

# 第三节 双极型功率晶体管 (GTR)

- 简称功率晶体管，也称电力晶体管
- GTR：Giant Transistor
- 由三层半导体（组成两个PN结）构成
- 一般为NPN结构，PNP结构耐压低

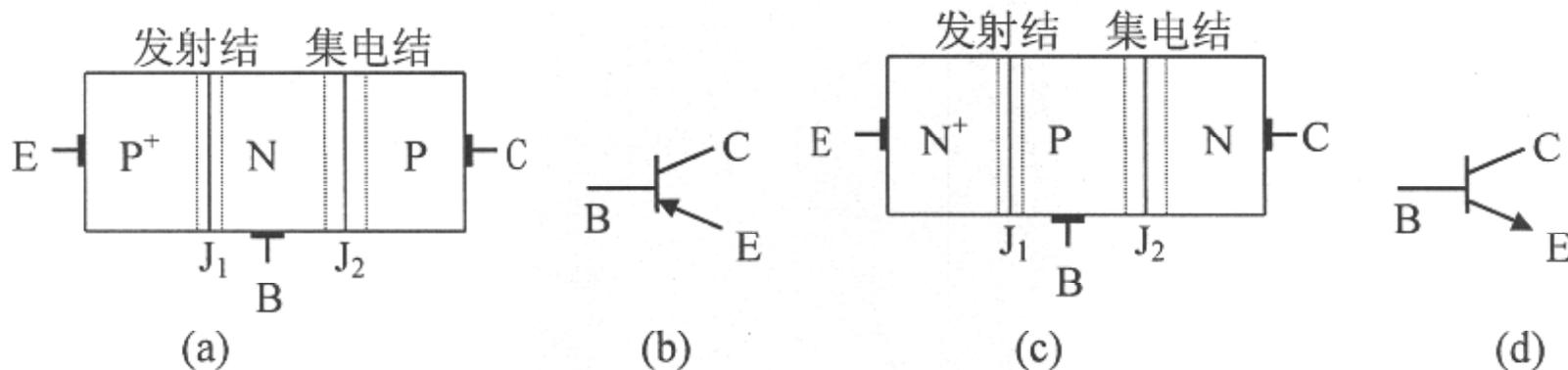


图 1—8: 晶体管的结构及电路图中的符号

(a) PNP 结构; (b) PNP 符号; (c) NPN 结构; (d) NPN 符号

# GTR静态特性

- 一般采用共发射极接法
- 作电力开关用时，两种稳定工作状态：断态、通态
- 稳定工作区：截止区、有源区、饱和区

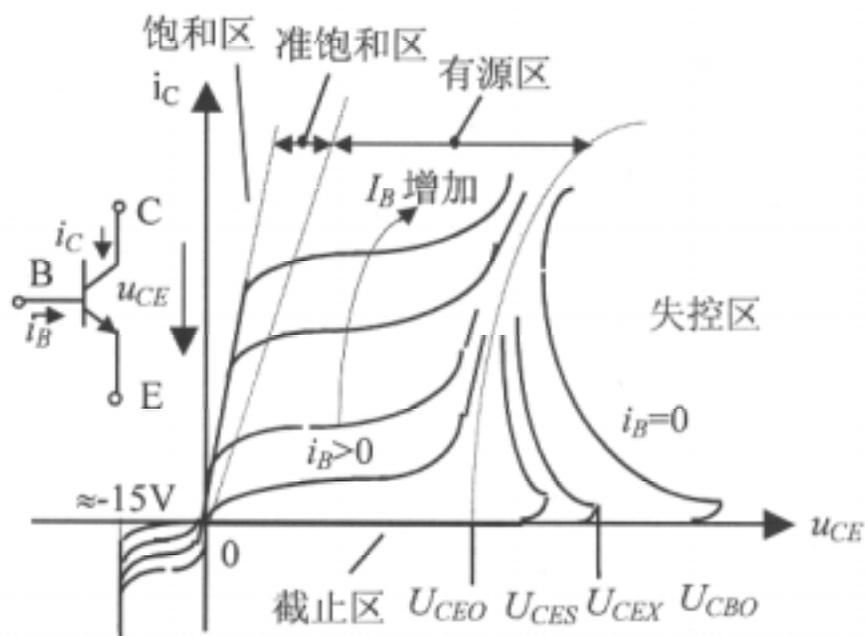


图 1-11: 工作区划分示意图

# 截止区

- 又称阻断区
- $i_B = 0$
- 开关处于断态
- GTR承受高电压而仅有极小的漏电流存在
- 集电结反偏 $U_{BC} < 0$ ，发射结反偏 $U_{BE} < 0$ ；  
或集电结反偏 $U_{BC} < 0$ ，发射结偏压为零  
 $U_{BE} = 0$

# 有源区

- 又称放大区或线性区
- $i_C$ 与 $i_B$ 之间呈线性关系，特性曲线近似平直
- $U_{BC} < 0$ ， $U_{BE} > 0$
- 对于工作于开关状态的GTR来说，应当尽量避免工作于有源区，否则功耗很大，要快速通过有源区，实现截止与饱和之间的状态转换。

# 饱和区

- 开关处于通态
- $i_B$  变化时,  $i_C$  不再随之变化
- 导通电压和电流增益均很小
- $U_{BC} > 0$ ,  $U_{BE} > 0$

# 准饱和区

- 指有源区与饱和区之间的一段区域，即特性曲线明显弯曲的部分
- 随 $i_B$ 增加，开始出现基区宽度调制效应，电流增益开始下降
- $i_C$ 与 $i_B$ 之间不再呈线性关系
- $U_{BC} < 0$ ， $U_{BE} > 0$

# 失控区

- 当 $U_{CE}$ 超过一定值时， $i_C$ 会急剧上升，出现非线性，晶体管进入失控区， $U_{CE}$ 再进一步增加，会导致雪崩击穿。
- $U_{CEO}$ 、 $U_{CES}$ 、 $U_{CEX}$ 、 $U_{CBO}$ 为不同的基极、射极连接条件下的击穿电压。

# GTR特点

- 电流驱动型
- 所需驱动功率大
- 通态饱和电压低（由于电导调制作用）
  
- 书上其它内容：自学

## 第四节 功率场效应晶体管（功率MOSFET）

### 一、结构

➤ VDMOS

➤ VVMOS

➤ 一个器件由许多元胞并联而成

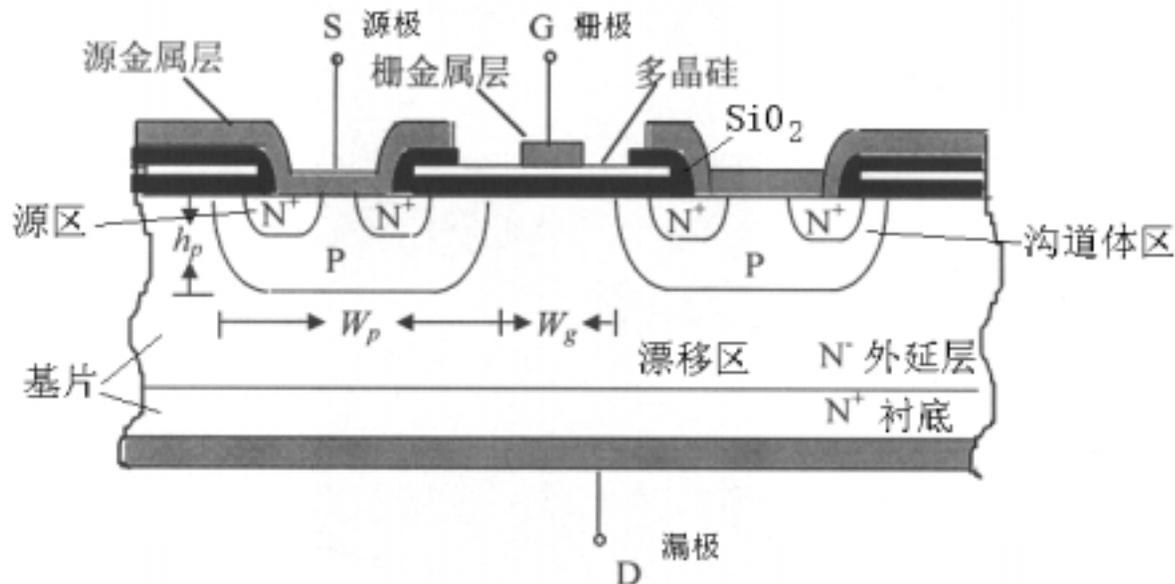
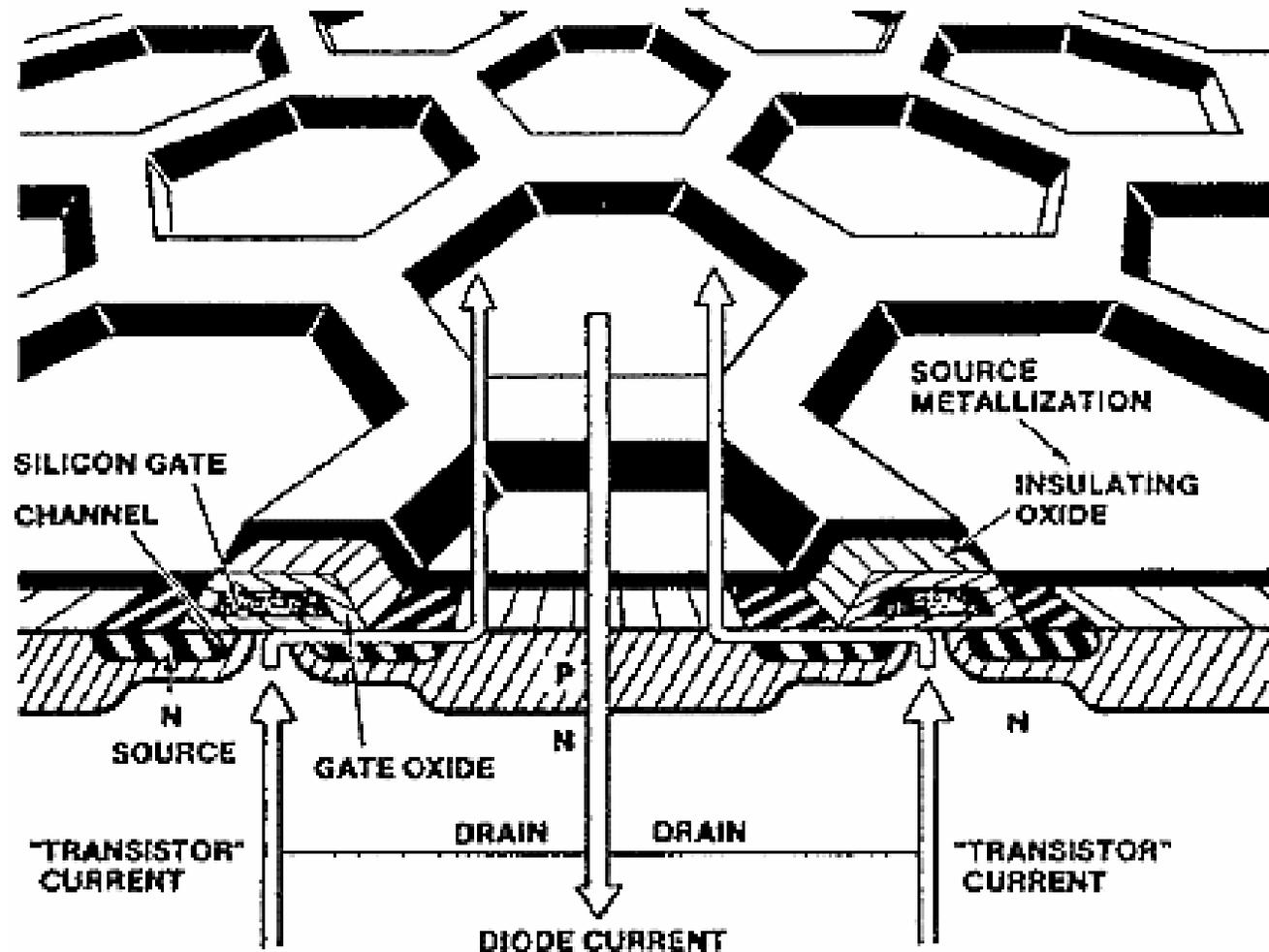


图 1-23: N 沟道 VDMOS 管元胞结构

• 栅极与基片之间隔着SiO<sub>2</sub>薄层，因此它同其它两个极之间是绝缘的，只要SiO<sub>2</sub>层不被击穿，栅极对源极之间的阻抗是非常高的，因此驱动电流较小。



# 结构图3



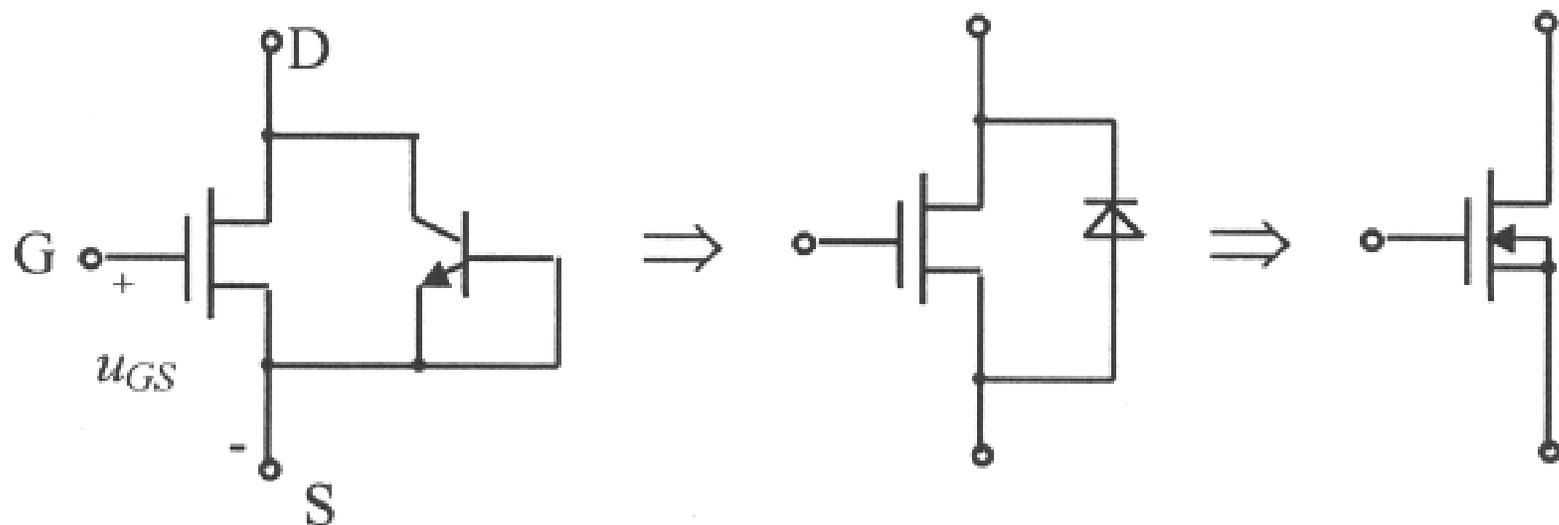
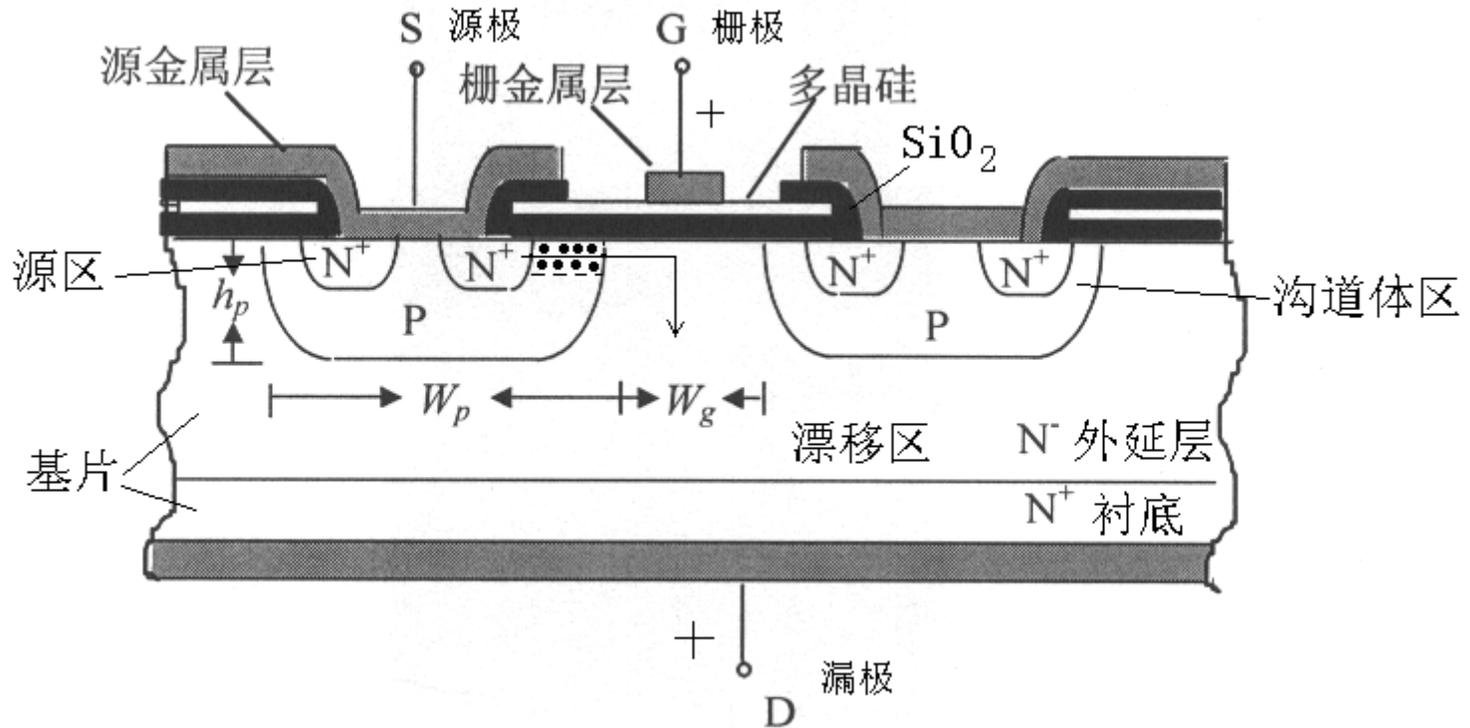


图 1-24: N 沟道增强型 VDMOS 管符号

## 二、工作原理



- $V_{GS} > 0$ ，并达到一定正电压 → 形成反型层 → 导电沟道 → 形成电子流

# 导通电阻

- ❏ VDMOS不存在电导调制效应，其导通电阻  $R_{DS(on)}$  取决于导电通路上等效总电阻
- ❏  $R_{DS(on)} = \text{漂移区电阻} + \text{沟道电阻} + \text{电极接触电阻} + \text{引线电阻}$
- ❏ 对于高压器件，漂移区电阻占主要成分（当导电沟道充分强化之后）
- ❏  $R_{DS(on)} = 8.3 \times 10^{-7} BU_{DS}^{2.5}/A$
- ❏ A：芯片面积； $BU_{DS}$ ：击穿电压
- ❏ 耐压越高的器件，其导通电阻越大

# 三、静态特性

- ❏ 欧姆电阻区（充分导通后）：输出电流 $i_D$ 随电压 $u_{DS}$ 线性改变。
- ❏  $u_{GS} < U_T$ 时，截止
- ❏ 阈值电压 $U_T$ 典型值2 ~ 4V
- ❏  $u_{GS}$ 足够大，以保证器件导通进入欧姆工作区

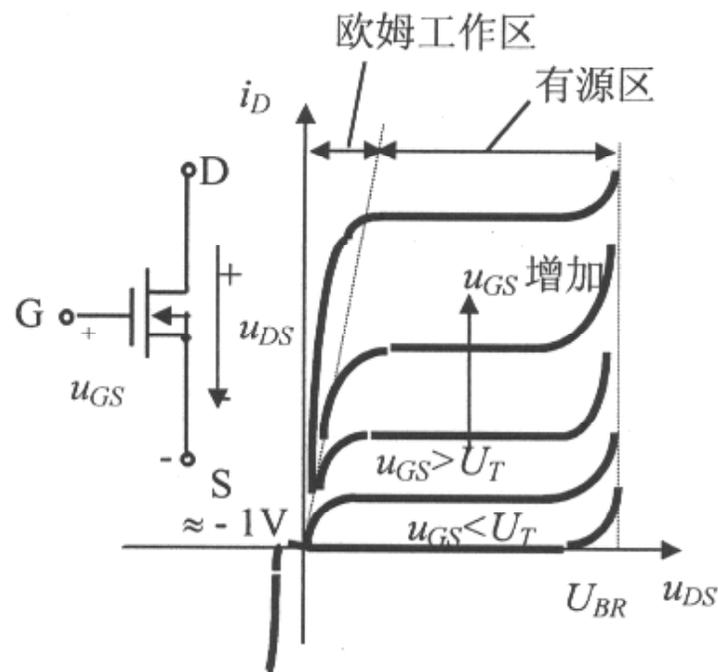


图 1-27: VDMOS 管的静态输出特性

# 功率MOSFET特点：

- ❏ 电压型驱动
- ❏ 驱动功率小
- ❏ 开关速度快
- ❏ 导通时呈阻性

## 第五节 绝缘门极双极型晶体管（IGBT）

- ❏ 双极型功率器件：如晶闸管、GTR等
- ❏ 通流能力很高：由于有少数载流子注入对漂移区电导率的调制，即便是高压器件，电流密度亦可达到200 ~ 300A/cm<sup>2</sup>
- ❏ 开关速度较低，开关过程中功率消耗较大
- ❏ 功率MOSFET：
- ❏ 开关速度较高，开关过程中功率消耗较小
- ❏ 由于没有少数载流子的电导调制作用，使通态电阻较大，通流能力较小。一个600V功率MOSFET的最大电流密度一般只有10A/cm<sup>2</sup>左右。

采用双极 - MOS复合器件技术（简称BiMOS技术）将二者结合起来，取各方之长构成一种新的器件。

在其中：

双极器件的作用：运输主电流

MOS器件的作用：作控制开关

# 一、结构

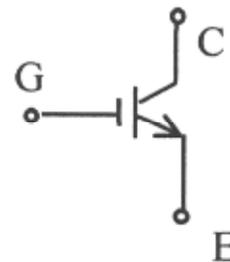


图 1-37: IGBT 的电路符号

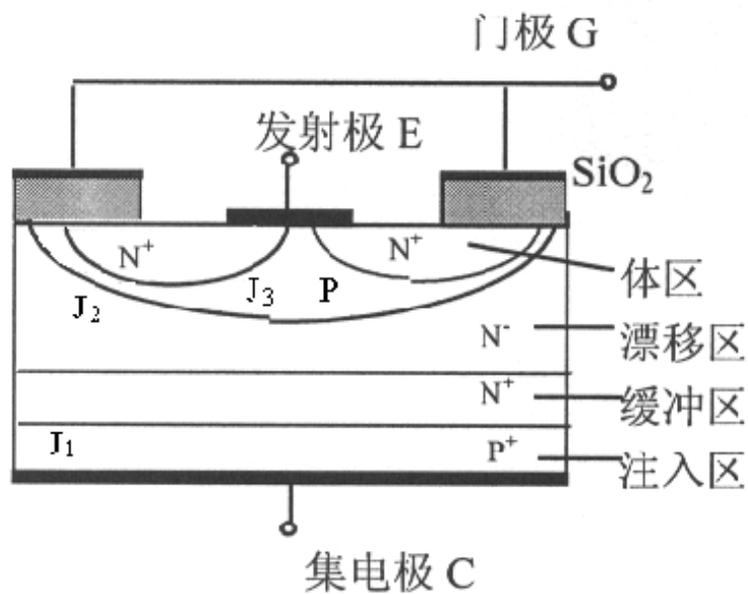
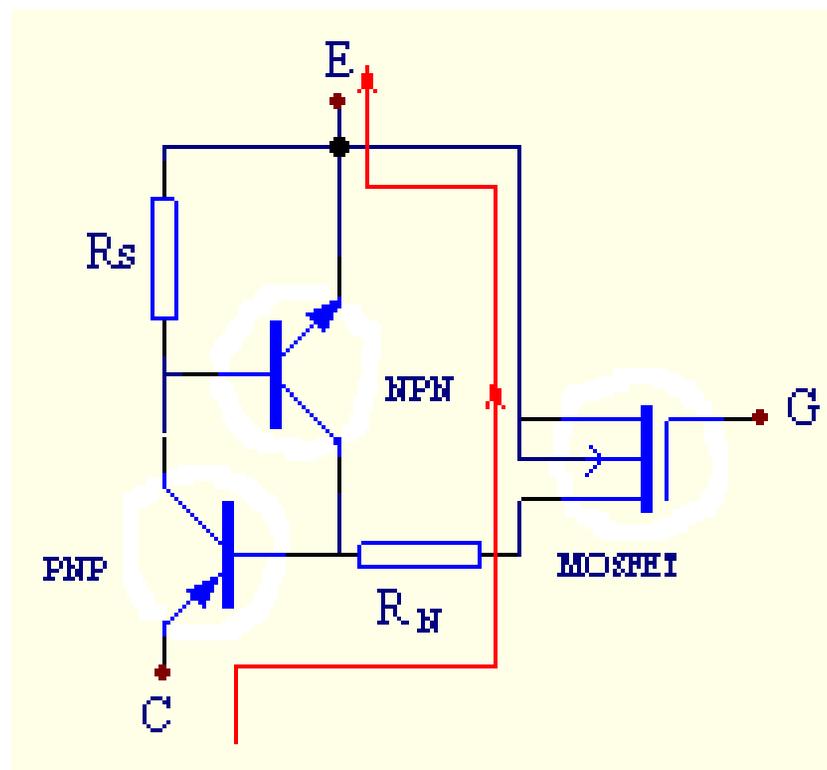


图 1-34: IGBT 的结构剖面图



## 二、工作原理

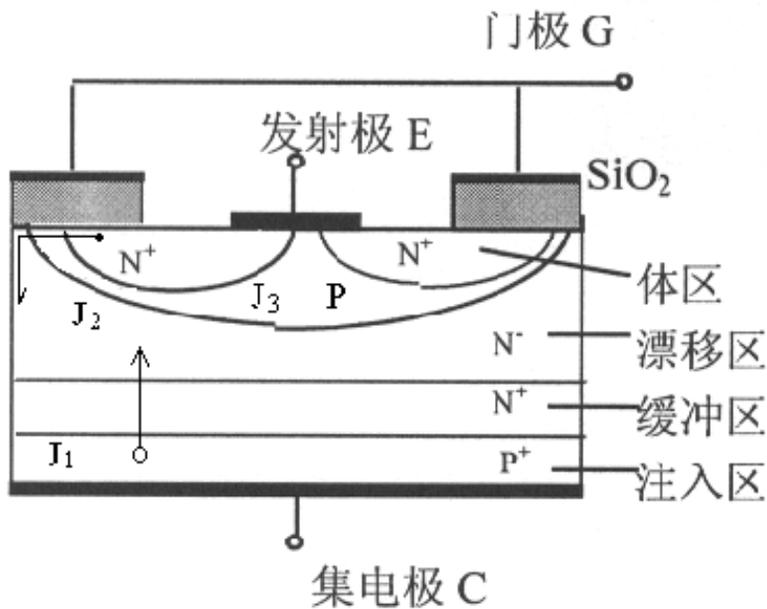


图 1-34: IGBT 的结构剖面图

- 门极加正电压时，MOSFET 内形成沟道，并为 PNP 晶体管提供基极电流，从而使 IGBT 导通。
- 空穴从 P<sup>+</sup> 区注入到 N<sup>-</sup> 区进行电导调制，  
少子浓度越大 → 电导率越高  
→ 注入增强 → 电导率增大  
→ N<sup>-</sup> 区电阻值减小  
→ 使高耐压 IGBT 具有低的通态压降

- 当门极加负电压时，MOSFET内的沟道消失，PNP晶体管的基极电流被切断，IGBT即被关断。
- 由于注入的空穴是少子，存在少子的存储现象，N-区的少子需要时间复合消失，因此IGBT的开关速度比MOSFET慢。

# 三、静态特性

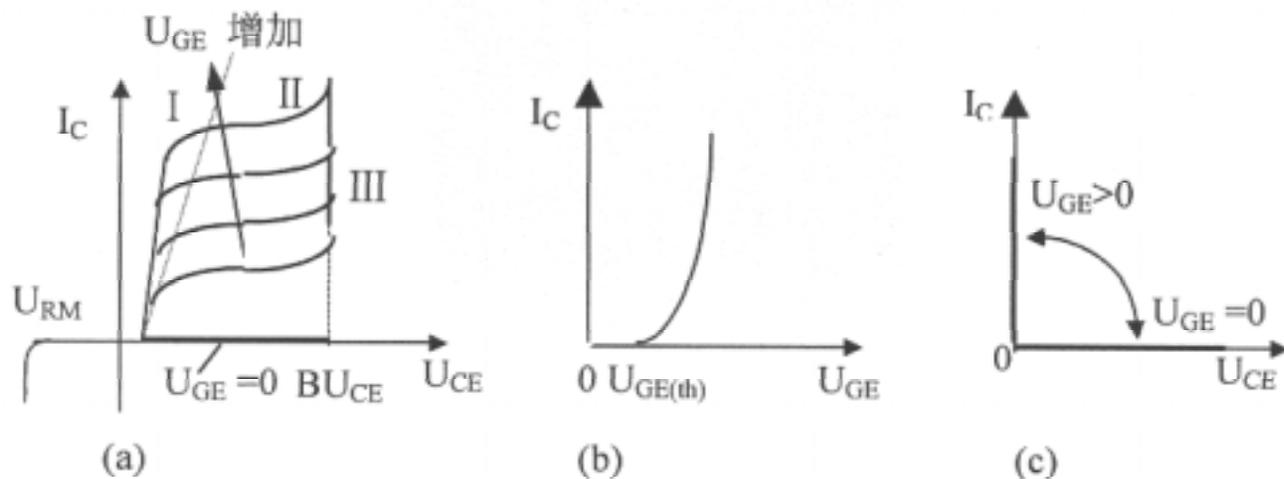


图 1-38: IGBT 的静态特性曲线

(a) 输出特性; (b) 转移特性; (c) 理想静态伏安特性

📄  $I_C$  受  $u_{GE}$  控制

📄 有饱和区、有源区、截止区、失控区

📄  $u_{GE} < U_{GE(th)}$  时, 处于关断状态