

- 描述 PN 结的建立过程？
要点：冶金结界面、载流子由高到低扩散运动、不可动电离杂质电荷、空间电荷区、漂移运动、动态平衡
- PN 结的理论推导有两个假设，分别是什么？假设的依据是什么？
全耗尽近似、中性区近似
- PN 结有几种掺杂方式？给出具体的情形并画出相应的掺杂浓度图？给出不同掺杂方式的内建电势公式？给出相应的情形下能带图？
突变、线性缓变结、单边突变结
内建电势万能公式 $(kt/q)\ln(Pp_0/Pn_0)$
- 泊松方程公式是什么？公式里面各项符号表示什么物理意义？泊松方程的本质是什么？
电场、介电系数、空间电荷量密度
电力线起始于正电荷终止于负电荷
- 输运方程是什么？以电子或空穴为例，推导出输运方程公式？
 $J_p = J_{p\text{扩}} + J_{p\text{飘}}$
- 连续性方程的公式？解释连续性方程的物理含义？
单位时间内空间载流子浓度变化由净流入和净复合导致
- PN 结耗尽区宽度的公式是什么？如何影响一个 PN 结的势垒区宽度？(考虑多种因素)
掺杂、偏置、温度、材料
- 什么是 PN 结的费米能级分裂？给出不同外界偏压条件完整的能带图？给出能级分裂公式？
外加偏置使得 PN 结费米能级不统一
 $E_{fn} - E_{fp} = qV_{pn}$
- 尝试推导 P 区或者 N 区少数载流子分布公式？
定态输运连续性方程化简
- 为什么 PN 结导通电流推导时可以忽略漂移电流？依据是什么？(最好结合公式说明)
载流子浓度梯度较大，扩散电流占主导。
电场较小、电场几乎不变
- 画出不同偏压下 PN 结载流子浓度分布图？
第 9 题公式在不同条件下的化简
- 推导 PN 结正向导通电流公式？并解释为什么可以忽略漂移电流？那一部分构成了反向饱和电流？解释反向饱和电流的物理含义（至少给出一种）？
耗尽区边界处的少数载流子浓度以 D/L 的速度扩散形成的电流(nqv 思想)
- PN 结的结定律是什么？给出推导思路？
大注入/小注入下的结定律
- 结合 PN 结电流公式，说明如何影响 PN 结的电流能力？
材料，温度，偏置等
- 什么是 PN 结的导通电压？为什么会有到通电压的存在？
标称电流下的电压
克服势垒+中性区分压
- PN 结导通电压的温度特性是什么？PN 结可以用作什么用途？
负温系数。
温度传感器、整流器、开关、光电二极管
- 什么是薄基区二极管？和普通二极管的区别在哪？假设已知 PN 结正向导通电流公式，请直接给出薄基区二极管电流公式？并画出薄基区二极管的载流子分布图？

二极管尺寸远小于扩散长度

18. 完整解释 PN 结大注入现象?
韦伯斯托效应
19. 画出 PN 结的 IV 曲线? 实际的 PN 结半对数 IV 曲线并不完全是同一斜率变化的, 解释为什么?
三段变化, 半对数坐标, 斜率变化
20. 什么是曲率效应? 给出几种曲率效应的实际情形? 给出几种解决方案?
柱面结、球面结
电场集中
台面结构、结深、结终端技术
21. 解释韦伯斯托效应?
大注入的宏观现象

第二章习题续:

22. 什么是膝点电压? 如何计算该电压值?
大注入、小注入临界点
22. 大注入条件下, 总电流公式有什么不同? 该公式说明了什么物理含义?
韦伯斯托效应导致扩散系数等效 2 倍
依此化简小注入下电流公式即可
23. 什么雪崩击穿? 其微观机制是什么? 其逆过程是? 为什么?
关键点: 外部偏置提供能量、与晶格发生碰撞、能量交换情况(大、小)、电子空穴对激发俄歇复合: (要点) 能量交换涉及第三种粒子参与、载流子数目减少
24. 雪崩击穿需要遵守能量守恒和动量守恒, 那么载流子的能量来自于哪里? 其两次碰撞之间获得的能量如何计算?
平均自由程积分表示
25. 给出碰撞电离率的定义和计算公式?
书上原话以及公式
26. 常见的器件击穿判定有几种? 并分别解释其依据是什么?
临界电场判定, 依据就是碰撞电离率积分为 1, 且结合碰撞电离率公式分析
电流判定, 截止态泄露电流应该足够小
功率判定, 正常截止应处于安全功率范围内
27. 雪崩击穿的判定条件是什么? 分别表示什么物理意义?
电离率积分
28. 在工业场景下, Si 器件的临界击穿电场值一般为多少? 与哪些因素有关?
0.2-0.3Mv/cm
掺杂、材料、温度
29. 器件的击穿机制有几种? 分别是什么? 分别与温度的关系? 依据是?
雪崩, 正温系数
齐纳, 负温系数
30. 如何判定一个 PN 结是穿通击穿还是场截止击穿? ? ?
PN 结电场、PIN 结电场
31. 齐纳击穿的本质是什么?
隧穿

32. 齐纳击穿的条件是什么?
 $d_{min} = E_g / (qE_{max})$
33. 比较雪崩击穿和齐纳击穿的大小, 并解释为什么?
雪崩大
34. 如何改善器件的击穿性能?
综合论述雪崩、齐纳、热击穿改善措施
35. 什么是势垒电容? 其来源是什么? 如何定量计算该电容值?
PN 结空间电荷区电荷变化
介电系数/耗尽区宽度 或者 微分电容定义
36. 给出扩散电容的定义? 计算公式?
中性区载流子变化
小信号分析, 导纳公式
37. 势垒电容和扩散电容的区别在哪?
正反偏、大小量级、来源
38. 势垒电容和扩散电容能否作为电容器使用? 为什么?
势垒电容可以
39. 给出实际二极管器件的小信号电路图并解释各元件的来源?
注意寄生参数
40. PN 结为什么可以作为开关使用? 理想开关的性能是什么?
单向导电性
开关状态下都为零功耗
41. 给出经典 Diode 的开关波形图? 并标注相应的阶段? 解释波形图的原理?
电荷抽取导致反向电流峰值维持
42. 计算 Diode 关断过程中的反向峰值电流? 至少给出两种方法? 并解释为什么?
电路图分析
43. 给出 Diode 关断期间的维持时间公式? 反向恢复时间的公式?
书上原公式
44. 如何改善 Diode 的动态性能?
存的少、抽的快、寿命、薄基区、SBD
45. 请解释光电 Diode 是如何工作的?
临界工作点、复合产生
46. 给出你所知道的二极管种类? 并解释其区别在哪?
SBD、JBS、MPS、PIN
47. 肖特基二极管为什么反向恢复性能更好?
多子器件、无反向恢复
49. 什么是 SBD? JBS? MPS? PIN?

第三章习题

1. 什么是 BJT? BJT 是压控器件还是流控器件? 为什么?
Bipolar Junction Transistor

流控器件

注意输入信号与输出信号之间的控制

2. BJT 有几种类型？画出其对应的电路符号？

PNP/NPN

3 三极管的工作状态有哪几种？偏置条件分别是什么？

截止 发射结、集电结反偏

饱和 发射结、集电结正偏

放大 发射结正、集电结反

倒向 发射结反、集电结正

4. 给出不同工作状态下 BJT 的载流子分布图并标注相应边界载流子浓度值？画出相应能带图？

书上图像牢记

5. 缓变基区结构中，基区掺杂浓度有一个指数变化的因子 η ，该因子对基区输运系数有何影响？应当如何选取合适的 η 值？

加速场作用，注意与大注入自建场的区别

首先是极限掺杂范围(二分之一禁带宽度)

其次是漂移成分和扩散成分的主导

大注入情况下的区分

6. α 和 β 分别表示 BJT 的什么参数？其数学关系是什么？

共基、共射增益

7. 给出 PNP 晶体管在放大状态下的载流子流动图，并说明为什么集电极的电流会比发射极电流小？如何改善集电极与发射极电流之间的差值？

书上原图

注意两种损失电流的来源从而改善

8. 给出发射结注入效率的定义，并说明发射极为何重掺杂？集电极为何轻掺杂？

发射区注入基区的少子扩散电流与发射极电流的比值

根据注入效率公式说明

9. 给出输运系数的定义及其与 α 的关系？说明有哪些因素可以改变输运系数？

$\alpha = \text{注入效率} \times \text{基区输运系数}$

从基区输运系数、发射结注入效率两方面进行改善

10. (1)给出 NPN 晶体管的工艺剖面图？

注意课堂笔记

(2)说明该工艺结构中有哪些非理想参数？

寄生电阻、电容、寄生 PNP 三极管

(3)这些参数会如何影响以及影响器件的什么性能？

电流能力、增益系数、高频性能、工作 BJT 的能力、可靠性

(4)如何抑制或改善非理想参数？

重掺、埋层、隔离、抑制寄生 BJT

11. 如何计算基区输运系数？给出至少一种计算过程？如果利用扩散电流公式计算，是否能采取线性近似？为什么？

采用载流子分布原始公式计算

不能做近似，会忽略复合电流成分

12. 解释以下公式中各符号的物理含义？

$$\beta^* = 1 - \frac{\beta_B^2}{2\beta_B\beta_E} = 1 - \frac{\beta_B}{\beta_E}$$

基区输运系数、基区宽度、基区少子扩散系数、基区少子寿命、基区少子渡越时间

13. 用方块电阻表示发射结注入效率并解释其推导思路？

注意方块电阻的形式，进行化简

14. 什么是基区自建场？如何形成基区自建场？分别给出 NPN 和 PNP 情形下自建场的形成过程？

掺杂方式、电场建立过程

15. 给出基区缓变结的基区输运系数？并给出当 η 因子足够大时，输运系数可以化简为什么？根据载流子公式求解

考虑系数足够大时，载流子进行漂移运动而忽略飘逸，渡越时间可化简为距离除以漂移速度

16. 给出 BJT 增益系数与电流大小的关系图？解释增益系数为什么会呈现该趋势？

复合电流主导

大注入、基区扩展

17. 发射区重掺杂效应是什么？会带来什么影响？

禁带变窄、俄歇复合

18. 基区陷落效应剖面图是怎么样的？其本质是什么？如何改善？

原子半径不匹配，应力导致缺陷

19. LEC 是什么？给出其截面图？并解释该结构图的机理？

考虑注入效率和禁带宽度变窄的折中

20. 异质结晶体管利用了什么原理？

禁带宽度差异性

21. 给出 BJT 的直流电流电压方程？并据此给出放大工作状态下的各电极电流？

电压叠加定理

22. 画出共基和共射解法下晶体管的 I-V 输出曲线？并解释二者之间的差别？如何从图中得到晶体管的增益系数？

书上原图

23. 解释基区宽度调变效应？画出该效应情形下的 I-V 输出曲线？

基区宽度调变效应

24. 如何改善厄利效应？时候会带来其他影响？

基区掺杂、基区宽度

25. BJT 的开基区击穿电压和开发射区击穿电压哪一个更大？为什么？

$BV_{CBO} > BV_{CEO}$

考虑击穿判定条件的达成

26. 解释双极晶体管的共发射极接法下击穿曲线为什么会有负阻效应？

考虑 α 的变化

27. 基区穿通电压的计算表达式？如何提高？

根据穿通定义计算，基区宽度等于基区一侧耗尽宽度

28. 推导均匀半导体材料的方块电阻公式？

定义

第三章习题续

29. 什么是基区扩展效应？其对 BJT 性能有什么影响？导致基区扩展的原因是否唯一？

- 强电场下电场转移、弱电场下中性区分压
30. 解释发射结电流集边效应？并解释其机理？
基区分布电阻
31. 给出热稳定因子的定义式，并解释其含义？
书上定义
32. 给出所有情形下二次击穿的原因及相应的抑制措施？
电流集中或者电场转移
33. 高频情形下 BJT 增益系数会再次降低，解释为什么？
考虑新增的四个损失
34. 给出动态条件下 BJT 发射结势垒电容充放电时间常数的完整表达式？
电阻*电容
35. 给出特征频率的测量方法及其方法依据？
根据定义测量或者利用带宽增益积
36. 给出动态条件下 BJT 发射结扩散电容的充放电时间常数？
电容*电阻
37. 解释当基区少数扩散电流到达耗尽区边界时，是如何保证电流连续性的？
徙动电流
38. 在高频条件下，基区输运系数发生那些变化？
考虑三个影响
39. 超相移因子来源于何处？其物理意义是什么？
载流子到达集电结需要时间
40. 解释为什么共基增益截止频率远远大于共射增益截止频率？
笔记内容，两种增益受频率影响
41. 给出一种有关集电极结势垒电容充放电时间常数的物理解释？
书上原话
42. 给出 BJT 的特征频率和截止频率的定义？
书上定义
43. BJT 的跨导定义是什么？给出跨导表达式？并比较其与 MOSFET 的跨到能力？
集电极电流与发射结电压偏导
BJT 跨到能力强，指数变化，MOSFET 为平方倍
44. 给出最大功率增益？给出高频优值？最高振荡频率？
书上公式记忆
45. 高频晶体管应该选取 NPN 还是 PNP？解释为什么？
从结构、载流子迁移率分析
46. 如何从结构上去改善高频晶体管的性能？
书上原话，自我总结
48. 给出典型的 BJT 小信号电路图？
书上原图，记忆
49. 试讨论如何提高 BJT 的开关速度？并说明优缺点？
3.10 节最后内容
49. 提高 BJT 的穿通电压与提高电流放大系数是否矛盾？如果有，说明理由并说明如何解决该矛盾？
分析掺杂浓度，基区宽度的影响
50. 请从输运-连续性方程导出 PNP 均匀基区晶体管的基区少数分布函数？并说明能否进行

线性近似？为什么？

参考第二章二极管

不能，线性近似会导致复合电流损失被忽略

51. 证明书上习题 3.8

考虑变形， $Q=N*W$

52. 如果增大发射结面积，是否会改变 BJT 的增益系数？为什么？

不会，根据定义只与电流密度有关

53. 以你在 52 题的结论，讨论如果增大发射结面积同时保持电流大小不变，BJT 的偏置条件是否会发生变化？(假设初始工作再放大状态)

电流密度*面积=总电流，考虑镜像电流源分析方法

54. BJT 的基区大注入会带来什么影响？其对缓变基区有无影响？

屏蔽缓变自建场、降低增益

55. 解释为何 BJT 理论有四种工作状态，但是从来不工作于倒向放大？

注意书上内容，三点分析

面积、浓度、加速场变阻滞场

56. BJT 是多子器件还是少子器件？

少子器件

57. HBT 是改善 BJT 性能的方法之一，请给出一种 HBT 的材料组合方案？

基区 GeSi，发射区 Si

考虑能带差

58. 假定 NPN 晶体管基区掺杂浓度为

$$N_B(x) = N_0 \exp\left(-\frac{\eta x}{W}\right)$$

给出自建场表达式？

根据定义计算

第四章习题

1. MOSFET 属于多子器件还是少子器件？为什么？

多子器件

2. 简述多子器件、少子器件的优缺点，并给出相应的器件实例？

考虑稳定性、温度特性、噪声、响应速度等

3. 简述 MOSFET、MESFET、JFET 的工作机制及其之间的区别？

栅极控制方式

4. MOSFET 的栅电容会影响器件的什么特性？如何通过工艺减小栅电容？

影响高频、自对准

5. MOS 结构中，为什么 M 层一般不采用金属而用多晶？

金属沾污、自对准工序要求

6. 请给出 E-NMOS、E-PMOS、D-NMOS、D-PMOS 的输出曲线和转移曲线？

书上原图

7. 简述 MOSFET 的工作原理？

反型-导通-线性-饱和-击穿

8. 给出理想状态下 MOS 结构的能带图并作简要介绍？

考虑 M-S 接触理论分析

9. 给出考虑功函数差、氧化层电荷情形下, 栅压零偏时的 MOS 结构能带图, 并解释为什么?
半导体物理学第 8 章
10. 给出阈值电压的定义以及推导阈值电压时用到的假设条件?
书上原内容
11. 请解释平带电压的来源及其所对应的能带图结构?
使得能带恢复到水平时栅极所施加电压
12. 给出实际情况下 NMOS/PMOS 的阈值电压完整表达式? 并说明各项表示什么?
平带电压、氧化层分压、半导体表面势
13. 请给出影响阈值电压的因素并说明为什么?
结合阈值电压公式参数分析
14. 为什么制造 MOSFET 的 wafer 通常选用<100>晶向的?
考虑原子面密度、缺陷密度、结合迁移率
15. 什么是自对准工艺? 给出相应的工艺流程图?
课堂笔记内容
16. 给出推导 MOSFET 电流方程时的假设条件?
书上原内容
17. 给出萨之唐方程?
记住公式
18. 如何判定 MOSFET 沟道夹断并说明方法依据?
漏极侧沟道反型层电荷量为零
19. 为什么实际 MOSFET 的电流能力要比理论计算的小?
考虑理论计算时省去项
20. 理论认为 MOSFET 发生饱和后电流大小不变, 但是实际上电流会随着漏极电压增大而增大, 为什么?
有效沟道长度调制效应、漏区静电场对沟道区反馈作用
21. 亚阈值泄漏电流由什么构成? 为什么?
弱反型层电子扩散电流、PN 结反向泄露电流
22. 亚阈值摆幅的定义是什么? 其含义是?
书上定义、分析
23. 实际 MOSFET 的阈值电压和理论设计有一定偏差, 请给出几种测试 MOSFET 的阈值电压的方法?
开方正比、联立方程、标称电流测量
24. MOSFET 的阈值电压与温度有关系, 试推导 MOSFET 阈值电压的温度系数? 并说明该系数下 MOSFET 的缺点?
负温度系数
不利于并联使用
25. 漏极电流的温度系数? 什么是零温度系数点?
正温/负温
温度偏导为零
26. MOSFET 的跨导随漏极电压如何变化? 为什么?
先变大, 后饱和、最后下降
考虑栅控能力, 载流子速度饱和
27. 给出 MOSFET 的小信号等效电路图?

原图

28. 短沟道效应的来源是什么?
一维失效
热电子
29. 解释小尺寸下阈值电压是如何发生变化的?
短沟道、窄沟道
30. 窄沟道效应为什么会导致 MOSFET 的阈值电压变大?
分析电荷量
31. 再小尺寸条件下, MOSFET 沟道迁移率会发生什么变化? 并造成器件哪些性能的变化?
考虑载流子速度饱和
32. 如何判断 MOSFET 是否适用于短沟道效应?
速度饱和临界电场*沟道与 V_{ds} 之比
33. 什么是 DIBL 效应? 表面 DIBL 和体内 DIBL 效应能带有什么区别?
漏诱生势垒降低效应
34. 衬 MOSFET 的栅氧化层一般带哪些电荷? 这对器件的阈值电压造成什么影响?
半导体物理学第八章
35. 长沟道和短沟道 MOSFET 漏极电流饱和是否一致? 为什么?
不一致, 考虑饱和原因
36. MOSFET 饱和输出电流随温度增加如何变化? 为什么?
考虑迁移率
37. 给出 P 型衬底 MOS 结构和 MOSFET 的 C-V 曲线? 并说明为什么?
考虑电子响应速度
38. BJT 和 MOSFET 相比, 谁的温度特性更佳? 解释其原因?
多子器件更佳
39. 强电场下, MOSFET 的沉底泄露电流与栅压之间的变化关系是什么? 为什么?
考虑碰撞电离率、 I_b 主导
40. MOSFET 里面有哪些寄生参数? 各自会带来什么影响?
寄生电阻、电容、寄生 BJT
41. MOSFET 的击穿一般有哪些? 简述其机制?
第一类雪崩、第二类双极
42. PMOS 是否比 NMOS 更容易发生第二类击穿? 为什么?
考虑电流能力、衬底分布电阻、迁移率, 本质是结电压的触发
43. 什么是热电子效应? 热电子效应会导致什么结果?
热电子注入, 书上原内容
44. 热电子注入的载流子来源是什么?
三个来源(书上图)
45. 什么是恒场按比例缩小规则? 其思想是什么?
器件内电场不变
46. 在恒场按比例缩小规则下, 器件的阈值电压、跨到、栅电容、功耗会发生什么变化?
书上原内容分析
47. 恒场按比例缩小规则的局限在那?
亚阈摆幅、耗尽区、反型层厚度、寄生电阻
48. 给出其他的按比例缩小规则?
恒亚阈电流、恒亚

49. 如何改善热电子注入效应?

漏 PN 缓变结

栅极偏置

埋沟器件