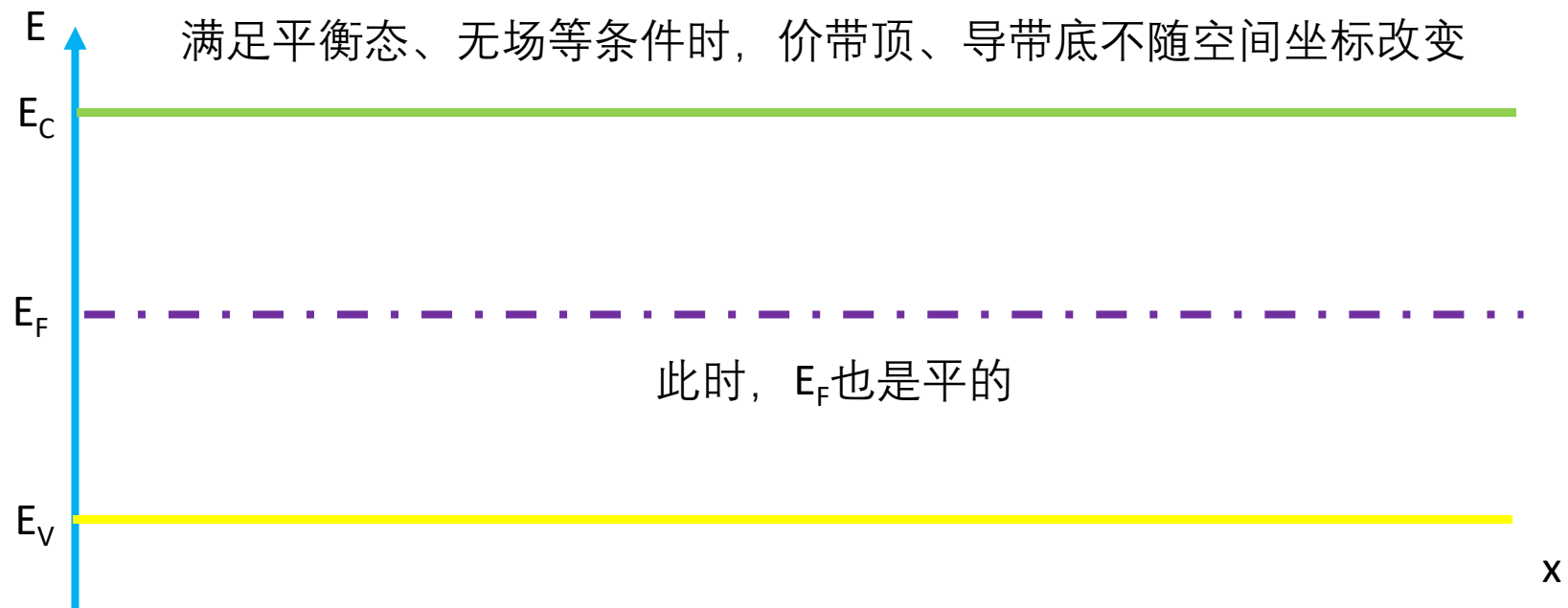


课程内容

- **研究主体：半导体中的电子**
- 第一部分：晶体结构-基础知识
- 第二部分：能带结构-基础知识
- 第三部分：热力学统计-平衡态载流子浓度
- 第四部分：载流子输运-平衡态弱场输运
 - **非平衡态初步：强场输运**
- 第五部分：非平衡载流子

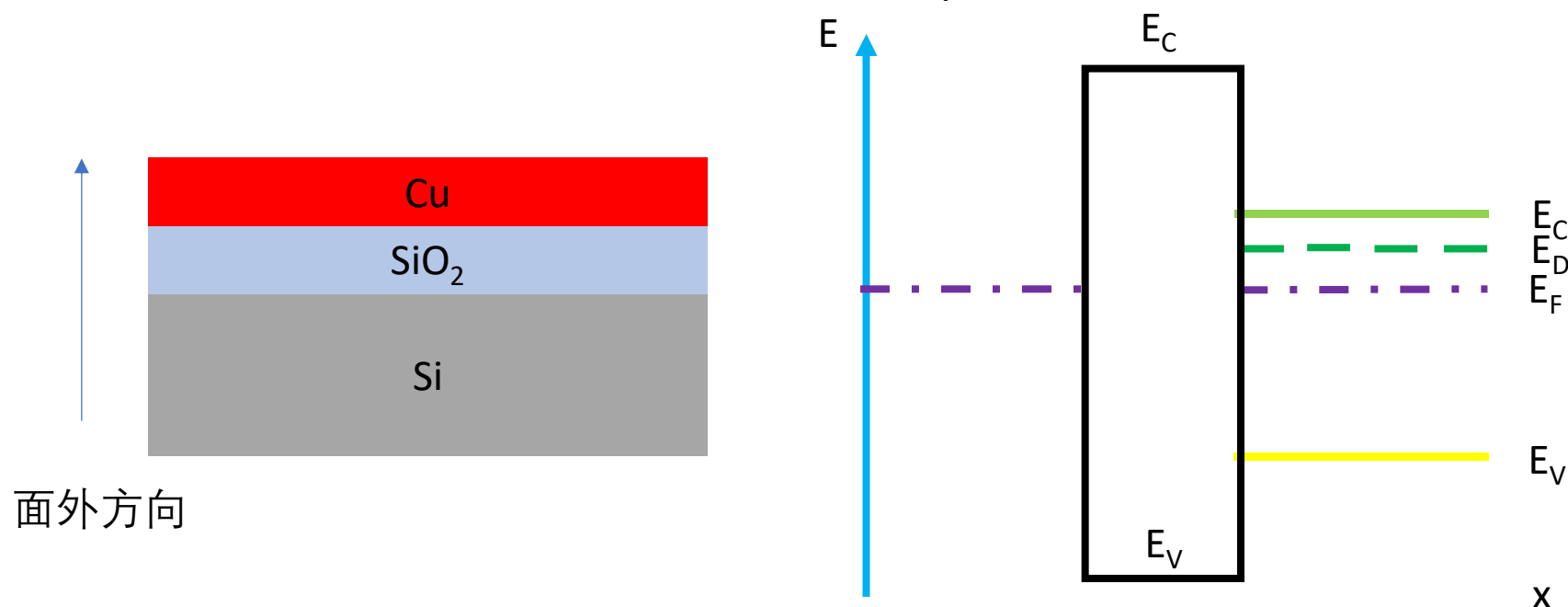
小结：能带图（band diagram）

- 显示能带随实空间的变化，在输运中很有用
- 能带随倒空间（ k ）的变化是能带结构，两者完全不同



例题：能带图

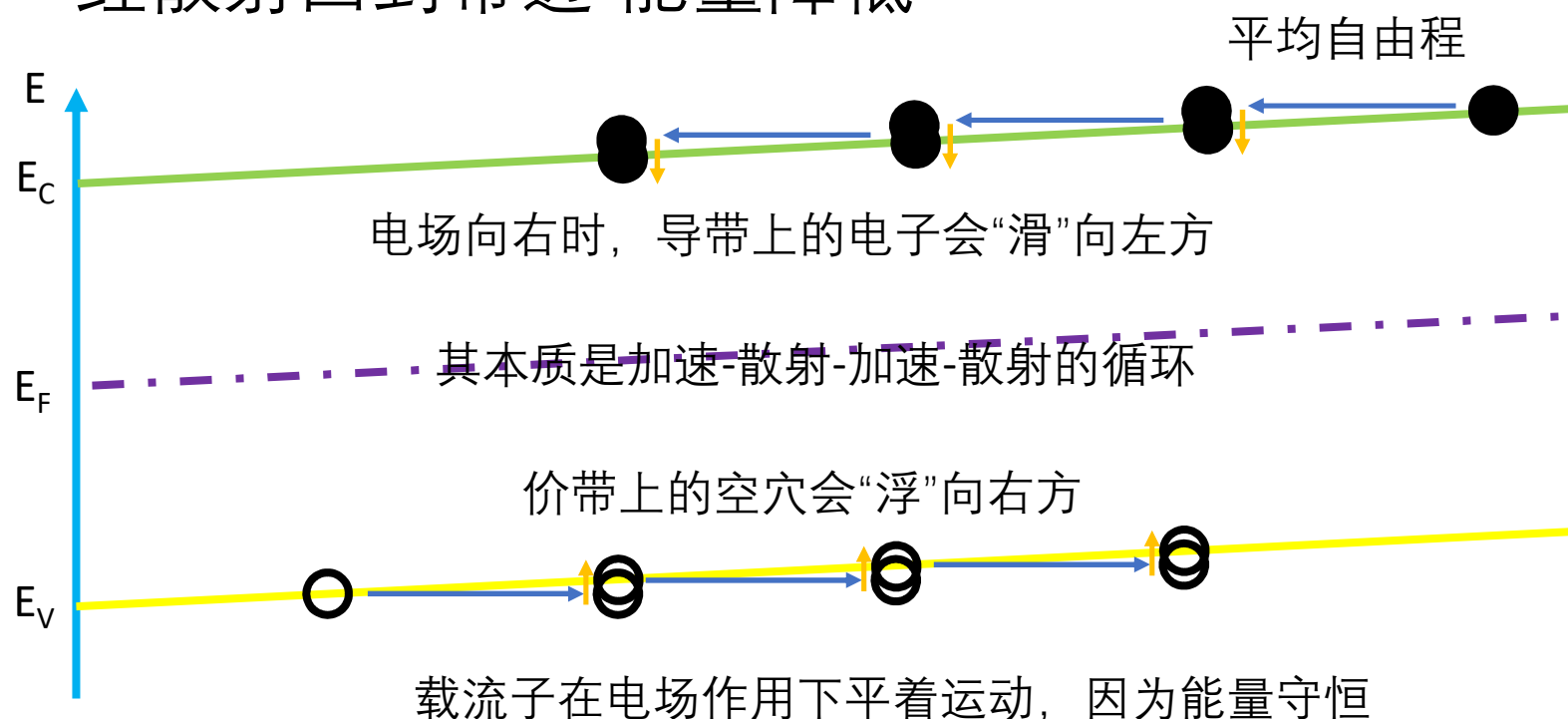
- 场效应晶体管里会用到金属-氧化物-半导体（MOS）结构（如图）。以面外方向为横轴，试画出能带图。假设Si为n型， E_F 全部一致。



注意：仅为示意，有因素尚未考虑，需先学习第五章

小结： 电场下的能带图

- 外加电场 E 后，电子加速，相对于带边能量提高
 - 空穴能量相对于带边也提高，但表现为“降低”
- 经散射回到带边-能量降低

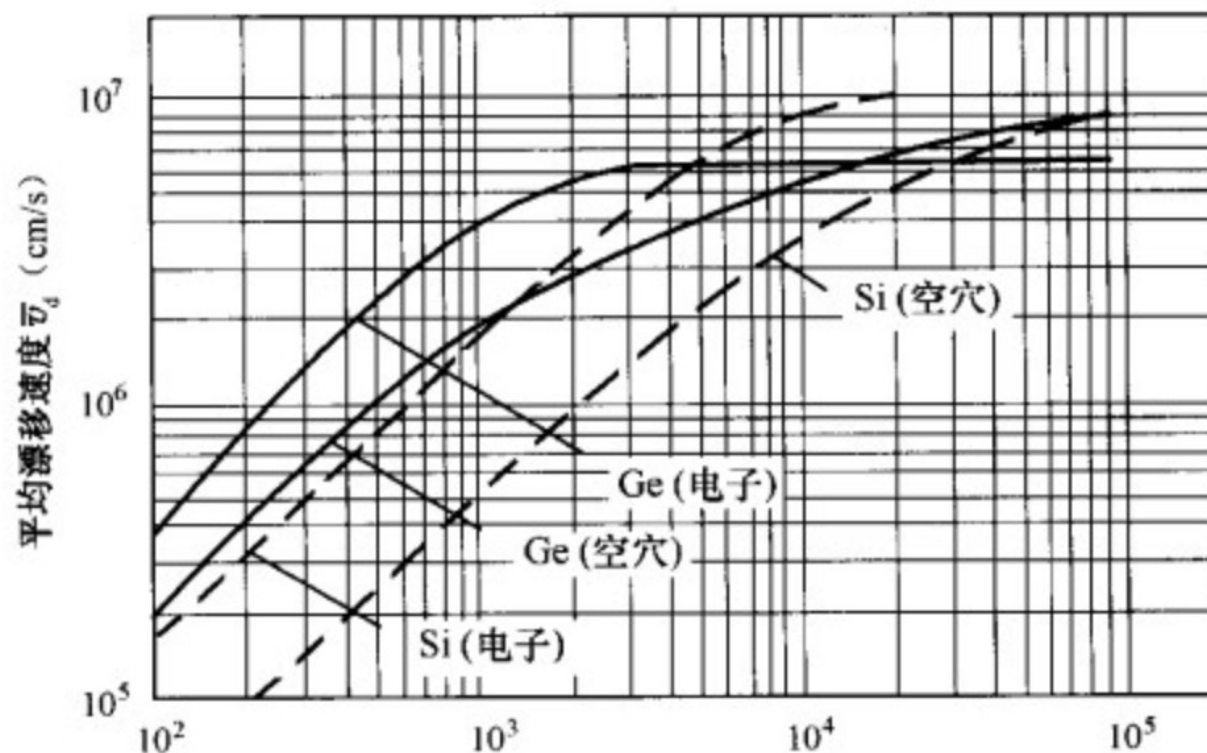


小结： 电场作用下的输运

- 弱场输运 $< 10^3\text{-}10^4 \text{ V/cm}$
 - 欧姆定律、常数迁移率
- 强场输运 $10^3\text{-}10^4 \text{ V/cm} - \text{约} 10^6 \text{ V/cm}$
 - (漂移) 速度饱和、负微分电导
 - 原因： 电场给载流子供能，进入非平衡态 (“热载流子”)
- 极强场击穿 $> \text{约} 10^6 \text{ V/cm}$

强场下欧姆定律的失效

当E很强时，欧姆定律 $j = \sigma E$ 不再适用，因为 $|v_d| = \mu|E|$ 不再适用



注意双对数坐标 电场强度 \mathcal{E} (V/cm) 电场强度是什么量级?

图 4-17 锗、硅的平均漂移速度与电场强度的关系 (300K)

高场下的负微分电导

某些半导体在高场下会出现漂移速度随电场下降的情况

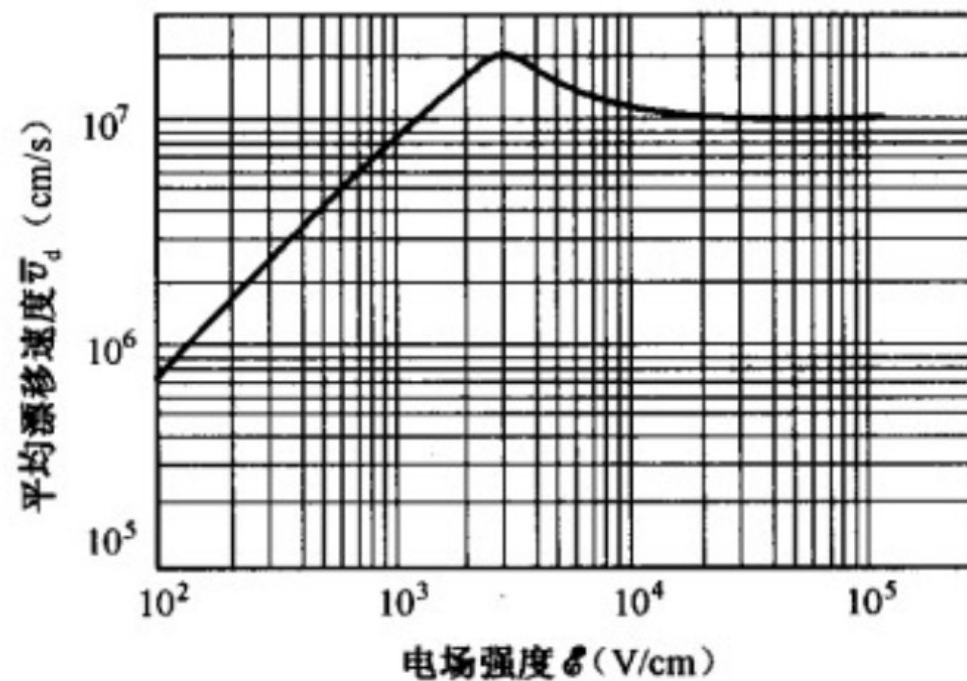
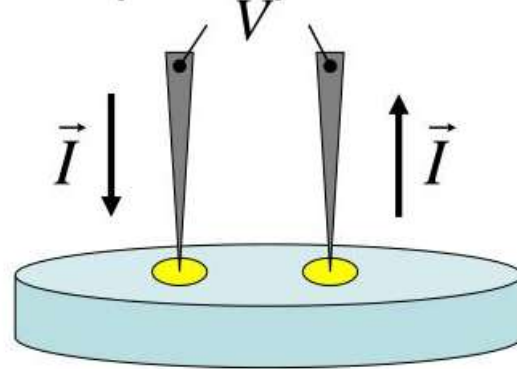


图 4-20 砷化镓电子平均漂移速度与电场强度的关系 (300K)

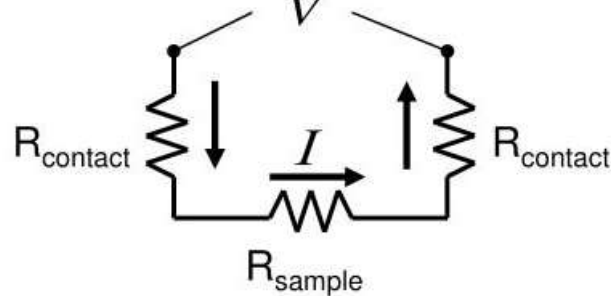
电阻率：实验测量

四端法准确测量电阻

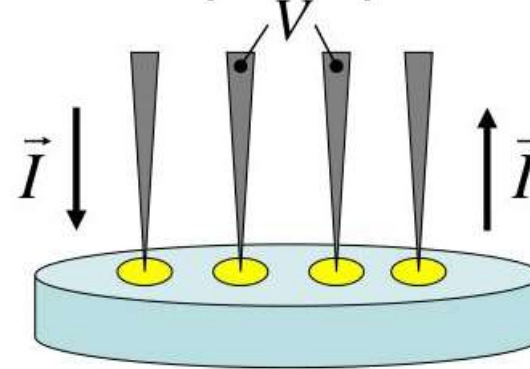
Two-point probe



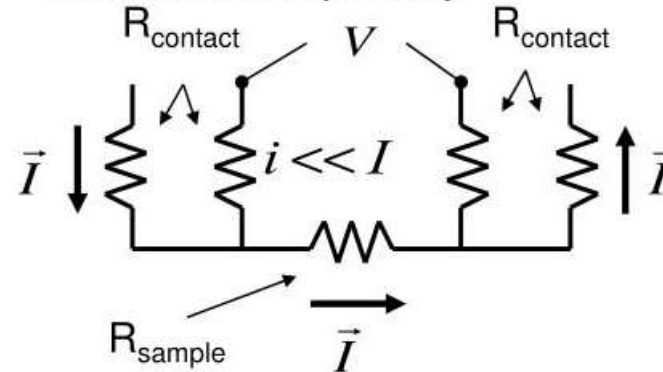
Measures sample + contact resistance + probe resistance



Four-point probe



Measures sample only



In four-point probe, negligible current flows through the voltmeter, the only voltage drop measured is across R_{sample} .

迁移率：实验测量

- 迁移率直接测量比较麻烦
- 利用 $\sigma = nq\mu$ 计算
 - 测量电阻率（电阻测量）
 - 测量载流子浓度（霍尔效应）

霍尔棒(Hall bar)测量法：同时测量电阻率和载流子浓度

