

# 半导体材料与物理

## 0. 绪论：课程介绍

中国科学技术大学微电子学院 吕頔

# 课程简介

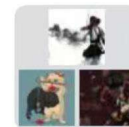
- 任课教师：吕頔（Di）
  - 邮箱：dilu@ustc.edu.cn
  - 主页：  
<http://sme.ustc.edu.cn/2022/0601/c30996a556940/page.htm>
- 课程地点：高新区G3-115
- 课程时间：秋季学期1-15周，每周二9:45-11:20；  
周四14:00-15:35
- 课程教材：《半导体物理》（第七版），刘恩科等

# 参考书目

- 教材：刘恩科等《半导体物理》
- 课外参考书：Neaman等的《半导体物理与器件》  
/ "Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles"
- 课外参考书：Kittel等的《固体物理导论》  
/ "Introduction to Solid State Physics"

# 联系方式

- 微信群
- 考试、助教答疑、习题课等通知会发在群里
- 有意见、建议也可在群中沟通



半导体材料与物理课程群



该二维码7天内(9月11日前)有效, 重新进入将更新

# 考核方式

- 平时成绩（30%）
  - 课后会不定时留作业
  - 作业请按时提交给助教
- 考试（70%）
  - 考试为闭卷；试卷上会给出公式，无需担心记不住
  - 考试不可以携带计算器；不会出难算的题
  - 考试主要考察对概念、方法的理解和掌握

为什么我们要学习这门课程？

ICT

Transmission apparatus for radio, telephone and TV

Electronic integrated circuits

Code 8542 HS92

Gross Export \$155B

Share 4.18%

5.13%

Transport

Computers

Toys

Games

Air conditioning

Appliances

Intelligent machines

Parts and accessories for office machines

5.21%

3.44%

Cars

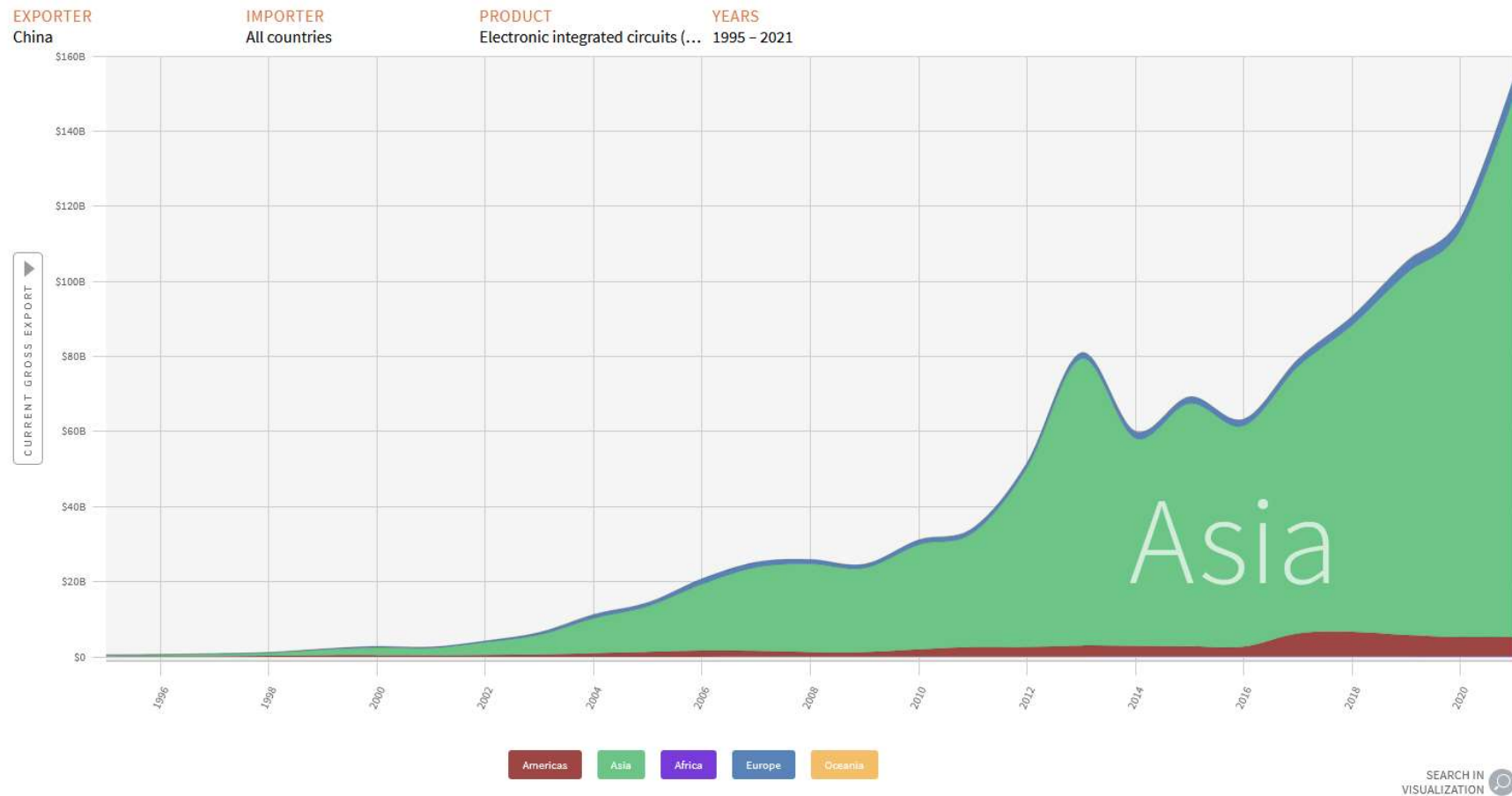
Parts of motor vehicles

Petroleum oils, refined

Harvard, Atlas of economic complexity

# 微电子产业在我国经济中的地位

我国集成电路出口额随时间迅速增加

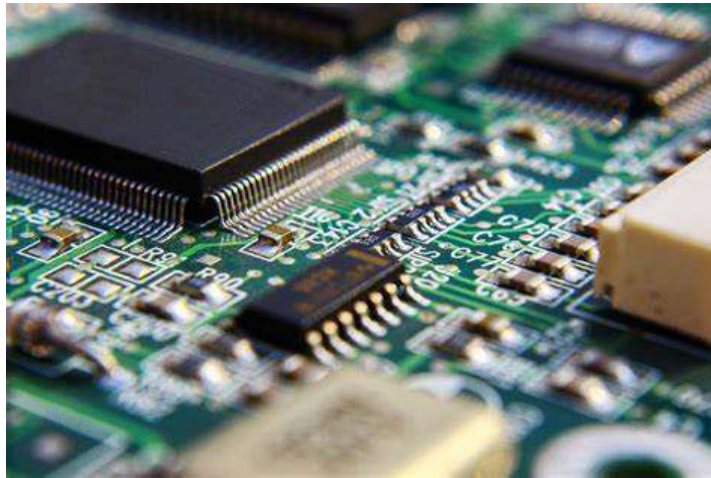


Harvard, Atlas of economic complexity

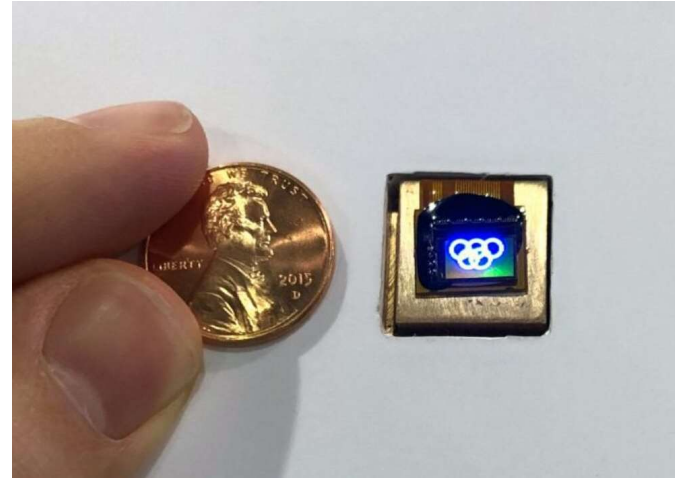


# 微电子产业包含什么？

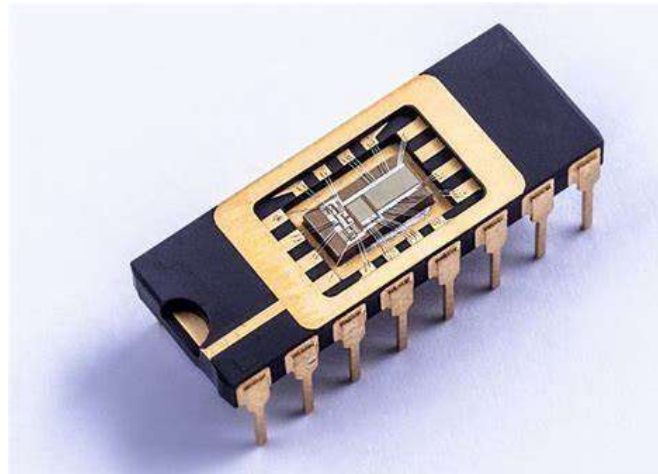
硅集成电路芯片



光电器件（芯片）



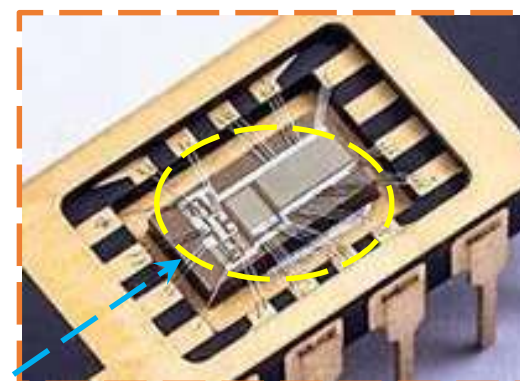
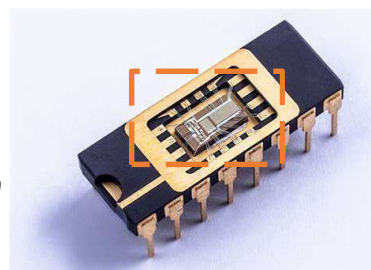
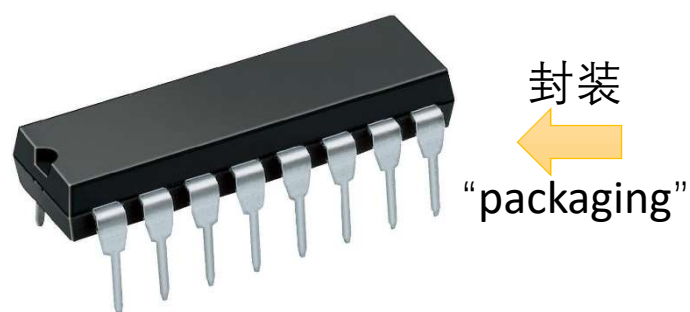
功率器件（芯片）



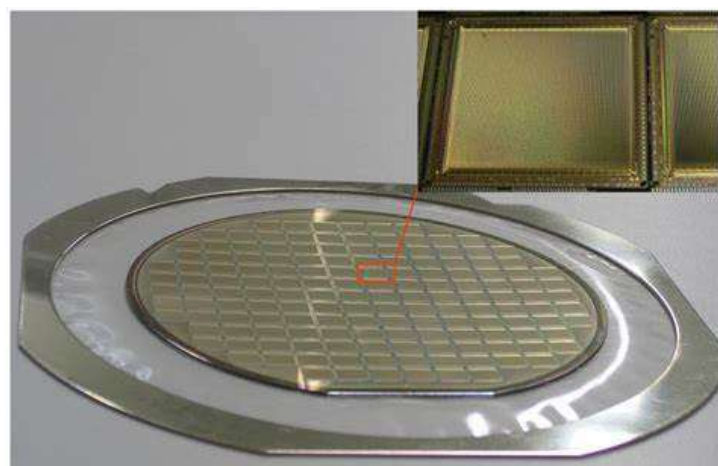
等

# 芯片结构

芯片, “chip”



半导体晶圆, “wafer”

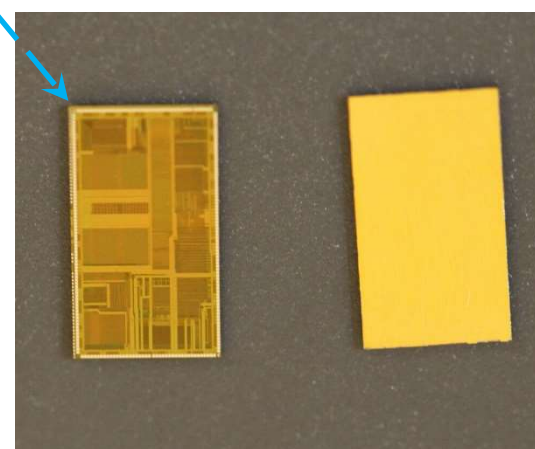


“芯片”, “die”

焊线

“wirebonding”

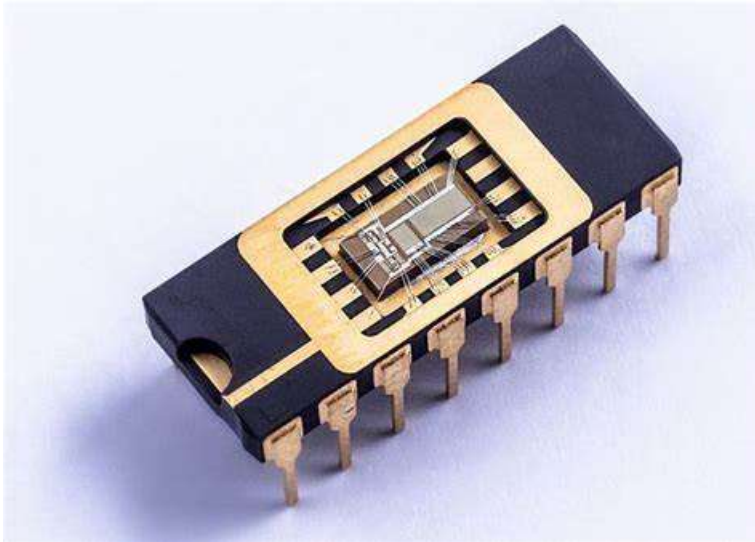
划片  
“dicing”



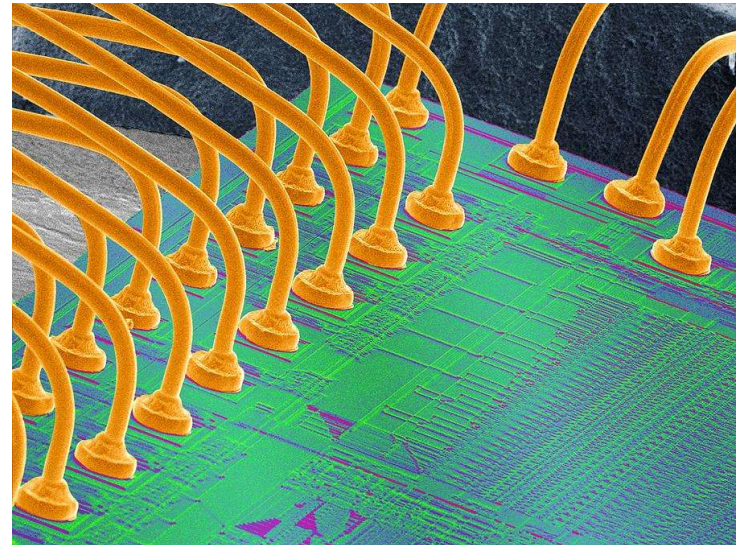
注: 均为示意图, 并不代表实际芯片结构

# 芯片结构

芯片



集成电路的扫描电镜（SEM）图像



放大



继续放大？

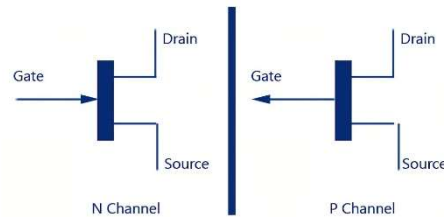
注：均为示意图，并不代表实际芯片结构



# 芯片结构：器件层面

放大能看到单个器件：

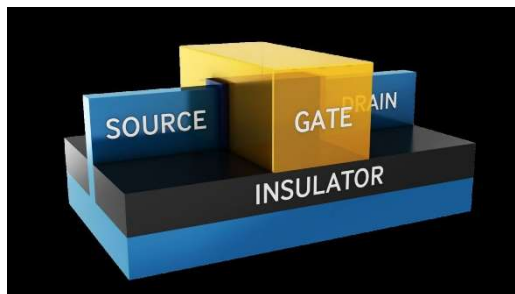
MOSFET



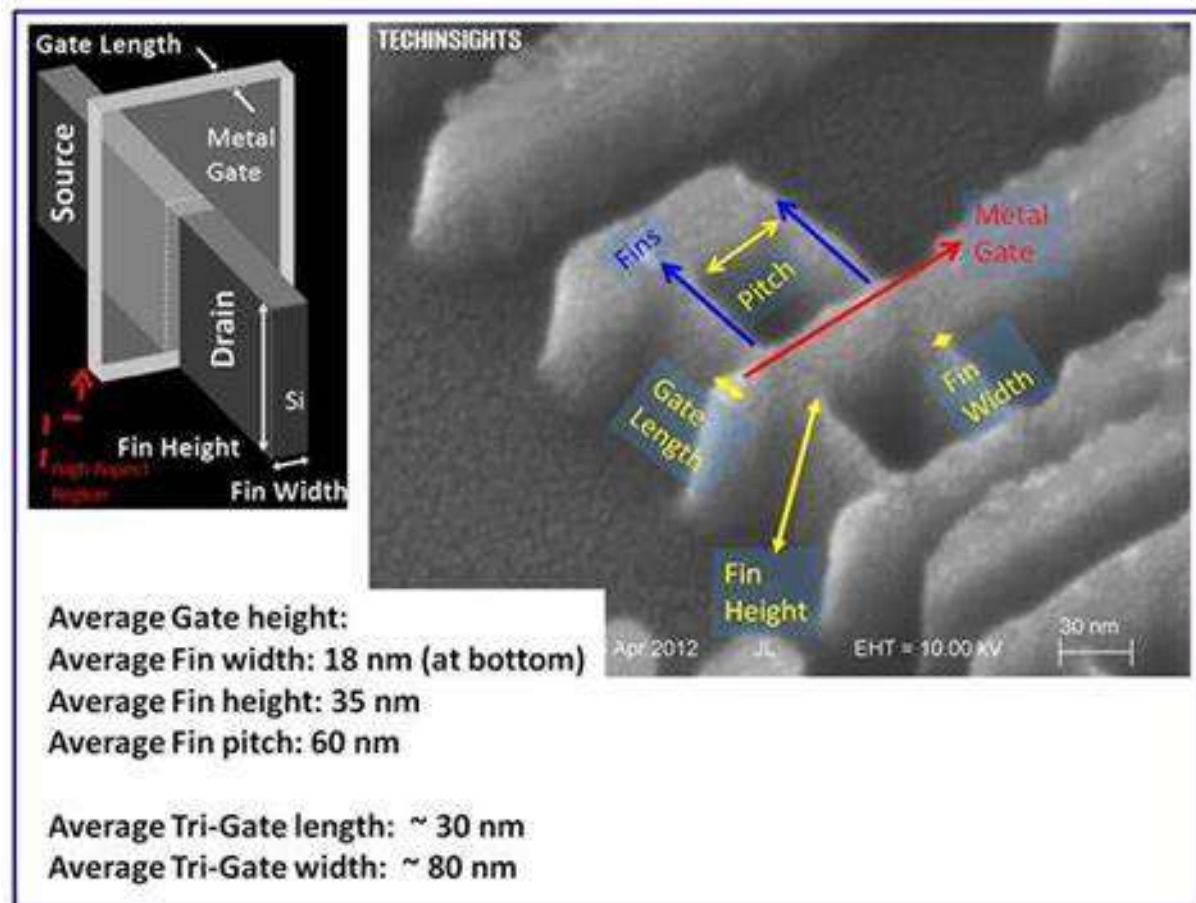
FET

Field Effect Transistor FET

鳍式晶体管 (FinFET)



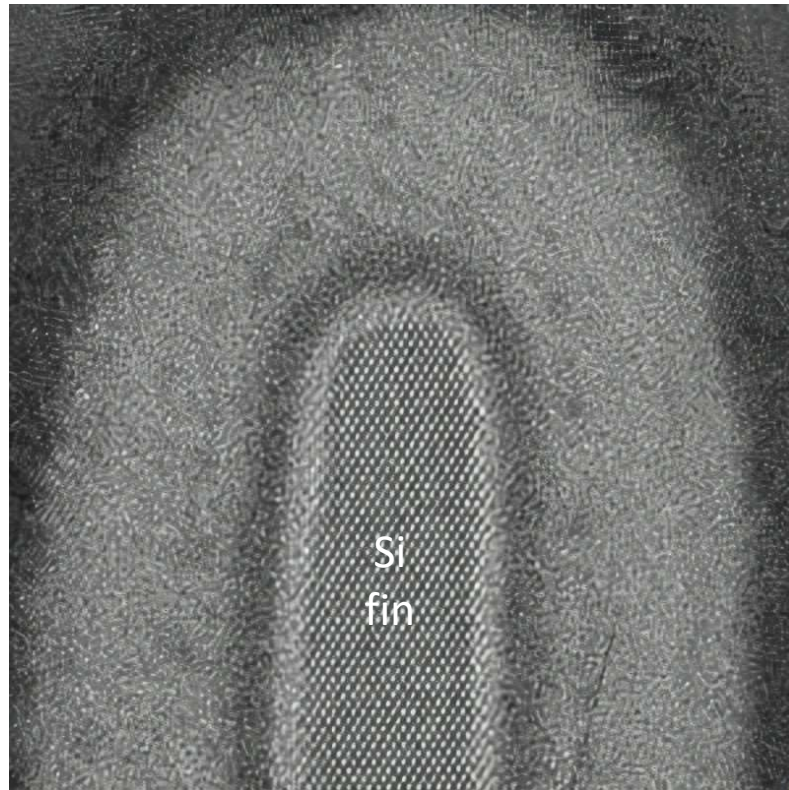
鳍式晶体管的扫描电镜 (SEM) 图像



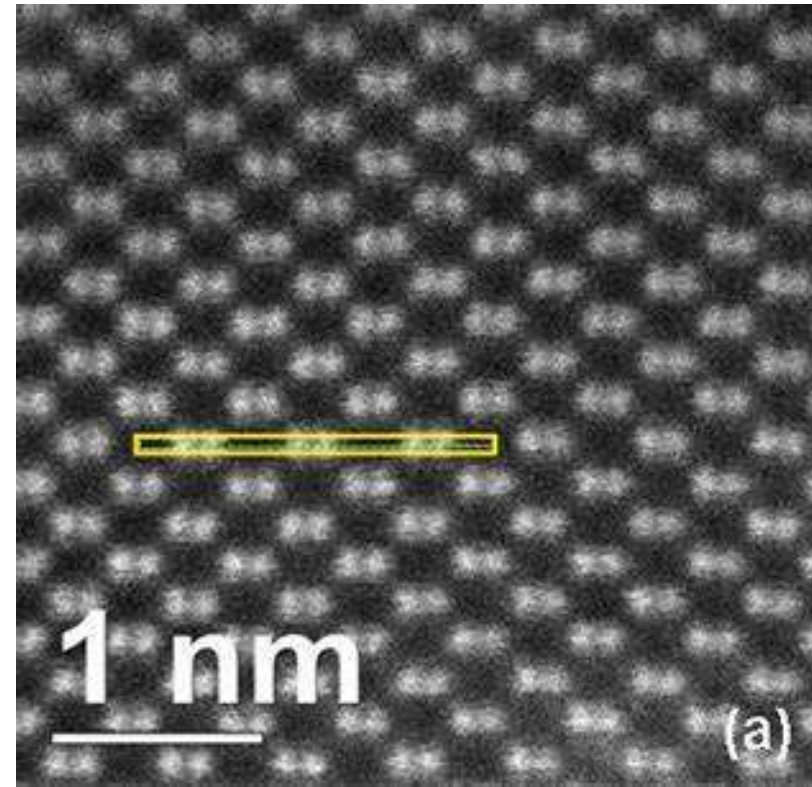
继续放大？

# 芯片结构：材料层面

放大能看到晶体结构：  
鳍式晶体管的透射电镜（TEM）图像

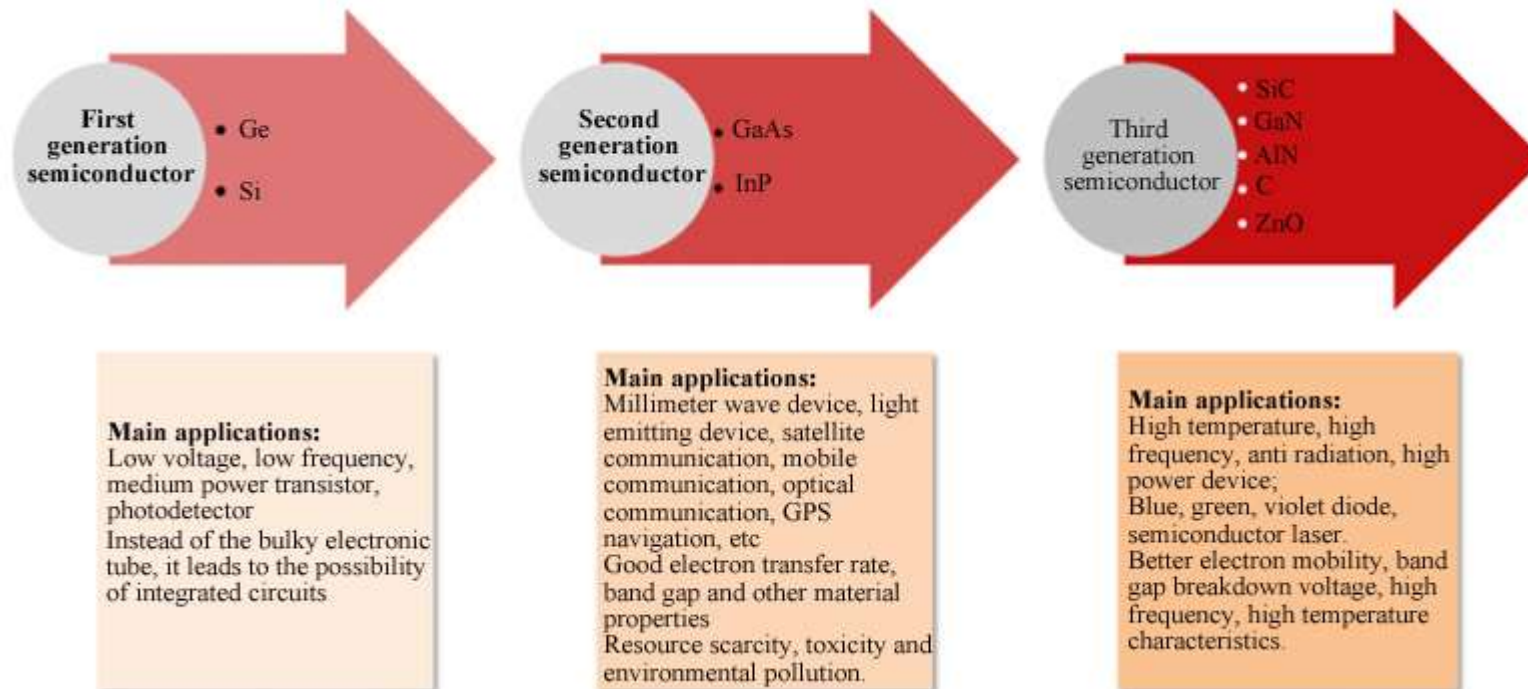


再放大能看到单个原子：  
硅的扫描透射电镜（STEM）图像



# 半导体材料例子

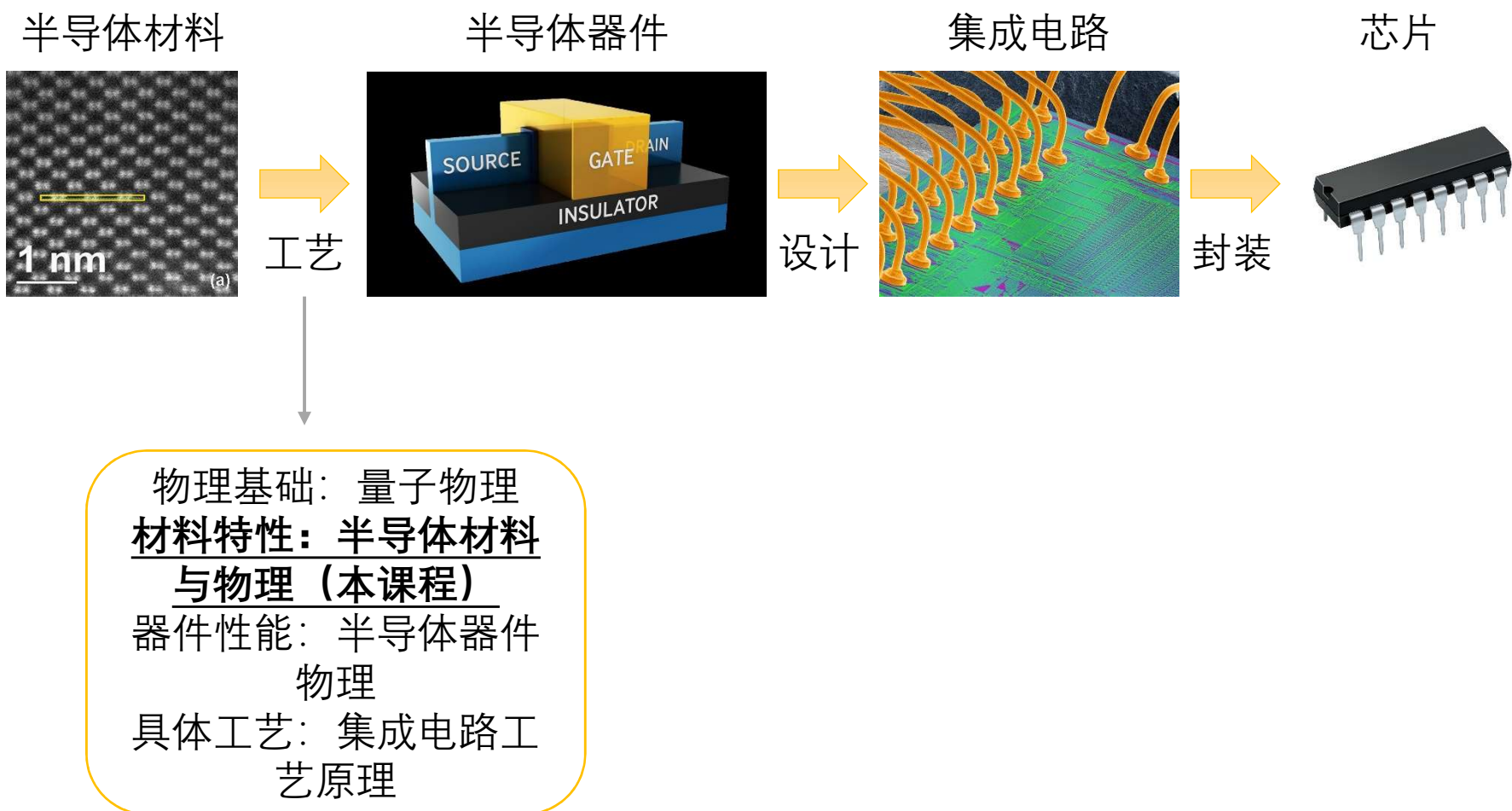
第一代半导体：硅、锗（IV族）      第二代半导体：砷化镓、磷化铟（III-V族）      第三代半导体：碳化硅、氮化镓（宽禁带）





[illegible]

# 芯片产业与本课程的关系





# 为什么要学习本课程？

- 深入理解芯片相关材料（主要是半导体材料）的物理特性，为下一步学习打好基础
- 用逻辑将零散的知识点串起来，加深理解
- 培养大家的专业能力，最终为我国芯片产业做贡献，同时实现人生价值

# 我国半导体产业现状介绍

- 封装：产业链成熟
- 设计：蓬勃发展，极具竞争力
- 工艺：最先进工艺（5 nm节点）仍被台积电（TSMC）等公司独占，中芯国际（SMIC）等公司只能使用落后几年的工艺
  - 极不利于我国集成电路产业的竞争力
  - 根本原因在于先进光刻技术的垄断，例如荷兰ASML公司的极紫外（EUV）光刻机
  - 其余大部分工艺均有国产替代

# 我国半导体产业现状介绍

存储技术：不太依赖最先进工艺

合肥长鑫  
DRAM产业



武汉长存  
闪存产业



# 我国半导体产业现状介绍

- 工艺：存储技术现已初见规模和成效
- 其它领域？
  - 需要在座各位同学贡献聪明才智，努力学习研究
- 华为最近的新芯片

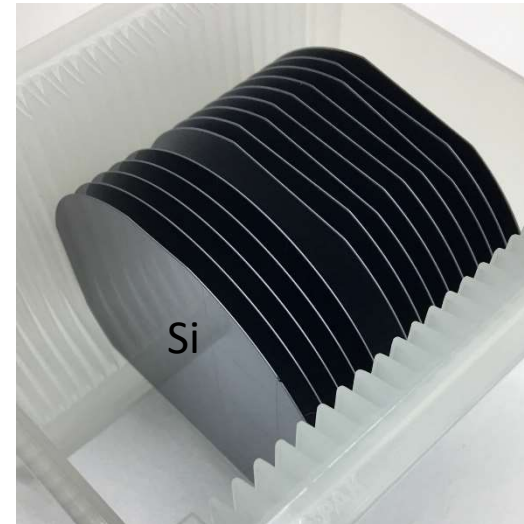
这门课学的是什么？

# 这门课学的是什么？

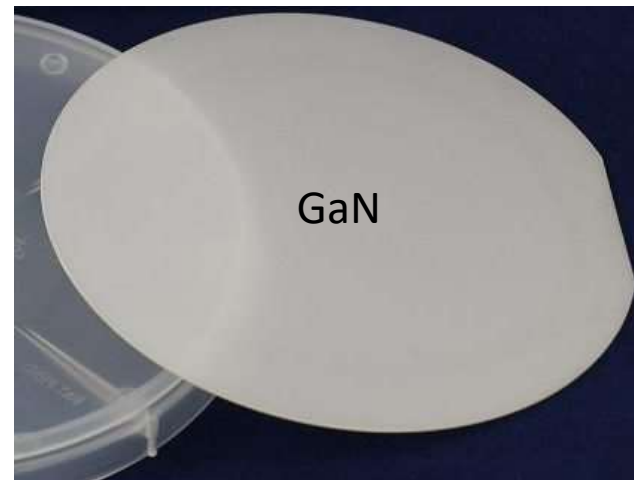
- 1. 半导体材料
- 硅（poly、a-硅）
- 磷化铟、氮化镓.....

为什么氮化镓是白/透明的，硅是银灰色的？

为什么氮化镓可以用在充电器里边，  
硅用在集成电路里边？



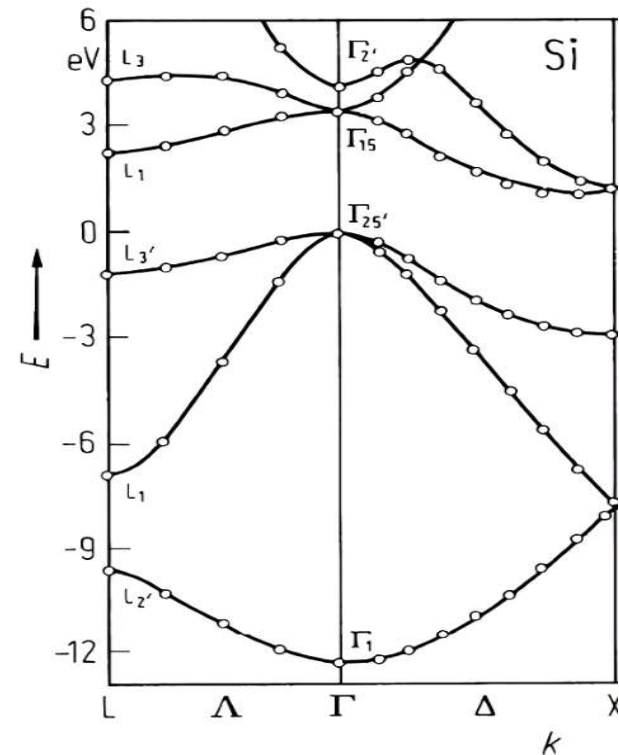
vritratech.com



sunboundtechnology.com

# 这门课学的是什么？

- 2.能带结构
- 能带、有效质量
- 电子、空穴



为什么一定要虚拟一个带正电的空穴出来，全部用电子不行吗？

# 这门课学的是什么？

- 3.导电机制
- “载流子”
- 电阻率

什么控制了电子和空穴能否导电/载流？ 什么控制了它们的多少？



# 这门课学的是什么？

- 4. 内在机理
- 半导体里的电子能怎么运动？

公式定理？

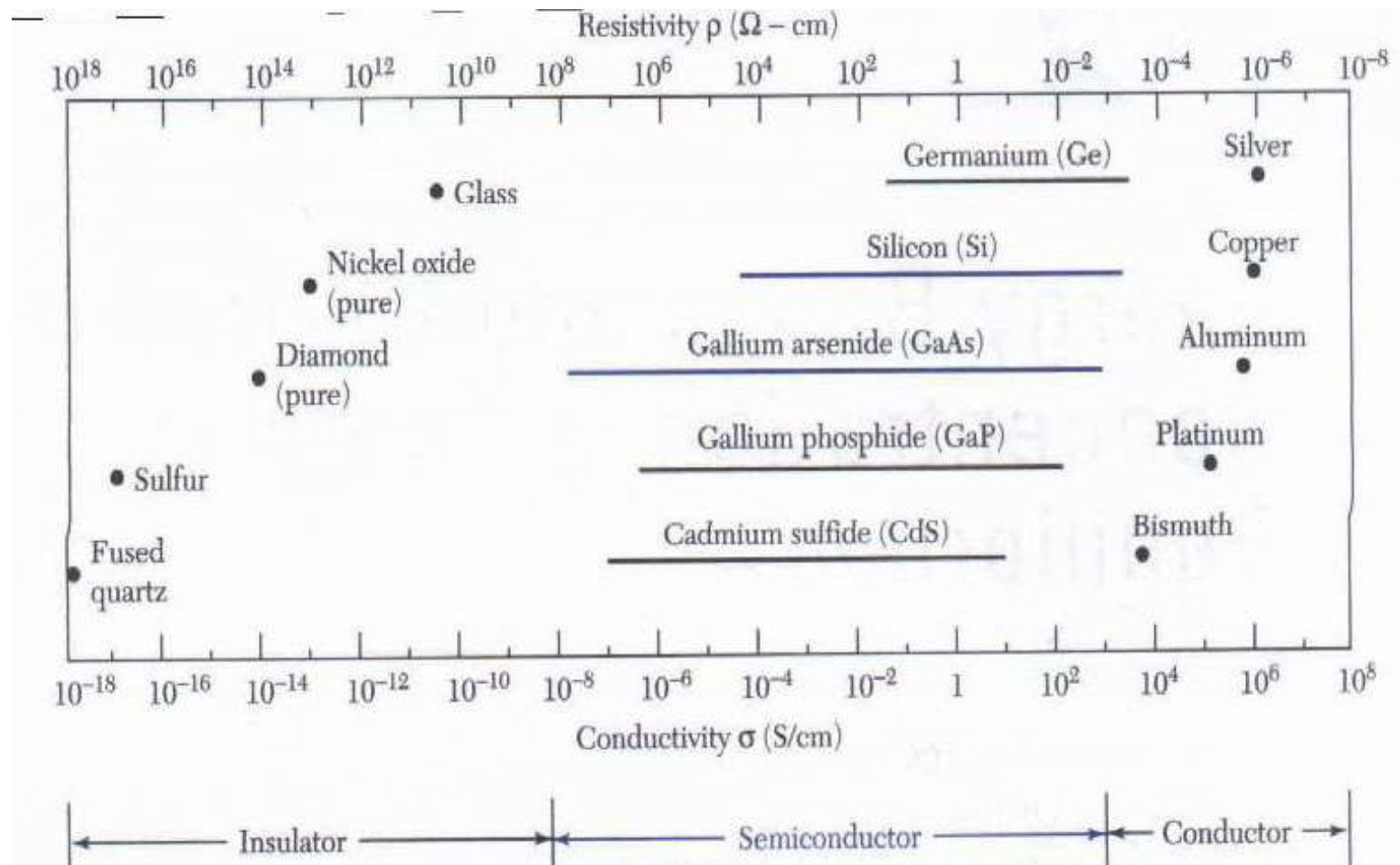
- 运动体现的效果是什么？

现象？

# 问题的引入

# 导体、半导体、绝缘体的区别

都是物质里的电子，为什么有的容易运动有些不容易运动？



# 物质中的电子

- 简单模型：“电子在盒子（方势阱）里”
  - 复杂模型：“电子在周期性势场里”
  - 能带、填充度
- 
- 为什么不同元素/晶体结构能带差距那么大？
  - 为什么会有不同填充度？

# 课程目的

- **用理论解释半导体材料中的电学现象**
  - 理解产生相关现象的（微观）机制
    - 晶体结构：单晶半导体是周期性排布的原子
    - 能带结构：能带论描述半导体中的电子状态
    - 热力学统计：温度、杂质等能控制半导体中的载流子密度
    - 载流子输运：多种散射机制决定半导体的导电性能
    - 非平衡载流子：普遍情况下半导体中的载流子行为
  - 初步了解用于确认微观机制的实验方法

# 课程内容

- **研究主体：半导体中的电子**
- 第一部分：晶体结构
- 第二部分：能带结构
- 第三部分：热力学统计
- 第四部分：载流子输运
- 第五部分：非平衡载流子