

微电子器件实验 MOS 管直流特性

范云潜，学号：18373486，搭档：徐靖涵，教师：彭守仲

微电子学院 184111 班

日期：2020 年 10 月 19 日

1 实验目的

从场效应管的直流特性特性的测量与分析中，验证并加深对场效应管原理与性质的理解。

2 实验所用设备及器件

主要设备有：电压源，手持式万用表，台式万用表，相关线缆等，主要器件有 N 沟道 MOS 管 IRF3205 和 IRFR214。

3 实验基本原理及步骤

3.1 MOS 管基本结构

场效应管（Field Effect Transistor, FET）是一种压控电流元件，仅靠多子进行导电，又称为单极型晶体管，并且体积小、重量轻、寿命长、噪音低、热稳定性好、耗电低是现代的超大规模数字集成电路（Very Large Scale Integration, VLSI）的基本器件。

FET 主要可以分为结型场效应管（Junction Field Effect Transistor, JFET）和绝缘栅型场效应管（Insulated Gate Effect Transistor, IGFET）。后者有常见的金属-氧化物-半导体结构，也就是所谓的 MOS 管。MOSFET 有增强型和耗尽型两类器件，又可以分别分为 N 沟道与 P 沟道。

NMOS 的基本结构如 **图 1**，一个低掺杂的 P 型硅片为衬底，两个高掺杂的 N 型阱区引出电极作为源极和漏极，覆盖一层二氧化硅绝缘层后再覆盖一层金属铝引出电极作为栅极。

3.2 NMOS 电学特性

在栅极-源极不外加电压 $V_{GS} = 0$ 时，源漏之间是两个 PN 结，不存在导电沟道，因此 $V_{DS} \neq 0$ 时也不会有电流通过；在 $V_{GS} > 0$ 时，电压透过绝缘层作用到栅极下方，排斥其中的空穴，留下电离的杂质负离子形成了耗尽层，但是由于没有自由移动的载流子，因此仍然无法形成电流；当 V_{GS} 进一步增大，已经不存在可以排斥的空穴，因此吸引来了电子，形成了 N 型的层，也就是反型层，构成了导电的沟道。产生导电沟道的临界电压称为阈值电压 V_{th} 。

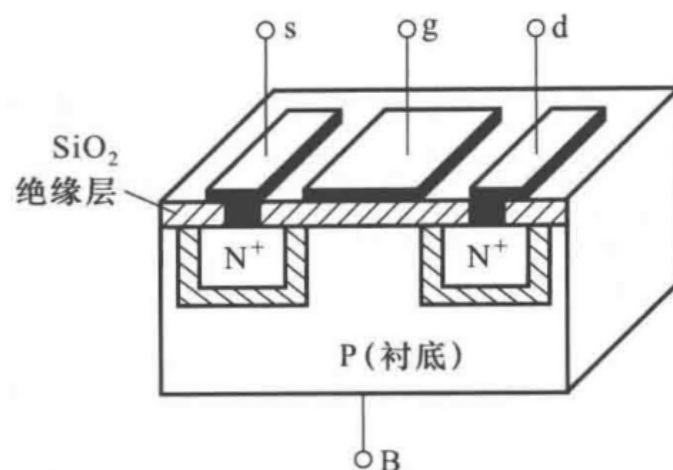


图 1: NMOS 基本结构

当 $V_{GS} > V_{th}$ 时，源漏电压可以引起漏极电流。当 V_{DS} 较小时，未产生夹断，并且 I_D 随着 V_{DS} 线性变化，称为线性区；当 V_{DS} 较大时，沟道出现了夹断，进一步增大会造成夹断区的延长，而夹断区的长度变化几乎不会影响电流，电流几乎仅取决于 V_{GS} ，此时称为饱和区。

对上述的直流特性进行总结，可以得到图 2。

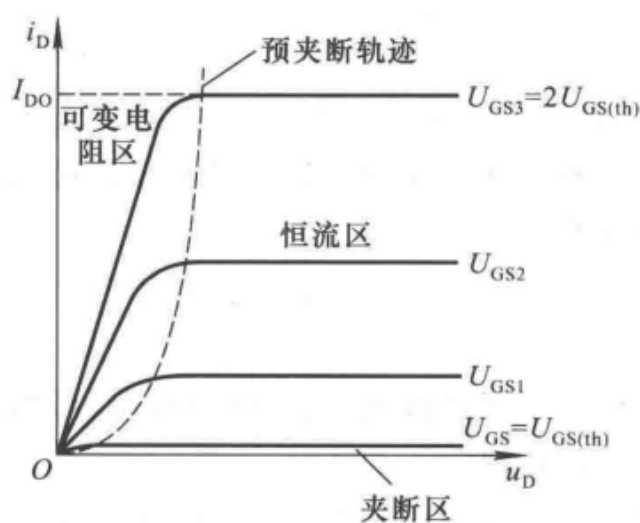


图 2: NMOS 输出特性曲线

由于工作在饱和区时，不同的 V_{DS} 输出电流几乎相同，可用转移特性曲线进行描述饱和区的电流特性，如图 3。

3.3 操作步骤

3.3.1 实验一：IRF3205 源漏伏安特性曲线

1. 将元器件连接到面包板，尽量减少杜邦线的使用。电路如图 4
2. 连线完成后打开 E_D 测试仪表是否工作正常
3. 调节 E_D 为 $0 - 1.5V$

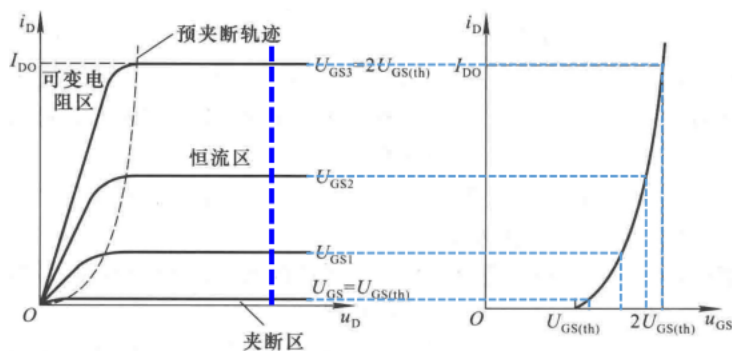


图 3: NMOS 转移特性曲线

4. 测量对应的 V_{DS} 和 I_D 并绘图

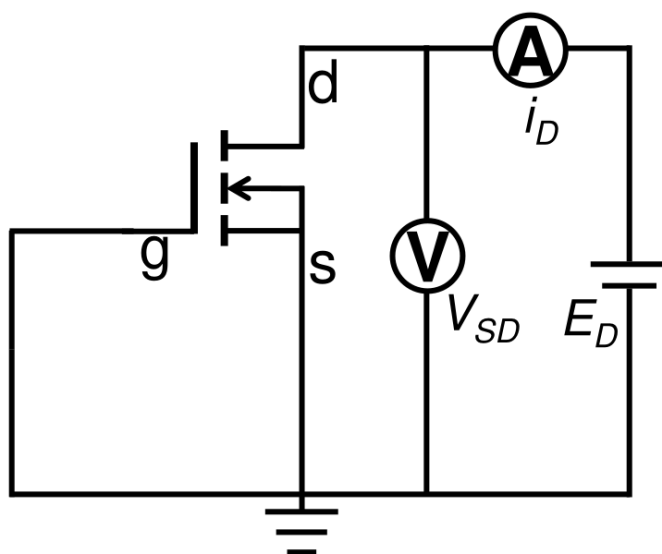


图 4: 实验一电路

3.3.2 实验二: IRF3205 转移特性曲线

1. 将元器件连接到面包板，尽量减少杜邦线的使用。电路如 图 5。
2. 连线完成后打开 E_D 和 E_G 测试仪表是否工作正常
3. 调节 E_D 为 0.5, 1, 1.5V
4. 分别将 E_G 在 0.1 – 7V 取值
5. 测量对应的 V_{GS} 和 I_D 并绘图

3.3.3 实验三: IRFR214 转移特性曲线

1. 将元器件连接到面包板，尽量减少杜邦线的使用。电路如 图 6。
2. 连线完成后打开 E_D 和 E_G 测试仪表是否工作正常
3. 调节 E_D 为 1.0V
4. 分别将 E_G 在 0.1 – 10V 取值
5. 测量对应的 V_{GS} 和 I_D 并绘图

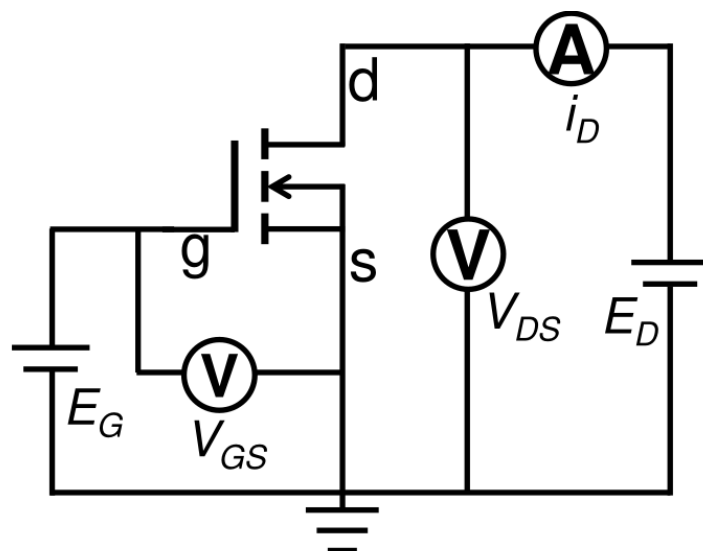


图 5: 实验二电路

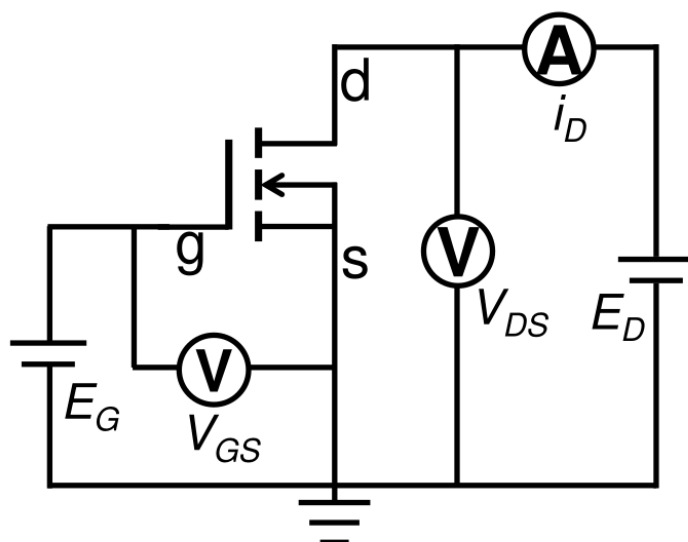


图 6: 实验三电路

3.3.4 实验四: IRFR214 输出特性曲线

1. 将元器件连接到面包板，尽量减少杜邦线的使用。电路如 **图 7**。
2. 连线完成后打开 E_D 和 E_G 测试仪表是否工作正常
3. 调节 E_G 为 3.3, 3.5, 3.7V
4. 分别将 E_D 在 0.1 – 2V 取值
5. 测量对应的 V_{DS} 和 I_D 并绘图

4 实验数据记录

原始数据请见 [这里](#)。

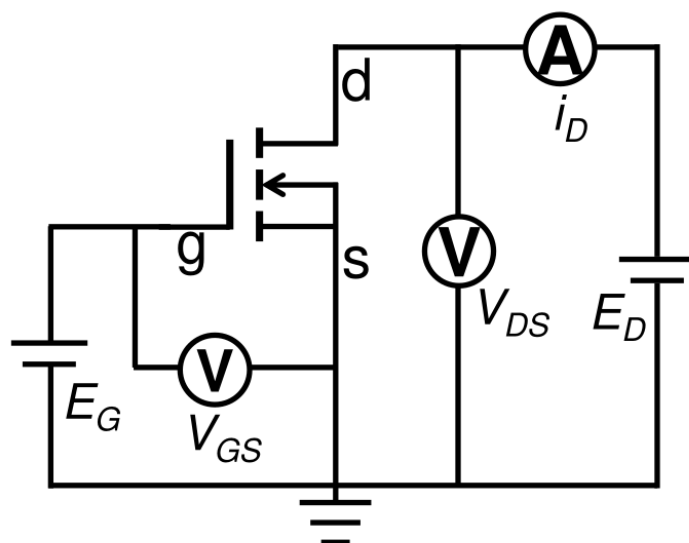


图 7: 实验四电路

4.1 实验一

IRF3205 源漏伏安特性曲线如图 8。

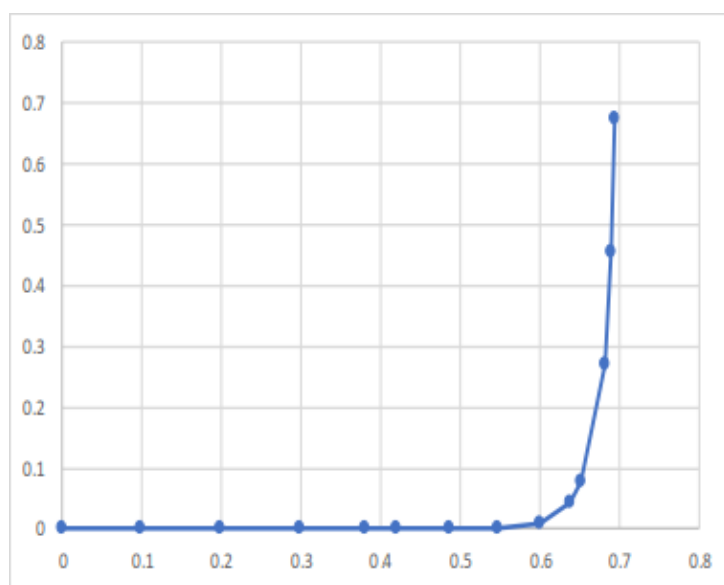


图 8: IRF3205 源漏伏安特性曲线

4.2 实验二

IRF3205 转移特性曲线如图 9。

4.3 实验三

IRFR214 转移特性曲线如图 10。

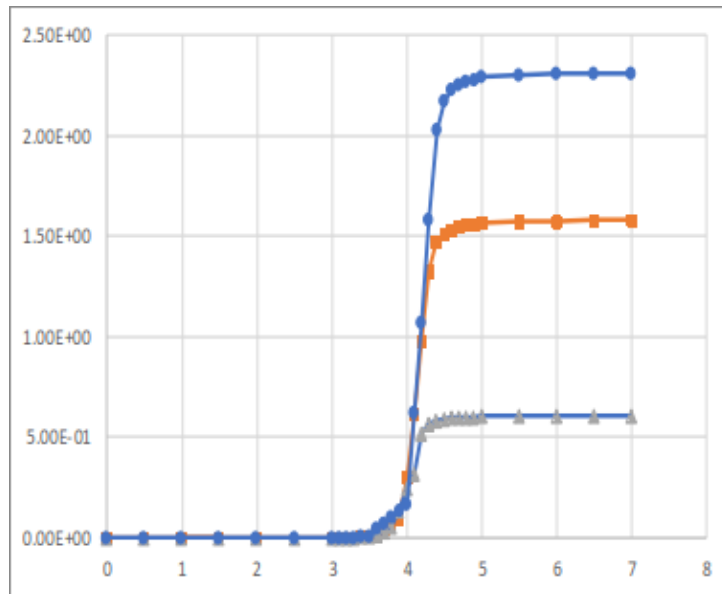


图 9: IRF3205 转移特性曲线

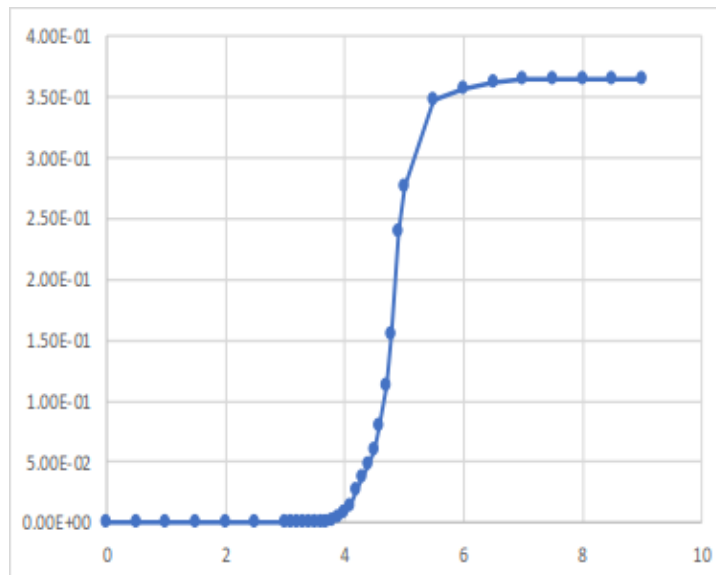


图 10: IRFR214 转移特性曲线

4.4 实验四

IRF3205 源漏伏安特性曲线如图 11。

5 实验结果分析

5.1 实验一

在未外加栅源电压时，源漏之间可以看作是一个二极管，因此存在一个阈值以及相似的电流特性。从图 8 可以看出，阈值约为 0.6V 并且满足指数上升的特点。

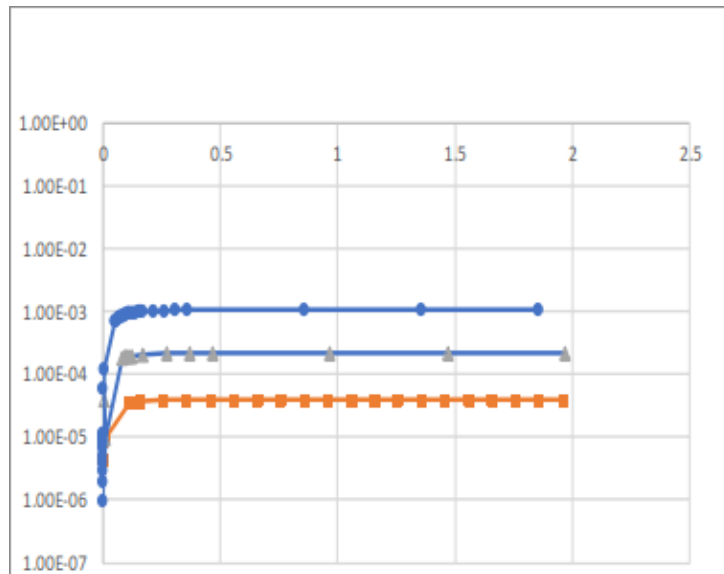


图 11: IRFR214 输出特性曲线

5.2 实验二

在 V_{GS} 较小时，器件处于截止状态，因此电流较小，不同的 V_D 对电流影响较小；稍大的 V_{GS} 使得器件工作在饱和状态， V_{GS} 对电流的影响是二次的，不同 V_{DS} 在可变电阻区的影响体现在饱和区的入口，也就是为什么同一 V_{GS} 下电流的大小不同；进一步增大，由于栅极电压过高，管子工作在线性区， V_{GS} 对电流的影响较小，因此很小的电流变化就涵盖了较大的 V_{GS} 区域。

5.3 实验三

同 5.2。

5.4 实验四

在 E_D 较小时，电路处在线性区，电流较小； E_D 增大时，逐渐进入线性区，电流迅速上升；继续增大，进入饱和区，电流几乎保持不变。较小的栅极偏置差距下，电流差距变化迅速，体现了平方增长的特点。

6 总结与思考

转移特性曲线变平的原因：此时由于栅极电压过高，管子工作在线性区， V_{GS} 对电流的影响较小，因此很小的电流变化就涵盖了较大的 V_{GS} 区域。

Q1. 请列举场效应管与双极型晶体管的几个不同点

- MOS 是压控器件，BJT 是流控器件，因此 MOS 的功耗更低
- MOS 仅有多子参与导电，BJT 多子少子均参与，因此 MOS 的温度性更好
- MOS 集成性好

Q2. 请根据转移特性曲线图画出输出特性曲线中的恒流区曲线示意图。
如 **图 12**。

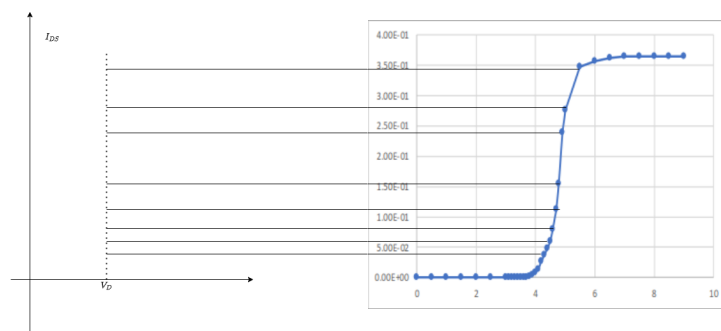


图 12: 恒流区曲线