

Mikro- és nanotechnika I. - Laboratóriumi mérések

1. Piezorezisztív nyomásérzékelő tulajdonságainak mérése.
2. Világító diódák spektrumának és optikai érzékelők tulajdonságainak mérése.
3. Hall effektus és mágneses tér mérése. Teljesítménymérés Hall-szondával.
4. Termisztorellenállás hőmérsékletfüggésének mérése.

A laborgyakorlatra hozandó részletes mérési útmutató letölthető:

<http://mti.kvk.uni-obuda.hu/node/92> Labor útmutató (2012.ápr.13.)

Készüljenek fel belőle a mérésre!

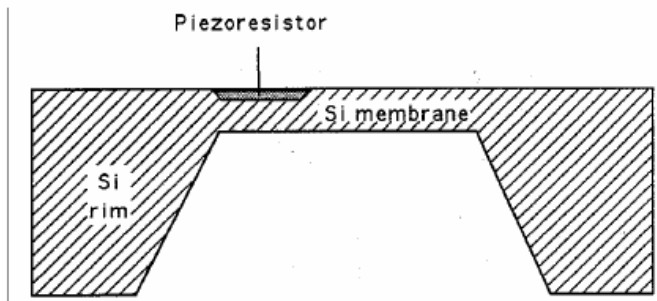
1. Piezorezisztív nyomásérzékelők

Elméleti háttér

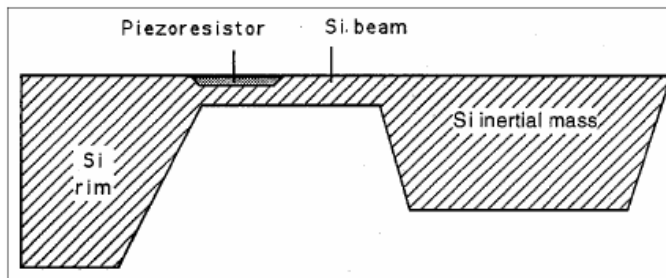
Si MEMS erő- és nyomásérzékelők

Piezorezisztív érzékelők

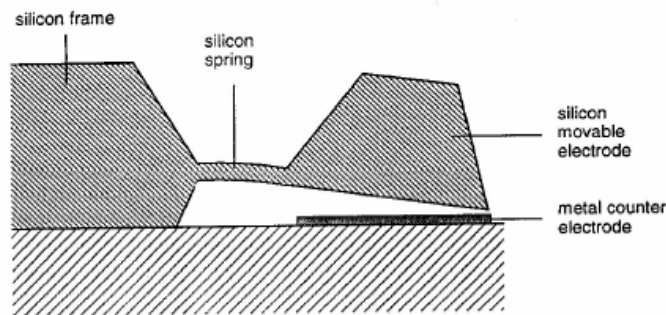
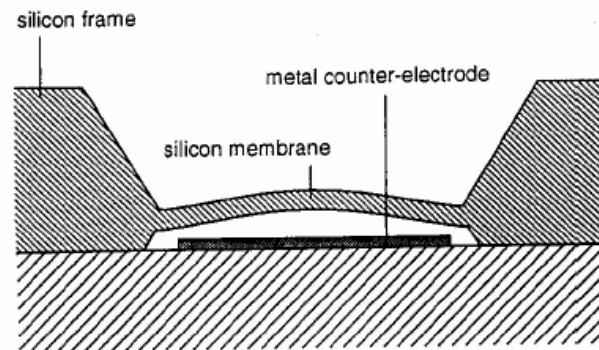
Membrán típusú szenzor:



Befogott tartó típusú szenzor:



Kapacitív érzékelők



Piezorezisztív hatás:
a mechanikai
feszültség fajlagos
ellenállás változást
hoz létre.

A szilícium alapú MEMS mechanikai érzékelők előnyös tulajdonságai

Jól meghatározott elektromos tulajdonságok mellett rendkívül jó mechanikai tulajdonságok

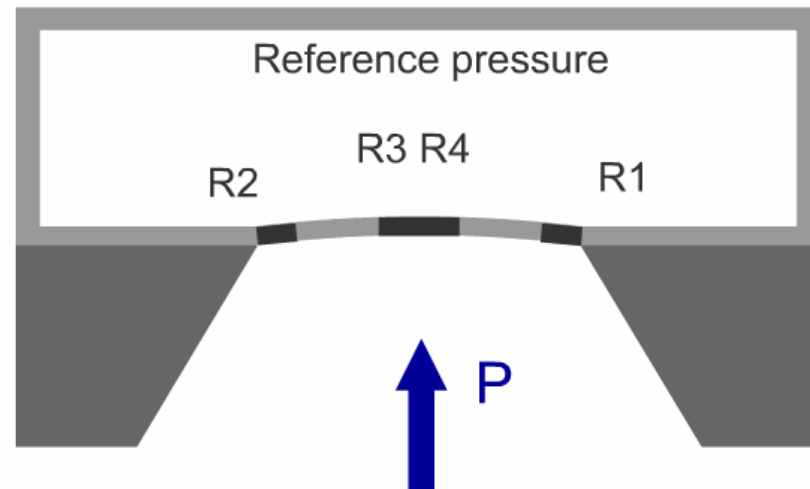
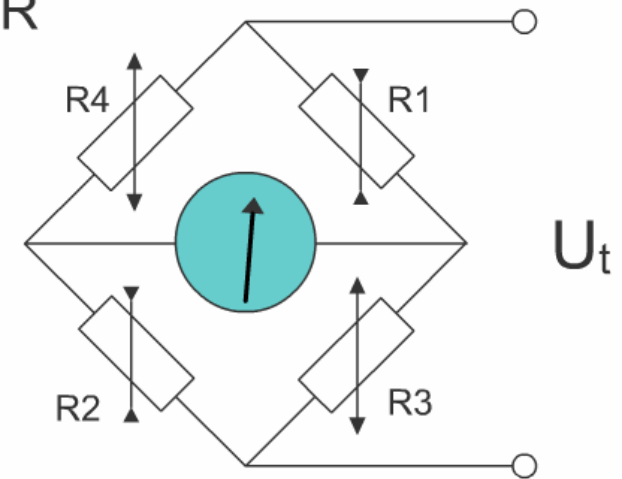
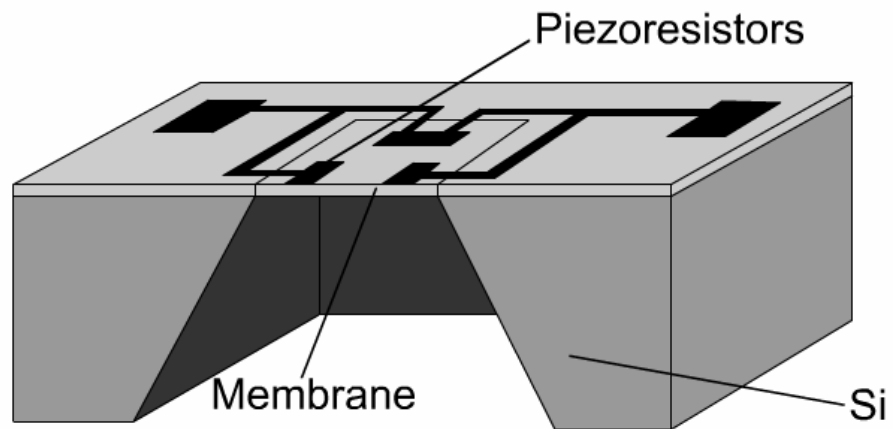
Jelentős méretcsökkentés lehetősége

Tömeggyárthatóság

Integrálhatóság

Szilícium nyomásérzékelő

PIEZORESISTIVE Si PRESSURE SENSOR



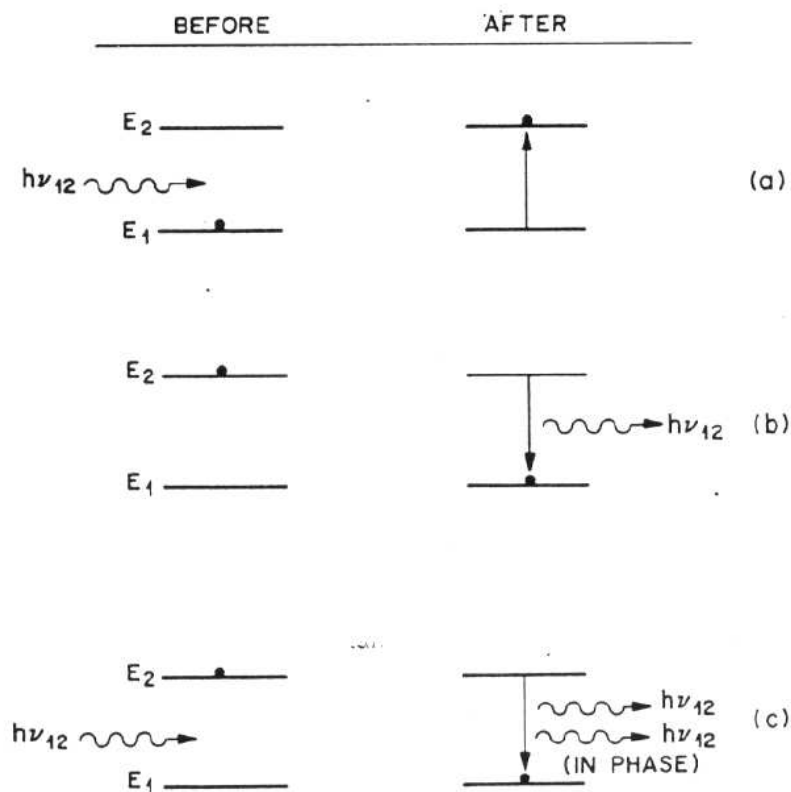
Feladatok

- 1., Az elektromos nyomásszabályozó szelep nyomás-áram jelleggörbéjének a felvétele.
- 2., A nyomásérzékelő
 - a., nyomás-feszültség karakterisztikájának felvétele (feszültség- és áramgenerátoros táplálásnál),
 - b., hőmérséklet függésének vizsgálata,
 - c., hiszterézis és ismétlődési hibájának meghatározása.

2. Világító diódák és optikai érzékelők

Elméleti háttér

Foton-elektron kölcsönhatás - alapjelenségek



Alkalmazás:

a., fotodetektorok és napelemek

b., világító diódák (LED-ek)

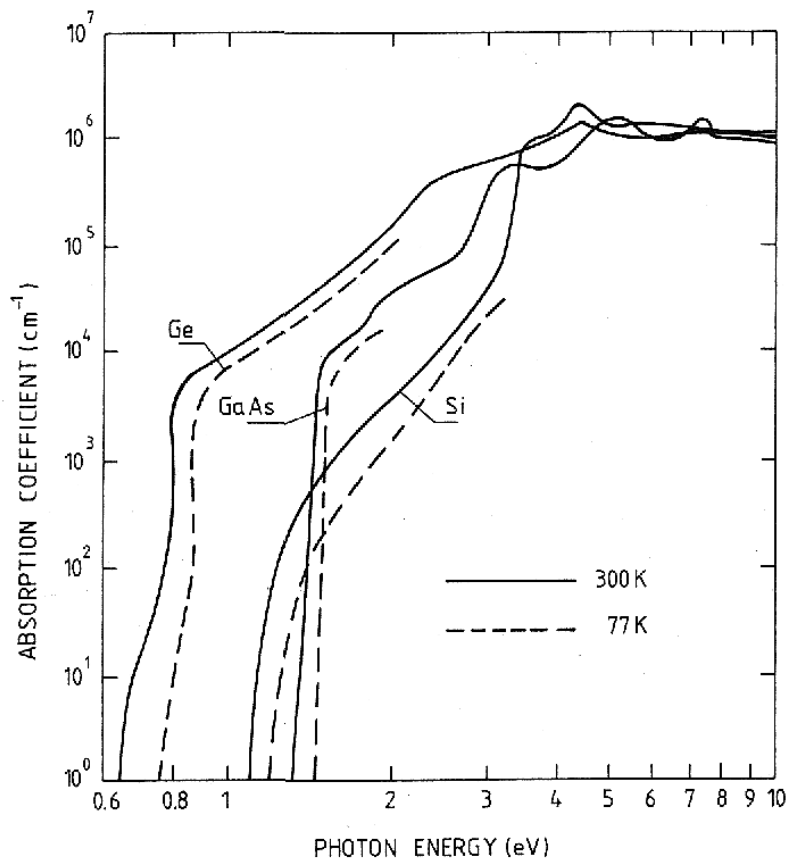
c., lézerek

a., Abszorpció: a beérkező foton elnyelődik, energiája átadódik a kölcsönható elektronnak, ami a vegyértéksávból a vezetési sávba kerül - elektron-lyuk pár keletkezik. Feltétel: $h\nu \geq E_g$.

b., Spontán emisszió (sugárzásos rekombináció): az elektron a vezetési sávból a vegyértéksávba esik, az energiakülönbséget foton formájában sugározza ki. A fénykibocsátó diódákban (LED-ekben) alkalmazzák.

c., Stimulált emisszió: a belépő foton kölcsönhat egy, a vezetési sávban lévő elektronnal. Az elektron a vegyértéksávba esik és kisugároz egy ugyanakkora frekvenciájú, ugyanolyan irányú, ugyanolyan fázisú és ugyanolyan polarizációjú fotont, mint a belépő foton - fényerősítés.

A Ge, a Si és a GaAs abszorpciós spektruma



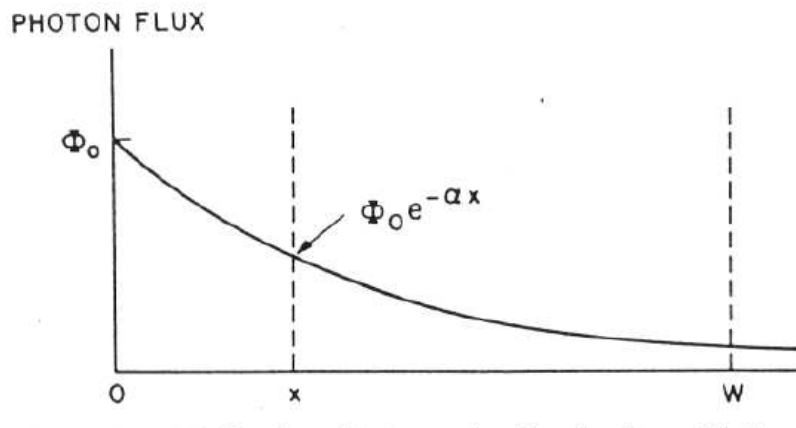
Az abszorpciós él a tiltott sáv szélességével egyezik meg. Alacsonyabb hőmérsékleten szélesebb a tiltott sáv.

Abszorpció esetében a fény intenzitása exponenciálisan csökken a felülettől befelé haladva:

$$I = I_0 \exp(-\alpha x)$$

ahol I_0 és I az intenzitás a felületen és x távolságban a felülettől, α az abszorpciós tényező (az intenzitás csökkenés gyorsasága a mélység mentén):

$$dI/dx = -\alpha I$$



A tiltott sávénál kisebb energiájú fotonok (a határhullámhossznál hosszabb hullámhosszú fény) számára a félvezető átlátszó.

Fotodetektorok

Fotoellenállás (fotorezisztor)

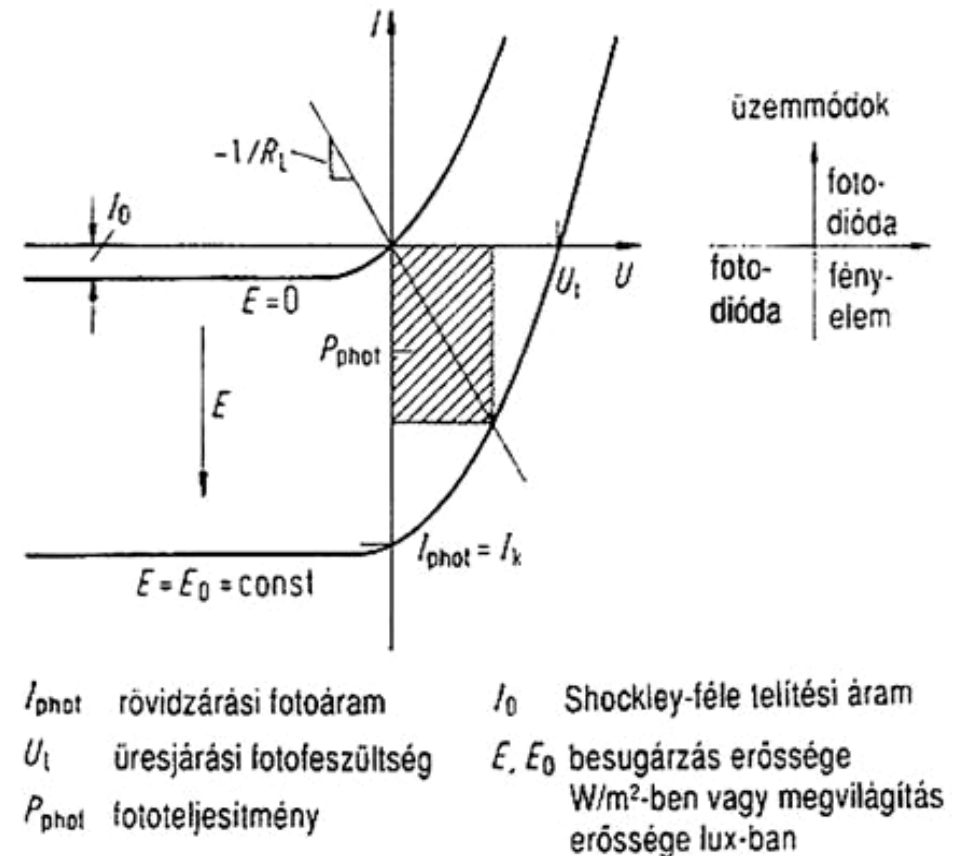
Ha a beeső fotonok energiája eléri vagy meghaladja a tiltott sáv szélességét, elektron-lyuk párokat generálnak - nő a vezetőképesség.

Fotodiódák működési elve

Ha a beeső fotonok olyan tartományban abszorbeálódnak, ahol beépült vagy rákapcsolt elektromos tér van, az elektron-lyuk párok szeparálódnak, a diódában fotoáram indul meg (fotodióda) ill. külső feszültség nélküli állapotban feszültség lép fel a sarkain (fényelem).

Jellemzők:

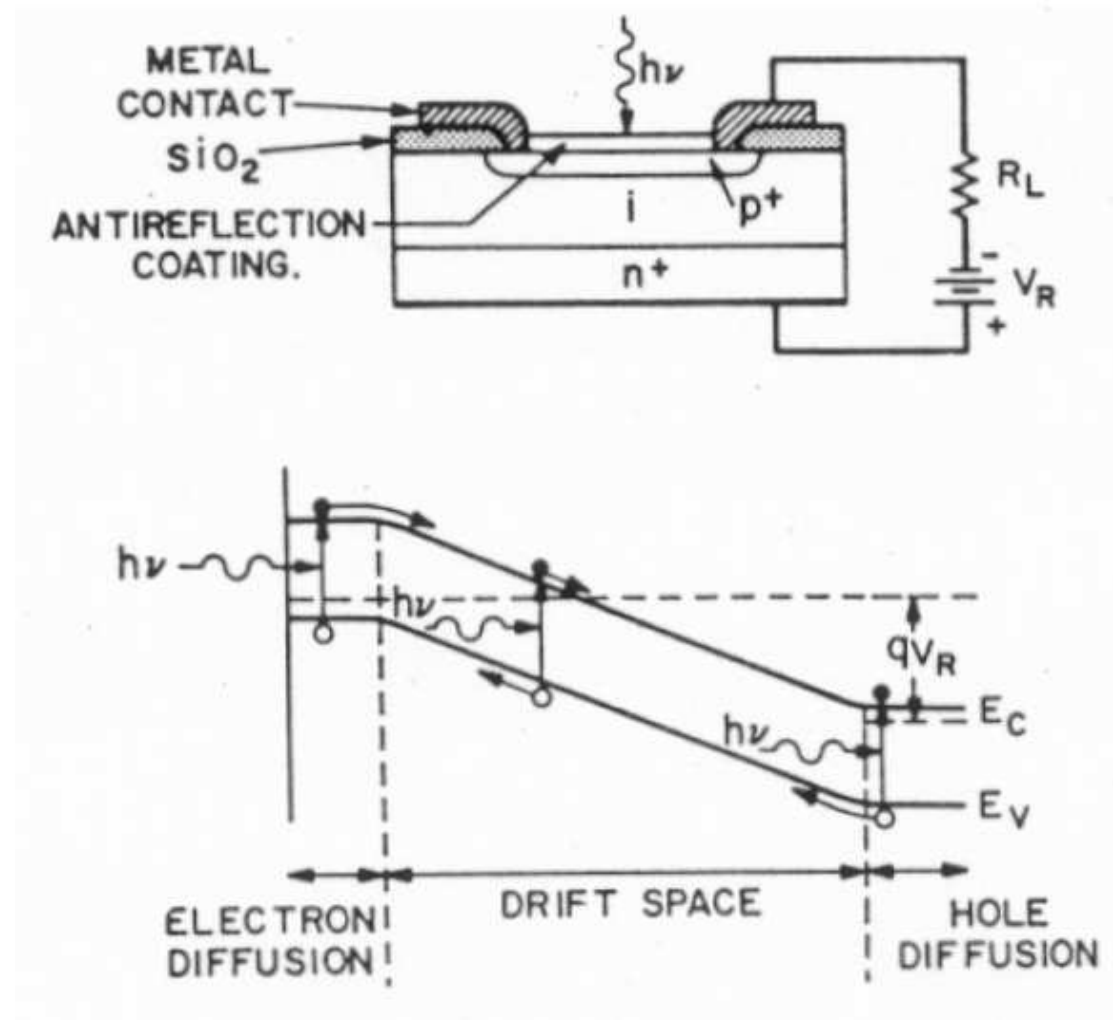
- kvantumhatásfok (η)- egy beeső fotonra hány hasznos elektron-lyuk pár jut: $\eta < 1$ (széles p-n átmenet)
- válaszdíó (keskeny p-n átmenet)



Megvilágítás hatására az áram-feszültség karakterisztika eltolódik

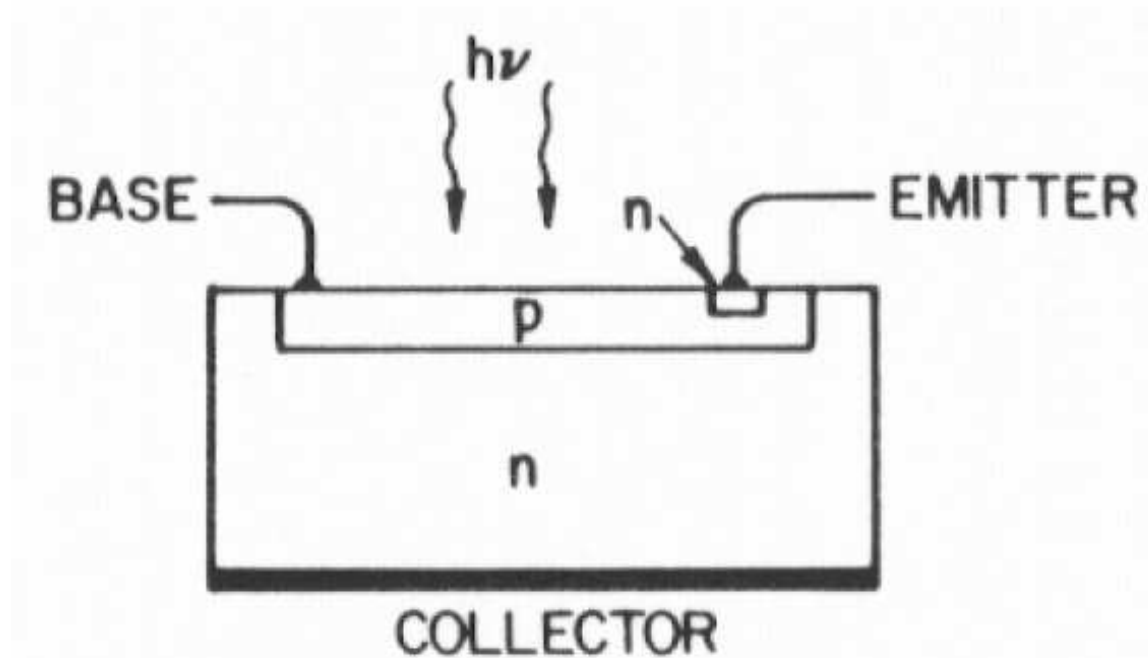
pin fotodióda

A zárófeszültség hatására létrejövő elektromos tér a teljes intrinsic tartományra kiterjed - jó kvantumhatásfok. A hatásfok és a válaszidő az adalékoltatlan réteg vastagságával szabályozható (ellentétes hatás).



A pin fotodióda szerkezete és működési elve

Fototranzisztor



nnp bipolaris tranzisztor, amelyben a bázis lebeg. A fotonok a bázisban abszorbeálódnak. A BC záróirányú elektromos tér átrántja a generálódó elektronokat a kollektorba. A visszamaradó lyukak megnövelik a bázis potenciálját, az EB átmenet jobban kinyit, megnő az emitter és kollektor áram. Erősítés: $\eta > 1$.

A fotodetektorokat keskeny sáv szélességre készítik. A felületüket antireflexiós bevonattal borítják a beeső fény visszaverődésének csökkentése végett. (Antireflexiós réteg: negyed hullámhossz vastagságú átlátszó réteg: az antireflexiós rétegről és a félvezető felületéről visszaverődő hullám ellentétes fázisban van, kioltják egymást.)

Világító (fényemittáló) diódák

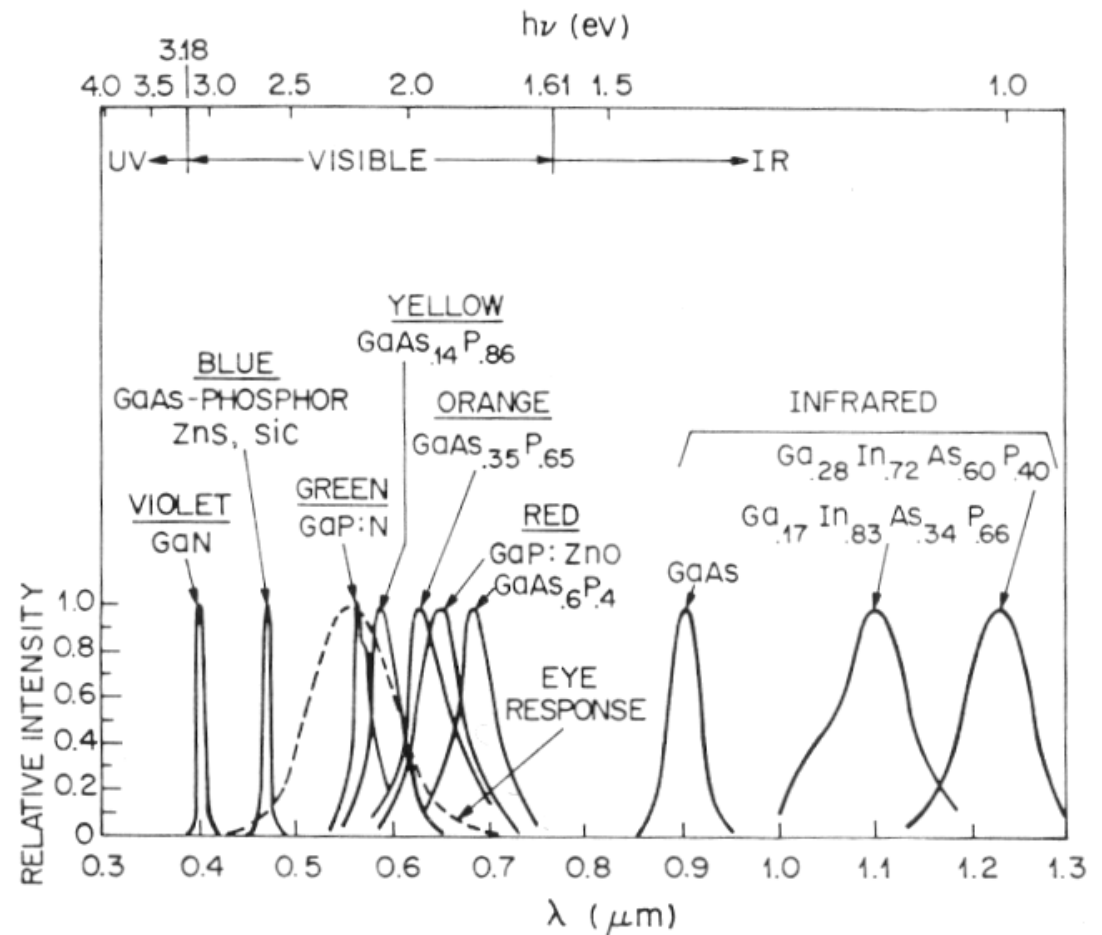
A LED-ek direkt tiltott sávú félvezetőkből készült pn diódák. Nyitóirányú előfeszítés esetén intenzív sugárzásos rekombináció megy végbe a p-n átmenetben, a dióda világít.

Látható spektrum: GaP, CdS (zöld), GaAsP (vörös-zöld az összetétel függvényében), GaInN (kék), GaN (ibolya).

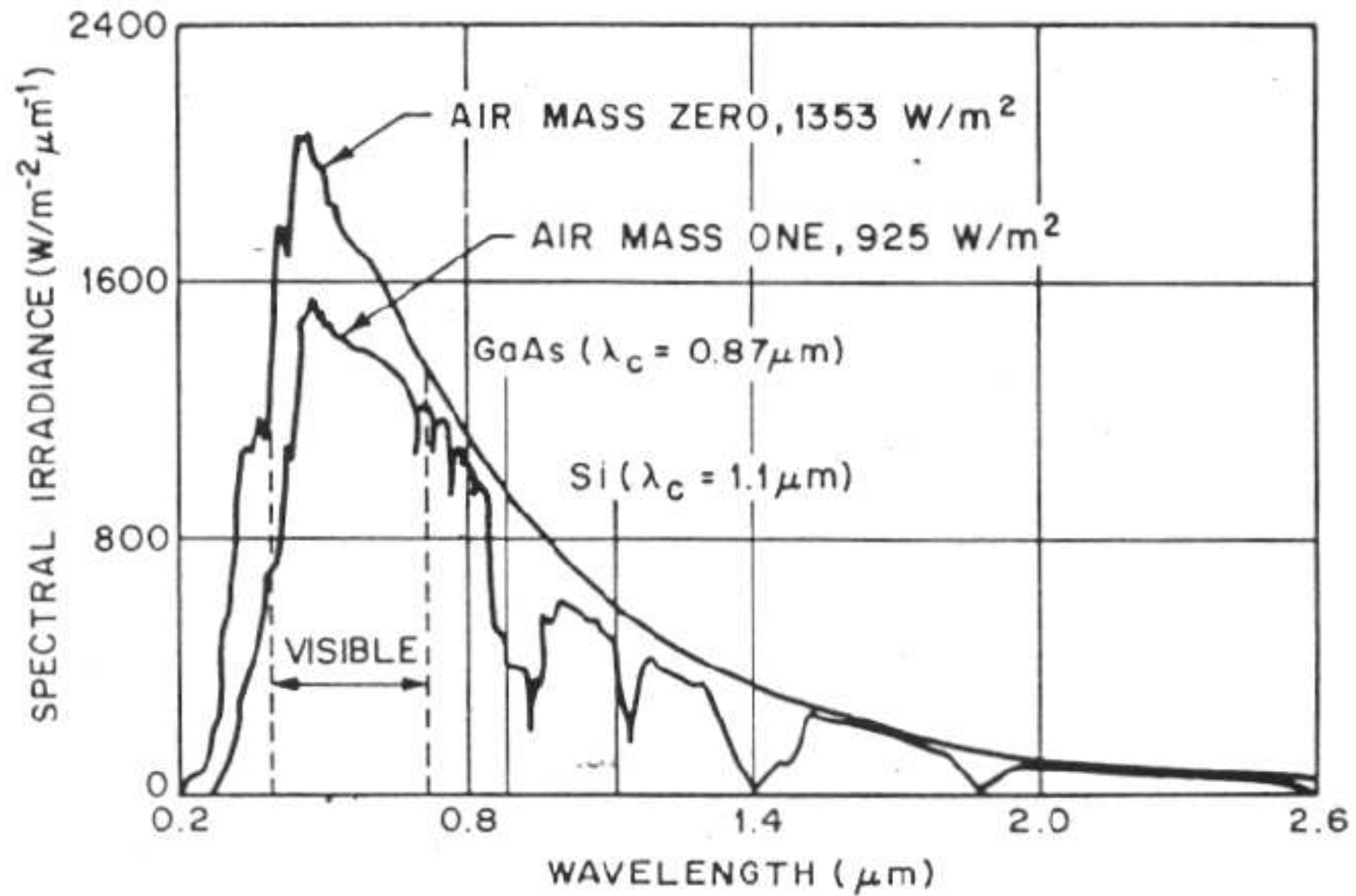
Infravörös spektrum: GaAs, GaInAsP, GaInSb.

Alkalmazás:
optikai csatolók,
optikai távközlés,
kijelzők,
képernyők, kivetítők
világítás.

Az izzólámpáénál jobb hatásfok.



Fehér fény - A Nap spektruma (a világűrben és a Föld felszínén)



A fehér LED spektruma?

Feladatok

- 1., A világító diódák spektrumának vizsgálata
- 2., A fotodetektorok spektrális relatív érzékenységeinek mérése
- 3., A fotodetektorok válaszidejének mérése

3. Hall effektus és mágneses tér mérése. Teljesítménymérés Hall-szondával.

Elméleti háttér

Hall effektus

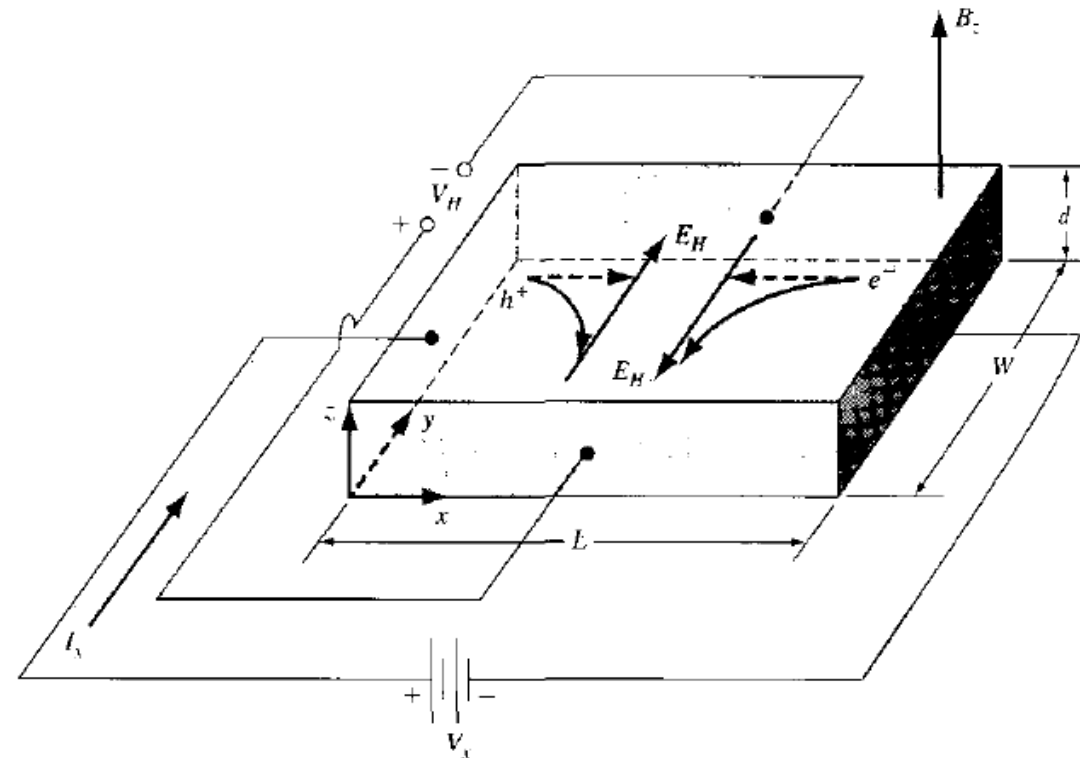
A Lorentz erő:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{V} \times \mathbf{B}$$

A mozgó töltéshordozókra a mozgás irányára merőleges erő hat, ami eltéríti őket. Ha n és p különböző, keresztirányban Hall feszültség lép fel. A keresztirányú elektromos tér:

$$E_y = R_H J_x B_z$$

ahol R_H a Hall állandó: $R_H = \frac{1}{qn}$ vagy $R_H = \frac{1}{qp}$ (n- vagy p-típusú félvezető), J_x az áramsűrűség.



A Hall szonda

Az érzékelő kimeneti jele az U_H Hall-feszültség, melynek polaritása attól függ, hogy p- vagy n-típusú a félvezető. Ilyen méréssel eldönthető tehát a félvezetőminta típusa. A Hall-feszültség nagysága arányos az áram és az indukció vektoriális szorzatával:

$$U_H = R_H(\mathbf{I} \times \mathbf{B})/d$$

ahol R_H - a Hall-állandó (mértékegysége cm^3/As).

$\mathbf{I}$ - a mintán átfolyó áram (húzóáram),

$\mathbf{B}$ - az indukció (T, Vs/m²).

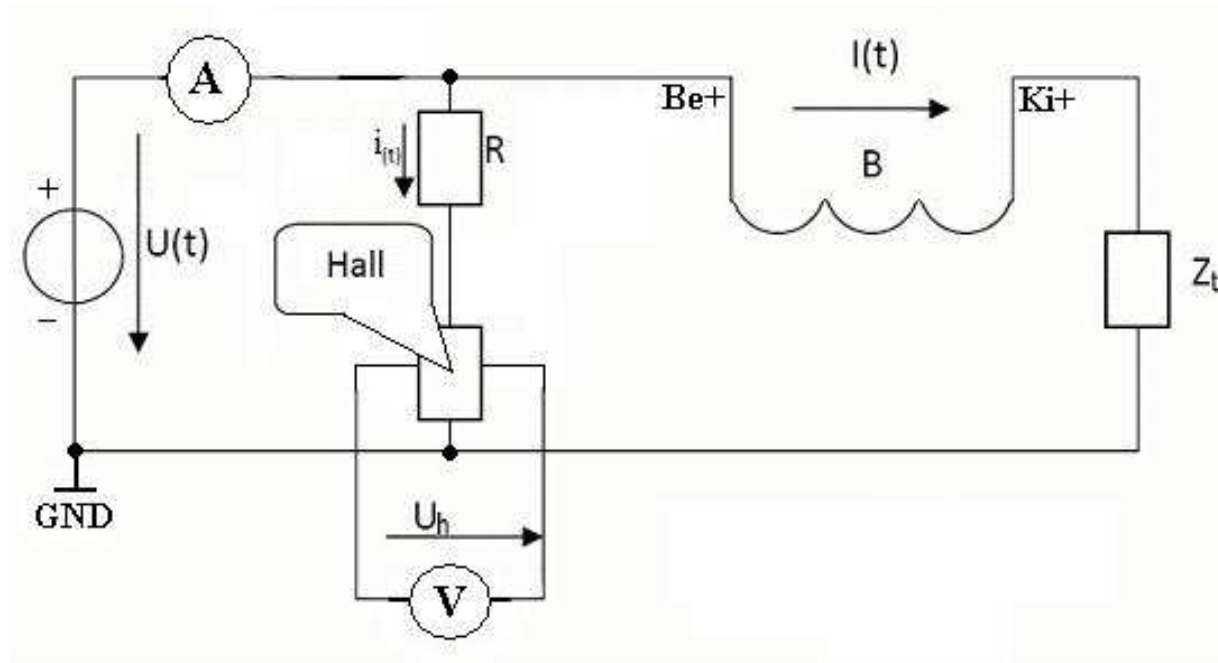
d - a minta vastagsága (cm).

Az eszköz kimenő jele a mágneses tér függvényében lineáris.

Mágneses tér érzékelésére és mérésére használják. A félvezető technikában a koncentrációt és a mozgékonyt határozzák meg vele.

A mágneses teret gyakran használják nem-mágneses jelek érzékelésére is (indirekt alkalmazás) mint pl. lineáris- vagy szöghelyzet, elmozdulás és sebesség érzékelés permanens mágnesekkel kontaktusmentes módon, vagy áramérzékelés a mágneses tere révén, stb.

Villamos teljesítménymérés Hall-szenzorral



Működési elv:

A Hall szonda az induktívításként jelölt tekercs belsejében helyezkedik el. A szondán átfolyó húzó áramot az R ellenállás értéke korlátozza, az áram arányos a Z_t terhelésen eső feszültséggel. A tekercsen átfolyó gerjesztő áram megegyezik a terhelésen átfolyó árammal, ami meghatározza a tekercsben létrehozott indukció nagyságát. Mivel a Hall-feszültség arányos a húzóáram és az indukció szorzatával, arányos lesz a terhelésen eső feszültség és a terhelésen átfolyó áram szorzatával, azaz a terhelésre jutó teljesítménnyel. A nem lineáris mágneses tulajdonságok miatt a Hall feszültség – teljesítmény jelleggörbe nem lesz lineáris.

Feladatok

- 1., A Hall szonda anyaga fajlagos ellenállásának meghatározása.
- 2., A Hall-feszültség hiszterézisének felvétele a gerjesztő áram függvényében.
- 3., A Hall szonda anyagparamétereinek a meghatározása.
- 4., A Hall-feszültség húzóáram függésének vizsgálata.
- 5., Villamos teljesítménymérés Hall-szenzorral.

4. Termisztoellenállás hőmérsékletfüggésének mérése

Elméleti háttér

Termisztorok

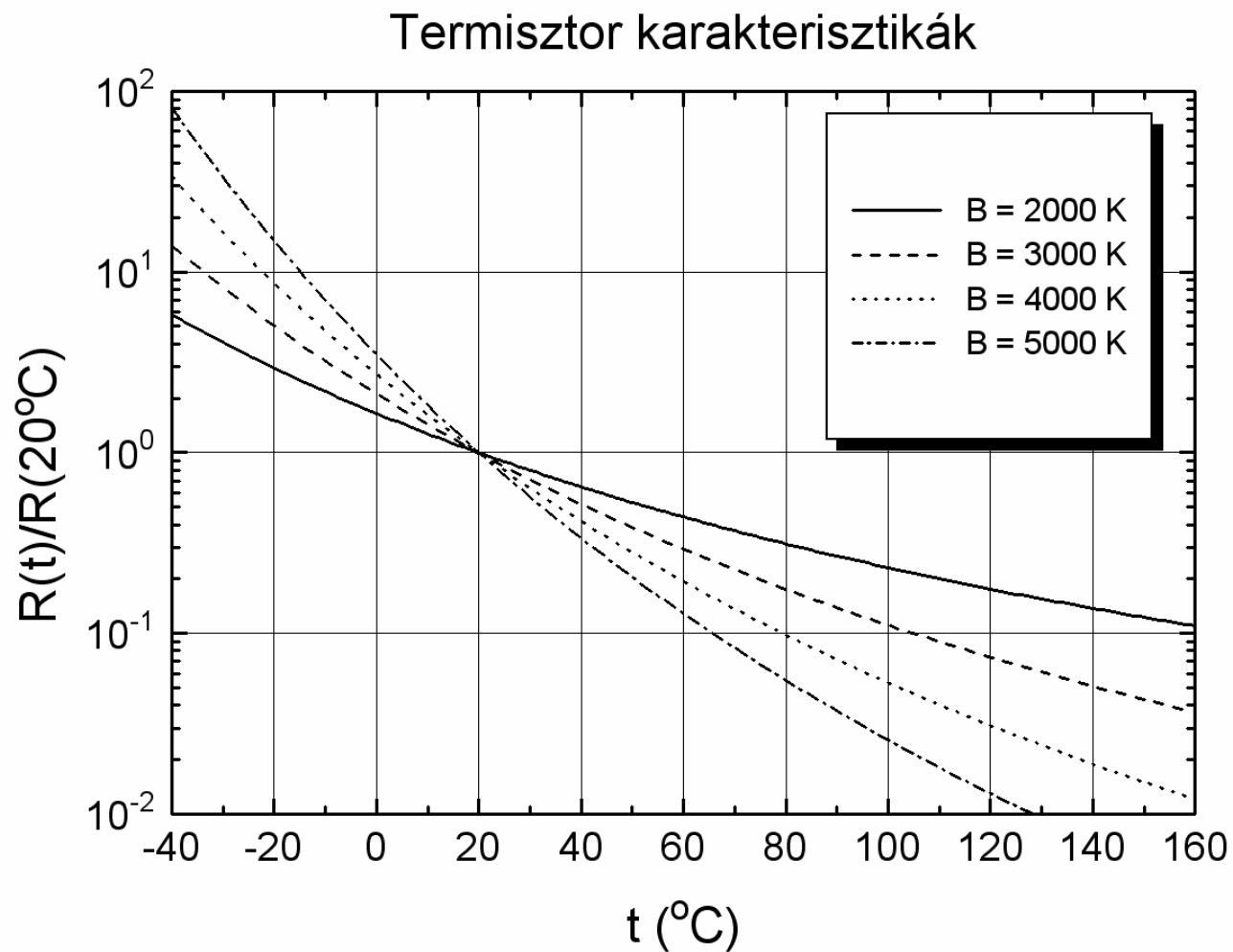
A termisztorok olyan ellenállások, amelyek hőmérsékleti tényezője (TK) a szokásos fémek illetve normál áramköri ellenállások hőmérsékleti tényezőjéhez képest nagyságrendekkel nagyobb. A termisztor ellenállás hőmérsékleti tényezője nagy és általában negatív, de van pozitív együtthatójú típus is.

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

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-, száltermisztorok tömege miniatúr változatban néhány mg is lehet.

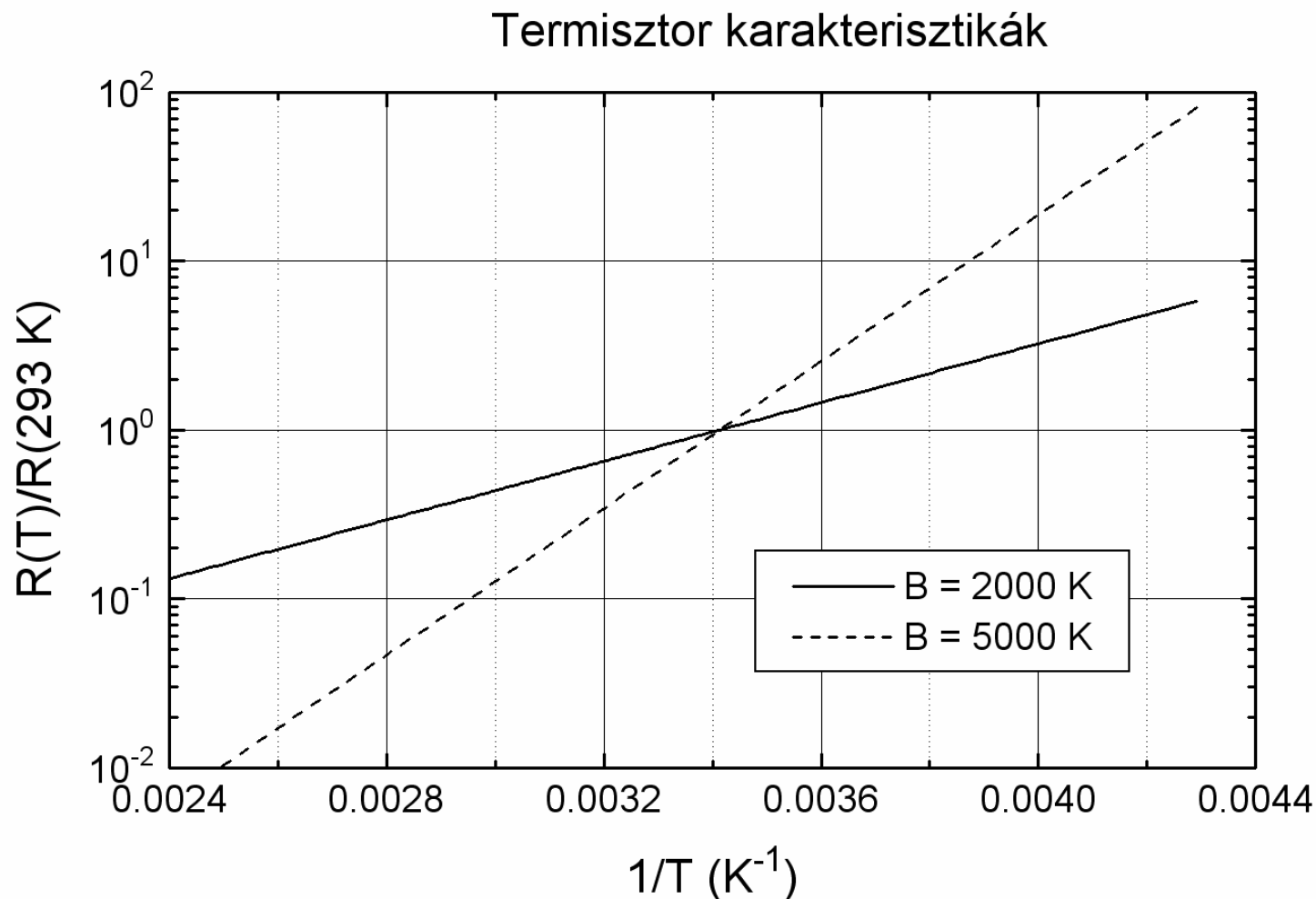
Termisztor karakterisztikák (1)



Az ellenállás hőmérséklet függése:

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

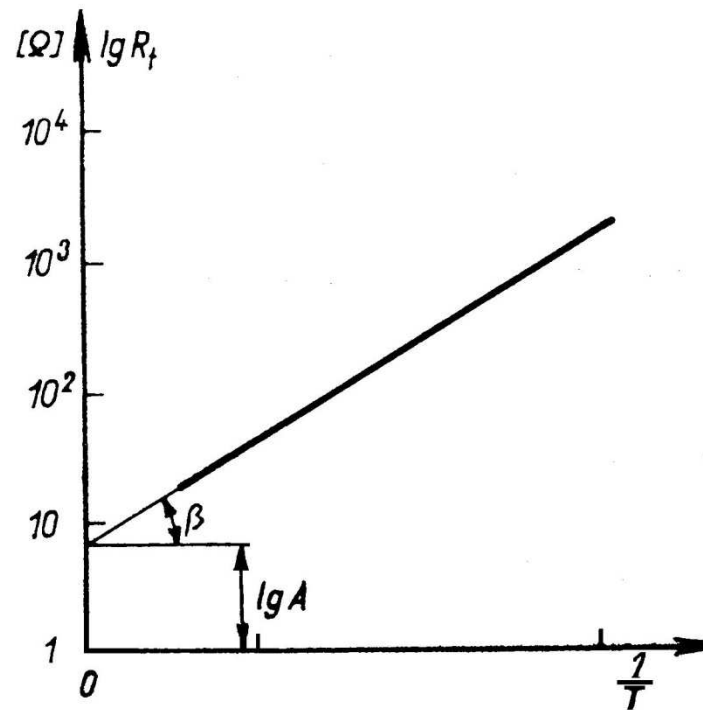
Termisztor karakterisztikák (2)



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

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

A paraméterek meghatározása mérések alapján



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

A – tengelymetszetből, B – meredekségből.

Feladatok

- 1., A termisztorok ellenállása hőmérséklet függésének mérése.
- 2., A hőmérsékletfüggést leíró paraméterek meghatározása a negatív tékájú termisztorok esetében.

Balesetvédelmi és tűzvédelmi szempontok (1)

A laborban követelmény a fegyelmezett viselkedés, tilos az étel- és italfogyasztás, dohányzás, nyílt láng használata.

Ne hintázzanak a székeken!

Tűzveszélyes vagy egyéb veszélyes anyagokat tilos bevinni a laborba.

A főkapcsolót, hosszabítókat, mérési összeállításokat és számítógépeket csak a felügyelő tanár engedélyével szabad bekapcsolni. A számítógépeket tilos szétszedni, a berendezést – beleértve a számítógépeket is – tilos rongálni.

A hálózati csatlakozó kihúzásánál és bedugásánál fokozott óvatosság szükséges.

A mérési összeállításokat átalakítani csak feszültségmentesítés után szabad.

Áramütés, baleset vagy tűz esetén azonnal értesíteni kell a portát. Tűz vagy testzárlat esetén azonnal ki kell kapcsolni a főkapcsolót. A főkapcsoló a bejárati ajtó mellett a belépés szerinti jobb oldalon található, a piros gombot kell megnyomni. Feszültség alatt lévő személyhez (testzárlat) tilos közvetlenül hozzáérni.

Balesetvédelmi és tűzvédelmi szempontok (2)

Áramütés esetén a sérült személyt minden esetben orvoshoz kell vinni, akkor is, ha látszólag nincs semmi baja.

Tűz esetén a sérült vagy magatehetetlen személyeket ki kell menteni és meg kell kezdeni a tűz oltását. Elektromos tüzet tilos vízzel oltani, poroltót vagy széndioxidos oltót kell használni. A poroltó a folyosón a kijárattól balra található.

Tűz vagy bombariadó esetén fegyelmezetten, de gyorsan kell elhagyni az épületet. Nem szabad megállni az épület közelében.

A számítógépek használatakor óránként 10 perc szünetet kell tartani.

Gázipalack csak a felügyelő tanár engedélyével nyitható ki vagy zárható el. Használatakor először a gázipalack szelepét nyitjuk meg, majd nagyon óvatosan a nyomáscsökkentő szelepet, és utoljára a nyomáscsökkentő utáni szelepet. Az elzárás ugyanebben a sorrendben történik.