

7.4 磁敏二极管和磁敏三极管

磁敏二极管和磁敏三极管是继霍尔元件和磁敏电阻之后迅速发展起来的新型磁敏器件。它们具有磁灵敏度高（磁灵敏度比霍尔元件高数百甚至数千倍）、能识别磁场的极性、体积小、电路简单等特点，因而正日益得到重视，并在检测、控制等方面得到普遍应用。

7.4.1 磁敏二极管的工作原理和主要特性

1. 磁敏二极管的结构与工作原理

(1) 磁敏二极管的结构

磁敏二极管的结构如图 7-17 (a) 所示，在高纯度锗（或硅）半导体的两端用合金法制成高掺杂的 P^+ 型和 N^+ 型两个半导体区域，I 区是高纯区（本征区），I 区的长度比载流子的扩散长度 L 大好几倍。在 I 区的一个侧面上打毛，使变粗糙，设置成高复合区（r 区），与 r 区相对的另一侧面磨成光滑的无复合表面。这就构成了磁敏二极管的管芯。图 7-17 (b) 所示为磁敏二极管在电路中的表示符号。

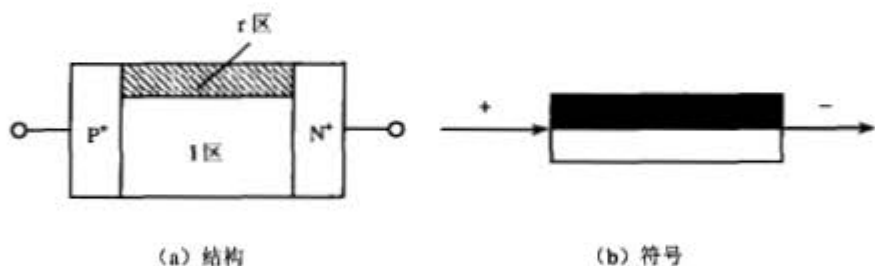


图 7-17 磁敏二极管结构示意图

(2) 磁敏二极管的工作原理

将磁敏二极管 P^+ 区接电源正极， N^+ 区接电源负极，即外加正向偏压，如图 7-18 (a) 所示，则 P^+ 向 I 区注入空穴， N^+ 向 I 区注入电子。在没有外界磁场作用时，大部分的空穴和电子分别流入 N^+ 区和 P^+ 区而形成电流，只有少量电子和空穴在 I 区复合掉。

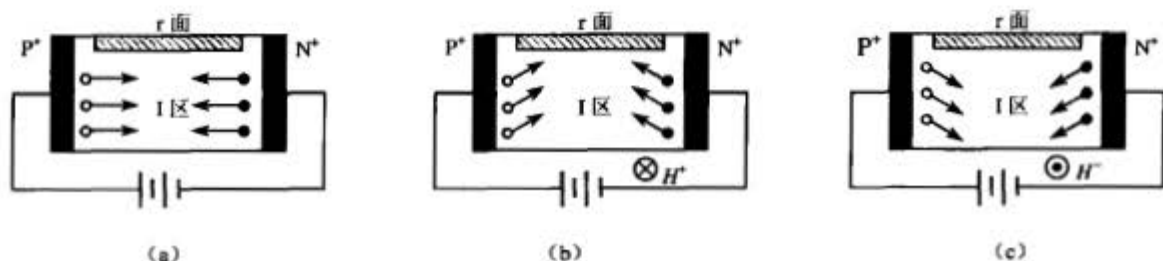


图 7-18 磁敏二极管工作原理示意图

当磁敏二极管受到外界磁场 H^+ (正向磁场) 的作用时, 电子和空穴在洛伦兹力的作用下向 r 区偏转, 如图 7-18 (b) 所示, 由于在 r 区的电子和空穴复合速度比光滑面 I 区快, 因而载流子复合掉的比没有磁场时大得多, 使 I 区的载流子数目减小, 电阻增大, 形成的电流减小。

当磁敏二极管受到外界磁场 H^- (反向磁场) 的作用时, 电子和空穴在洛伦兹力的作用下向 I 区偏转, 如图 7-18 (c) 所示, 由于 I 区的电子和空穴复合率明显减小, 因此电阻减小, 电流变大。

可见, 随着磁场的变化, 流过二极管的电流也发生变化, 或二极管的等效电阻发生变化。利用这一性质即可实现磁电转换。显然, r 区和 I 区的复合能力之差越大, 磁敏二极管的灵敏度就越高。

磁敏二极管反向偏置时, 在 I 区仅流过很微小的电流, 因而二极管形成的电流 (或等效电阻) 几乎与磁场无关。

2. 磁敏二极管的主要特性

(1) 磁电特性

在给定的条件下, 磁敏二极管的输出电压变化量与外加磁场间的变化关系称为磁敏二极管的磁电特性。

图 7-19 给出了磁敏二极管单只使用和互补使用时的磁电特性曲线。由图上可以看出, 单只使用时, 磁敏二极管的正向磁灵敏度大于反向; 互补使用时, 正、反向磁灵敏度曲线对称, 且在弱磁场下有较好的线性。

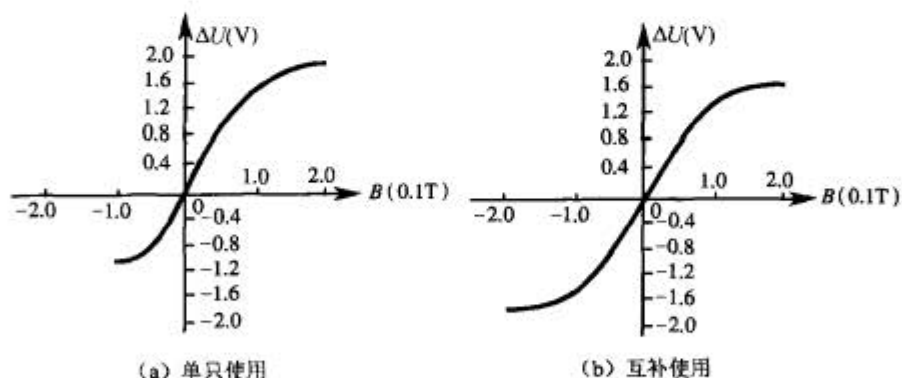


图 7-19 磁敏二极管的磁电特性曲线

(2) 伏安特性

在给定磁场的情况下, 磁敏二极管两端正向偏压和通过它的电流的关系曲线称为磁敏二极管的伏安特性。由图 7-20、图 7-21 可见, 磁敏二极管在不同的磁场强度 H 的作用下其伏安特性也不一样。图 7-20 所示为锗磁敏二极管的伏安特性。图 7-21 所示为硅磁敏二极管的伏安特性。它有两种形式, 一种如图 7-21 (a) 所示, 开始在较大偏压范围内, 电流变化比较平坦, 随外加偏压的增加, 电流逐渐增加; 此后, 伏安特性曲线上升很快, 表现出其动态电阻比较小。另一种如图 7-21 (b) 所示, 硅磁敏二极管的伏安特性曲线上有负阻现象, 即电流急增的同时, 有偏压突然跌落的现象。产生负阻现象的原因是高阻硅的热平衡载流子较

少, 且注入的载流子未填满复合中心时, 不会产生较大的电流, 当填满复合中心之后, 电流才开始急增的缘故。

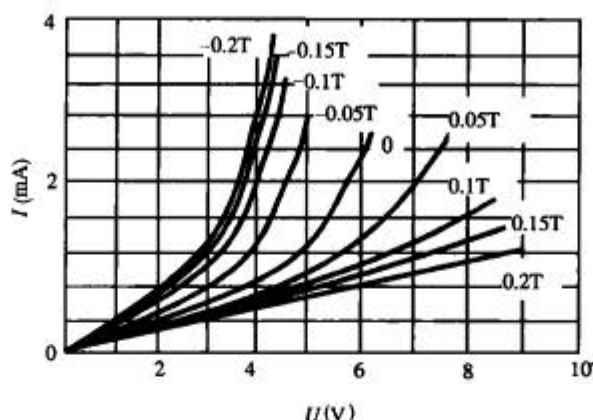


图 7-20 锗磁敏二极管的伏安特性曲线

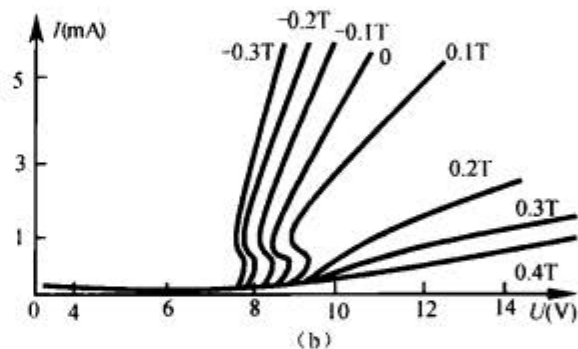
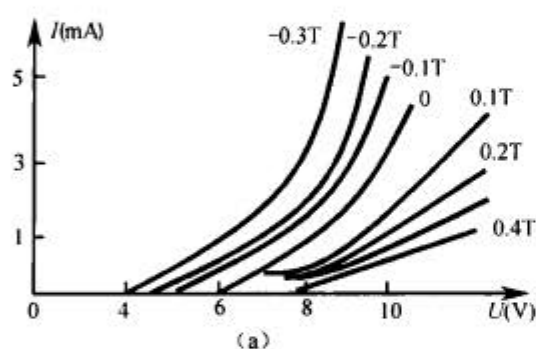


图 7-21 硅磁敏二极管的伏安特性曲线

(3) 温度特性及补偿

温度特性是指在标准测试条件下, 磁敏二极管输出电压变化量 ΔU (或在无磁场作用时中点电压 U_m) 随温度变化的规律。一般情况下, 磁敏二极管受温度的影响较大, 如图 7-22 所示。

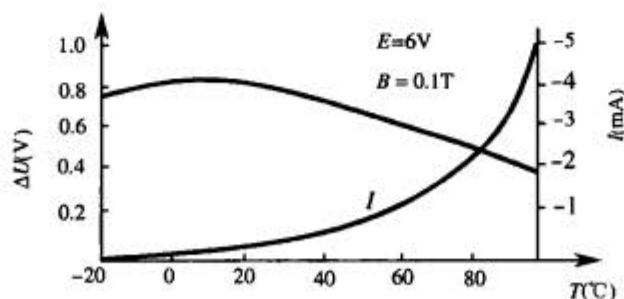


图 7-22 单只使用时磁敏二极管的温度特性曲线

磁敏二极管的温度特性较差, 因此在使用时, 需对其进行补偿。图 7-23 所示为几种常用的补偿电路。其中图 7-23 (a) 为互补式温度补偿电路。选用两只特性相同或相近的磁敏二极管, 按相反磁极性组合, 即把管子的磁敏感面相对放置, 就构成了互补式电路。当 $B=0$ 时,

输出电压取决于两管的等效电阻的分压比,当环境温度发生变化时,两管的等效电阻都要发生变化,但其分压比不变或变化很小,因此输出电压随温度变化很小。互补式电路还能提高磁灵敏度。但是具有负阻特性的磁敏二极管不能用作互补式电路。图 7-23 (b) 所示为差动电桥式温度补偿电路,该电路不仅能很好地实现温度补偿、提高灵敏度,而且还可以弥补互补式电路的不足。调节 R_1 、 R_2 可以很方便地调整电路平衡。图 7-23 (c) 所示为全桥温度补偿电路,相当于两个互补式电路并联而成。该电路在同样的磁场下输出电压是差动电桥电路的两倍。图 7-23 (d) 所示为热敏电阻补偿电路。只要使热敏电阻的阻值能与磁敏二极管的等效电阻随温度按同比例变化,即可保持 R_i 和 R_m 的分压比不变,从而达到温度补偿的目的。

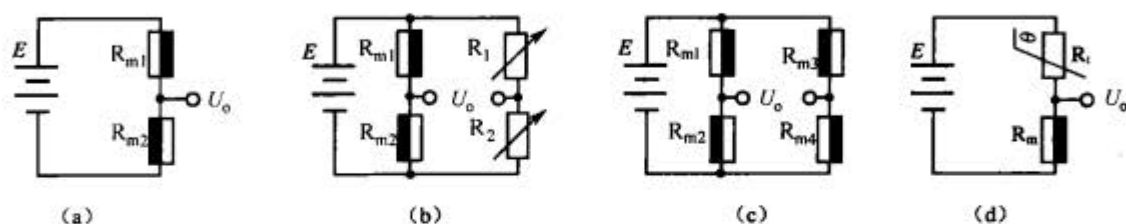


图 7-23 温度补偿电路

7.4.2 磁敏三极管的工作原理和主要特性

1. 磁敏三极管的结构与工作原理

NPN 型磁敏三极管是在弱 P 型近本征半导体上,用合金法或扩散法形成三个结(即发射结、基极结、集电结)所形成的半导体器件,如图 7-24 所示。NPN 型磁敏三极管的基区较长,基区的结构类似磁敏二极管,也有本征 I 区和一个高复合 r 区。长基区分为输运基区和复合基区两部分。

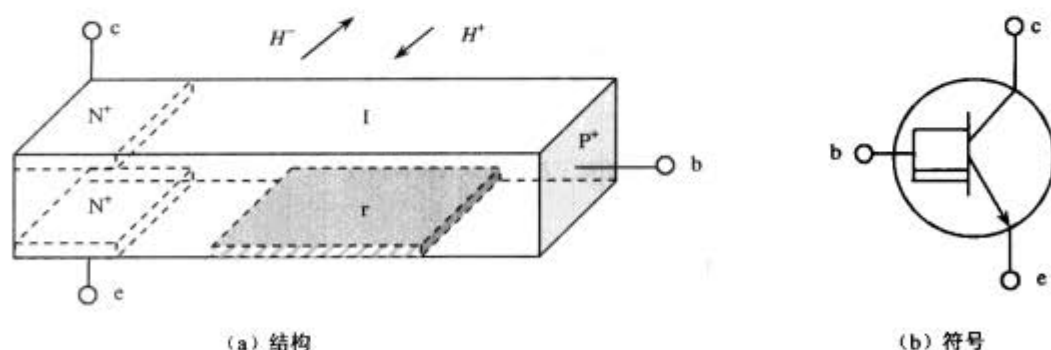


图 7-24 磁敏三极管的结构与符号

当磁敏三极管不受磁场作用时,如图 7-25 (a) 所示,由于磁敏三极管的基区宽度大于载流子有效扩散长度,因而注入的载流子除少部分输入到集电极 c 外,大部分通过 $e-I-b$ 而形成基极电流,因而形成了基极电流大于集电极电流的情况。所以,电流放大倍数 $\beta = I_c / I_b < 1$ 。

当磁敏三极管受到正向磁场 (H^+) 作用时,如图 7-25 (b) 所示,洛伦兹力使载流子向发射结一侧偏转,导致集电极电流明显下降。

当磁敏三极管受到反向磁场 (H^-) 作用时,如图 7-25 (c) 所示,载流子在洛伦兹力

作用下向集电结一侧偏转,使集电极电流增大。

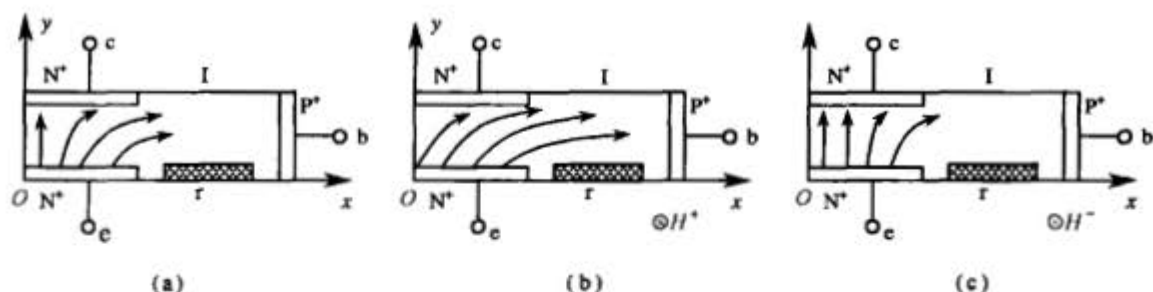


图 7-25 磁敏三极管工作原理

由此可知,磁敏三极管在正、反向磁场作用下,其集电极电流明显变化,这样就可以用磁敏三极管来测量弱磁场。

图 7-24 (b) 所示为磁敏三极管在电路中的表示符号。

2. 磁敏三极管的主要特性

(1) 伏安特性

磁敏三极管的伏安特性类似普通三极管的伏安特性曲线。图 7-26 (a) 为不受磁场作用时磁敏三极管的伏安特性曲线;图 7-26 (b) 是磁敏三极管在基极恒流条件下 ($I_b=3\text{mA}$), 磁场为 $\pm 1\text{kGs}$ 时的集电极电流的变化。由图可知,磁敏三极管的电流放大倍数小于 1。

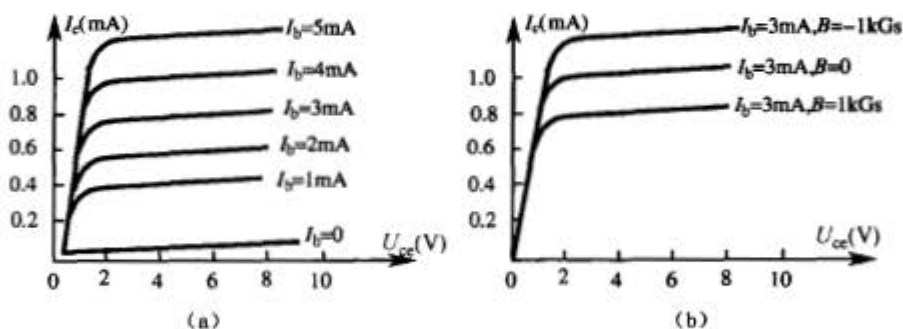


图 7-26 磁敏三极管的伏安特性曲线

(2) 磁电特性

磁电特性是磁敏三极管最重要的工作特性,是应用磁敏三极管的基础。国产 NPN 型 3BCM (锗) 磁敏三极管的磁电特性曲线如图 7-27 所示。由图可见,在弱磁场作用时,曲线近似于一条直线。

(3) 温度特性

磁敏三极管对温度比较敏感,锗磁敏三极管 (如 3ACM、3BCM) 的磁灵敏度温度系数为 $0.8\%/^{\circ}\text{C}$,硅磁敏三极管 (如 3CCM) 的磁灵敏度温度系数为 $-0.6\%/^{\circ}\text{C}$,因此,实际使用时必须对磁敏三极管进行温度补偿。

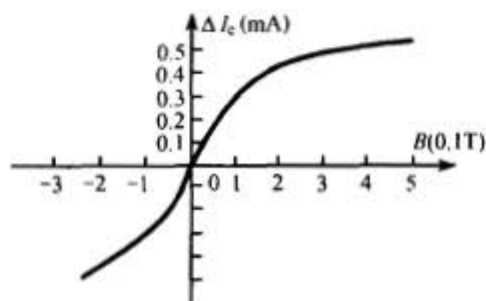


图 7-27 3BCM 磁敏三极管的磁电特性曲线

以硅磁敏三极管为例,因其具有负温度系数,可采用正温度系数的普通硅三极管来补偿硅磁敏三极管因温度产生的集电极电流的漂移。补偿电路如图 7-28 (a) 所示,当温度升高时,普通硅三极管 VT 的集电极电流 I_c 增加,导致硅磁敏三极管 VT_m 的集电极电流也增加,从而补偿了硅磁敏三极管因温度升高而导致的集电极电流下降。其中反馈电阻 R_e 一般取 $400 \sim 800 \Omega$ 。

图 7-28 (b) 所示电路利用锗磁敏二极管的电流随温度升高而增加的特性,使其作为硅磁敏三极管 VT_m 的负载,以弥补硅磁敏三极管因温度升高而引起的电流下降。

图 7-28 (c) 是磁敏三极管的差分电路,两只磁敏三极管 VT_{m1} 、 VT_{m2} 特性一致,磁极相反。这种电路不仅能实现温度补偿,而且还可以提高磁灵敏度。

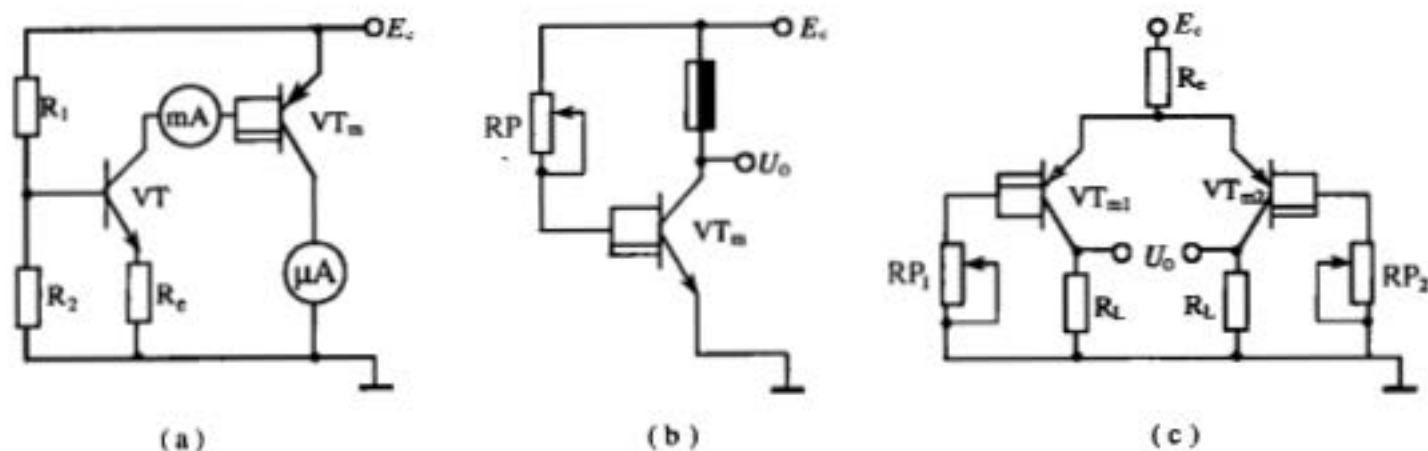


图 7-28 磁敏三极管的温度补偿电路

(4) 频率特性

3BCM 锗磁敏三极管对于交变磁场的频率响应特性为 10kHz 。

(5) 磁灵敏度

磁敏三极管的磁灵敏度有正向灵敏度 h_+ 和负向灵敏度 h_- 两种。其定义如下:

$$h_{\pm} = \left| \frac{I_{ch\pm} - I_{c0}}{I_{c0} B} \right| \times 100\% / T \quad (7-19)$$

式中: I_{ch+} 为磁敏三极管受到正向磁场作用时的集电极电流;

I_{ch-} 为磁敏三极管受到反向磁场作用时的集电极电流;

I_{c0} 为磁敏三极管不受磁场作用时,在给定基极电流情况下的集电极输出电流;

B 为外加磁场的磁感应强度。

正、负向磁灵敏度表示在 $\pm 0.1\text{T}$ 磁场作用下集电极电流的相对变化量。