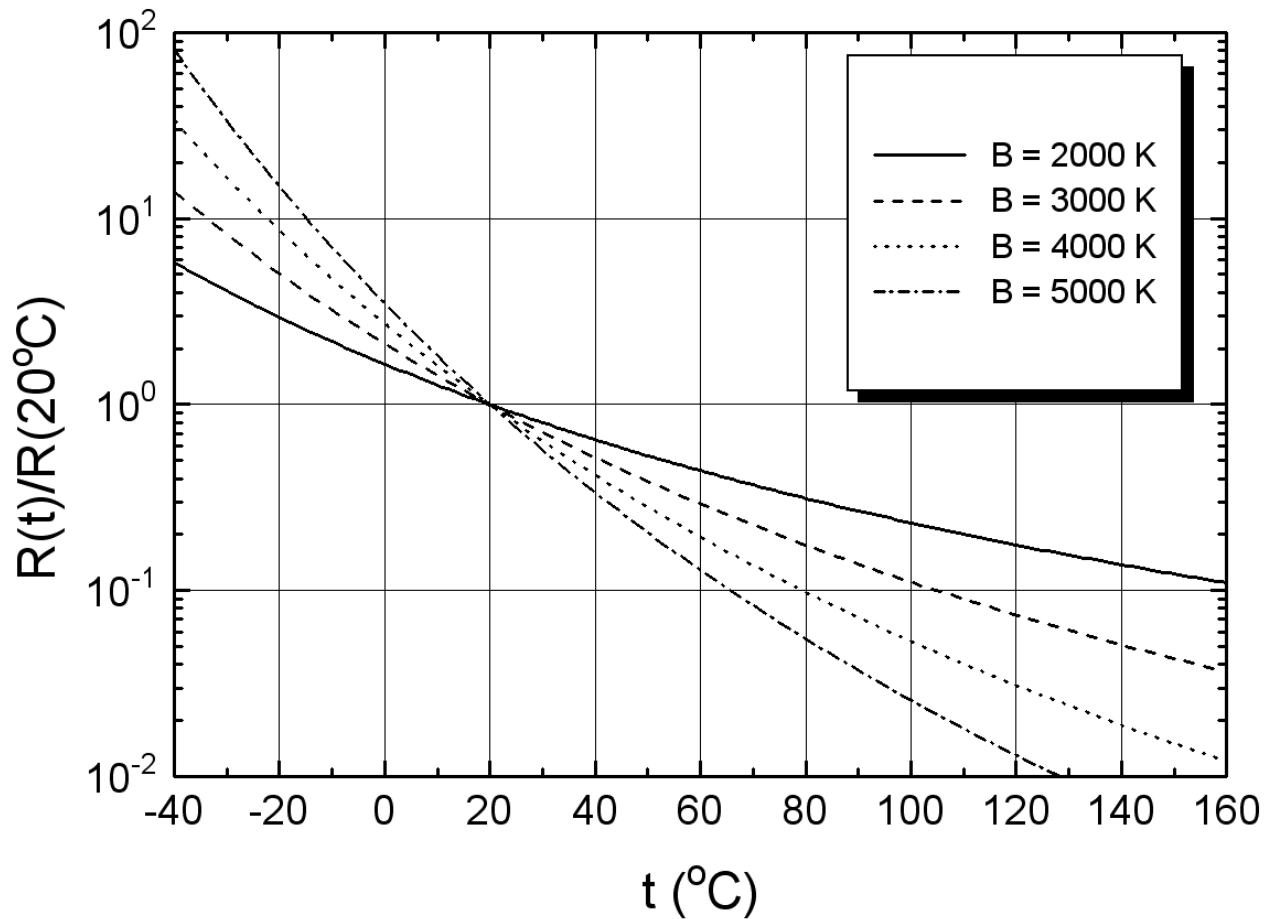


OXIDTERMISZTOROK

Az NTC termisztorok alapanyaga félvezető tulajdonságú fénoxidok (MnO, NiO, stb.) Az oxidtermisztorok olyan fénoxidokból készülnek, amelyeknek nagy a hőmérsékleti együtthatójuk (félvezető tulajdonság!), ellenállásuk stabil, és gyártásuk jól reprodukálható. Kedvező tulajdonsággal rendelkeznek a keverék oxidok, mint pl. a $\text{TiO}_2 + \text{MnO}$, vagy a $\text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{NiO} + \text{CoO}$ keverékek. A nagyobb hőkapacitású és szélesebb hőmérséklettartományban alkalmazható termisztorok grammnyi tömegűek is lehetnek, míg a gyöngy-, fólia-, szál-, stb. termisztorok tömege miniatűr változatban néhány mg is lehet.

TERMISZTOROK KARAKTERISZTIKÁI

Termisztor karakterisztikák



$$R(T) = A \exp(B/T)$$

TERMISZTOROK KARAKTERISZTIKÁI

A termisztorok ellenállás-hőmérséklet jelleggörbáját széles hőmérsékleti tartományban igen jó közelítéssel az alábbi egyenlet írja le

$$R(T) = A \exp(B/T)$$

más alakban

$$R(T) = R_0 \exp(B(1/T - 1/T_0))$$

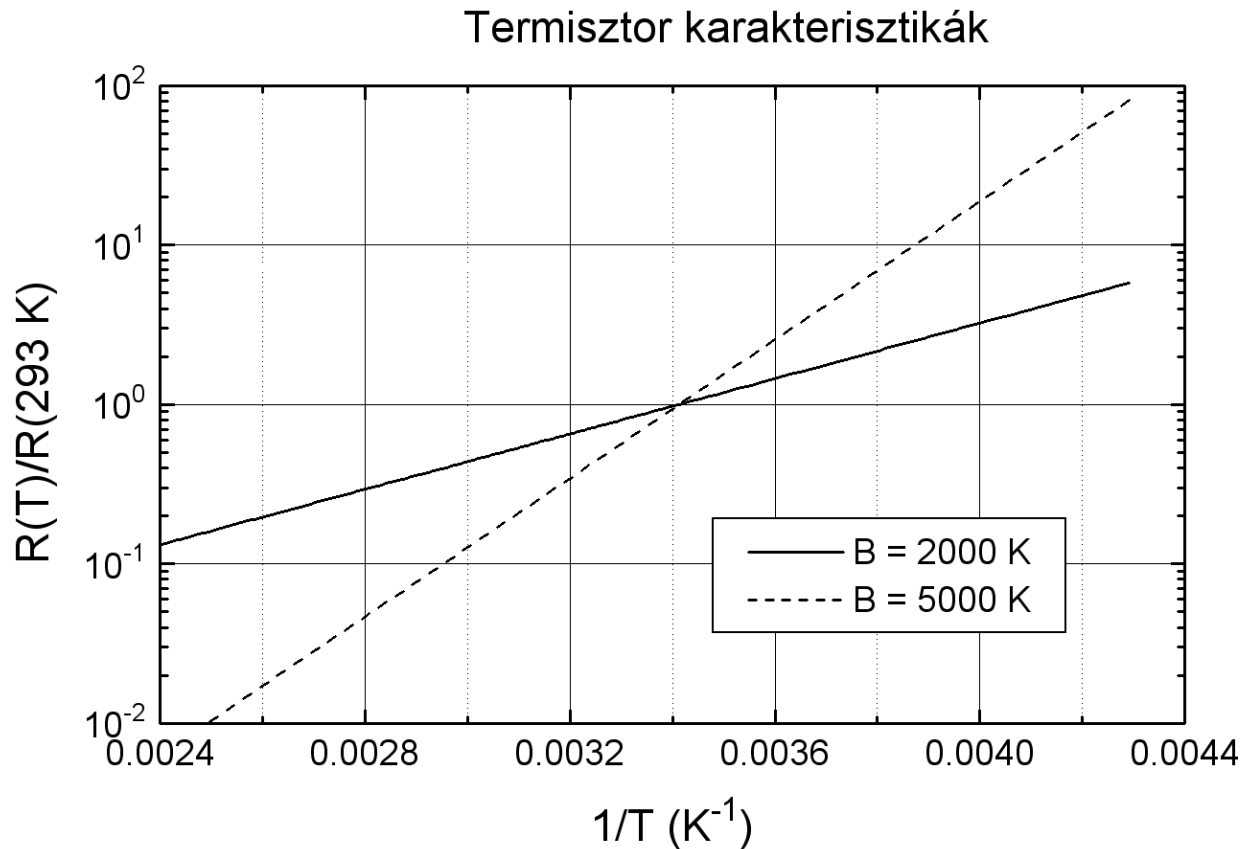
T - hőmérséklet az abszolút (Kelvin) skálán,

$$T [K] = 273,16 + t [^{\circ}\text{C}],$$

A [ohm] és B [K] - termisztorra jellemző állandók. Tipikusan B = 1000...5000 K.

A karakterisztika másik, az előzővel ekvivalens alakjában T_0 a referencia hőmérséklet (legtöbbször +20 °C vagy 0 °C) és R_0 a termisztor ellenállása ezen referencia hőmérsékleten.

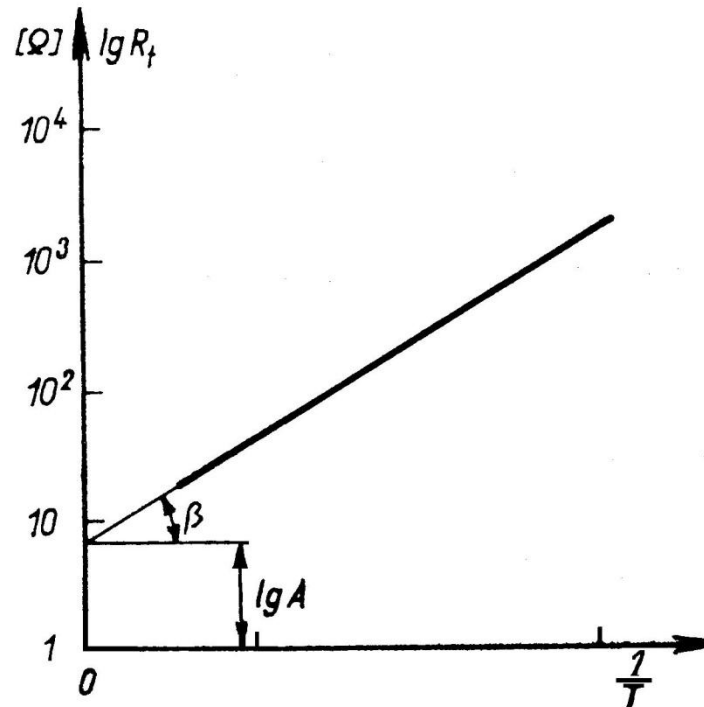
TERMISZTOR KARAKTERISZTIKÁI



$$\ln R = \ln A + B/T$$

Az ellenállás logaritmusát az abszolút hőmérséklet reciproka függvényében ábrázolva a karakterisztika egyenes.

TERMISZTOR KARAKTERISZTIKÁI



Termisztor paramétereinek meghatározása mérések alapján

TERMISZTOR GYÁRTÁS

Manufacture and structure of thermistors:

Production complicated:

- Ceramic manufacturing technology

- High pressure forming

- Sintering at temperatures up to 1000°C

Process:

- The thermistor is trimmed to adjust its resistance
and metal coated

- Its connecting leads are attached

- It is encapsulated

GYÁRTÁS

Same process for the two types of thermistor but different materials:

- PTC type based on barium titanate
- NTC type based on mixture of different powdered oxides (Mn, Fe, Ni...)
- Properties depend on :
 - The heat treatment temperature and atmosphere
 - The manner they are annealed

Main parameters controlled by the composition of thermistors:

- For normal application (temperature between -50°C and $+200^{\circ}\text{C}$) : Mn and Ni
- Adding Co and Cu changes the resistivity (varies between 10 and $10^5 \Omega\text{cm}$) and also the B-coefficient (2580K to 4600K)

TERMISZTOROK

- Various structures for thermistor thermometers:

Bead:



Glass or plastic coated bead:



Rods:



Chip/integrated circuit:



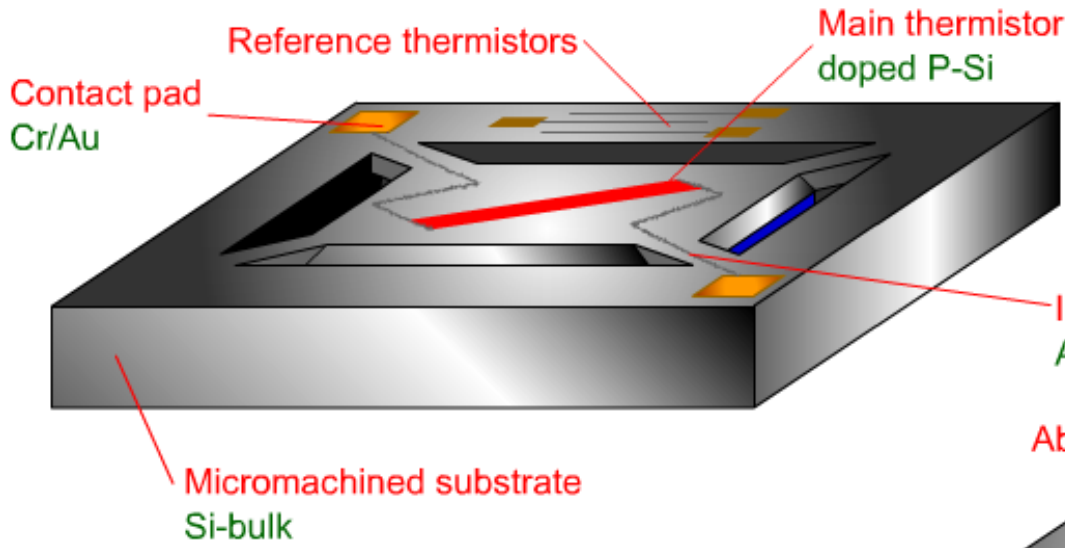
HŐMÉRSÉKLETÉRZTÉKELŐK TOVÁBBI ALKALMAZÁSAI

Áramlás érzékelők: a vizsgált gáz, vagy folyadék hővezetésének ismeretében mérjük, hogy mennyire hűl le a melegített szenzor.

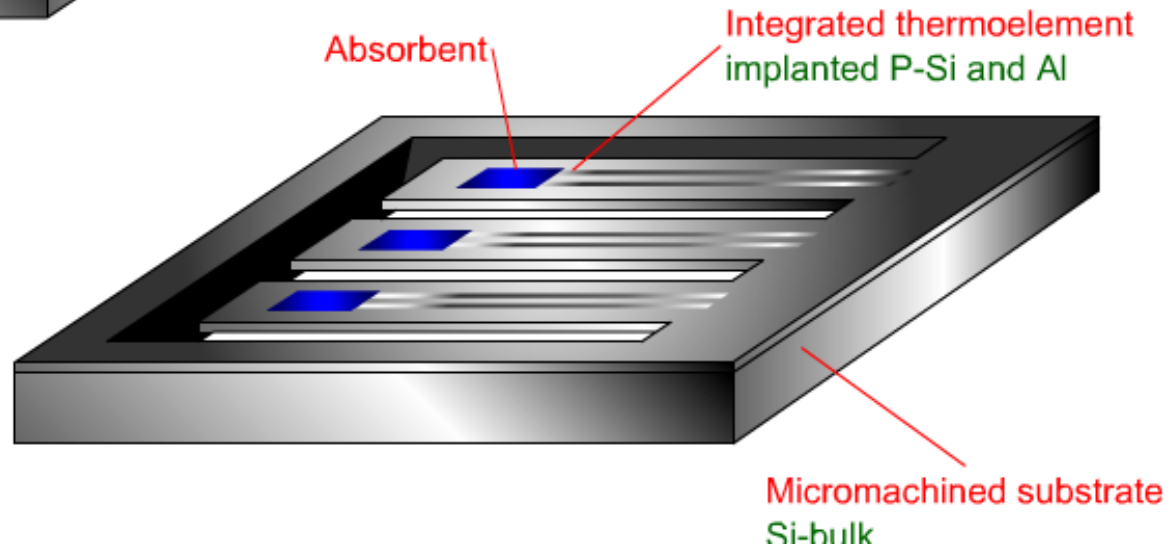
Vákuumszenzorok: két felület közötti hőátadás mértéke egyenesen arányos a hőcserében résztvevő molekulák számával, ha a molekulák átlagos szabad úthossza nagyobb a felületek közti távolságnál.

Infravörös szenzor termikus érzékelővel: az elnyelt sugárzás felmelegíti az érzékelőt, ami mérhető.

THERMAL RADIATION SENSORS



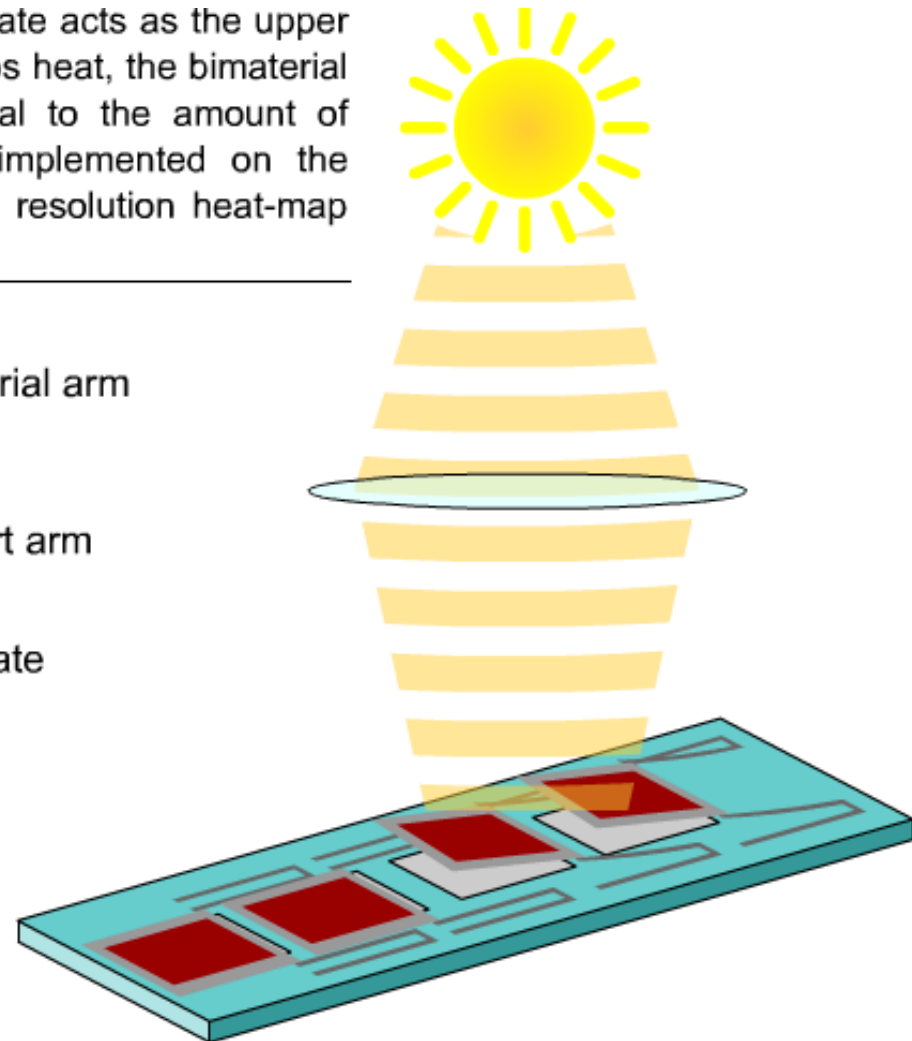
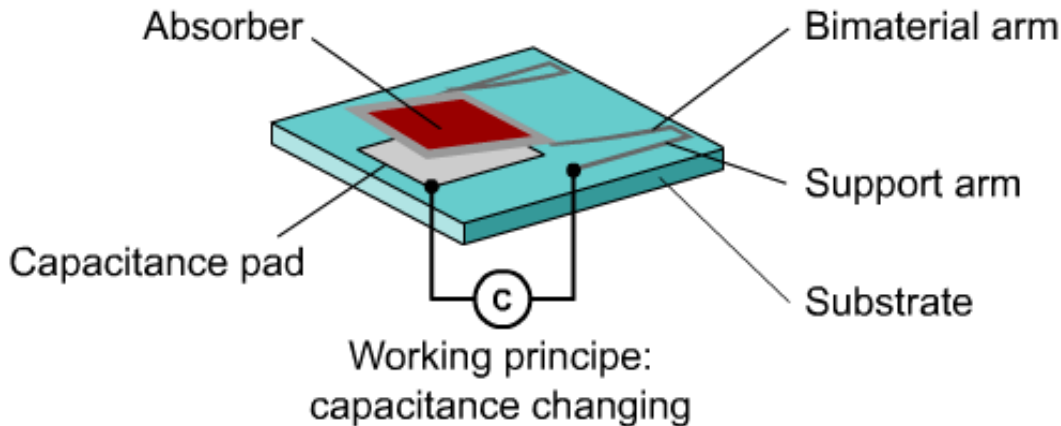
The bolometer (left) measures the temperature difference caused in the absorbent by radiation. It uses thermistor for it.



The thermopile (right) measures the temperature different with thermoelements in serial connection.

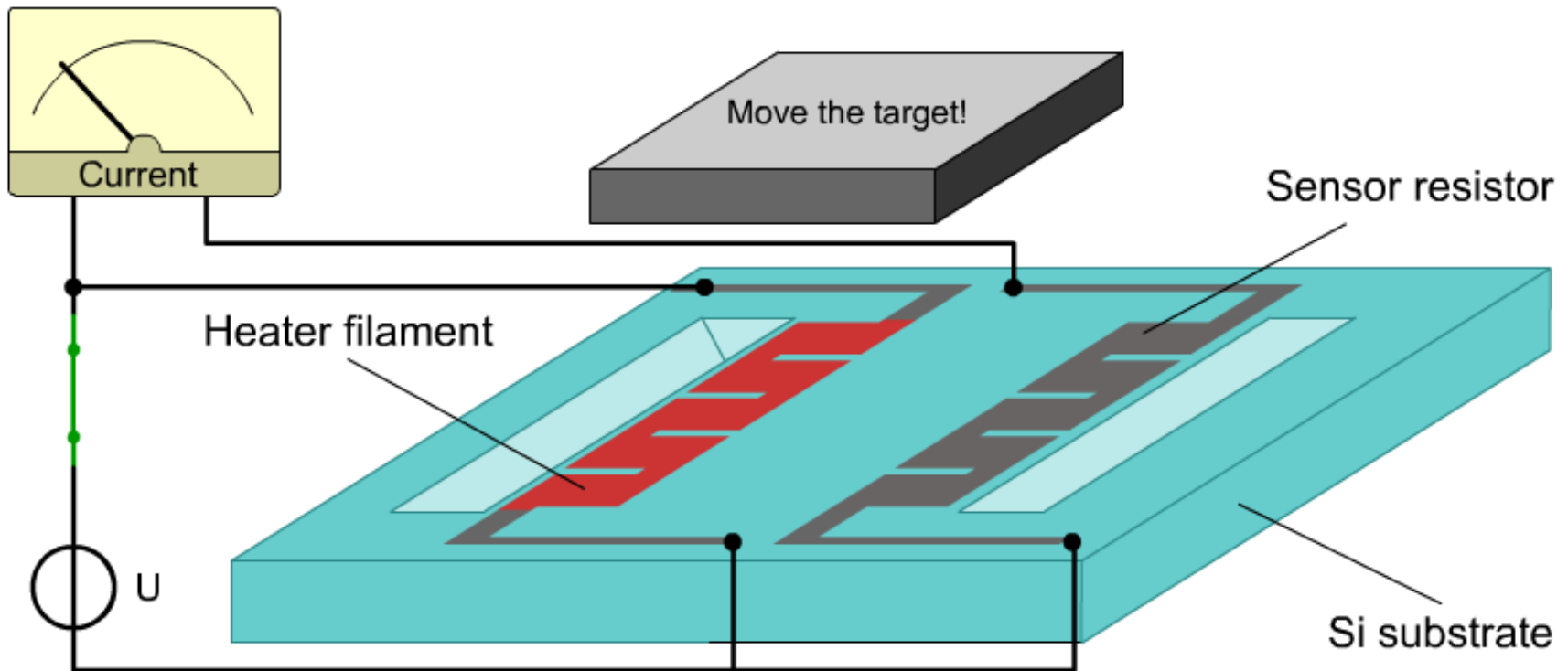
INFRARED DETECTOR ARRAY

In the MEMS cantilever based infrared detector each plate acts as the upper electrode of a variable capacitor. When the plate absorbs heat, the bimaterial arm bends, and moves the the plate up, proportional to the amount of absorbed heat energy. The reference electrode is implemented on the substrate. An array of these detector produces a high resolution heat-map image without cooling.



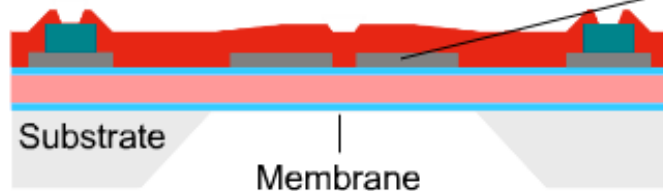
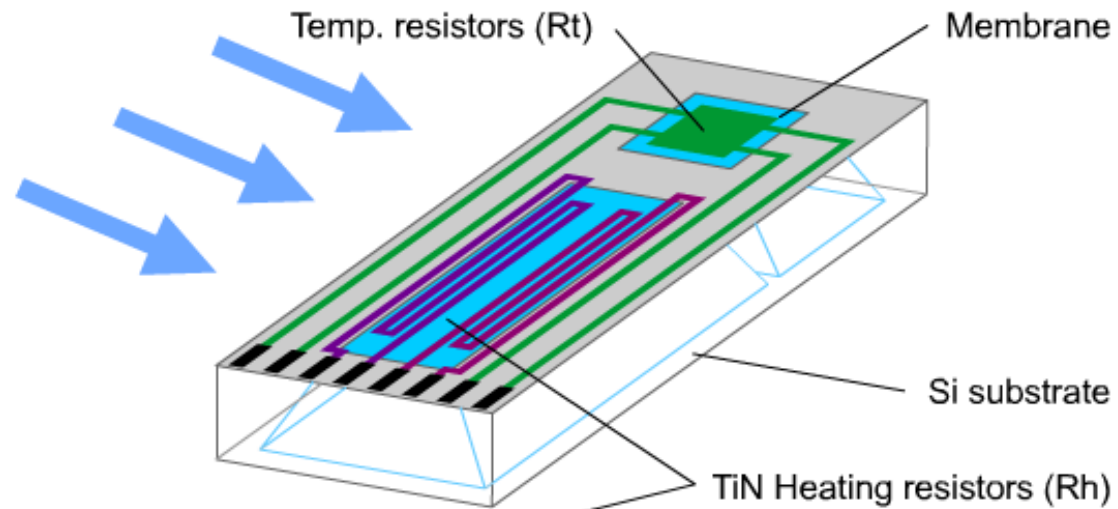
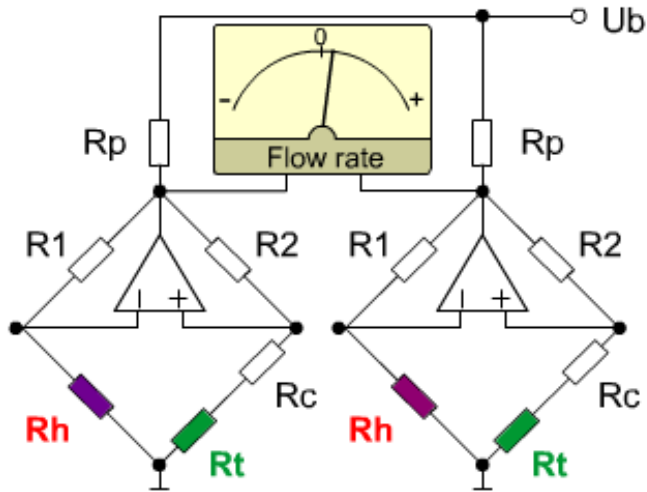
THERMAL CONDUCTIVITY SENSOR

The thermal conductivity sensor operates by observing the changing resistance of sensor resistor in response to an input to the heater filament. When not in contact with an object, the only route for the heat input of the heater to reach the sensor resistor is through the substrate and the surrounding air. When an object comes in contact with the sensor, the low efficiency heat path through the air is replaced by solid conduction, changing the character of the signal measured at the sensor resistor, with a square wave voltage input to the heater. The time constant of the temperature of sensor resistors is found to be a function of contact object thermal conductivity.



FLOW SENSORS

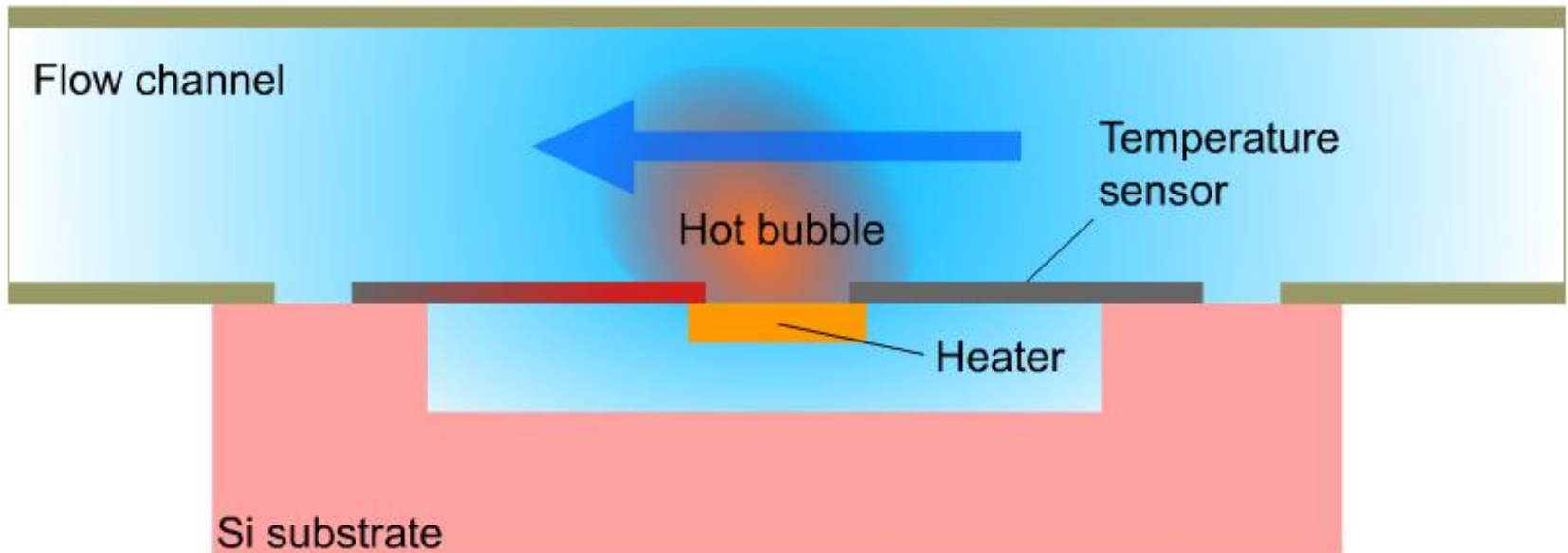
The **mass-airflow sensor** for forward and backward air flow is capable to recognize any pulsation in the air flow. Heater and thermistor elements of both sides driven by a steady state current come to a steady state temperature. When air flows to the left heater-thermistor structure from the left, it will be cooled, when air flows from the direction of the neighboring heater-thermistor structure, the left heater-thermistor structure will be warmed up by the additional pre-heated air. The phenomenon works the same way for the opposite side, thus, the balance between the two identical structures is very sensitive to the air-flow. The balance is measured by the dual-Wheatstone bridge.



- Mass air flow sensor
- Aerodynamic flow sensor
- Optical fiber based flow sensor

FLOW SENSORS

In the **aerodynamic flow sensor** a hot air bubble is generated by a heater filament. The flow-rate of a fluid (or gas) can be sensed through the deformation of the air bubble. There are temperature sensors on both sides of the heater filament for signal pickup. The temperature is changing proportional to the flow-rate.



ÖSSZEFOGLALÓ: TERMIKUS EFFEKTUSOK

Name of effect	Notation	Macroscopic description
Thermoelectric, Seebec	[th,el,00]	Generation of electrical potential by a joint of two dissimilar conductors
Pyroelectric	[th,el,00]	Change of polarization due to temperature change
Nernst	[th,el,ma]	Generation of electromagnetic field due to temperature gradient
Thermodielectric	[el,el,th]	Change of permittivity of a ferroelectric due to temperature
Thermoconductivity	[el,el,th]	Change of conductivity due to temperature
Thermoluminescence	[th,ra,00]	Emission of radiant energy of certain crystals due to temperature
Curie temperature	[th,ma,00]	Change to paramagnetism of ferromagnetic material at specified temperature
Incandescence	[th,ra,00]	Emission of radiant energy when material is heated
Therochemical	[th,el,00]	Change of structure due to temperature
Electrothermal	[el,th,00]	Generation of heat in a conductor by electric current
Peltier	[el,th, 00]	Generation of temperature difference between two junctions when current passes through them