



# MIKROELEKTRONIKAI ÉRZÉKELŐK I

Dr. Pődör Bálint

BMF KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet és  
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet

## 13. ELŐADÁS: MÁGNESES ÉRZÉKELŐK III

2008/2009 tanév 1. félév

1

## 13. ELŐADÁS:

1. Hall érzékelő alkalmazások.
2. Félvezető magnetorezisztor-érzékelők.
3. Magnetotranzistorok.
4. Ferromágneses alapú érzékelők: aniztróp mágneses ellenállásváltozási érzékelő (AMR), óriás mágneses ellenállásváltozási érzékelő (GMR)
5. Alkalmazások: ferromágneses tárgyak érzékelése, mágneses érzékelők gépkocsikban.

2

## LORENTZ ERŐ

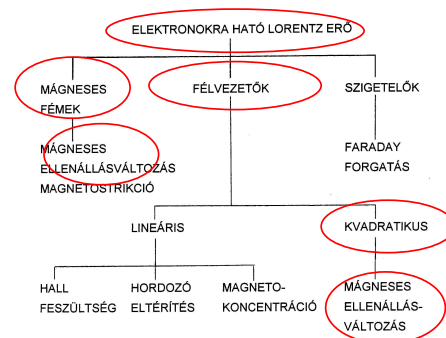
A legtöbb mágneses szenzor a Lorentz erőt használja ki

$$F = -q v \times B$$

mely az anyagban (fém, félvezető vagy szigetelő) mozgó elektronra hat. Bár a **H** mágneses térerő az érzékelendő mennyiség, a **B** mágneses indukció mely az erőhatást leírja, és ez határozza meg a szenzor válaszát.

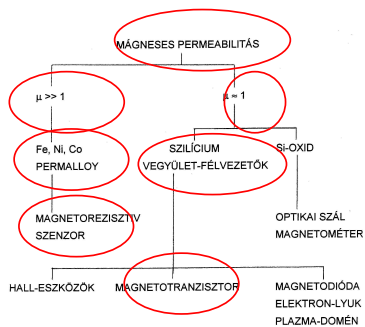
3

## LORENTZ ERŐ ÉS ÉRZÉKELÉS



4

## MÁGNESES SENZOR SZERKEZETEK



5

## HALL ÉRZÉKELŐK

Működése a félvezetőben a külső mágneses térben az áramot hordozó mozgó töltéshordozókra ható Lorentz erőn alapul. A lemez alakú, hosszú de kis vastagságú eszközben a lemezre merőleges irányú mágneses tér a hosszirányú áramot hordozó elektronokat vagy lyukakat keresztirányba eltéríti, így a domináns töltéshordozók előjelétől illetve a mágneses tér polaritásától függően a lemez két szélén ellentétes előjelű töltések halmozódnak fel, melyek egy keresztirányú feszültséget, az ún. Hall-feszültséget hoznak létre.

6

## HALL ÉRZÉKLEŐK

Az eszköz alapegyenlete

$$U_H = K \times I \times B$$

I - az eszközön átfolyó áram [A],  
 B - az alkalmazott mágneses indukció [Vs/m<sup>2</sup>],  
 U<sub>H</sub> - a Hall-feszültség [V],  
 K - érzékenységi állandó [m<sup>2</sup>/As], mely magában foglalja a geometriai, és a félvezető anyagi paramétereit.  
 Az eszköz kimenőjele a mágneses tér függvényében lineáris.

7

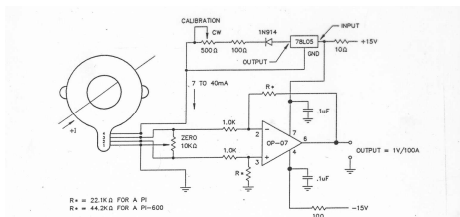
## HALL ÉRZÉKLEŐK

A Hall-generátor félvezető alapanyaga általában szilícium (Si), gallium-arsenid (GaAs) vagy indium-antimonid (InSb). A működési elvből következően a Hall-generátornál is célszerű nagy elektronmozgékonyosságú alapanyagot választani. Ezt a feltételt kielégíti a GaAs (az elektronmozgékonyossága kb. ötszöröse mint a szilíciumé) de méginkább az InSb. Ugyanakkor a Si technológiája kiforrottabb, könnyen integrálható az eszköz.

Alkalmazások: a magnetorezistorhoz hasonlóan különféle érzékelési feladatok, illetve kontaktus nélküli (más néven mágneses) potenciométerek.

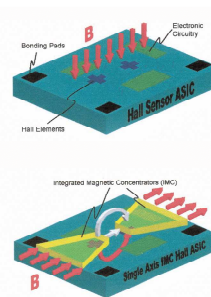
8

## HALL SZONDÁS ÁRAMMÉRŐ



Specifikációk (40 ma gerjesztőáram):  
 Mérés határ (FSD), dc vagy ac csúcs ±350 A (±600 A)  
 Kimenő jel (FSD) ±(150-380 mA)  
 ac sáv szélesség (3dB) dc-1 kHz  
 Érzékenység (0,5-1,1) mVA, ill. (0,25-0,55) mV/A

## INTEGRÁLT FLUXUSKONCENTRÁTOROS HALL ÉRZÉKELŐ



Hall-szenzor, a tokozásán belül egy integrált mágneses (fluxus) koncentrátorral (Integrated Magnetic Concentrator, IMC). Ez megnöveli az érzékelő érzékenységét, így közvetlenül lehet áramot mérni anélkül, hogy vasmagot alkalmaznánk. A fluxuskoncentrátor alkalmazásával az is elérhető, hogy megfelelő hídkapcsolásban a szenzor az IC lapkával párhuzamos mágneses térre legyen érzékeny.

10

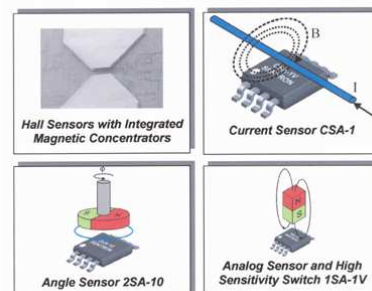
## IMC HALL SENZOR

Az IMC Hall-szenzor standard CMOS alkatrészekből, és egy nagy-permeabilitású, alacsony koercitív erejű ferromágneses rétegből áll. Ez a réteg szolgál a mágneses fluxus koncentrálására, továbbá tízszeres mágneses erősítést biztosít.

Mivel a ferromágneses réteget egy keskeny légrés szakítja meg, így ott a koncentrátor maga átalakítja a felületével párhuzamos mágneses teret rá merőlegessé. Két Hall-elem helyezkedik el a réshez közel, melyek kimenetei fordított, mivel a tér iránya ellentétes a két szenzorra. A kimeneteik összegződnek, így teszi az egész szenzort a felületére merőleges terekkel szemben érzéketlenné. Természetesen teljesen mindegy, hogy az IC alatt, vagy fölött halad a vezető, egyedül a távolság változását kell figyelembe venni.

11

## IMC HALL SENZOR ALKALMAZÁSOK



12

## FELVEZETŐ MAGNETOREZISZTOROK

Megfelelően kialakított vezetőkben (széles és vékony, hasábalakú eszköz), keresztirányú mágneses térbe helyezve, a töltéshordozókra (elektronok vagy lyukak) ható Lorentz erő hatására az árapályák elfordulnak, az áramút hossza és így az eszköz ellenállása megnő. Az ellenállásváltozás nagysága az eszköz geometriája, illetve a félvezető alapanyag megválasztásával optimalizálható. Az ellenállás relatív megváltozása

$$\Delta R/R \sim (\mu B)^2$$

( $\mu$  - mozgékonyság, B - mágneses indukció).

13

## FELVEZETŐ MAGNETOREZISZTOROK

A magnetorezisztor alapanyaga ezért nagy elektron-mozgékonyssággal rendelkező félvezető, legtöbbször indium-antimonid (InSb).

Az eszköz ellenállás-mágneses tér jelleggörbéje nagyjából négyzetes, és nem függ a mágneses tér polaritásától. A változás nagysága néhány tized Tesla mágneses indukciónál akár 100 % is lehet.

Alkalmazási területei: különféle érzékelési feladatok (helyzet, szögelfordulás, távolság, stb.) illetve kontaktusnélküli potenciométerek.

14

## InSb MAGNETOREZISZTOR

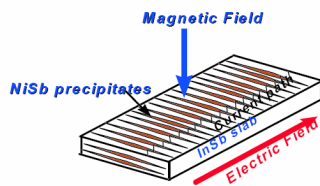


Figure 16. Schematic diagram of the current path in a slab of InSb with NiSb precipitates.

15

## InSb MAGNETOREZISZTOR

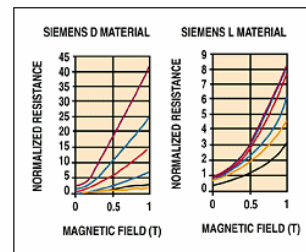


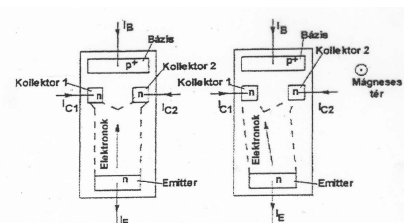
Figure 8. Resistance is plotted against field for an InSb magnetoresistor at temperatures of 20°C, 0°C, 25°C, 60°C, 90°C, and 120°C (top to bottom). Resistance is normalized to the resistance at zero field.

16

Magnetotranzisztorok: mágneses térre érzékeny tranzisztorok

17

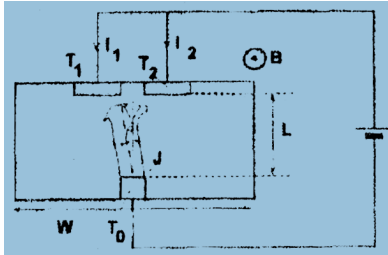
## BIPOLÁRIS MAGNETOTRANZISZTOR



Az eszköz működése a Lorentz erőn alapul. Merőleges mágneses térben a kollektoráramok közötti különbség a mágneses tér függvénye.

18

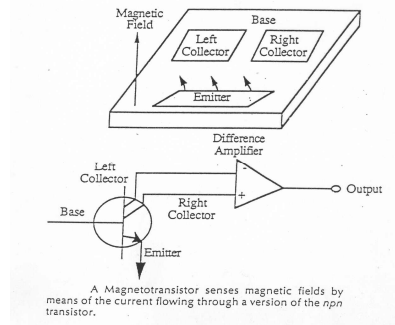
## MŰKÖDÉSI ELV



Kis eltérítési szögek esetén:  $I_1 \cdot I_2 = 2 j L \mu_H B$   
 $j$  az áramsűrűség,  $L$  az elektródák távolsága,  $B$  az indukció,  $\mu_H$  a Hall-mozgékonyosság

19

## BIPOLÁRIS MAGNETOTRANZISZTOR

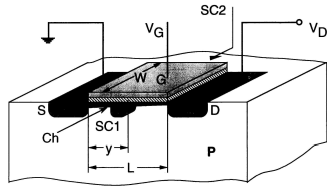


A Magnetotransistor senses magnetic fields by means of the current flowing through a version of the *nnp* transistor.

20

## MAGNETIC FIELD EFFECT TRANSISTOR: MAGFET

Hall-MAGFET szerkezeti vázlatja



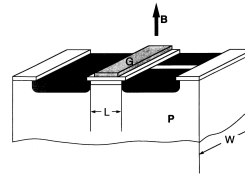
A Hall feszültség  $U_H = G I_D B / Q_{ch}$   
 $G$  – geometriai tényező  
 $Q_{ch}$  – felületi töltéssűrűség a vezető csatornában (= qnt)  
 Az érzékenység

$$S_I = G / Q_{ch} = G / C_G (U_G - U_T)$$

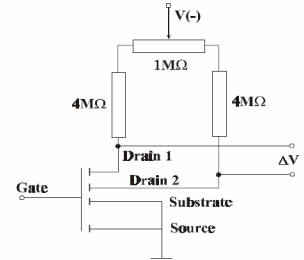
$C_G$  – egységnyi felületre vett gate-kapacitás

21

## MAGFET: OSZTOTT DRAIN



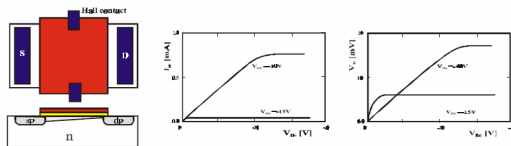
Split drain



22

## MOS HALL ÉRZÉKELŐ

MOS Hall plate



23

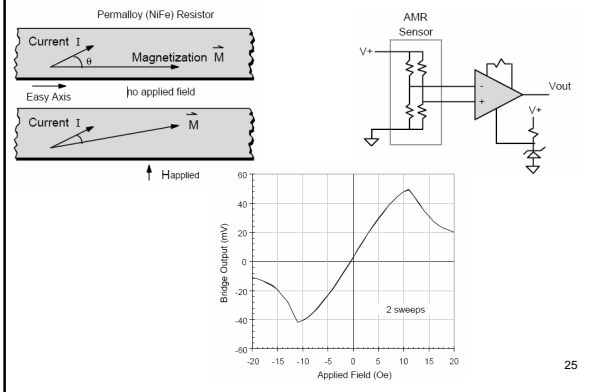
## FERROMÁGNESSES ANYAGÚ MAGNETOREZISZTOR

### Anisotropic Magnetoresistive (AMR)

William Thompson, later Lord Kelvin, first observed the magnetoresistive effect in ferromagnetic metals in 1856. This discovery had to wait over 100 years before thin film technology could make a practical sensor for application use. Magnetoresistive (MR) sensors come in a variety of shapes and form. The newest market growth for MR sensors is high density read heads for tape and disk drives. Other common applications include automotive wheel speed and crankshaft sensing, compass navigation, vehicle detection, current sensing, and many others.

24

## AMR ÉRZÉKELŐ



25

## GMR ÉRZÉKELŐ

**Giant Magnetoresistive (GMR) Devices.** Large magnetic field dependent changes in resistance are possible in thin film ferromagnet/nonmagnetic metallic multilayers. The phenomenon was first observed in France in 1988 [12], when changes in resistance with magnetic field of up to 70% were seen. Compared to the small percent change in resistance observed in anisotropic magnetoresistance, this phenomenon was truly giant magnetoresistance.

The resistance of two thin ferromagnetic layers separated by a thin nonmagnetic conducting layer can be altered by changing the moments of the ferromagnetic layers from parallel to antiparallel, or parallel but in the opposite direction. Layers with parallel magnetic moments will have less scattering at the interfaces, longer mean free paths, and lower resistance. Layers with antiparallel magnetic moments will have more scattering at the interfaces, shorter mean free paths, and higher resistance (see Figure 11). For spin-dependent scattering to be a significant part of the total resistance, the layers must be thinner than the mean free path of electrons in the bulk material. For many ferromagnets the mean free path is tens of nanometers, so the layers themselves must each be typically  $<10$  nm (100 Å). It is therefore not surprising that GMR was only recently observed with the development of thin film deposition systems.

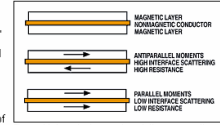


Figure 11. In a giant magnetoresistive sensor, the resistance of two thin ferromagnetic layers separated by a thin nonmagnetic conducting layer can be altered by changing the moments of the ferromagnetic layers from parallel to antiparallel.

26

## GMR ÉRZÉKELŐ

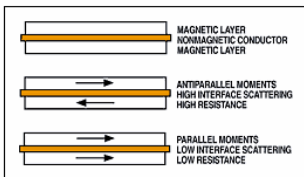


Figure 11. In a giant magnetoresistive sensor, the resistance of two thin ferromagnetic layers separated by a thin nonmagnetic conducting layer can be altered by changing the moments of the ferromagnetic layers from parallel to antiparallel.

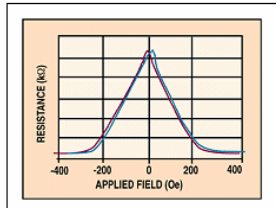


Figure 13. Resistance is plotted against applied field for a 2 nm wide stripe of antiferromagnetically coupled multilayer GMR material. GMR = 14%.

29

## GMR ÉRZÉKELŐ

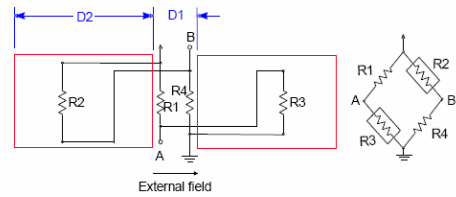


Figure 23. Configuration of GMR resistors in a Wheatstone bridge sensor. Flux concentrators are shown: D1 is the lengths of the gap between the flux concentrators, and D2 is the length of one flux concentrator.

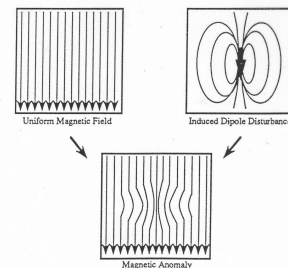
28

**Alkalmazás:** ferromágneses tárgyak detektálása a Föld mágneses terében általuk okozott mágneses anomália érzékelése révén.

Pl. gépkocsi forgalom, vasúti forgalom, szabad/foglalt helyek garázsban, stb.

29

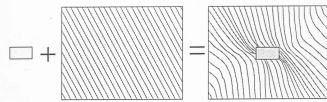
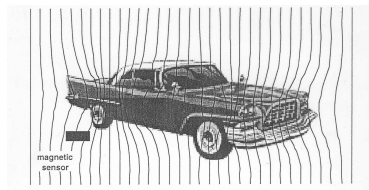
## MÁGNESES ANOMÁLIA



Ferromágneses test által okozott perturbáció mágneses térben: egy mágneses dipólus terének és egy homogén mágneses tér szuperpozíciója

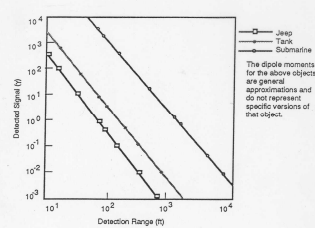
30

## MÁGNESES ANOMÁLIA ÉRZÉKLEÉSE



Ferrous Object + Uniform Magnetic Field = Field Disturbance

## FERROMÁGNESES TÁRGY ÉRZÉKELÉSE



Különböző tárgyak (gépkocsi, tank, tengeralattjáró) által keltett mágneses anomália a detektálási távolság függvényében.  $1 \gamma = 1 \text{ nT}$ .

A Föld tere  $30\text{-}60 \mu\text{T}$  ( $30\text{-}60$ ) $\times 10^4 \gamma$ , lassú változása  $-0,1 \gamma/\text{nap}$ .  $0,01 \gamma$  érzékenységnél (ekkor ki kell szűrni a rövididejű geomágneses fluktuációkat) a detektálási távolságok: jeep – 100-200 m, tank – kb. 300 m, tengeralattjáró 3-4 km.

32

VÉGE