

第三章思考题参考答案

1. 解释晶体管在截止、饱和和反向有源区时的工作情况。

截止区：晶体管工作在截止区时发射结和集电结均反偏，发射区和集电区多子都不会向基区注入，在每个空间电荷区的边界，少子浓度为零，晶体管的基极、集电极电流均很小。

饱和区：晶体管工作在饱和区时发射结和集电结均正偏，发射区和集电区中的多子均向基区注入，每个空间电荷区的边界存在过剩少子，晶体管输出端电流随输出端电压增大而几乎呈线性增大。

反向有源区：晶体管工作在反向有源区时发射结反偏，集电结正偏，集电区中多子注入到基区，基区中的少子向发射区注入，一般而言，晶体管集电区低掺杂发射区高掺杂，所以晶体管集电极电流和发射极电流小于放大状态的下。

2. 什么是大注入？大注入会带来什么样的效应？

大注入：当 V_{BE} 增大使得注入到基区的少数载流子浓度接近基区多数载流子浓度，这种注入称为大注入。

大注入带来的效应：大注入会使晶体管发射效率 γ 降低，导致 β_0 降低，这种效应称为大注入效应，也称为 Webster 效应。

3. 定义 I_{CBO} 和 I_{CEO} ，解释为什么 $I_{CEO} > I_{CBO}$ 。

I_{CBO} ：当晶体管发射极开路集电结反偏时，发射极电流为 0，集电极电流和基极电流相等且为集电结反偏饱和电流 I_{CBO} 。

I_{CEO} ：当晶体管基极开路集电极接外电源正极发射极接外电源负极时，基极电流为 0，发射极电流和集电极电流相等为 I_{CEO} 。

$I_{CEO} > I_{CBO}$ ： I_{CBO} 是反偏集电结电流，它的一部分是由从集电区流向基区中的

空穴形成的。进入基区的空穴流使发射区显正电性，从而发射结正偏。正偏发射结产生电流 I_{CEO} ，从发射区注入到基区的电子电流是其主要部分。注入的电子在基区中向集电结扩散过程中会被复合掉一部分，当电子扩散到集电结边缘时会被电场扫入集电区，因此集电区存在一部分电流，其大小为 $\alpha_0 I_{CEO}$ (α_0 为共基极直流电流增益)，于是集电极电流 I_{CEO} 为 I_{CBO} 与 $\alpha_0 I_{CEO}$ 之和，即 I_{CEO} 大于 I_{CBO} 。

4.为什么高频晶体管要做的很小？

因为和晶体管频率特性的相关的频率参数 f_T 、 f_β 、 f_a 都和晶体管的基区宽度有关，且晶体管宽度越小三个频率参数越大，所以高频晶体管需要做的很小。

5.从晶体管工作原理的角度解释发射效率和基区传输因子的概念。

发射效率：晶体管处于放大状态下，集电区多子注入到基区后又被扫入到发射区在发射区中形成的电流与发射极电流之比。

基区传输因子：晶体管处于放大状态下，集电区多子向基区注入在集电区形成的电流与集电极电流之比。

6.晶体管发射结正偏时，为什么从基区扩散到发射区的空穴扩散电流比较小？

一般而言，晶体管基区掺杂浓度相比于发射区掺杂浓度小得多，所以基区扩散到发射区的空穴较少，因而所形成的空穴扩散电流比较小。

7.解释限制晶体管电流增益的各种因素的物理机理。

发射区掺杂浓度：发射区掺杂浓度较低会导致晶体管电流增益较小，因为发射区掺杂浓度低会使发射区中的空穴扩散电流大，从而使发射效率小。

基区宽度：基区宽度越大，晶体管的电流增益越小，因为基区宽度大会使晶体管的基区传输因子小，进而使晶体管电流增益小。

8.共发射极电流增益在近似情况下为什么是个常数？

因为近似情况下对于基区宽度一定、发射区和基区掺杂浓度一定的晶体管，其共基极电流增益是一个常数，而共发射极电流增益和共基极电流增益之间满足一个确定的关系式，当共基极电流增益为常数时，共发射极电流增益也是一个常数。

9.晶体管工作在放大区时集电结反偏，基区集电结一侧边缘的电子在电场的作用下被扫入集电区，这是电子的漂移运动，但为何可以用扩散电流的公式求解 I_C 的主要成分？

对于 npn 晶体管而言，电子在基区中属于少数载流子，且电子在基区中按一定的浓度梯度分布，利用扩散电流公式可以求得基区与集电结界面处的电流，假设集电结中各电流成分都是常数，所以基区与集电结界面处的电流等于集电区与集电结界面处的电流，即 I_C 的主要成分。

10.晶体管有哪几种击穿形式？

雪崩击穿和基区穿通

11.晶体管不同击穿形式对应的物理机理分别是什么？

雪崩击穿：放大状态下，当 V_{CB} 或 V_{CE} 超过称之为击穿电压的临界值时，集电结耗尽区内的电场太强而产生大量的电子和空穴（雪崩击穿），晶体管的集电极电流 I_C 急剧增加。

基区穿通：在基区宽度很小或基区掺杂浓度很低的情形下，有可能在集电结发生雪崩击穿前，集电结的耗尽区已经扩展到同发射结耗尽区会合，即中性基区宽度下降到零。

12.用晶体管中的电流成分来解释限制电流的因素。

通过推导得到的晶体管中各电流成分的表达式可以知道，基区宽度、基区和

发射区掺杂浓度、载流子扩散系数、载流子扩散长度以及 V_{BE} V_{CE} 这些因素中的一个或多个可以影响晶体管中的各电流成分, 所以通过调整这些因素可以限制电流。

13. 在晶体管的导通过程和关断过程中其所经历工作模式都是一样的吗?

不一样。晶体管导通过程依次经历截止区、放大区和饱和区; 关断过程依次经历饱和区、反向有源区和截止区。

14. NPN 管和 PNP 管中两种载流子都会参与导电, 为什么 NPN 晶体管的频率特性要好于 PNP 型晶体管?

因为 NPN 管导电过程中电子起主导作用, PNP 管导电过程空穴起主导作用, 一般而言, 电子的迁移率要高于空穴的迁移率, 所以 NPN 晶体管会表现出更好的频率特性。