

第11章 磁敏传感器



11.1 磁敏电阻器

1. 磁阻效应

若给通以电流的金属或半导体材料的薄片加以与电流垂直或平行的外磁场，则其电阻值就增加。称此种现象为磁致电阻变化效应，简称为磁阻效应。

在外加磁场作用下，某些载流子受到的洛伦兹力比霍尔电场作用力大时，它的运动轨迹就偏向洛伦兹力的方向；这些载流子从一个电极流到另一个电极所通过的路径就要比无磁场时的路径长些，因此增加了电阻率。

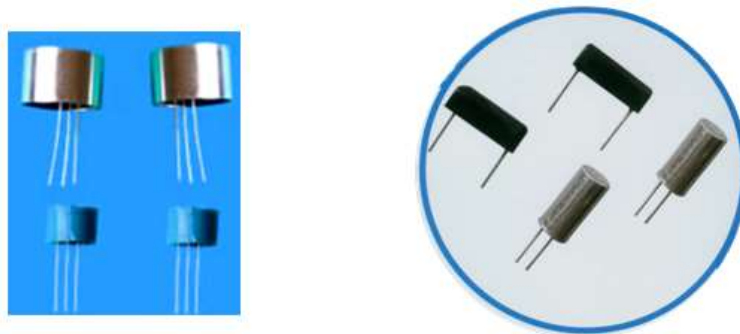


图11-1 磁敏元件



当温度恒定时，在磁场内，磁阻与磁感应强度**B**的平方成正比。如果器件只是在电子参与导电的简单情况下，理论推导出来的磁阻效应方程为

$$\rho_B = \rho_0(1 + 0.273 \mu^2 B^2)$$

当电阻率变化为 $\Delta \rho = \rho_B - \rho_0$ 时，电阻率的相对变化为：

$$\Delta \rho / \rho_0 = 0.273 \mu^2 B^2 = K \mu^2 B^2$$

当材料中仅存在一种载流子时磁阻效应几乎可以忽略，此时霍尔效应更为强烈。若在电子和空穴都存在的材料（如InSb）中，则磁阻效应很强。磁阻效应还与磁敏电阻的形状、尺寸密切相关。

若考虑其形状的影响。电阻率的相对变化与磁感应强度和迁移率的关系可表达为

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \approx K(\mu B)^2 \left[1 - f\left(\frac{L}{b}\right) \right]$$

长方形磁阻器件只有在**L**(长度)**<****b**（宽度）的条件下，才表现出较高的灵敏度。把**L<b**的扁平器件串联起来，就会得到零磁场电阻值较大、灵敏度较高的磁阻器件。



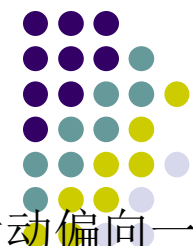


图11-2 (a) 为器件长宽比 $l/w \gg 1$ 的纵长方形片，由于电子运动偏向一侧，必然产生霍尔效应，当霍尔电场 E_H 对电子施加的电场力 f_E 和磁场对电子施加的洛伦兹力 f_L 平衡时，电子运动轨迹就不再继续偏移，所以片内中段电子运动方向和长度 l 的方向平行，只有两端才是倾斜的。这种情况电子运动路径增加得并不显著，电阻增加得也不多。

图11-2(b)是在 $L > b$ 长方形磁阻材料上面制作许多平行等间距的金属条（即短路栅格），以短路霍尔电势，这种栅格磁阻器件就相当于许多扁条状磁阻串联。所以栅格磁阻器件既增加了零磁场电阻值、又提高了磁阻器件的灵敏度。实验表明，对于InSb材料，当 $B=1T$ 时，电阻可增大10倍(因为来不及形成较大的霍尔电场 E_H)。

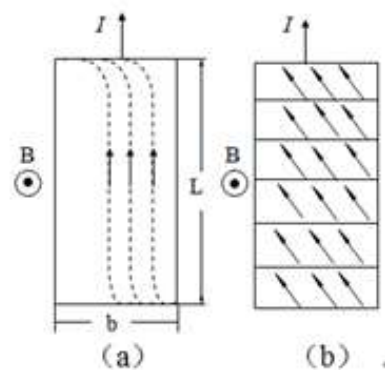


图11-2 几何磁阻效应

2. 磁敏电阻的结构

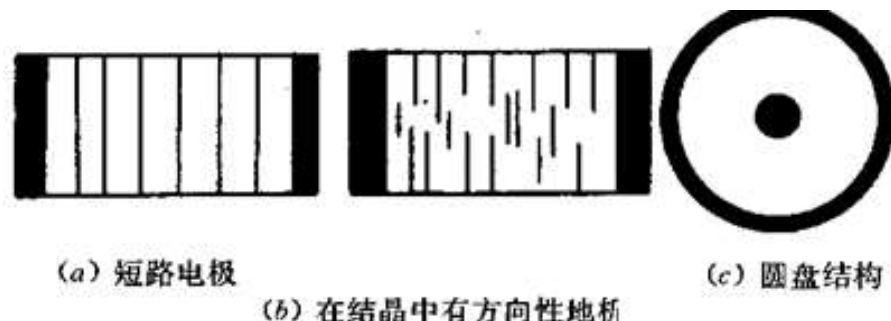


图11-3 磁敏电阻的结构

由上图可见，圆盘形样品的磁阻最大。磁敏电阻的灵敏度一般是非线性的，且受温度影响较大。首先了解如图11-5所示的持性曲线。然后，确定温度补偿方案。磁阻元件的电阻值与磁场的极性无关，它只随磁场强度的增加而增加磁阻元件的温度特性不好，在应用时，一般都要设计温度补偿电路。



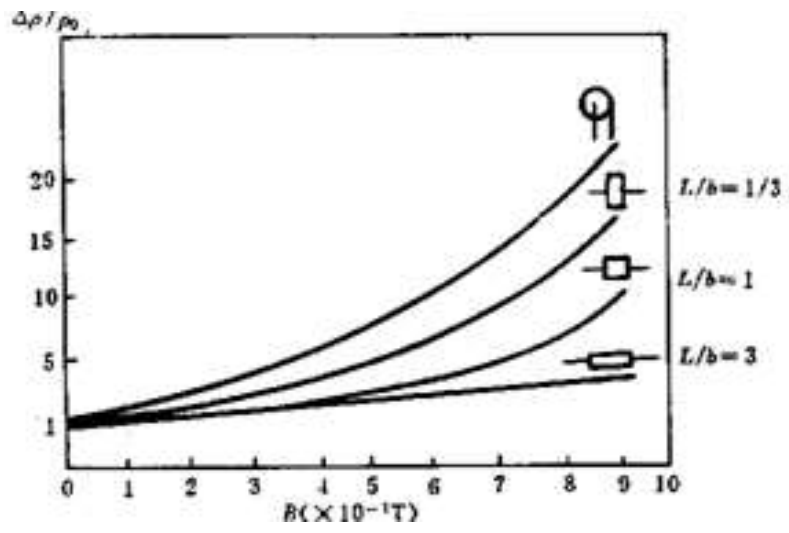
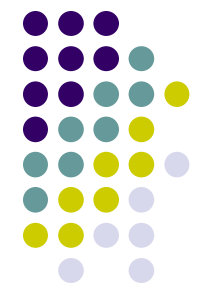


图11-4 磁阻和磁场感应强度的关系

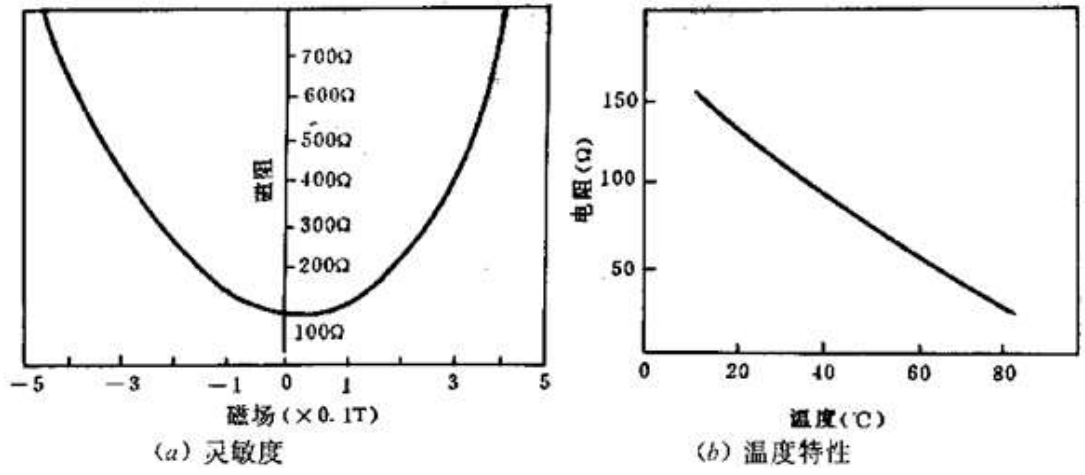


图11-5 磁敏电阻的特性



11.2磁敏电阻器的应用

1. 作控制元件
2. 作计量元件
3. 作开关电路
4. 作运算器
5. 作模拟元件

6. 铟化锑(InSb)磁阻传感器在磁性油墨鉴伪点钞机中的应用

InSb伪币检测传感器安装在光磁电伪币检测机上，其工作过程和电路原理图如图11-6所示。

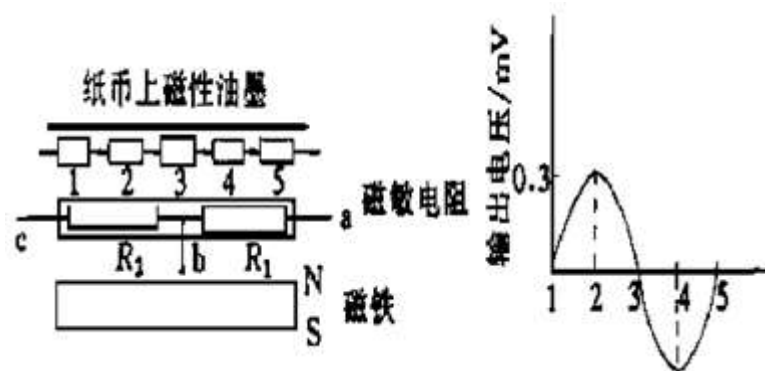


图11-6 InSb伪币检测传感器工作原理与输出特性



当纸币上的磁性油墨没有进入位置1时，设输出变化为零，如果进入位置1，由于R2电阻增大，则输出变化为0.3mV左右；如果进入位置3时，则仍为0；如果进入位置4，则为-0.3mV，如果进入位置5，则仍为0，就这样产生输出特性，经过放大、比较、脉冲展宽、显示，就能检测伪币，达到理想效果如图11-7所示。

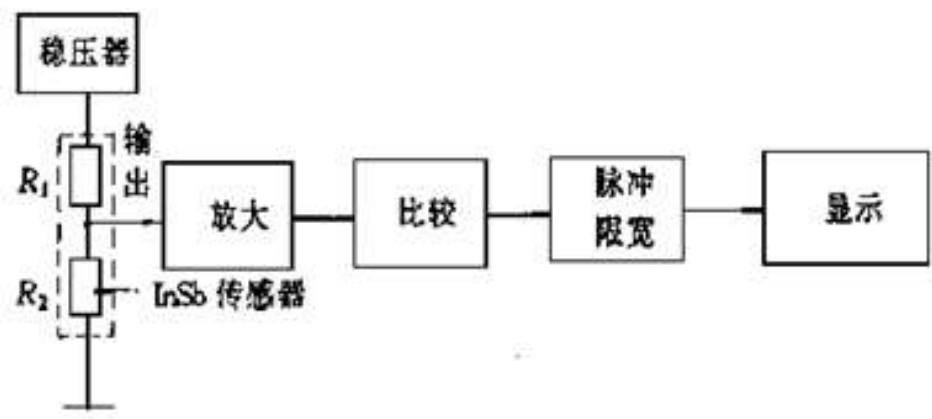


图11-7 InSb传感器电路工作原理

半导体InSb磁敏无接触电位器是基于半导体InSb磁阻效应原理，由半导体InSb磁敏电阻元件和偏置磁钢组成；其结构与普通电位器相似。由于无电刷接触，故称无接触电位器。

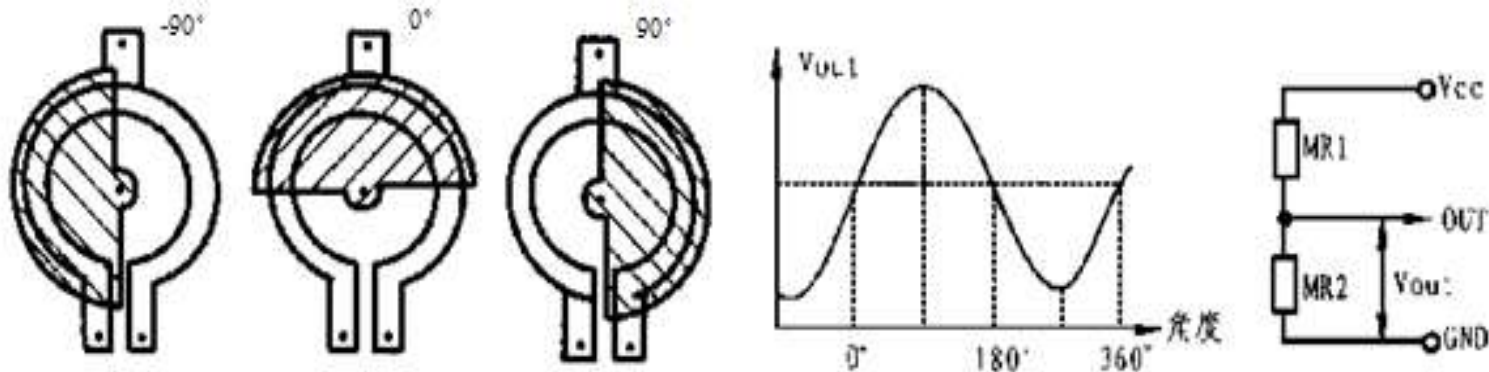
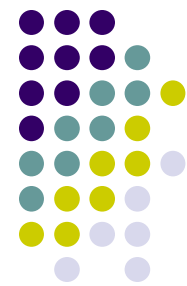


图11-8 磁敏无接触电位器工作原理示图和输出特性曲线



11.3 磁敏二极管和磁敏三极管

1. 磁敏二极管的结构和工作原理

1) 结构和工作原理

磁敏二极管的P型和N型电极由高阻材料制成，在P、N之间有一个较长的本征区I，本征区I的一面磨成光滑的低复合表面(为l区)，另一面打毛，设置成高复合区(为r区)，其目的是因为电子—空穴对易于在粗糙表面复合而消失。当通过正向电流后就会在P、I、N结之间形成电流，如图11-9所示。由此可知，磁敏二极管是PIN型的。

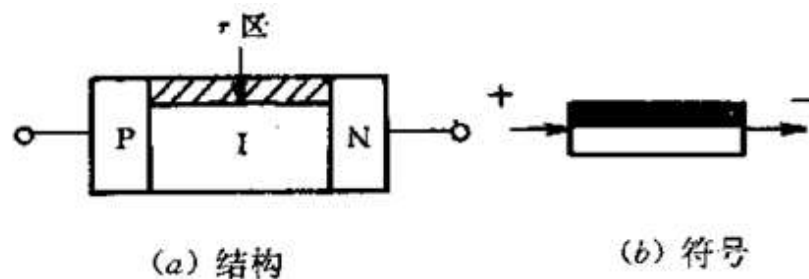


图11-9 磁敏二极管的结构示意图



当磁敏二极管受到如图11-10 (b)所示的外界磁场 H_+ (正向磁场)作用时, 则电子和空穴受到洛仑兹力的作用而向r区偏转, 由于r区的电子和空穴复合速度比光滑面I区快, 空穴和电子一旦复合就失去导电作用, 意味着基区的等效电阻增大, 电流减小。磁场强度越强, 电子和空穴受到洛仑兹力就越大, 单位时间内进入由于r区而复合的电子和空穴数量就越多, 载流子减少, 外电路的电流越小。

当磁敏二极管受到如图11-10(c)所示的外界磁场 H_- (反向磁场)作用时, 则电子和空穴受到洛仑兹力作用而向I区偏移, 由于电子、空穴复合率明显变小, i区的等效电阻减小, 则外电路的电流变大。

若在磁敏二极管上加反向偏压(P区的负), 则仅有很微小的电流流过, 并且几乎与磁场无关。

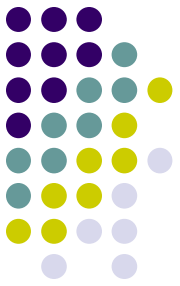
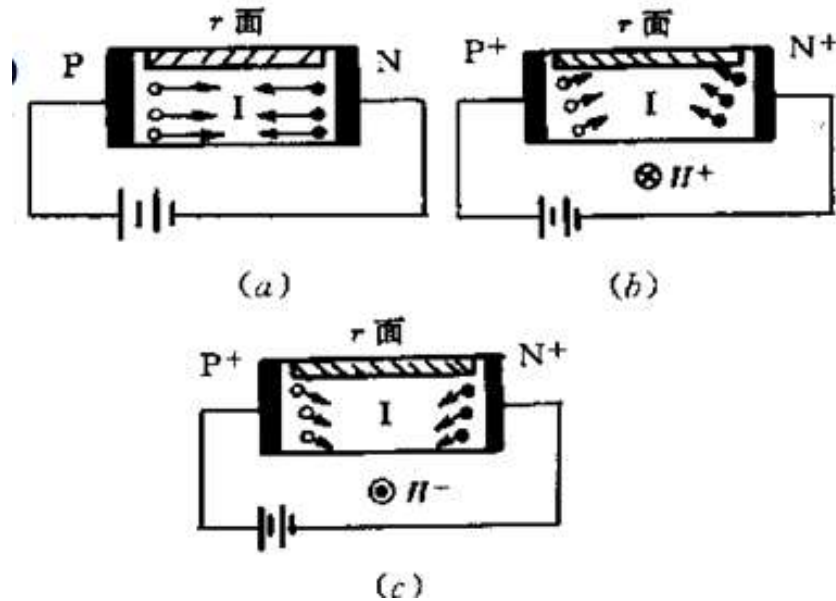
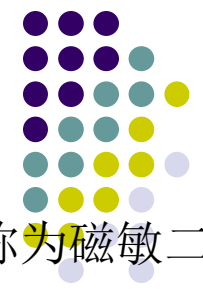


图11-10 磁敏二极管工作原理构示意图

总而言之，得出以下结论：随着磁场大小和方向的变化，可产生正负输出电压的变化、特别是在较弱的磁场作用下，可获得较大输出电压。若r区和r区之外的复合能力之差越大，那么磁敏二极管的灵敏度就越高。



2) 磁敏二极管的主要特性

(1) 磁电特性

在给定条件下，磁敏二极管输出的电压变化与外加磁场的关系称为磁敏二极管的磁电特性，如图11-11所示。

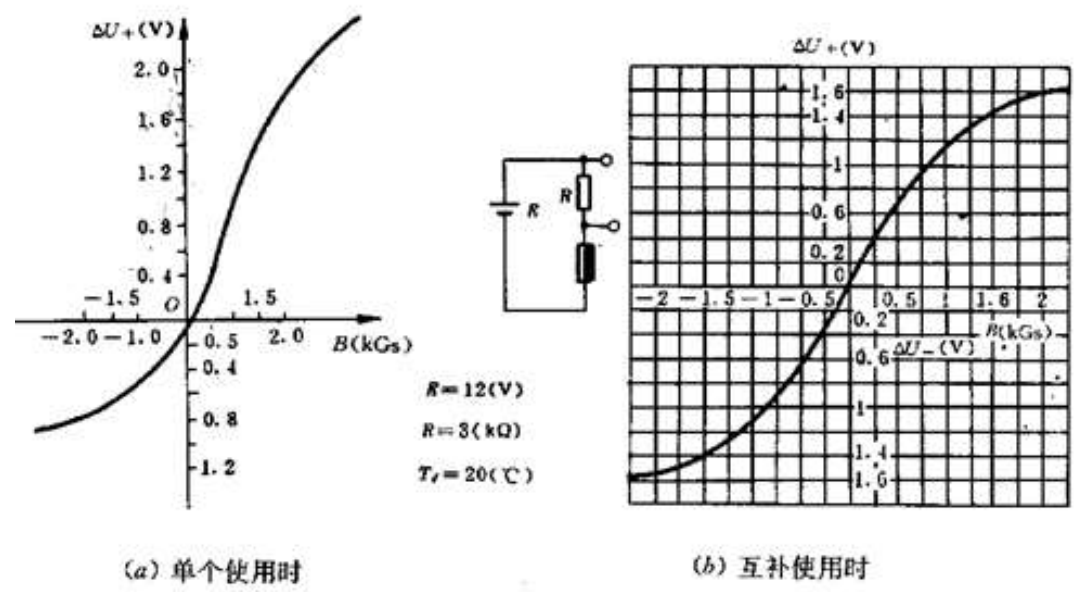
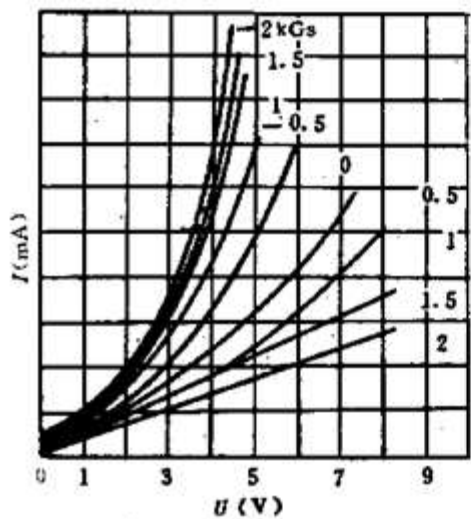


图11-11 磁电特性

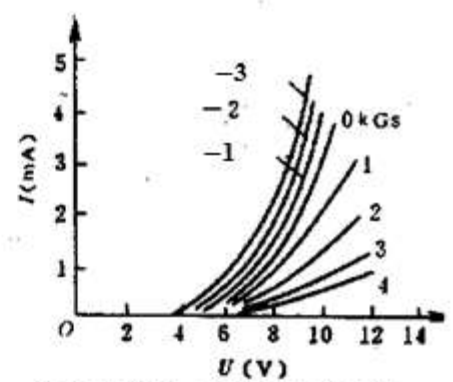


(2) 伏安特性

磁敏二极管正向偏压和通过电流的关系被称为磁敏二极管的伏安特性，如图所示。从图可知，磁敏二极管在不同磁场强度 H 下的作用，其伏安特性将是不一样的。图11-12(a)为锗磁敏二极管的伏安特性；(b)为硅磁敏二极管的伏安特性，表示在较宽的偏压范围内，电流变化比较平坦；当外加偏压增加到一定值后，电流迅速增加、伏安特性曲线上升很快，表现出其动态电阻比较小。

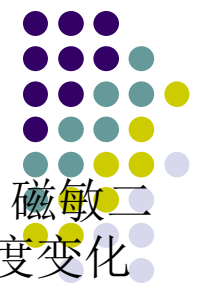


(a) 锗磁敏二极管的伏安特性



(b) 硅磁敏二极管的伏安特性

图11-12 磁敏二极管的伏安特性



(3) 温度特性

一般情况下，磁敏二极管受温度影响较大，即在一定测试条件下，磁敏二极管的输出电压变化量 ΔU ，或者在无磁场作用时，中点电压 U_m 随温度变化较大，如图11-13所示。因此，在实际使用时，必须对其进行温度补偿。

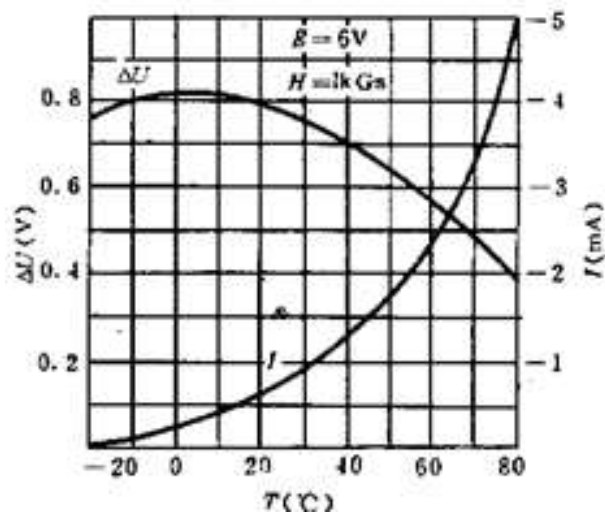


图11-13 单个使用时磁敏二极管温度特性



2. 磁敏三极管的结构和工作原理

1) 磁敏三极管的结构

在弱P型或弱N型本征半导体上用合金法或扩散法形成发射极、基极和集电极。其最大特点是基区较长，基区结构类似磁敏二极管，也有高复合速率的r区和本征I区，如图11-16所示。长基区分为运输基区和复合基区。

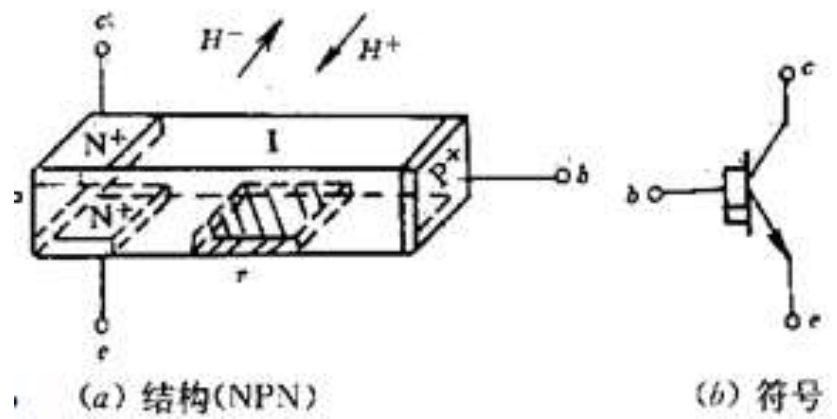


图11-16 磁敏三极管的结构与图形符号



2) 磁敏三极管的工作原理

当磁敏三极管未受到磁场作用时，由于基区宽度大于载流子有效扩散长度，大部分载流子通过e-l-b，形成基极电流；少数载流子输入到c极，因而基极电流大于集电极电流。当受到正向磁场(H^+)作用时，由于磁场的作用，洛仑兹力使载流子向复合区偏转，导致集电极电流显著下降；当反向磁场(H^-)作用时，载流子向集电极一侧偏转，使集电极电流增大。由此可知，磁敏三极管在正、反向磁场作用下，其集电极电流出现明显变化，如图11-17和图11-18所示。

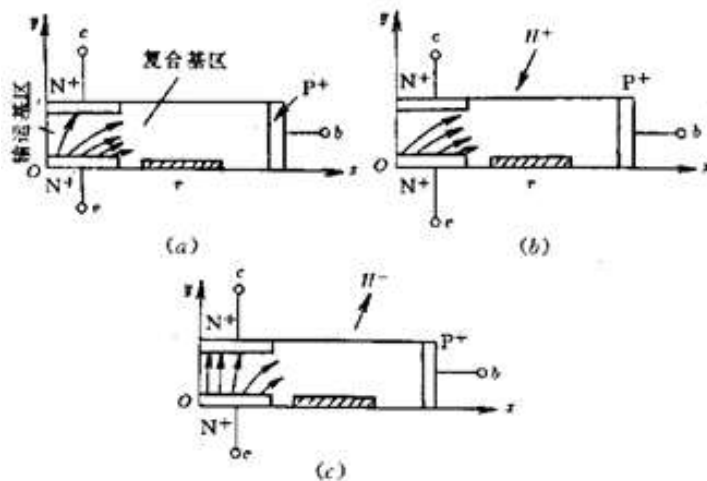


图11-17 磁敏三极管工作原理

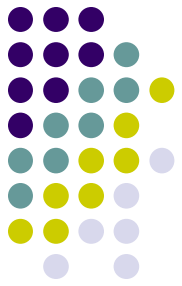
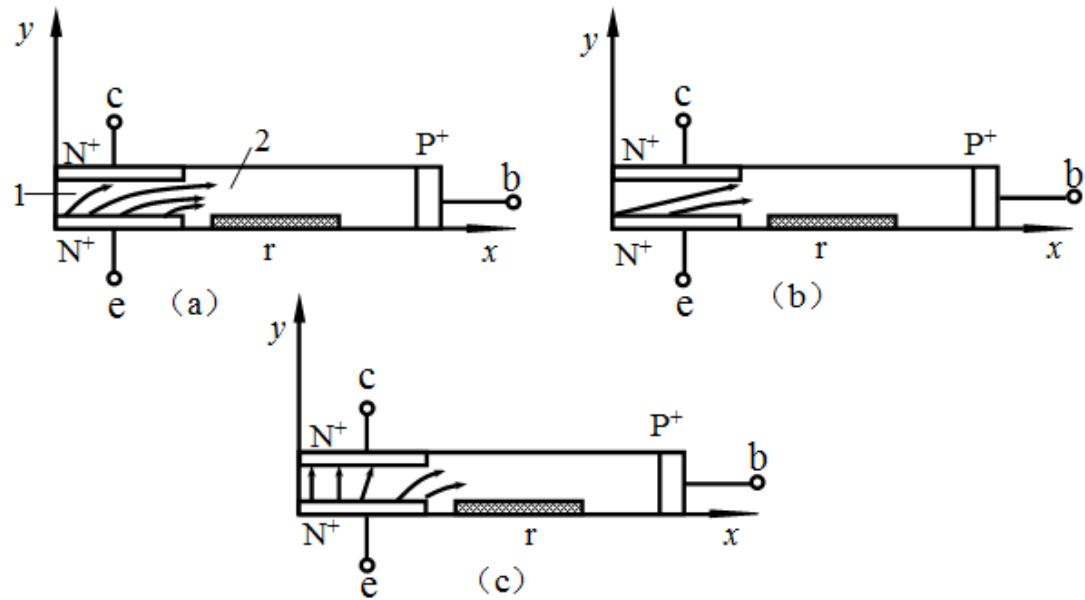


图11-18 磁敏三极管工作原理示意图

3) 磁敏三极管的主要特性

(1) 磁电特性

磁敏三极管的磁电特性是应用的基础，是主要特性之一。磁敏三极管的磁电特性，在弱磁场作用下，曲线接近一条直线，如图11-19所示。

(2) 伏安特性

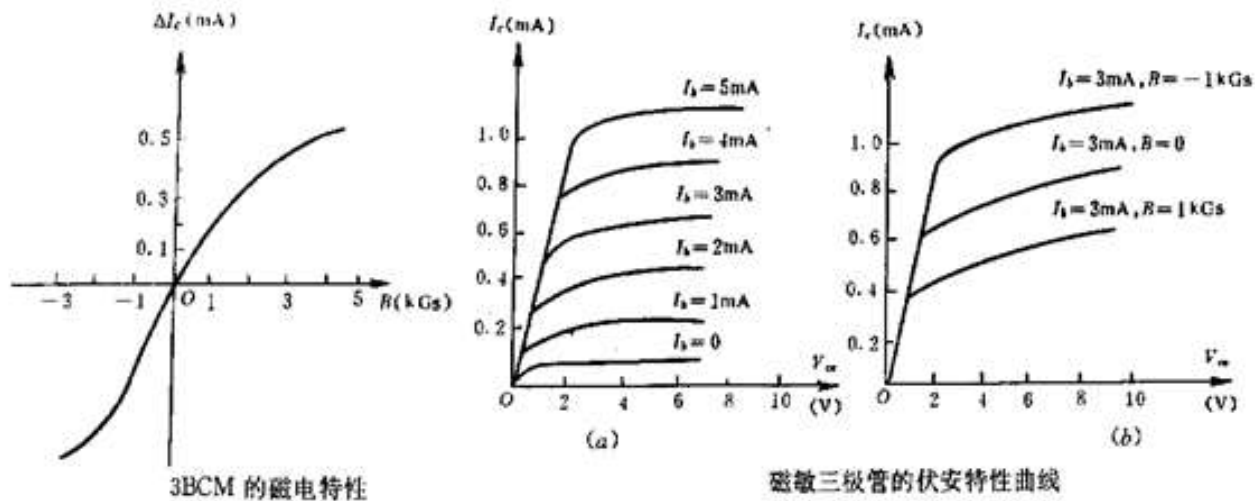


图11-19 磁敏三极管的特性曲线

(3) 温度特性及其补偿

磁敏三极管对温度比较敏感，实际使用时必须采用适当的方法进行温度补偿。具体补偿电路如图 11-20所示。当温度升高时，BG1管集电极电流 I_c 增加，导致BGm管的集电极电流也增加，从而补偿了BGm管因温度升高而导致 I_c 的下降。

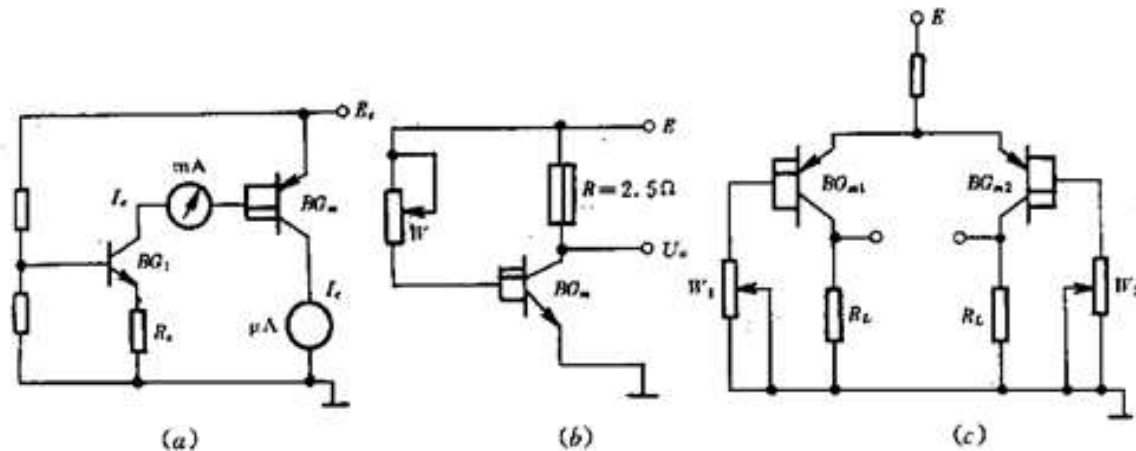


图11-20 磁敏三极管的温度补偿电路

3. 磁敏二极管和磁敏三极管的应用

由于磁敏管有效高的磁灵敏度，体积和功耗都很小，且能识别磁极性等优点，是一种新型半导体磁敏元件，它有着广泛的应用前景。





磁敏二极管漏磁探伤仪是利用磁敏二极管可以检测弱磁场变化的特性而设计的。原理如图11-21所示。漏磁探伤仪由激励线圈2、铁芯3、放大器4、磁敏二极管探头5等部分构成。将待测物1 (如钢棒)置于铁芯之下，并使之不断转动，在铁芯、线圈激磁后，钢棒被磁化。若待测钢棒没有损伤的部分在铁芯之下时，铁芯和钢棒被磁化部分构成闭合磁路，激励线圈感应的磁通为 Φ ，此时无泄漏磁通，磁场二极管探头没有信号输出。若钢棒上的裂纹旋至铁芯下，裂纹处的泄漏磁通作用于探头，探头将泄漏磁通量转换成电压信号，经放大器放大输出，根据指示仪表的示值可以得知待测铁棒中的缺陷。

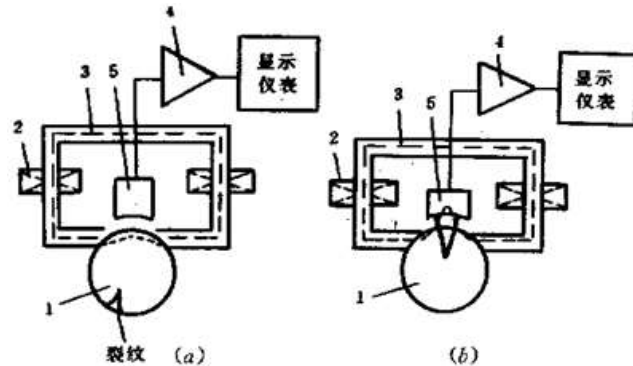


图11-21 磁敏二极管漏磁探伤仪工作原理

11.4磁敏传感器



根据电磁感应定律，当**N**匝线圈在恒定磁场内运动时，设穿过线圈的磁通为 Φ ，则线圈内会产生感应电动势**e**为

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

可见，线圈中感应电动势的大小，跟线圈的匝数和穿过线圈的磁通变化率有关。一般情况下，匝数是确定的；而磁通变化率与磁场强度**B**、磁路磁阻**R_m**、线圈的运动速度**v**有关，故只要改变其中一个参数，都会改变线圈中的感应电动势。



11.4.1 动圈式磁电传感器

动圈式磁电传感器又可分为线速度型与角速度型。图11-22表示线速度型传感器工作原理。在永久磁铁产生的直流磁场内，放置一个可动线圈，当线圈沿磁场方向做直线运动时，线圈相对于磁场的运动速度为，它所产生的感应电动势为

$$e = -NBlv$$

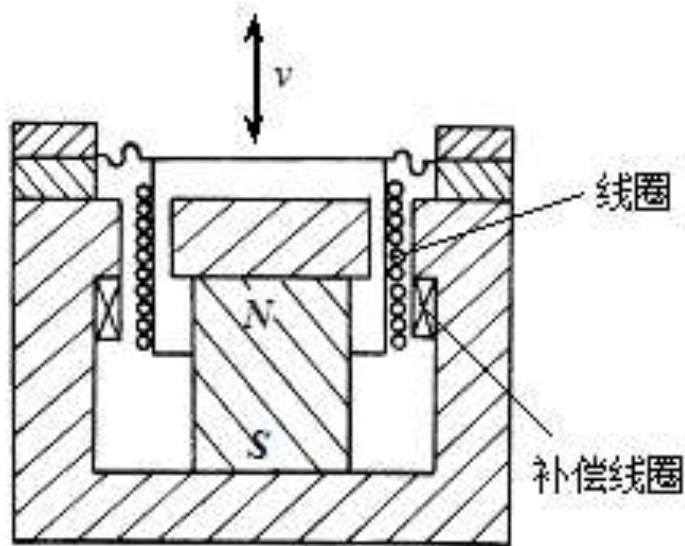


图11-22 线速度型磁电传感器工作原理



图11-23示出了角速度型传感器的工作原理，线圈在磁场中以角速度旋转时产生的感应电动势为

$$e = -kNBS\omega$$

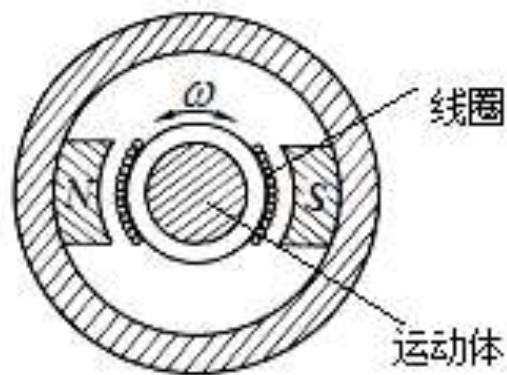
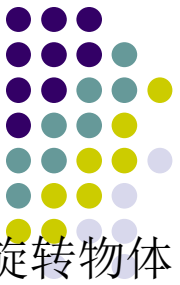


图11-23角速度型传感器的工作原理

11.4.2 磁阻式磁电传感器



磁阻式磁电传感器工作原理及应用如图11-24所示。如图11-24a可测旋转物体的角频率，在圆轮旋转时，圆轮上的凸处的位置发生变化，引起磁路中磁阻变化，从而引起贯穿线圈的磁通量发生变化，其产生的交变电势的频率为

$$f = n/60 = \omega/2\pi$$

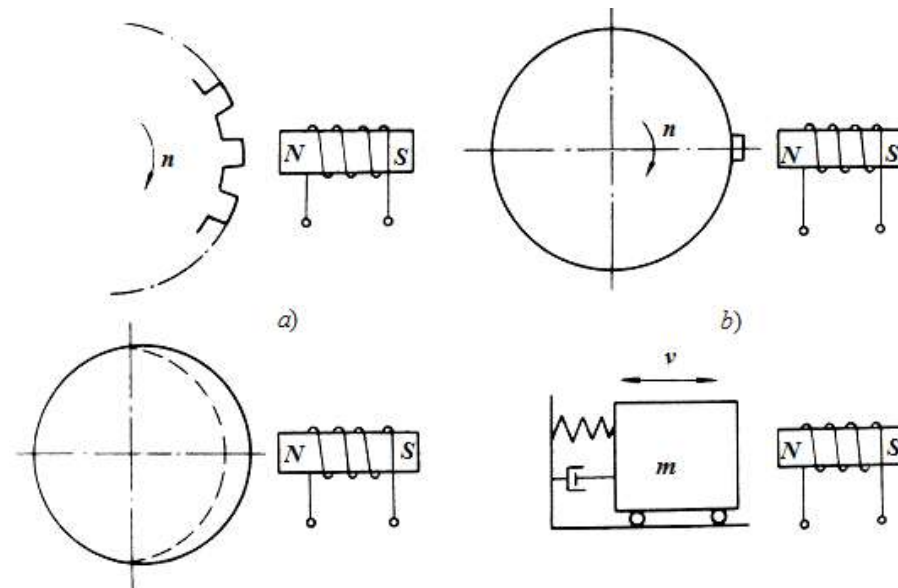
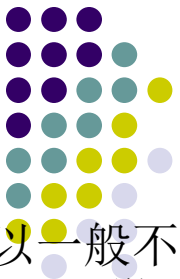


图11-24 磁阻式磁电传感器工作原理与应用

11.4.3 磁电式传感器测量电路



磁电式传感器直接输出感应电势，且传感器通常有较高的灵敏度，所以一般不需要高增益放大器。图11-25为一般测量电路方框图，其中虚线框内整形及微分部分电路仅用于以频率作为输出时。

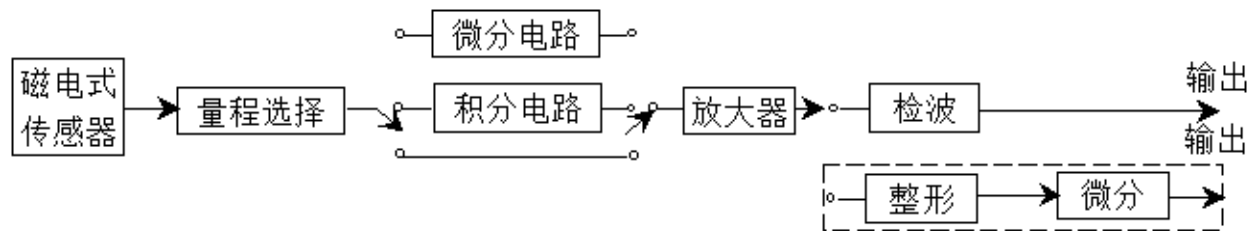


图11-25 磁电式传感器测量电路框图



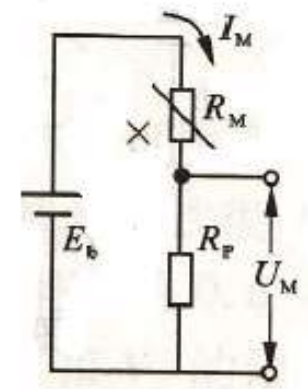
11.5 磁敏传感器的应用

1 磁敏三极管电位器

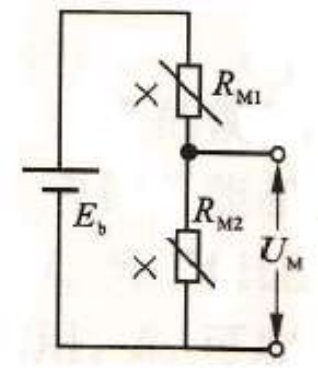
利用磁敏三极管制成的无触点电位器的原理图如图11-25所示。将磁敏三极管置于1kGs磁场作用下，改变磁敏三极管基极电流，该电路的输出电压在0.7~15V内连续变化，这样就等效于一个电位器，且无触点，因而该电位器可用于变化频繁、调节迅速、噪声要求低的场合。

$$I_M = \frac{E}{R_M + R_P}$$

$$U_M = I_M R_M = \frac{E R_M}{R_M + R_P}$$



(a)



(b)

图11-26 磁敏电阻的基本应用电路