



Computer Culture Advanced

打开计算机硬件的盲盒

揭开数字电子计算机的神秘面纱

二进制加法器实验小结

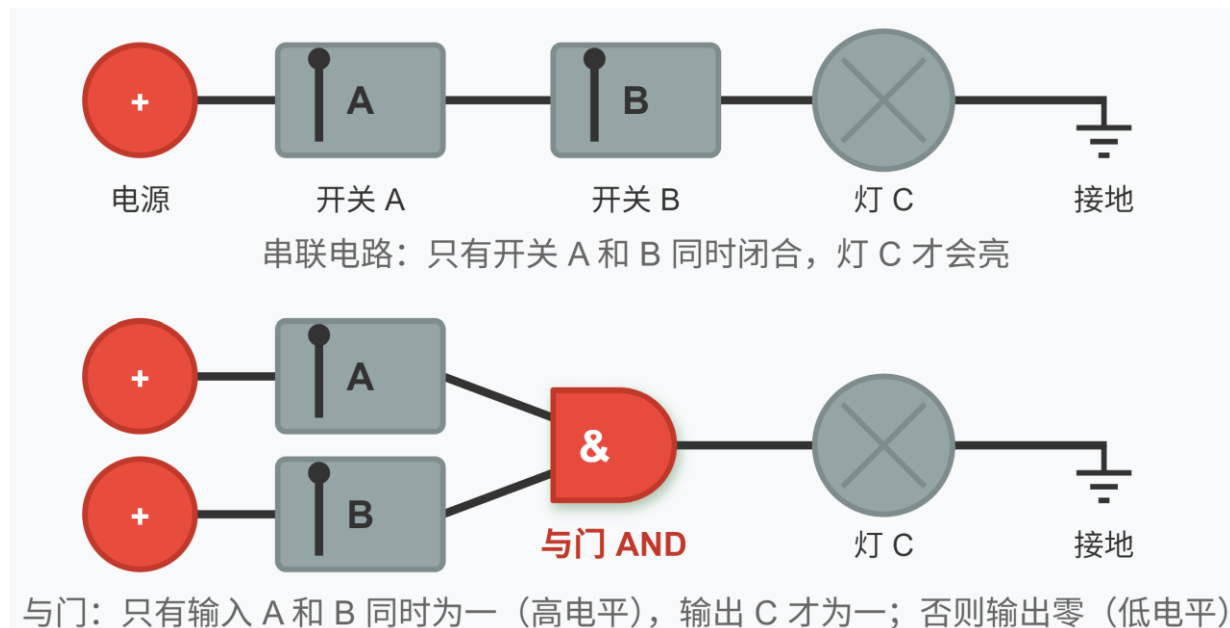
开关→开关电路→逻辑门→逻辑门组合→加法运算

通过基础逻辑门完成知识迁移：从中学串联电路，抽象到数字逻辑【与门】
把电路实物现象，抽象成**符号变换规则**

本质：**硬件连线拓扑**定义了**固定的变换规则 f**

$$y = f(x)$$

把物理状态（高低电平）映射成 0/1 符号，输出体现了按既定规则的符号变换



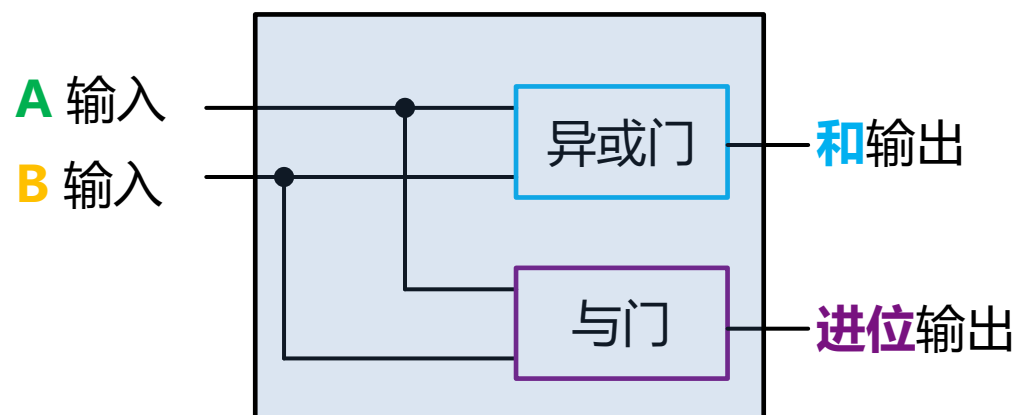
电路连线拓扑 = 符号变换规则



逻辑门组合：把二进制加法规则转化为硬件变换电路

进位计数制二进制形式的运算

$$\begin{array}{r} 0 \\ + 0 \\ \hline 00 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0 \\ + 1 \\ \hline 01 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \\ + 0 \\ \hline 01 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \\ + 1 \\ \hline 10 \end{array}$$



一位半加器

二进制算术规则可以被
翻译成布尔逻辑表达式

和

进位

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

A	B	CO
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

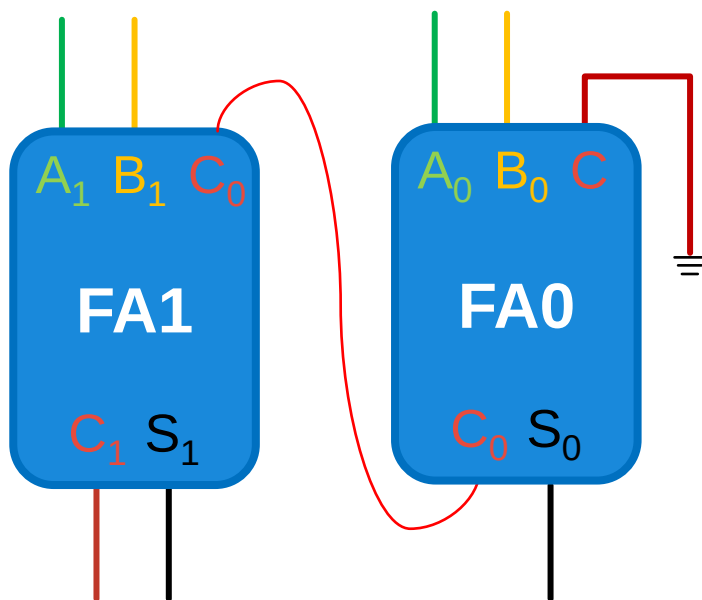
二进制加法拆解到每一位，本质上是一连串的真假条件判断



多位全加器级联：二进制编码数值送入硬件完成运算

$$\mathbf{A} = (3)_{10} = (\mathbf{11})_2 \quad \mathbf{B} = (2)_{10} = (\mathbf{10})_2$$

求 $\mathbf{A} + \mathbf{B} = ?$

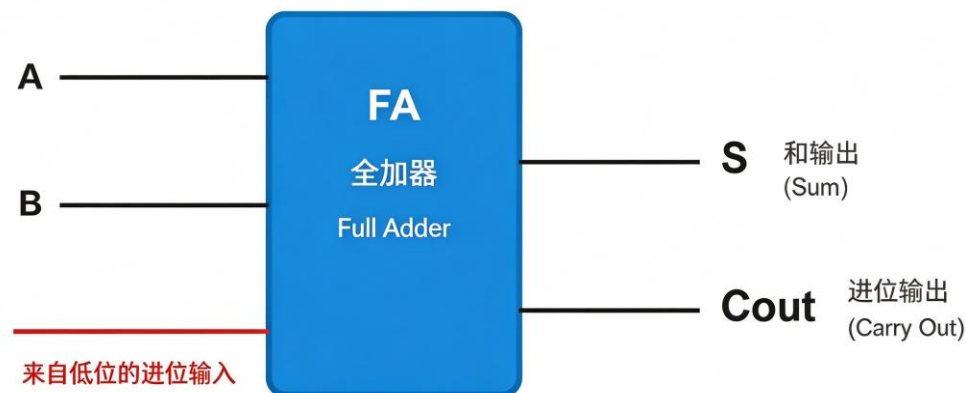


两位全加器级联实现两位二进制数加法

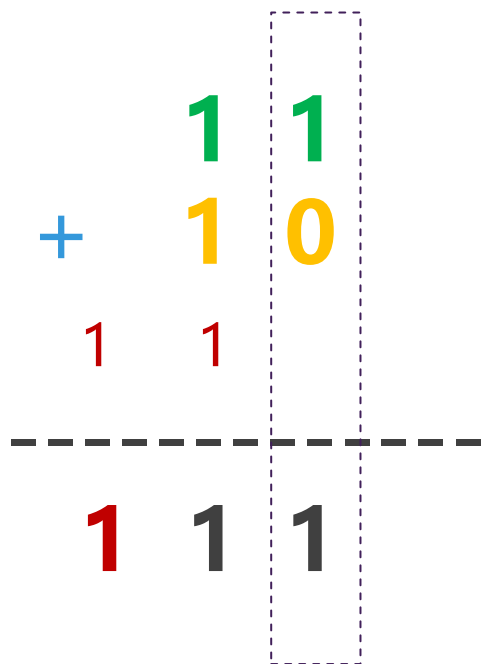
$$\begin{array}{r} \mathbf{11} \\ + \mathbf{10} \\ \hline \mathbf{111} \end{array}$$

Red arrows point to the carry bits '1' in the second column of the addition.

- **硬件只有高低电平**，电平本身没有数值含义
- **编码**：人为约定电平组合，用来表达带有大小含义的数值

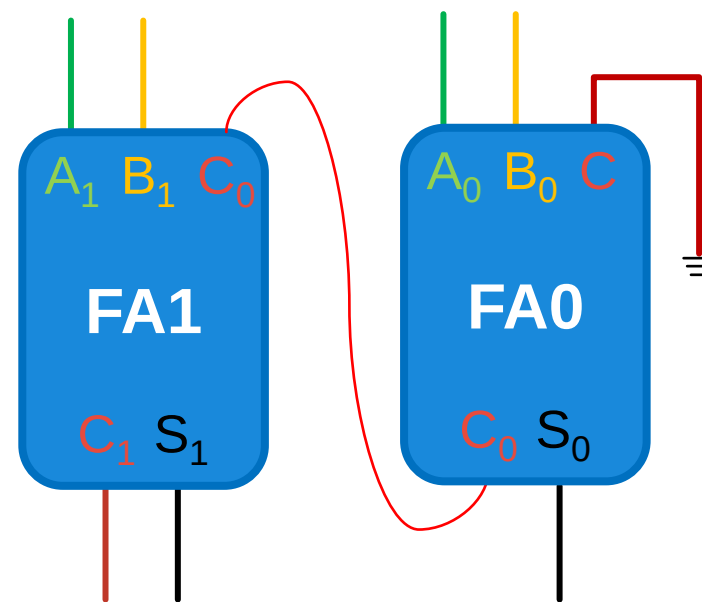


比特：二进制数位在硬件上的物理载体



从**数位**到**比特**bit (位)

- **比特**是二进制数位在计算机硬件上的物理实现，仅有0/1两种状态
- **一组比特**构成**位宽**，决定硬件一次可**并行处理数据的规模**（64 位处理器，指 ALU 一次可以并行处理 64 个比特）

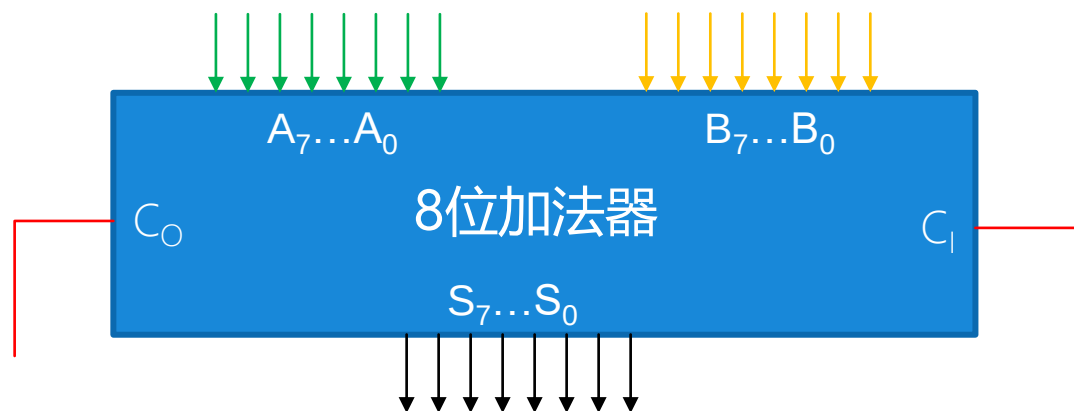
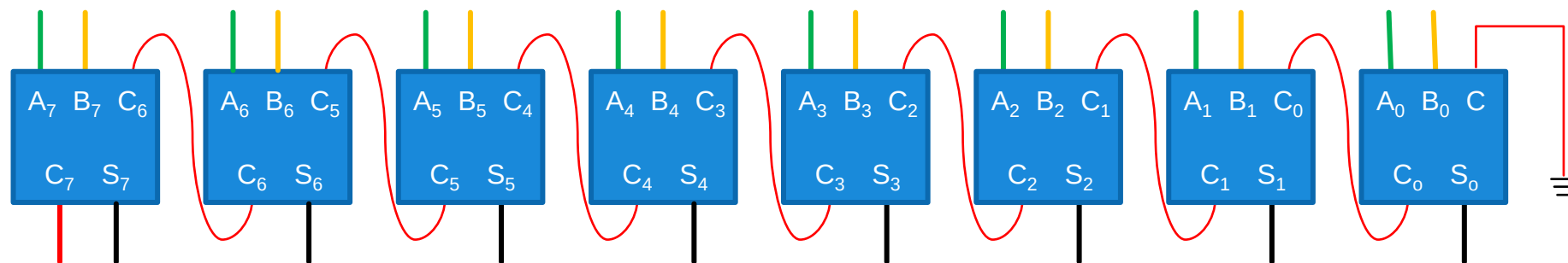


如何计算 **2** + **4** =



芯片封装与模块化复用

串行级联的
8 位加法器



芯片把逻辑门电路全部**封装**在一个器件内部

封装：把复杂内部微型电路黑盒化，只保留外部引脚做输入输出，使用者不用关心内部细微导线。

核心价值：**模块化复用**

依靠**硅**的半导体特性，可以用电信号控制微型开关（晶体管）通断，这是实现高度集成的基础前提。

同一块硅片面积里，**集成度**越高，能放下的晶体管越多。

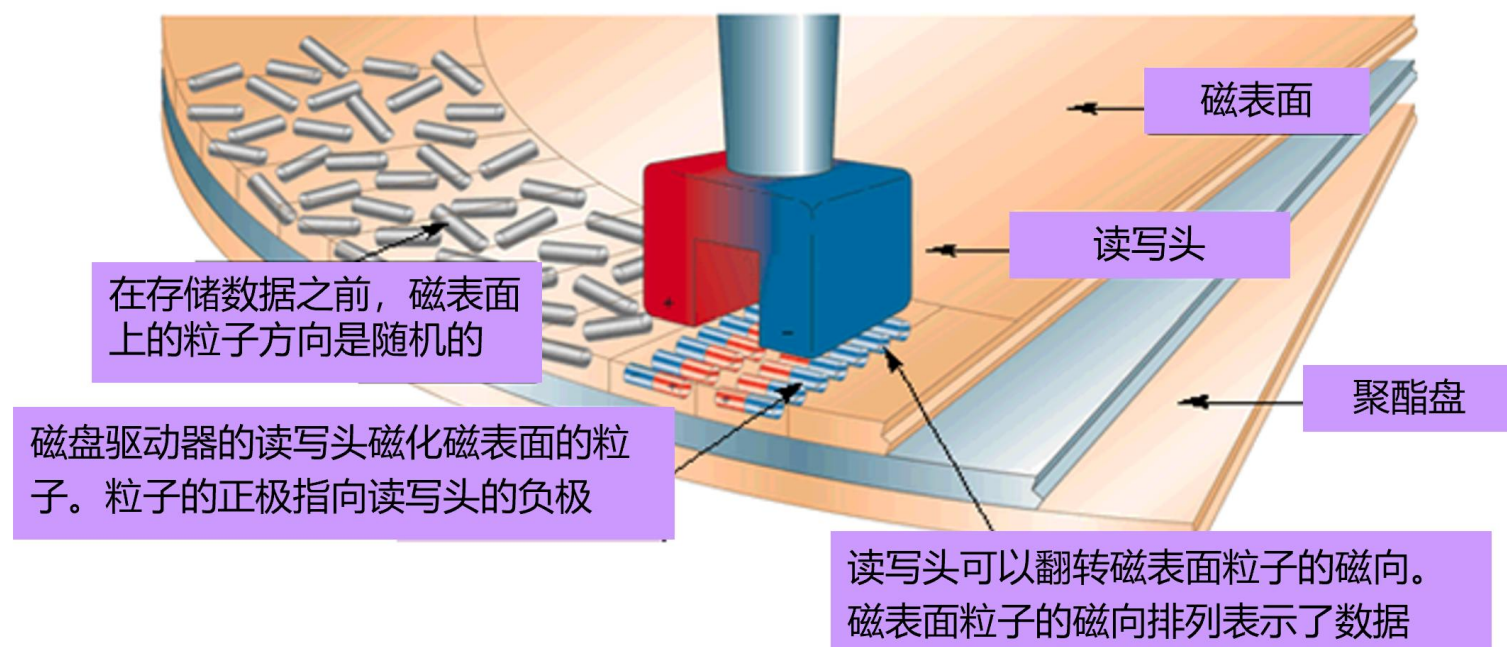
制程越先进，单个晶体管尺寸做得更小



比特在不同场景的状态和用途（磁盘）

运算硬件： 比特是瞬时高低电平，用来实时做符号变换

存储硬件： 比特是持久化物理状态，用来保存比特序列



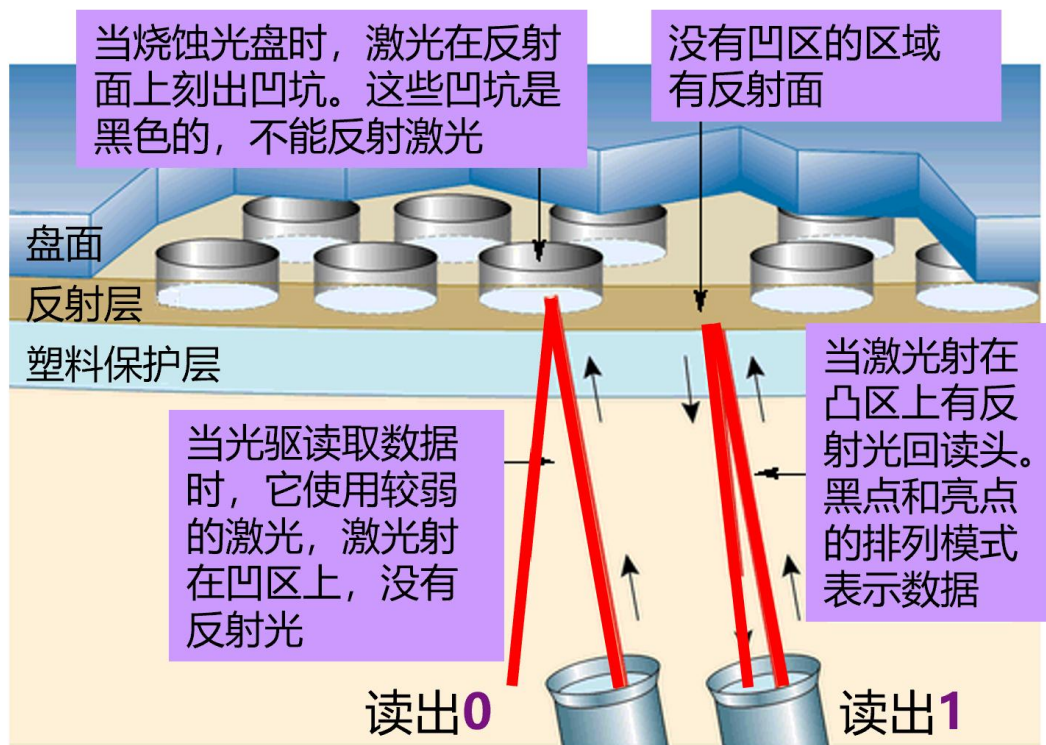
- CPU 64 位：运算通路位宽，ALU 一次并行处理 64bit（运算能力）
- 硬盘 1TB：存储总容量，可以存放多少字节的比特序列（保存信息能力）
- 8 个比特 (bit) = 1 字节 (Byte)，是存储计量的基础打包单位
- 容量单位递进：KB、MB、GB、TB、PB

磁盘：靠磁粒子磁化方向记录比特



比特在不同场景的状态和用途（光盘）

比特本质只是两种可区分物理状态，物理载体可以多种多样



光盘：靠凹坑 / 平面，激光反射有无区分 0/1

- **内存 (DRAM 动态随机存储器)**

载体：微小电容的带电 / 不带电。电容充电代表 1，放电代表 0。电容电荷会慢慢泄漏，硬件需要不断刷新维持状态

特点：断电数据丢失，CPU 运算时临时存放比特

- **固态硬盘 SSD (闪存 NAND)**

载体：浮栅晶体管中捕获电子 / 无电子。有无电荷区分 0 和 1。断电电荷依然保留

特点：没有机械结构，速度快，日常电脑持久存储



$$y = f(x)$$



冯氏架构的数字电子计算机

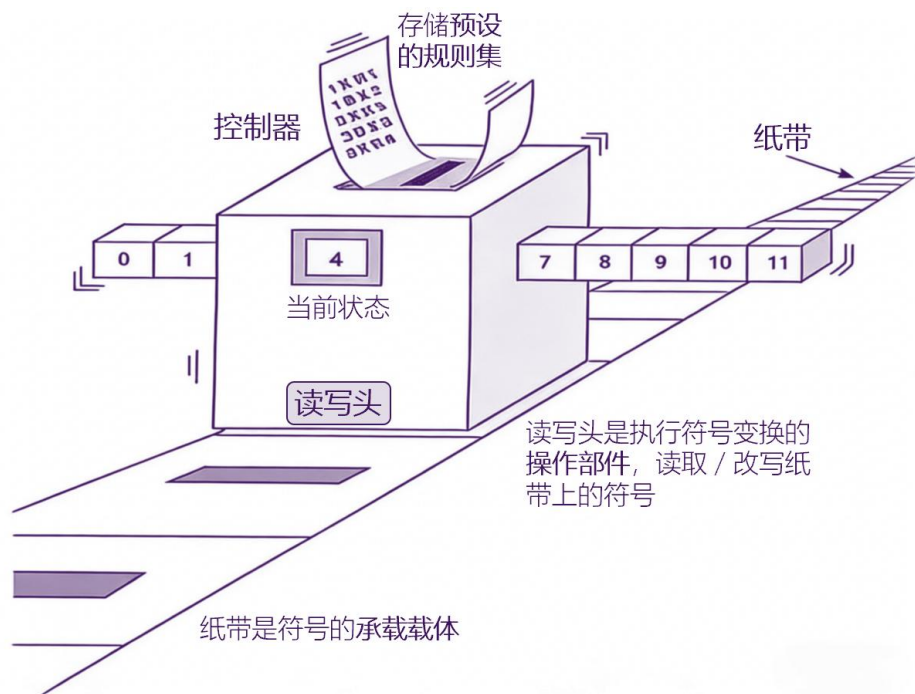
图灵机计算的两个动作：

- ①条件判断（布尔逻辑）
- ②改写符号（所有算术运算都可拆解为布尔逻辑）

二进制图灵机的全部行为，都可以用
逻辑门硬件搭建（开关网络）。

从 名词解释 再看现代通用物理图灵机

electronic device for storing and processing data
(in binary form), according to instructions given
to it in a variable program



图灵机机械计算概念模型