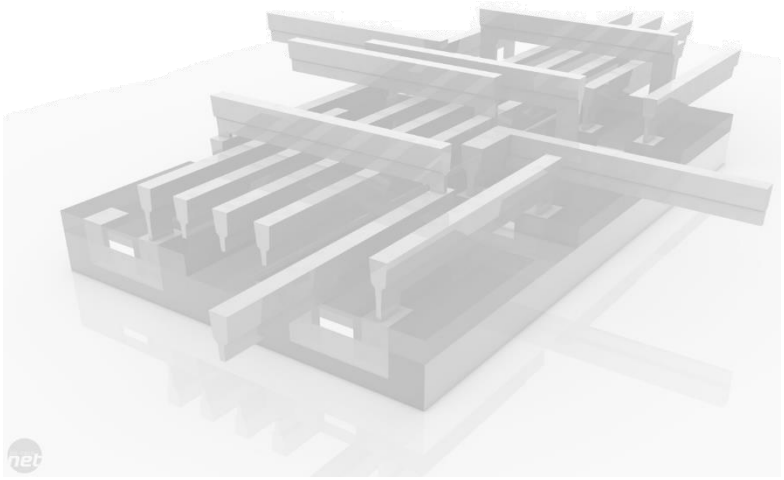
Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre
Engenharia de Produção
Automação Robótica I

# Projeto e Fabricação de Sistemas Digitais



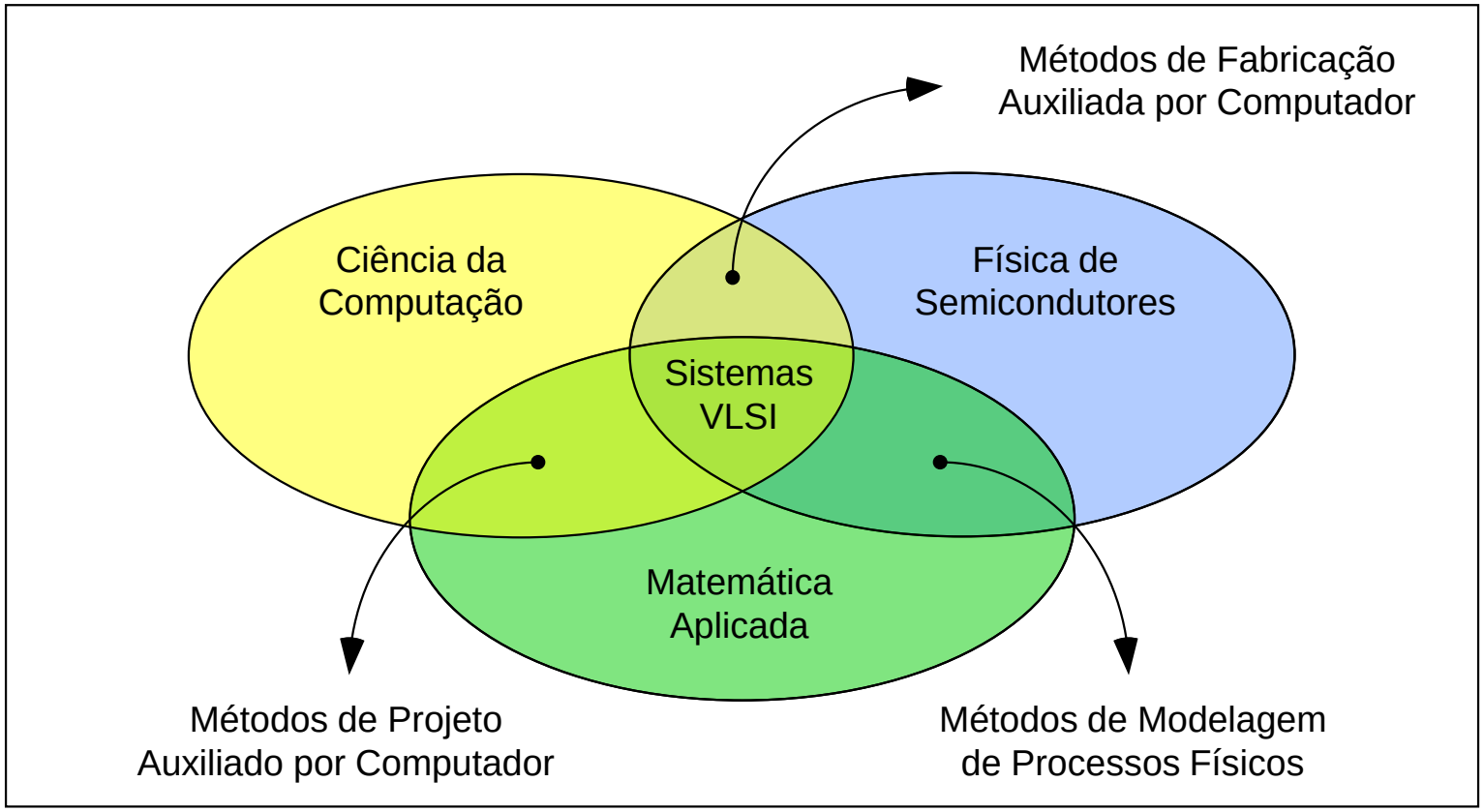
Prof. Me. Filipo Novo Mór
ProfessorFilipo at gmail dot com
filipomor.com

# Na Aula de Hoje …

- Uma breve descrição do processo de fabricação e projeto de chips
- Emprego de Abstração para a composição de sistemas complexos

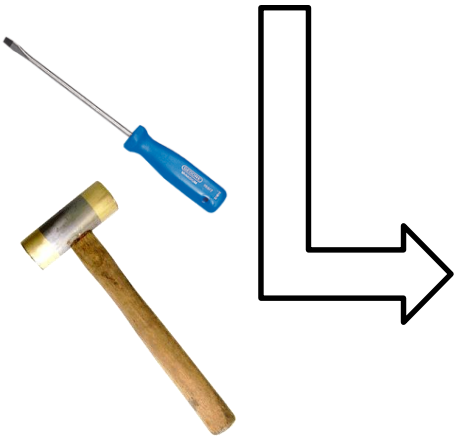
# Projeto e Fabricação de Sistemas Digitais

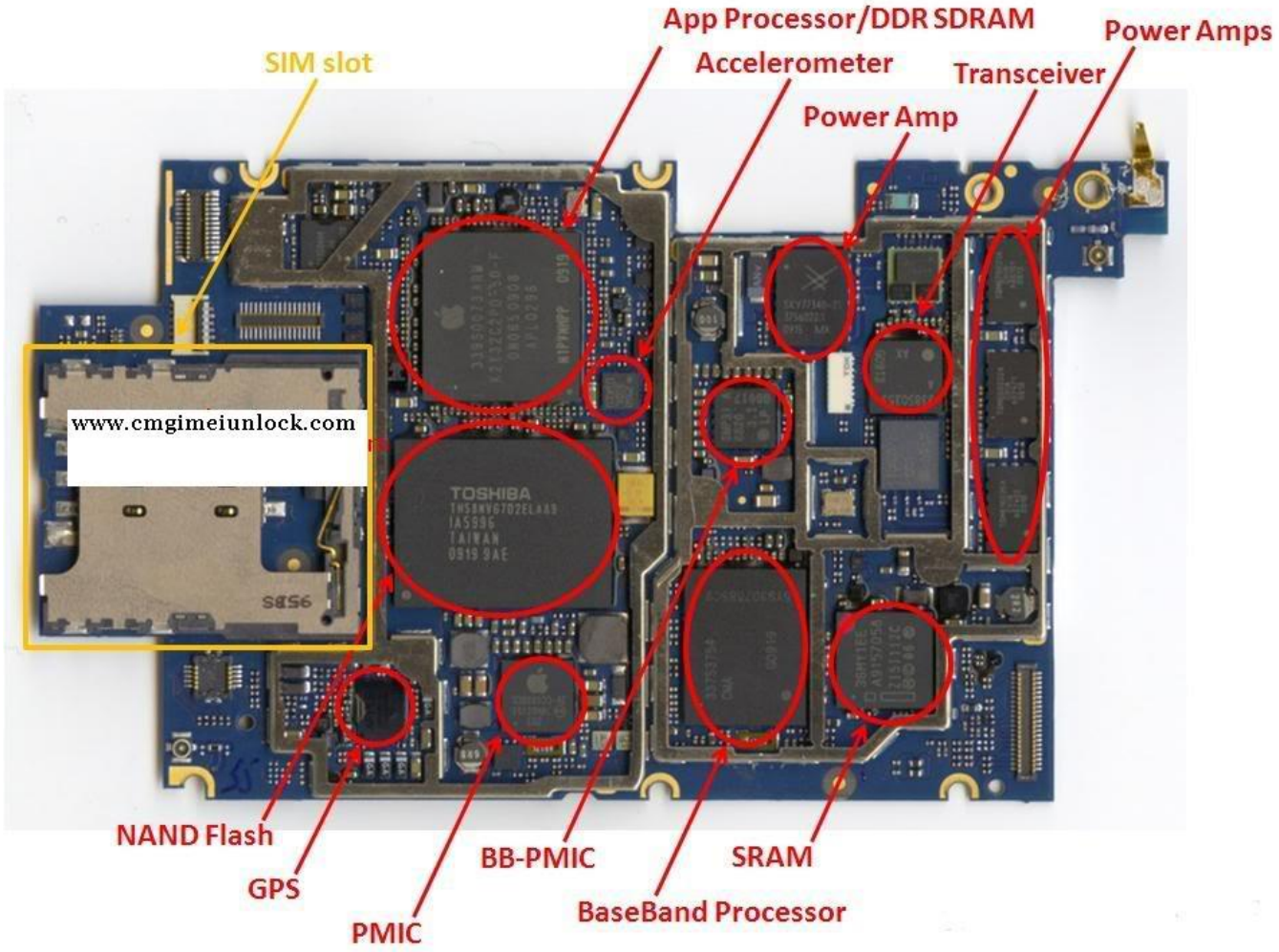
- Três ramos do conhecimento científico envolvidos:
  - Ciência da Computação, Física de Semicondutores e Matemática Aplicada



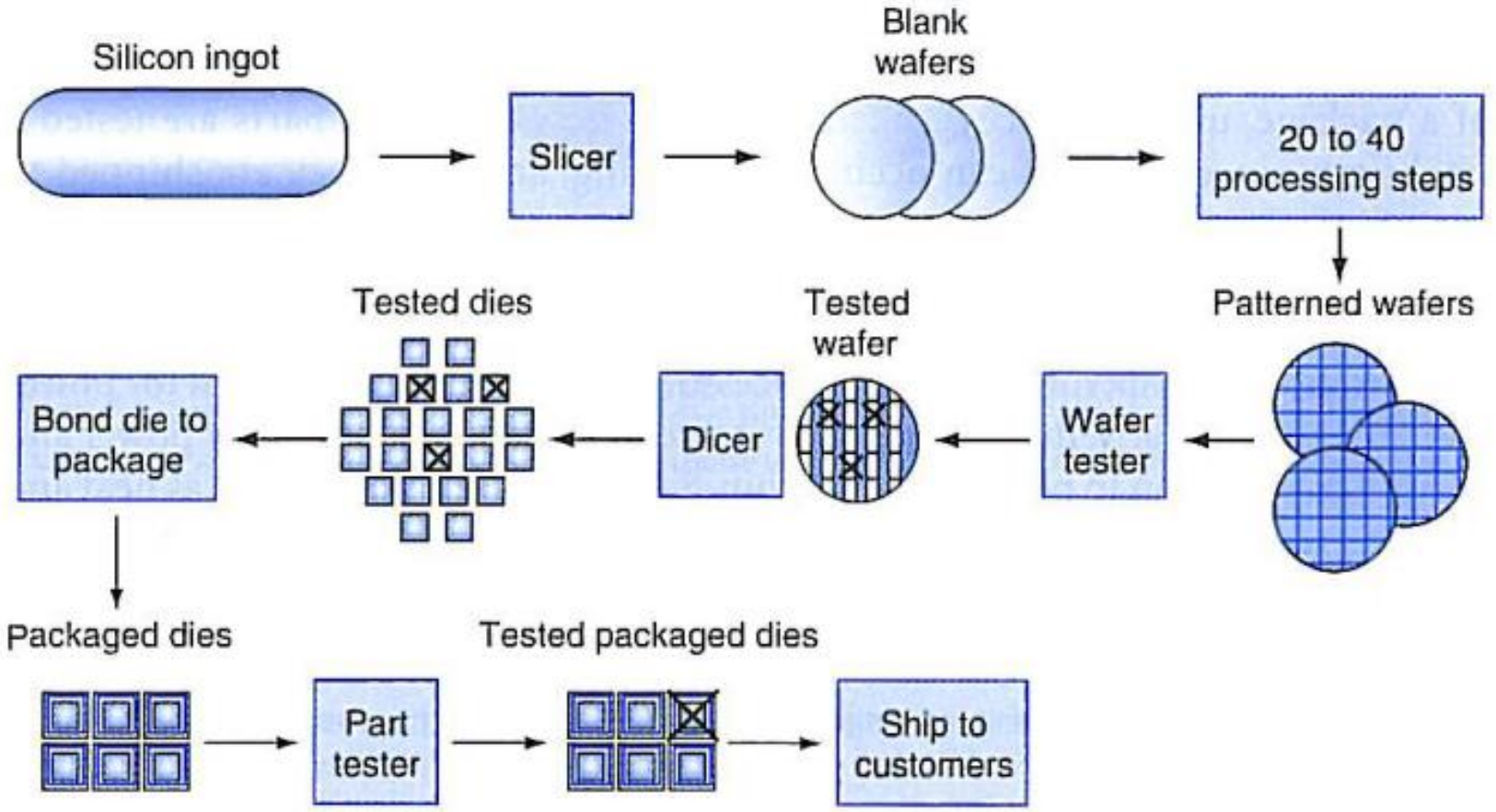
# FABRICAÇÃO DE CIRCUITO INTEGRADO

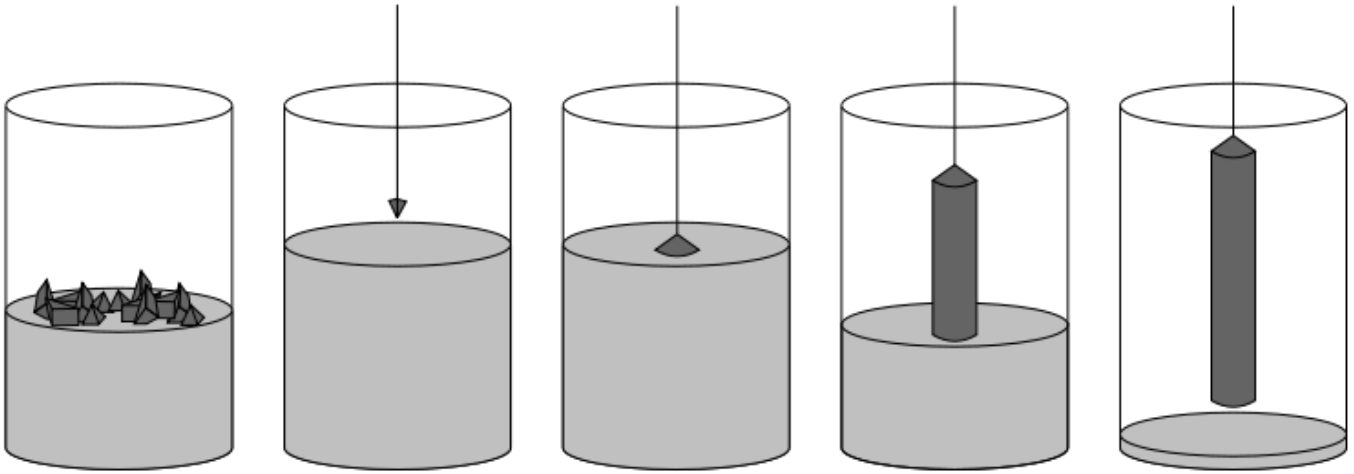
# Olhando por Dentro de um iPhone





# O Processo de Fabricação de Chips





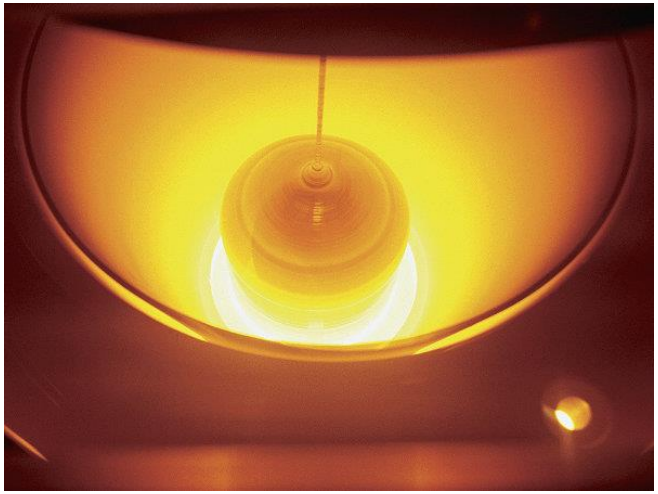
Melting of polysilicon, doping

Introduction of the seed crystal

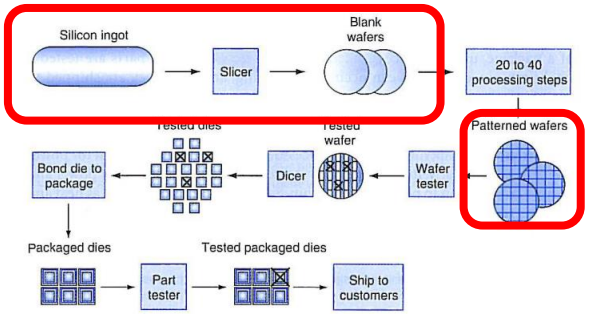
Beginning of the crystal growth

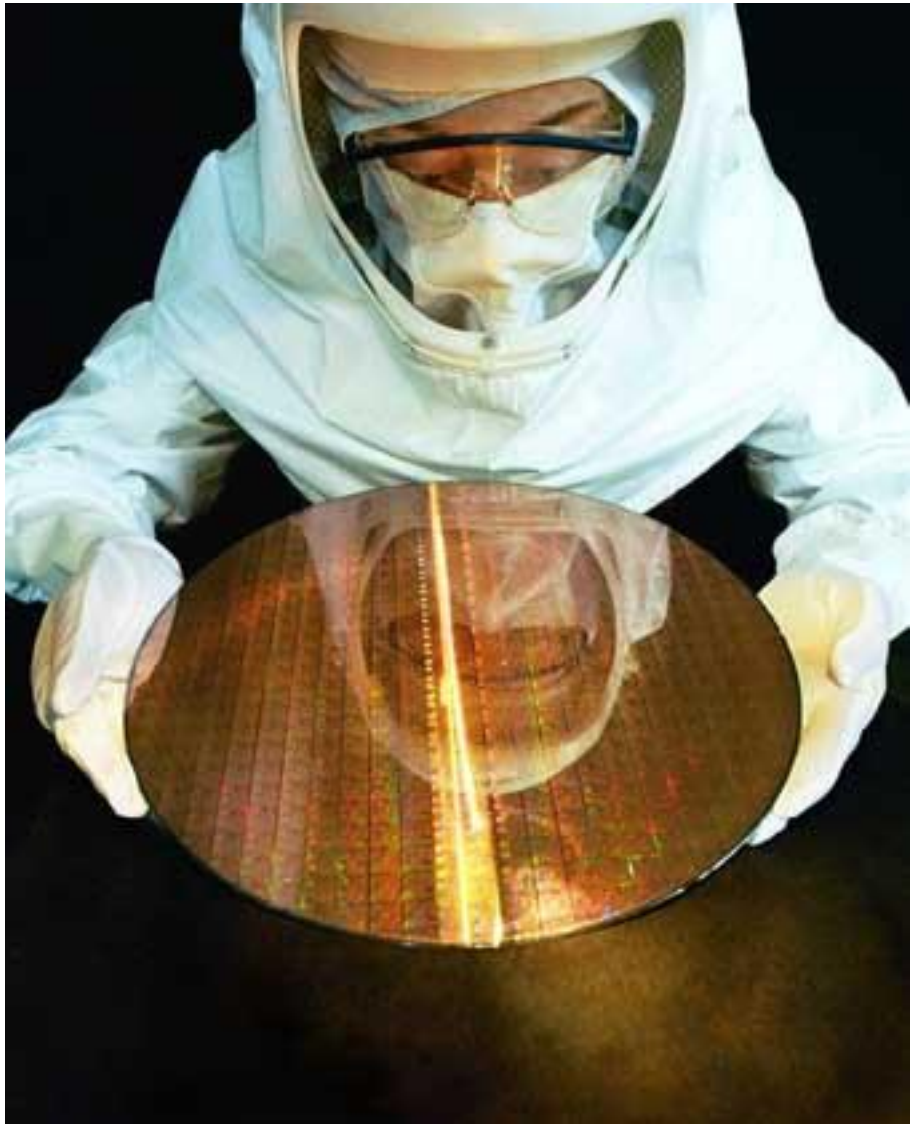
Crystal pulling

Formed crystal with a residue of melted silicon

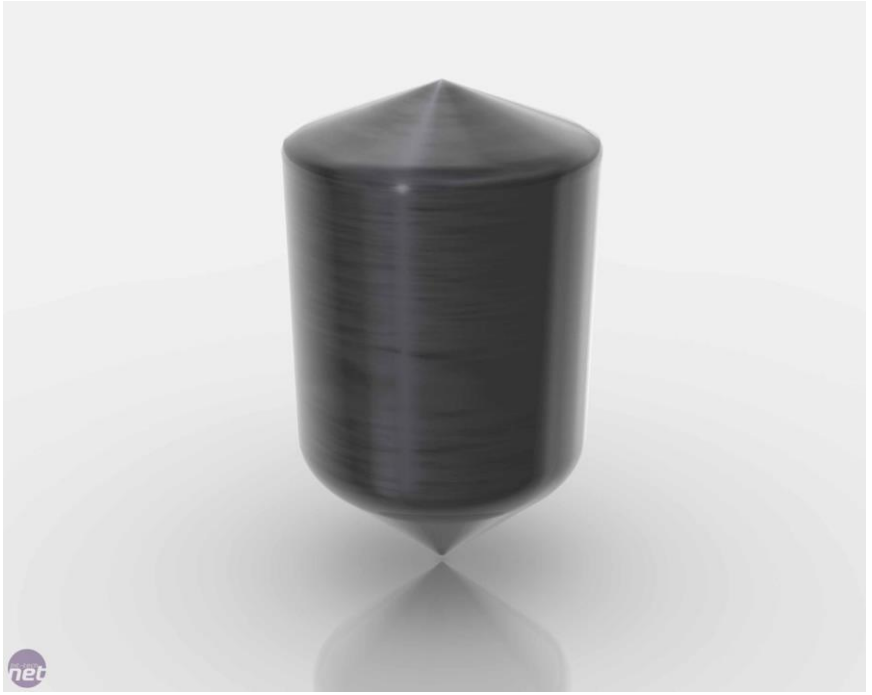


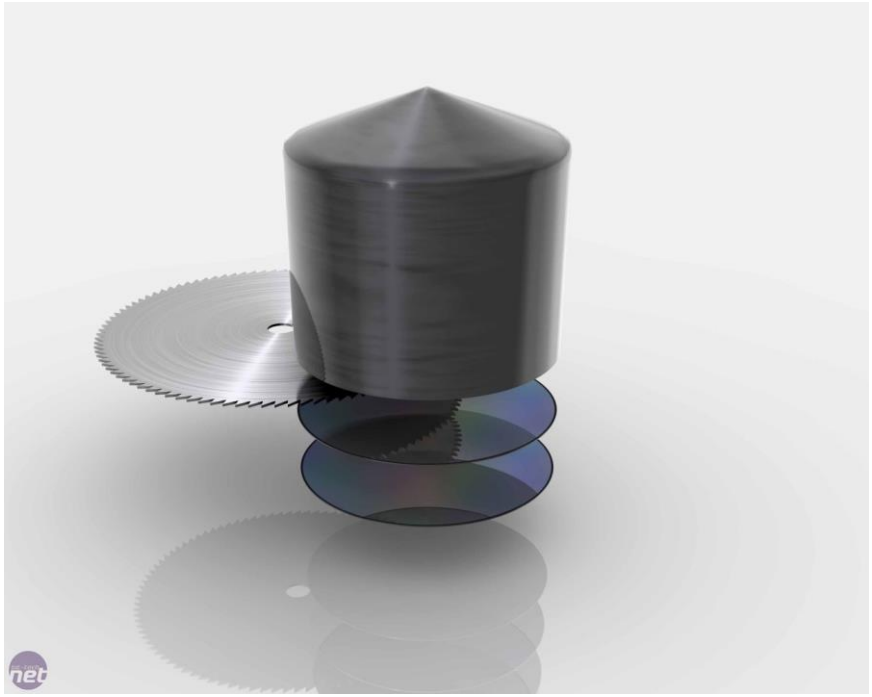
# Do lingote para o Wafer

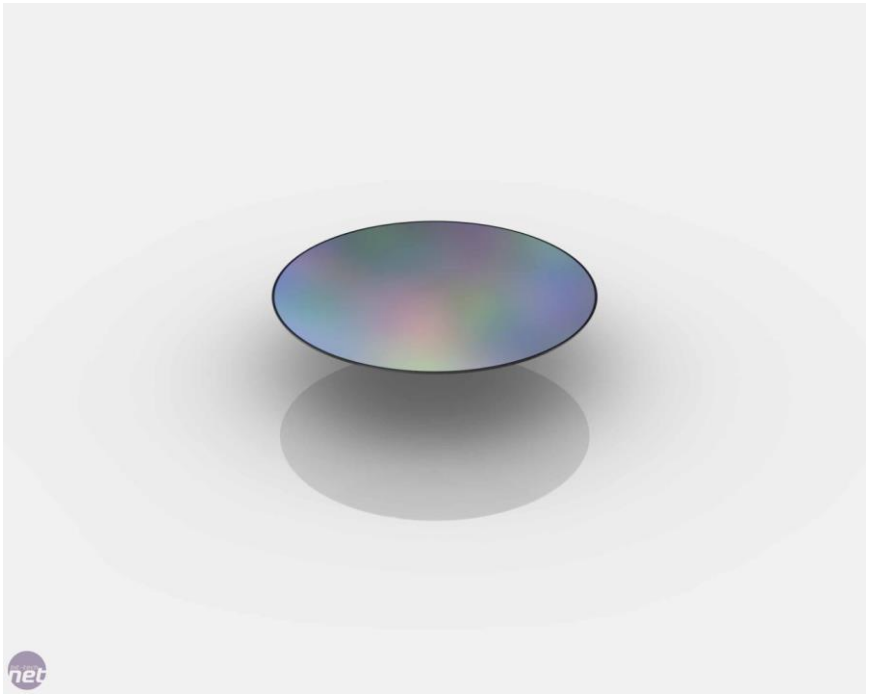


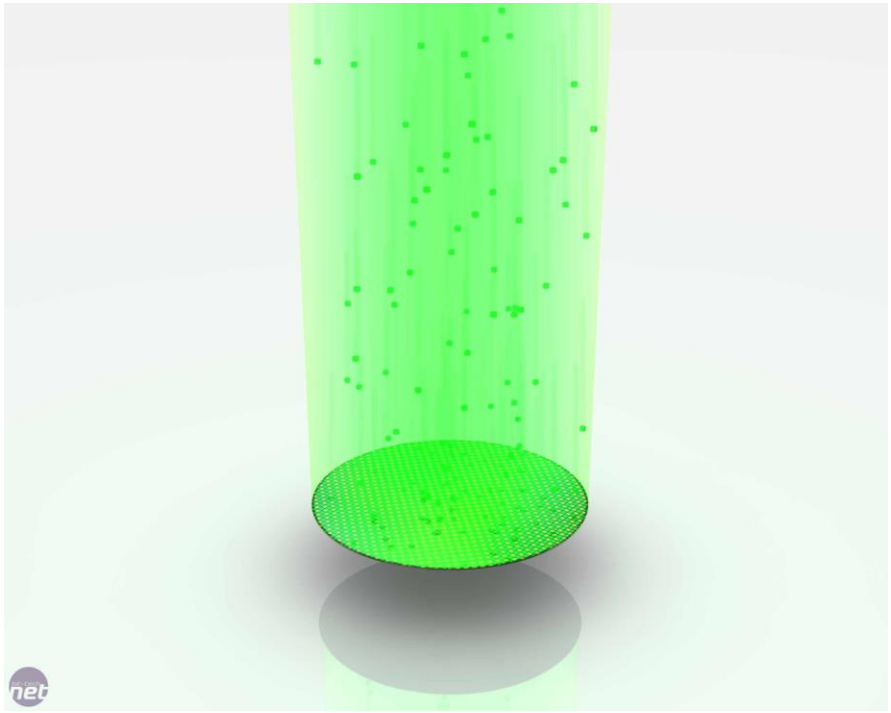
http://plantaovirtual.wordpress.com/

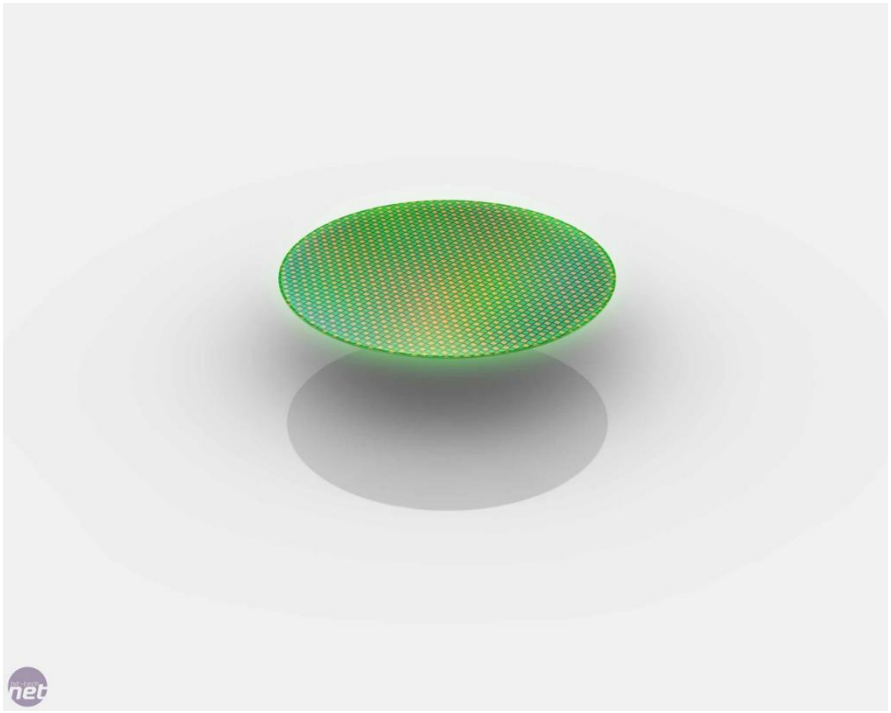




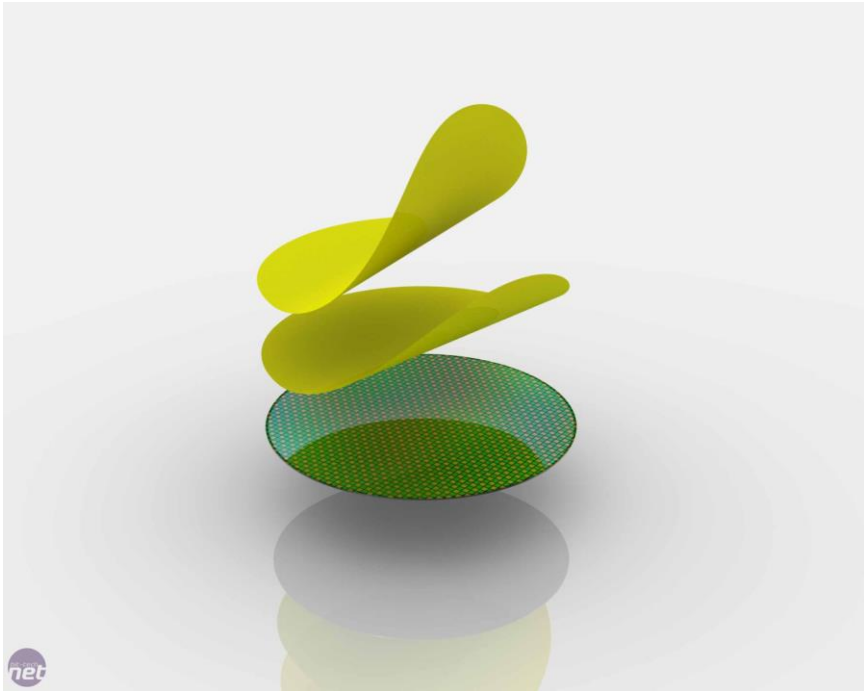


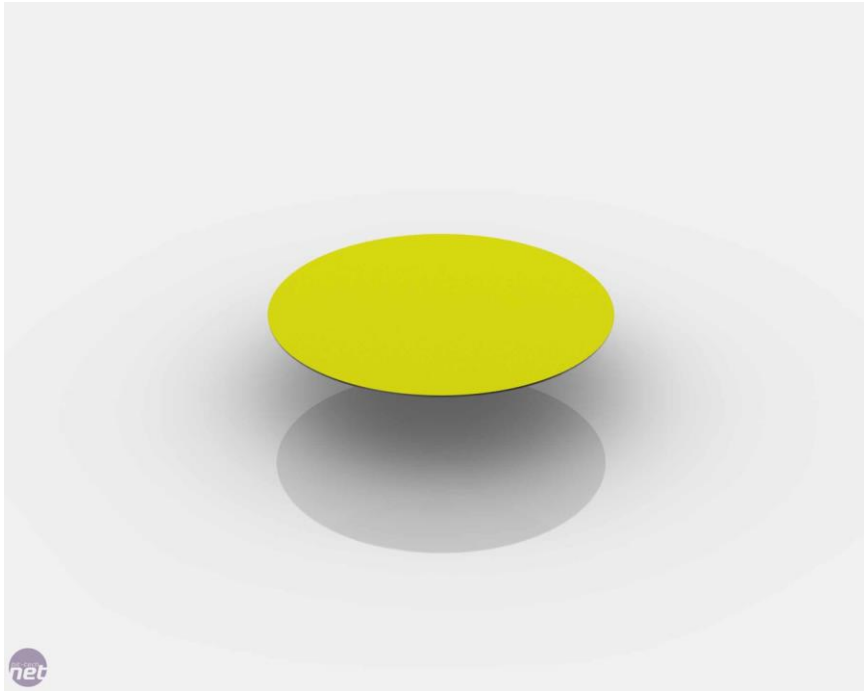
- O wafer cortado é coberto com material foto resistente e bombardeado com íons, formando padrões
- A condutividade elétrica de algumas regiões é modificada



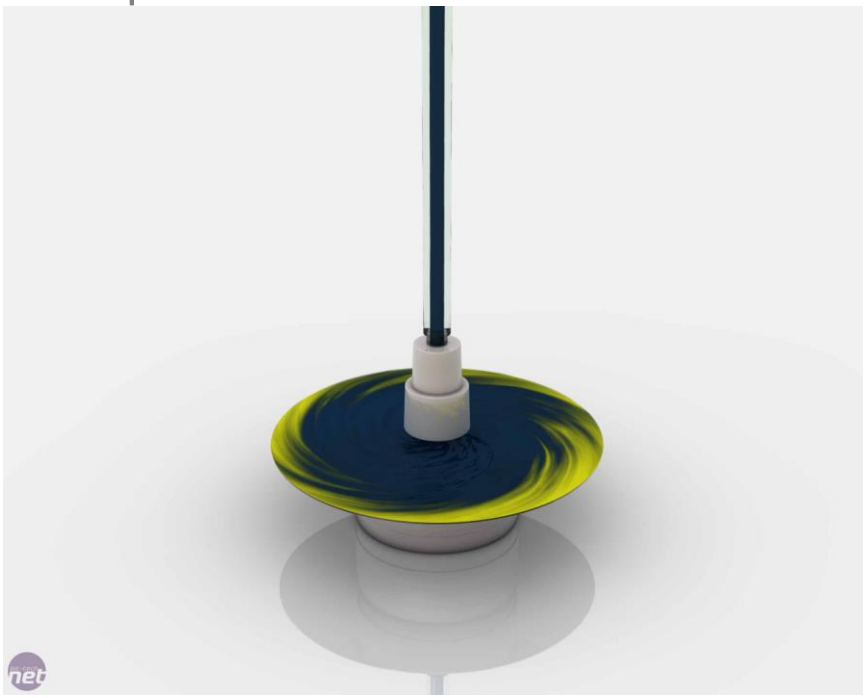


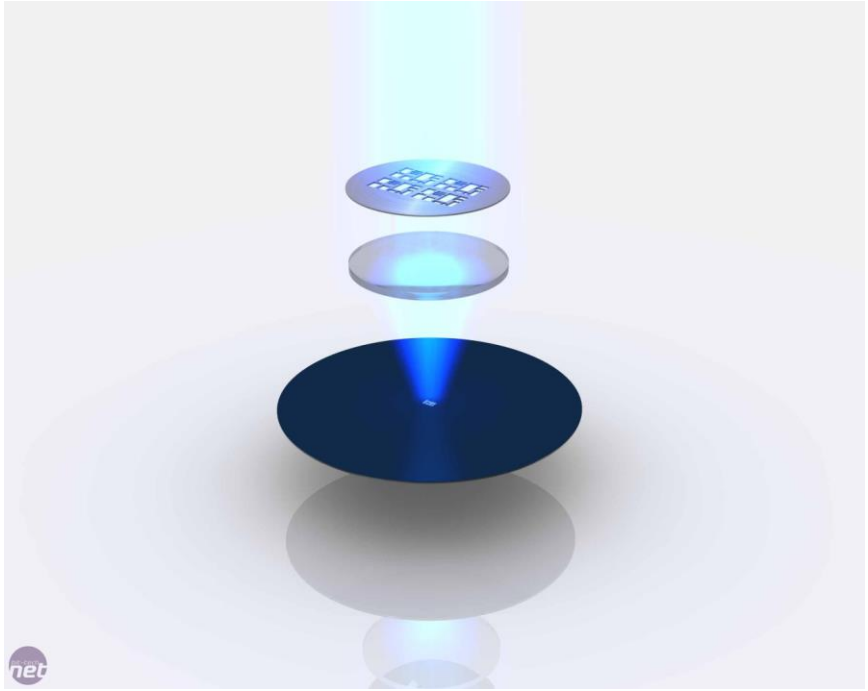
- Adição de material dielétrico (High-K)
- O material é usado como isolante
- É depositado em camadas microscópicas



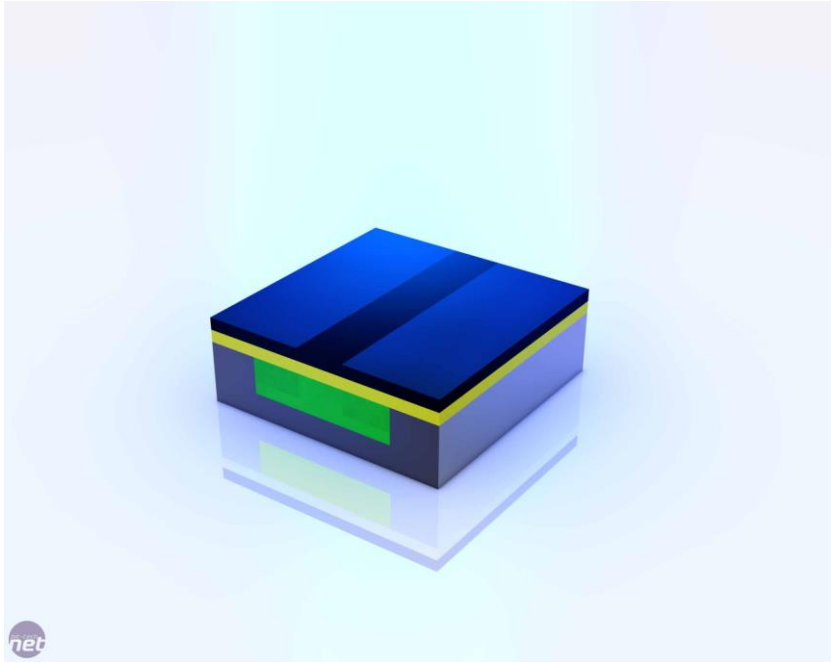


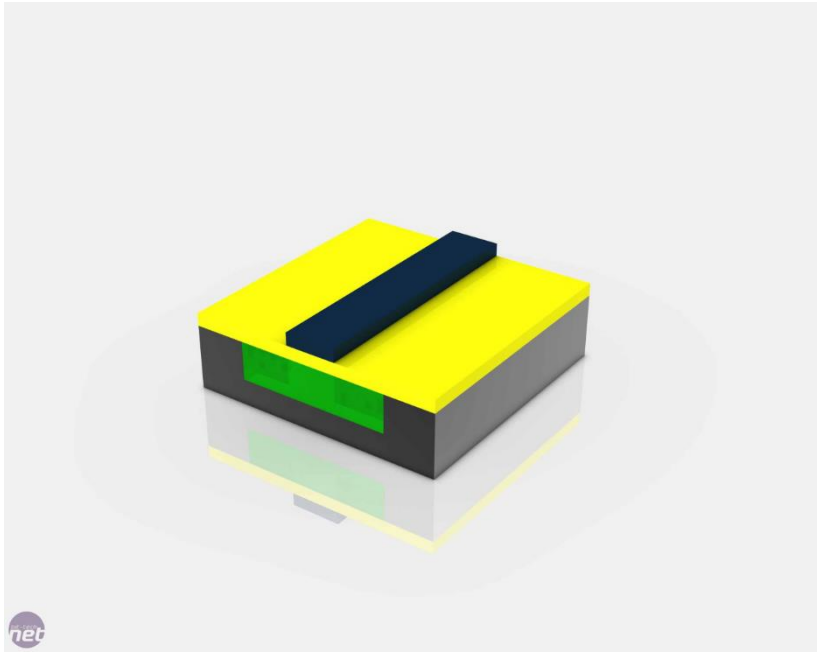
- É feita a distribuição uniforme do material foto resistente (o wafer é girado)
- Posteriormente, máscaras + luz UV são utilizados para realizar a gravação (foto litografia)
- O material foto resistente torna-se solúvel em algumas partes, podendo ser removido



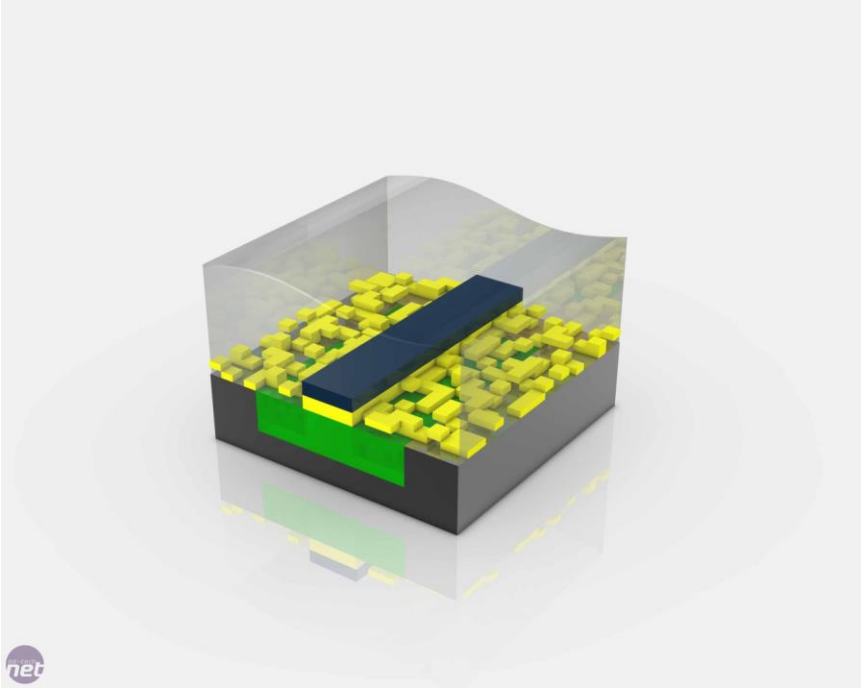


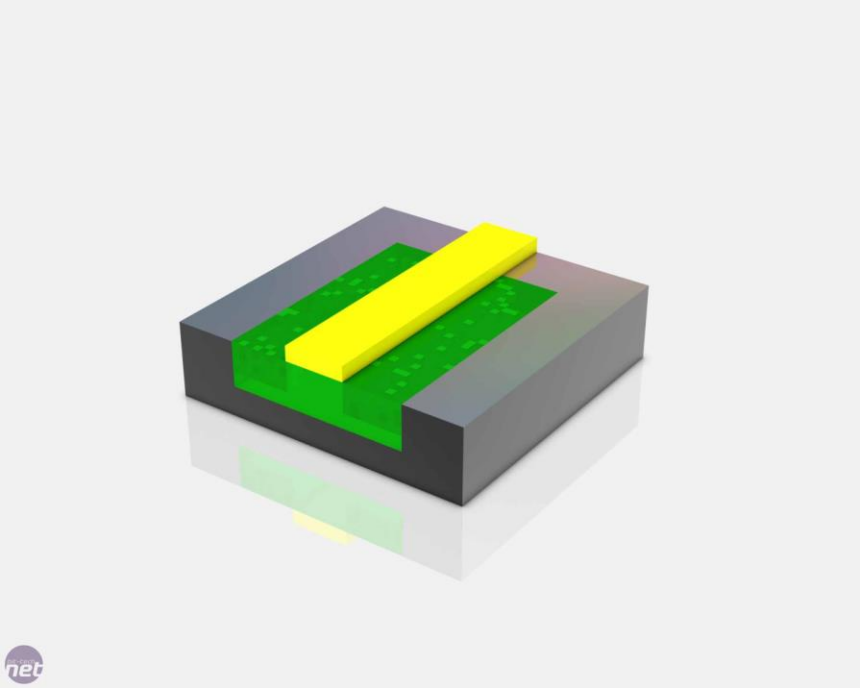
- Visão de 1 transistor (elemento ativo básico)
- Antes e depois da exposição UV
- A linha escura mostra o ponto onde a máscara impede que a luz UV reaja com o material foto resistente



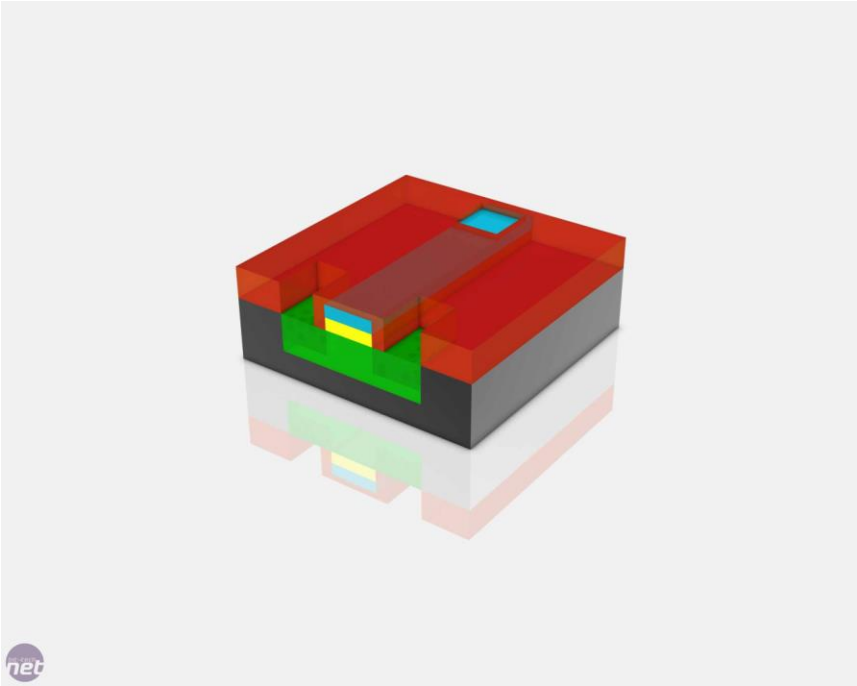


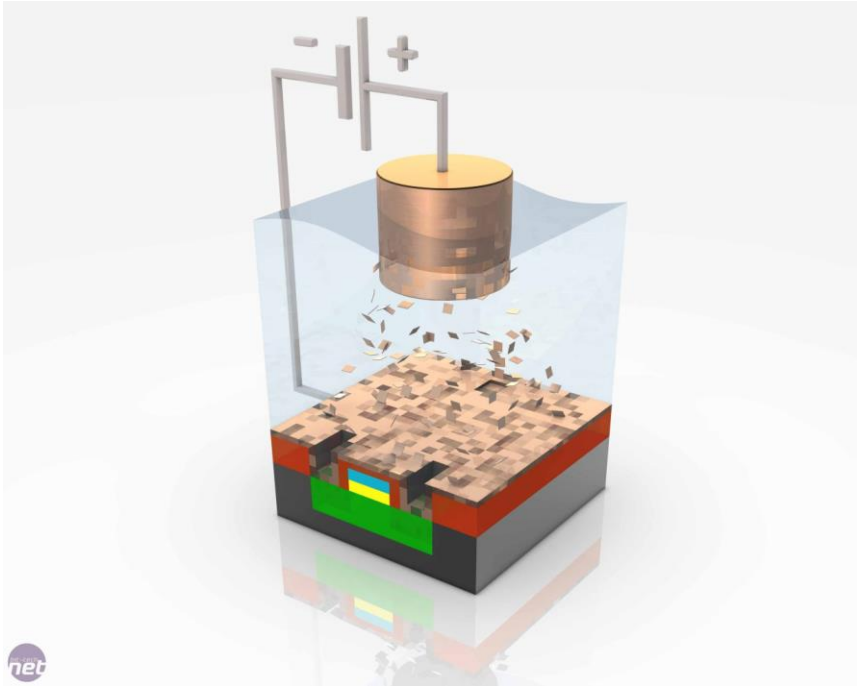
- Solventes são utilizados para remover o excesso de material
- Resultado: material isolante (High-K, amarelo) e silício condutor (verde)



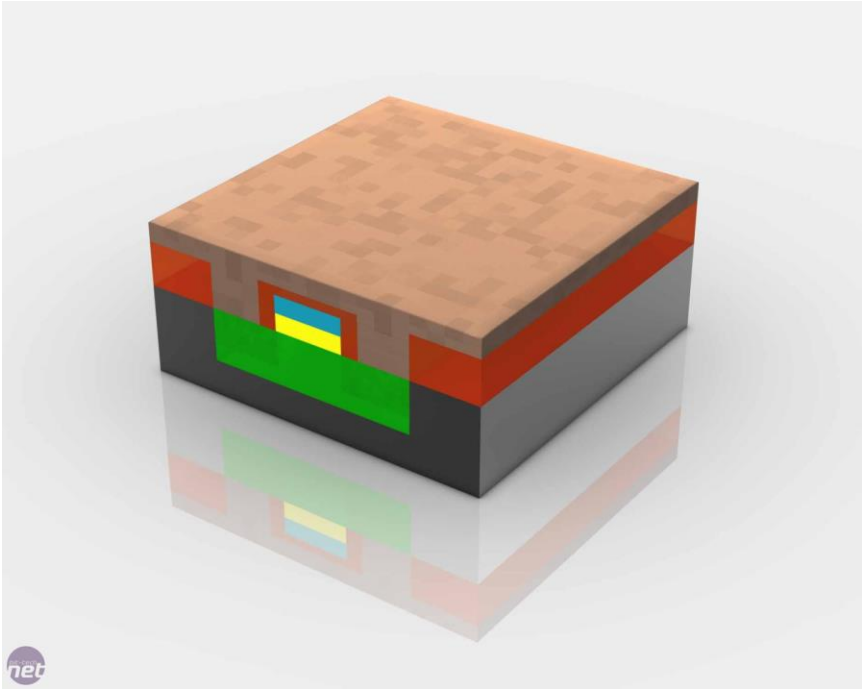


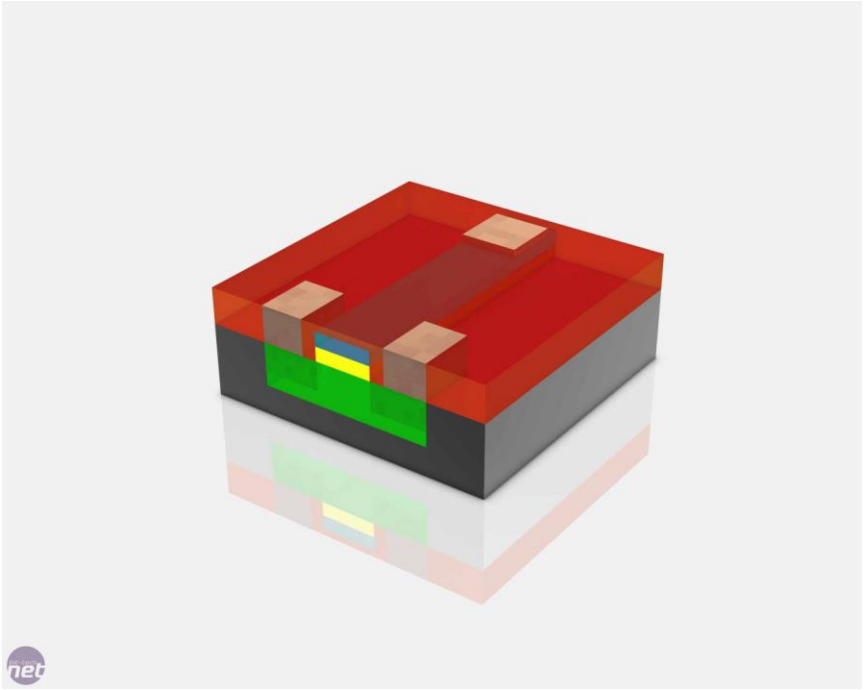
- É adicionada uma nova camada de material isolante (vermelho) – deixando expostos 3 buracos
- Uma solução salina + cobre + energia elétrica são utilizados para adicionar uma camada de metal



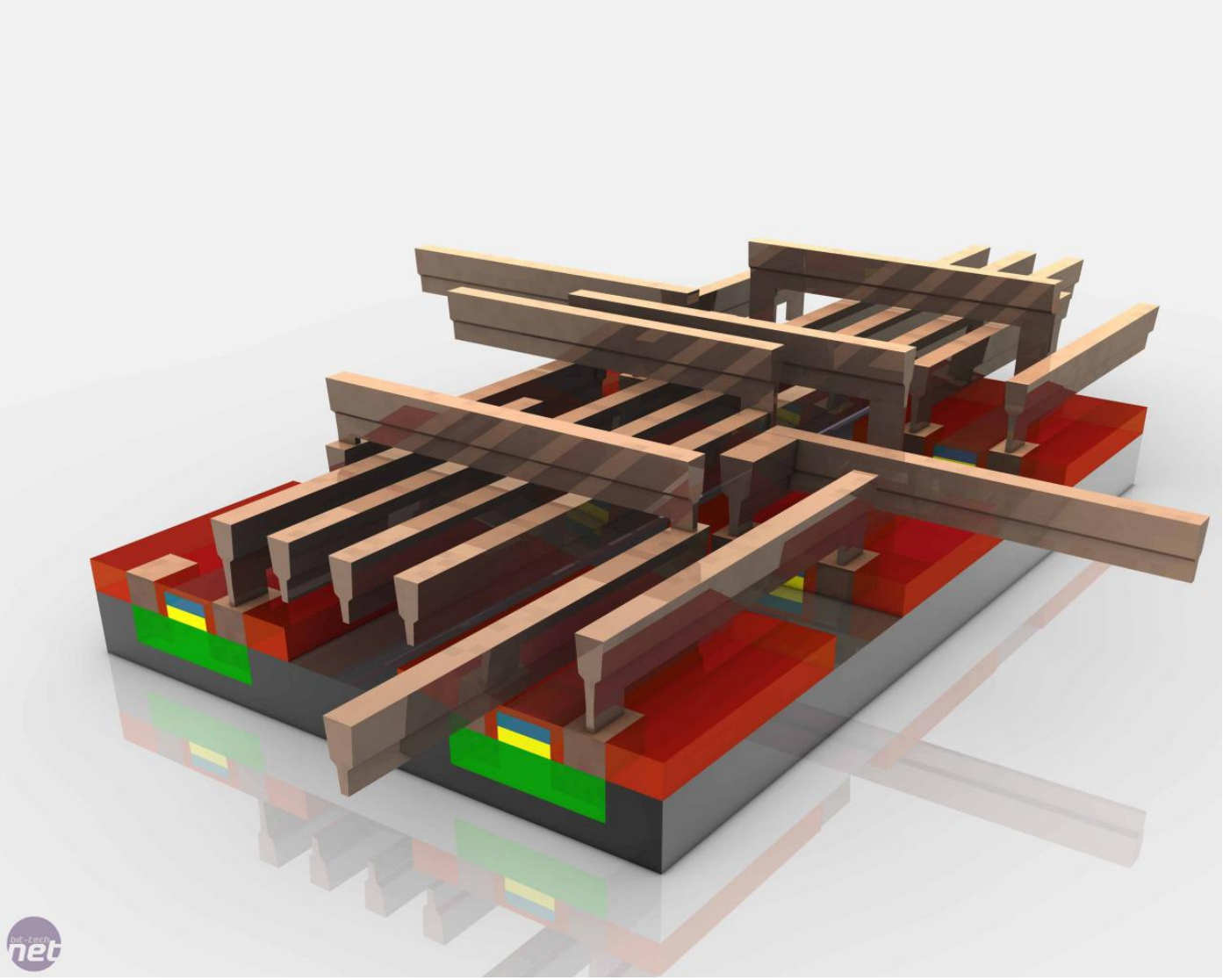


- Uma solução salina + cobre + energia elétrica são utilizados para adicionar uma camada de metal
- O metal em excesso é removido (polido) deixando expostos apenas os 3 contatos

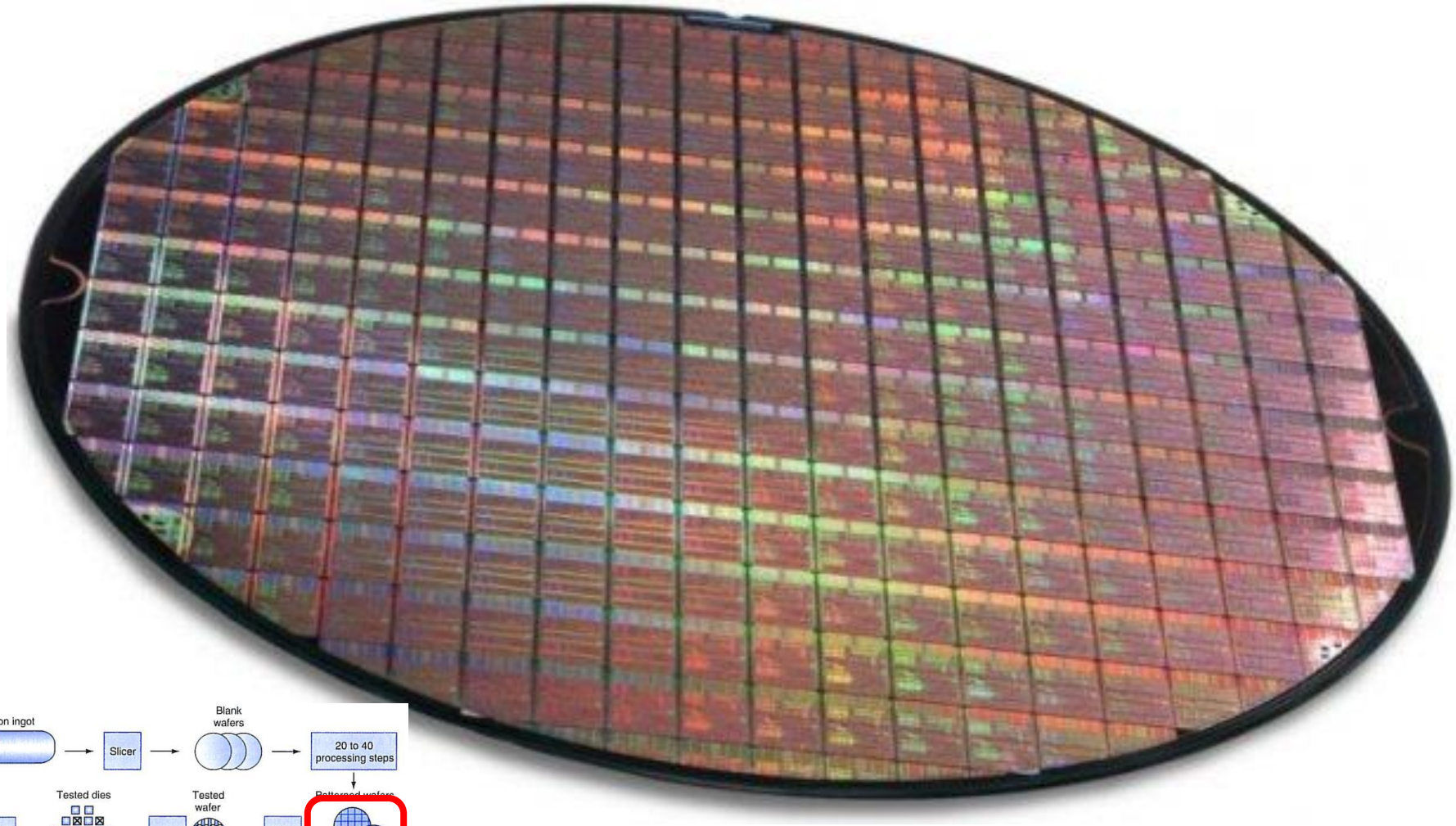


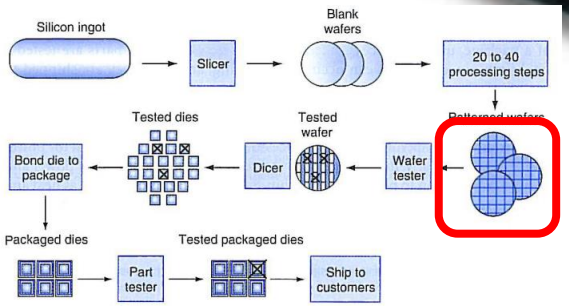


- A interconexão entre os transistores é completada com diversas camadas de metal



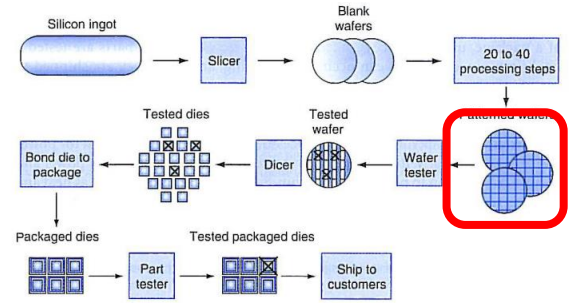
# Foto de Wafer





# Processos Planares de Fabricação

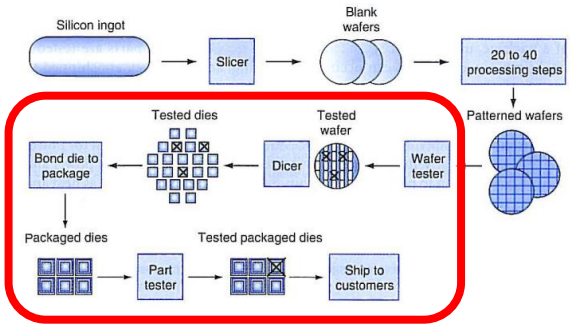
- Chips
  - Área > 1cm$^2$
  - Espessura <1mm
  - > $10^9$ dispositivos

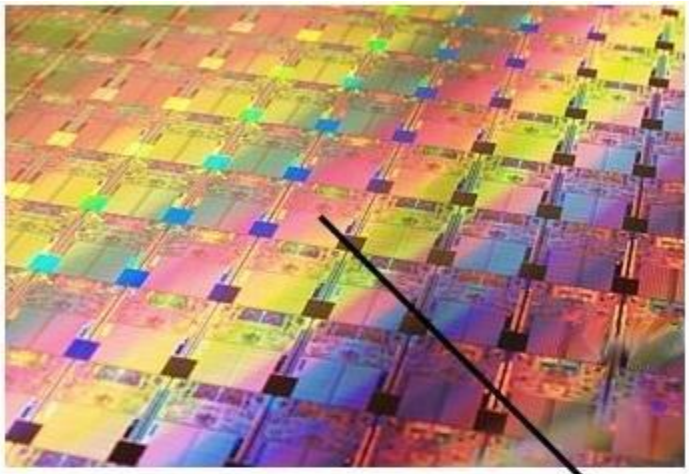



chip

circuitos de teste

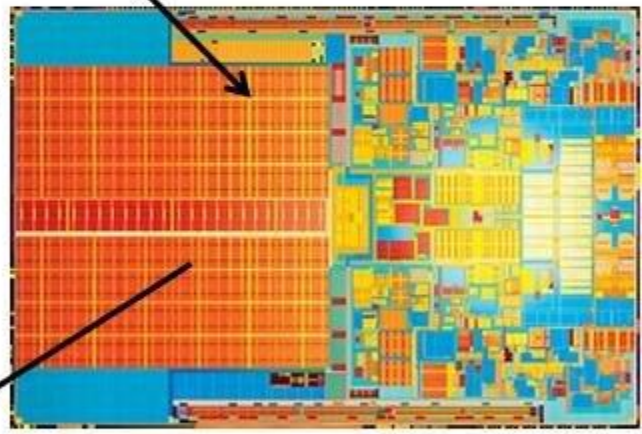
# Do Wafer para a Pastilha para o Chip

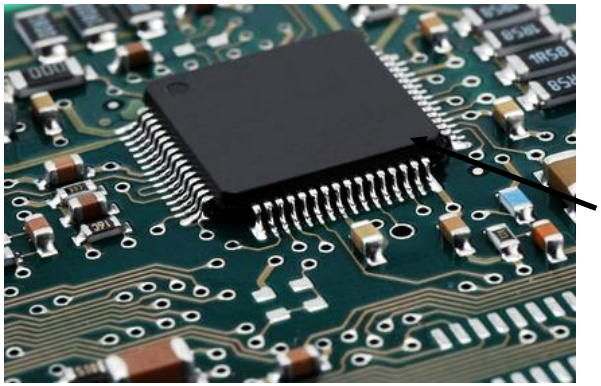


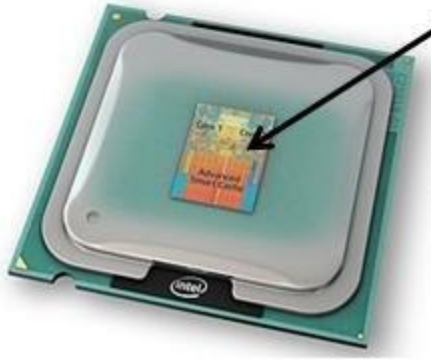
← Parte de um wafer

"Pastilha" extraída do wafer (die) →





para a placa



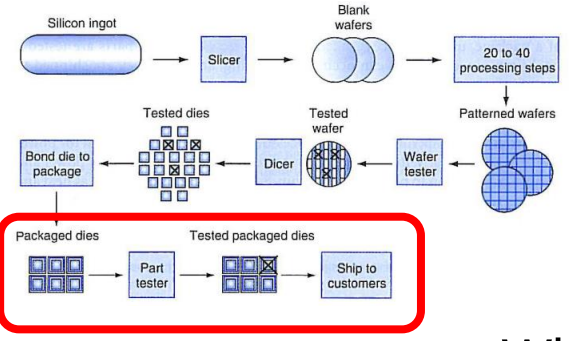
← Processador

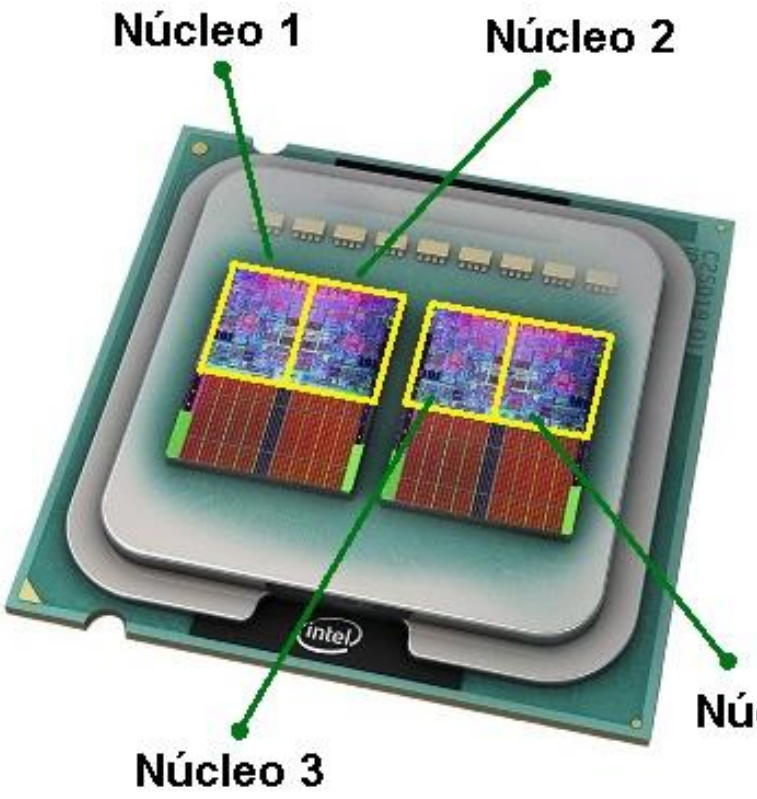
http://plantaovirtual.wordpress.com/

# Exemplo: Quad Core

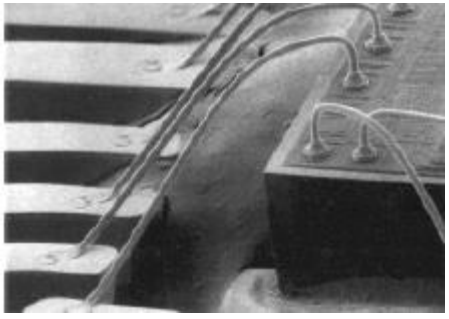
Exemplo de chip com duas plastilhas

Cada pastilha contém dois núcleos

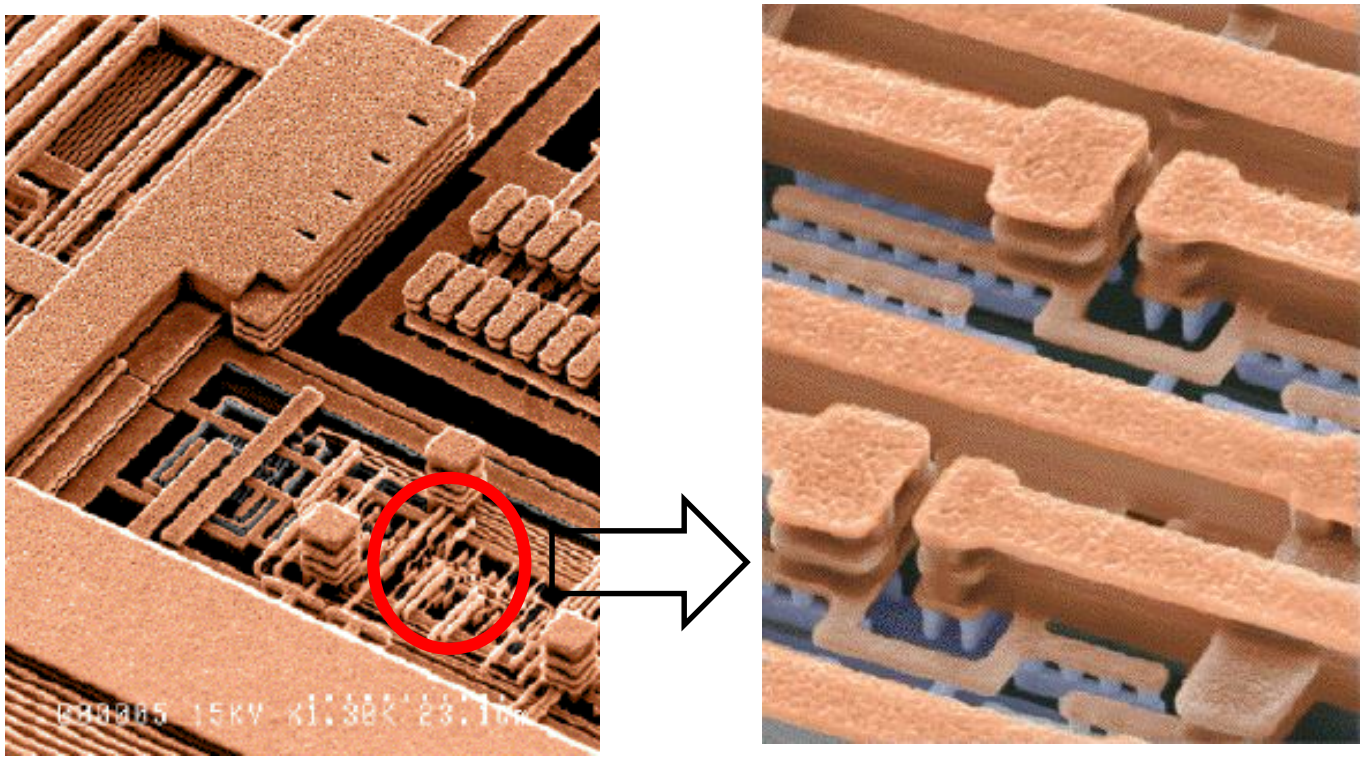


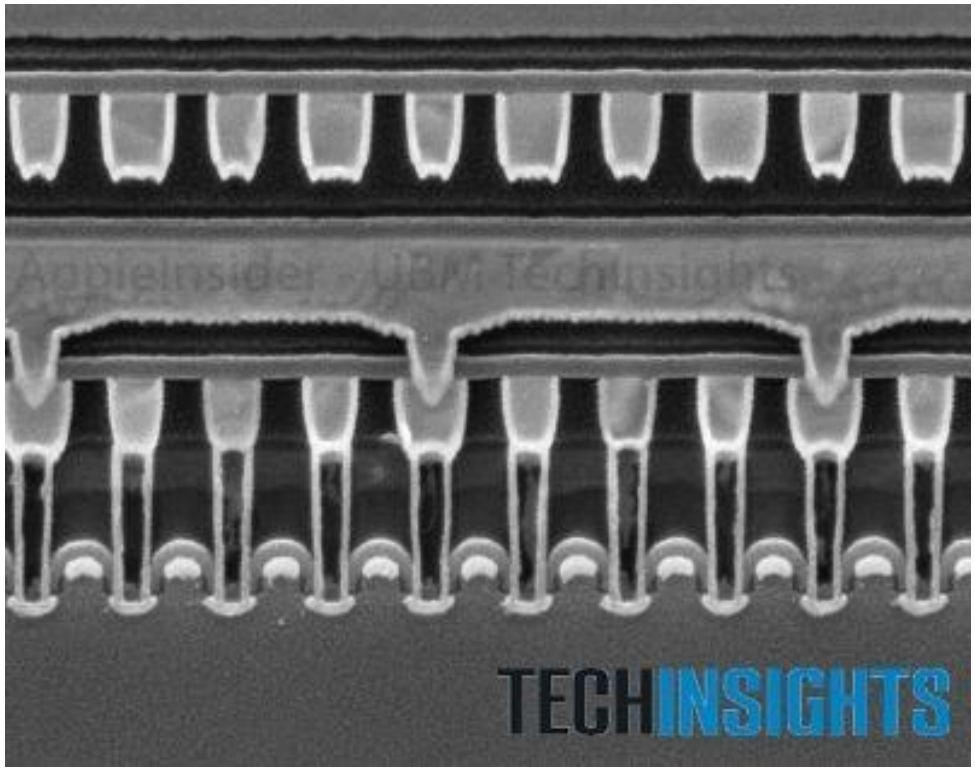
Wire bonding:
Ligação da pastilha com o encapsulamento



# Fotos de Microscópio



# Fotos de Microscópio: Visão Transversal

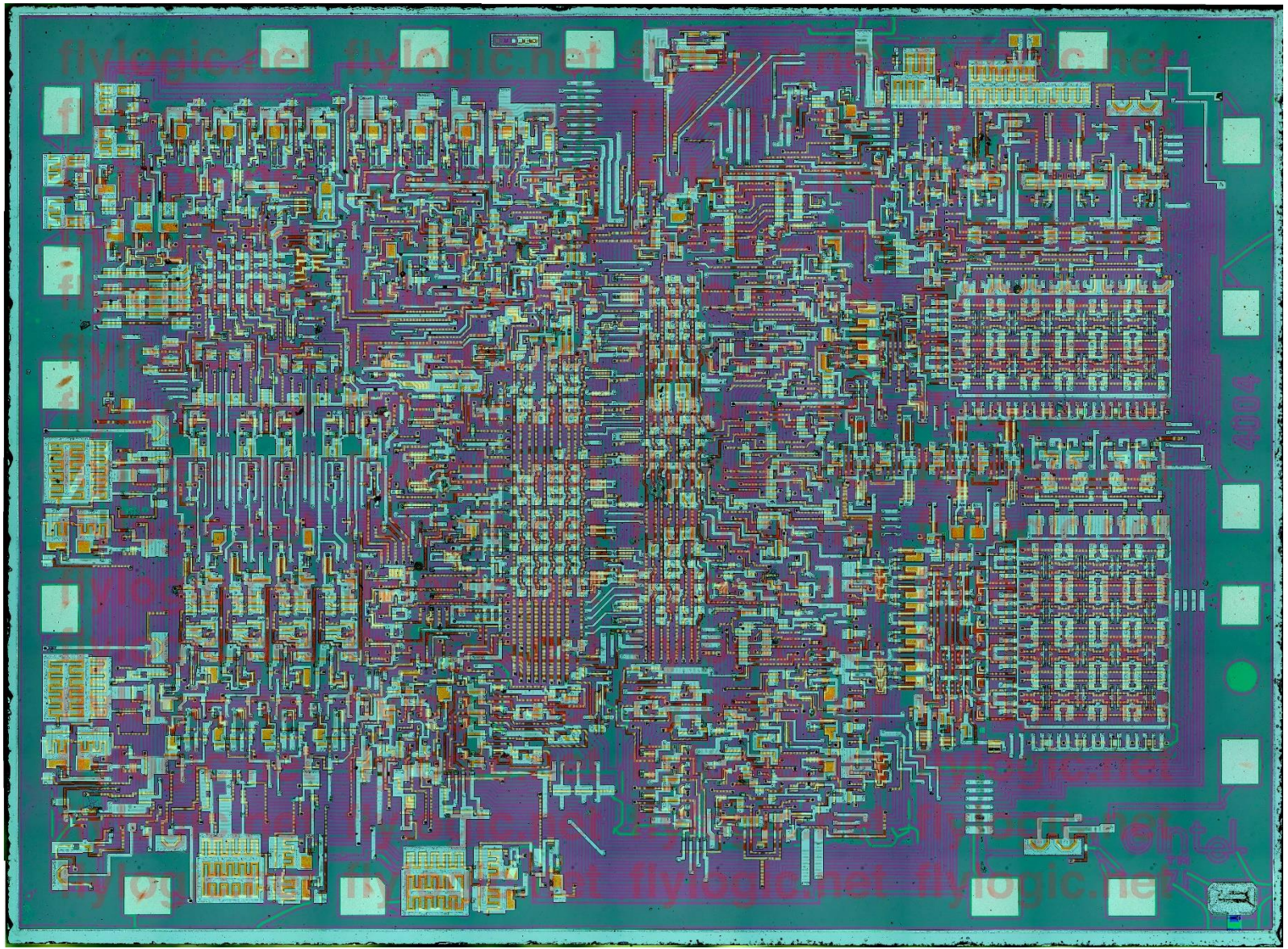



Uma plastilha possui várias camadas principalmente utilizadas para interconexão dos blocos de hardware

# O primeiro processador: Intel 4004

-Clock: 740kHz (max)
-Tempo de ciclo: 10.8us (8 / 16 ciclos por instrução)
-Tempo de execução por instrução: 1 ou 2 (10.8us  ou 21.6us), 46300 a 92600 instruções por segundo
-Conjunto de instruções com 46 opcodes
-Introdução: 1971
-Tecnologia: 10um PMOS
-Transistores: ~2300

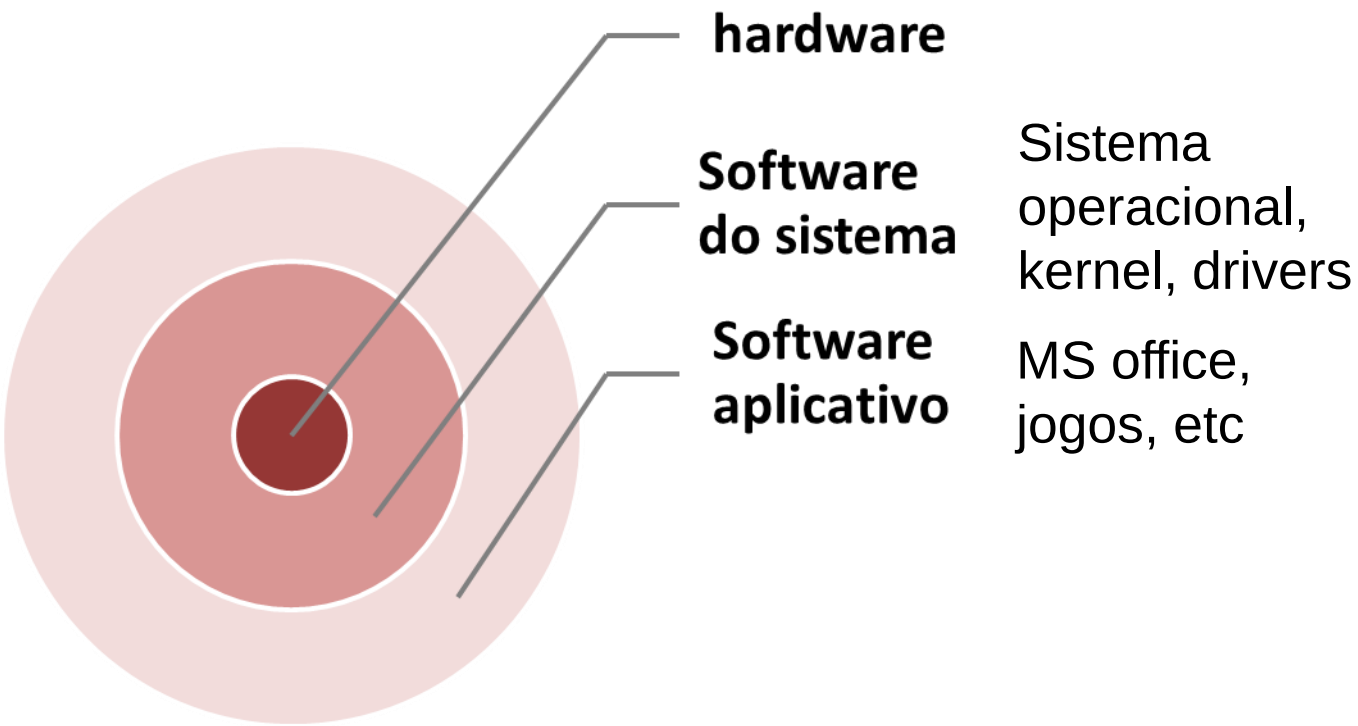
# O primeiro processador: Intel 4004



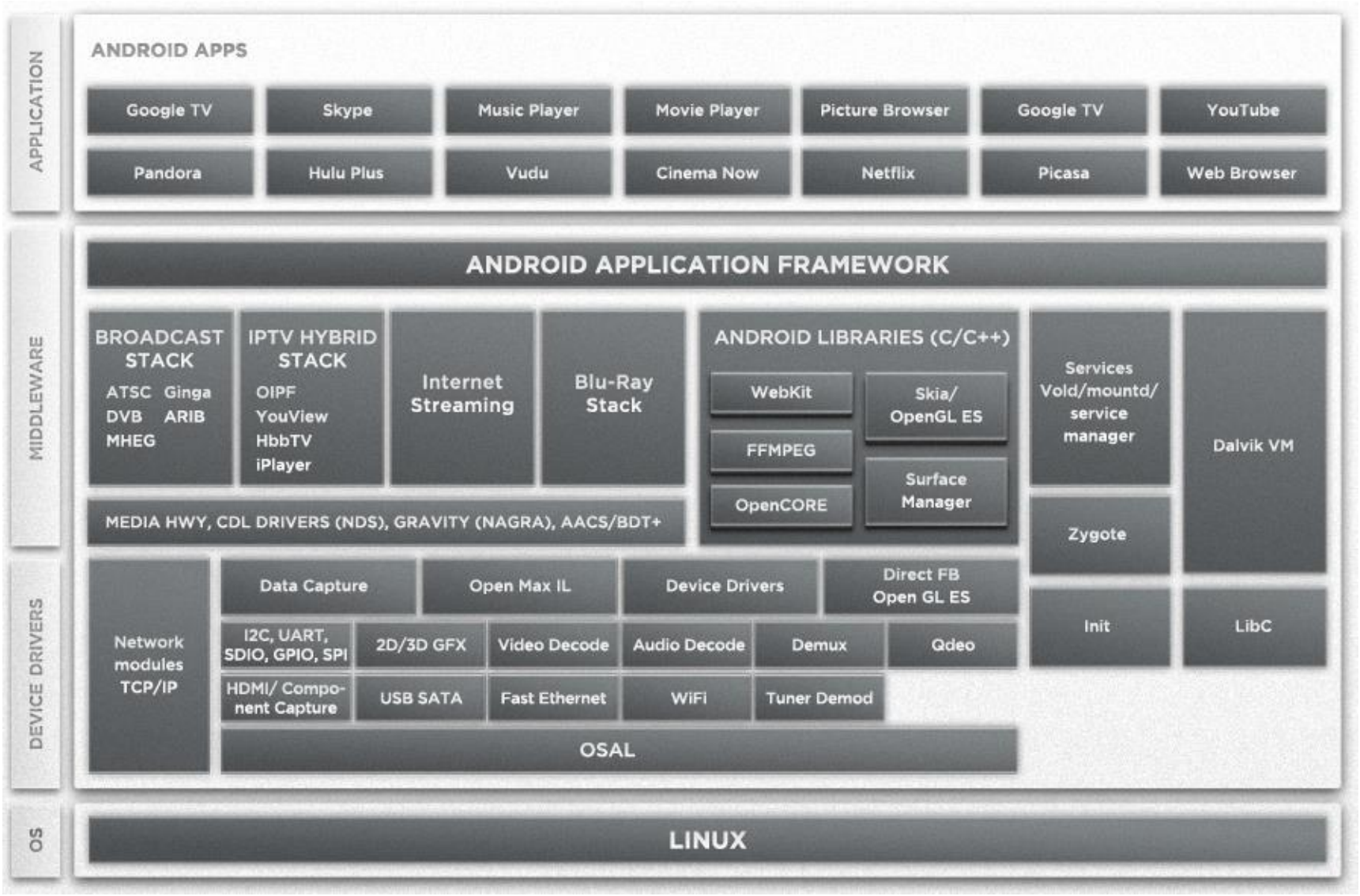
# NÍVEIS DE ABSTRAÇÃO EM PROJETO DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS

# Níveis de Abstração em Sistemas Computacionais

- Abstração é uma das peças-chave para o desenvolvimento de sistemas muito complexos
  - Detalhes menos importantes dos níveis mais baixos são 'escondidos' dos níveis superiores
  - A interface entre os níveis deve ser bem estabelecida
- Exemplo de um Set Top Box da Google

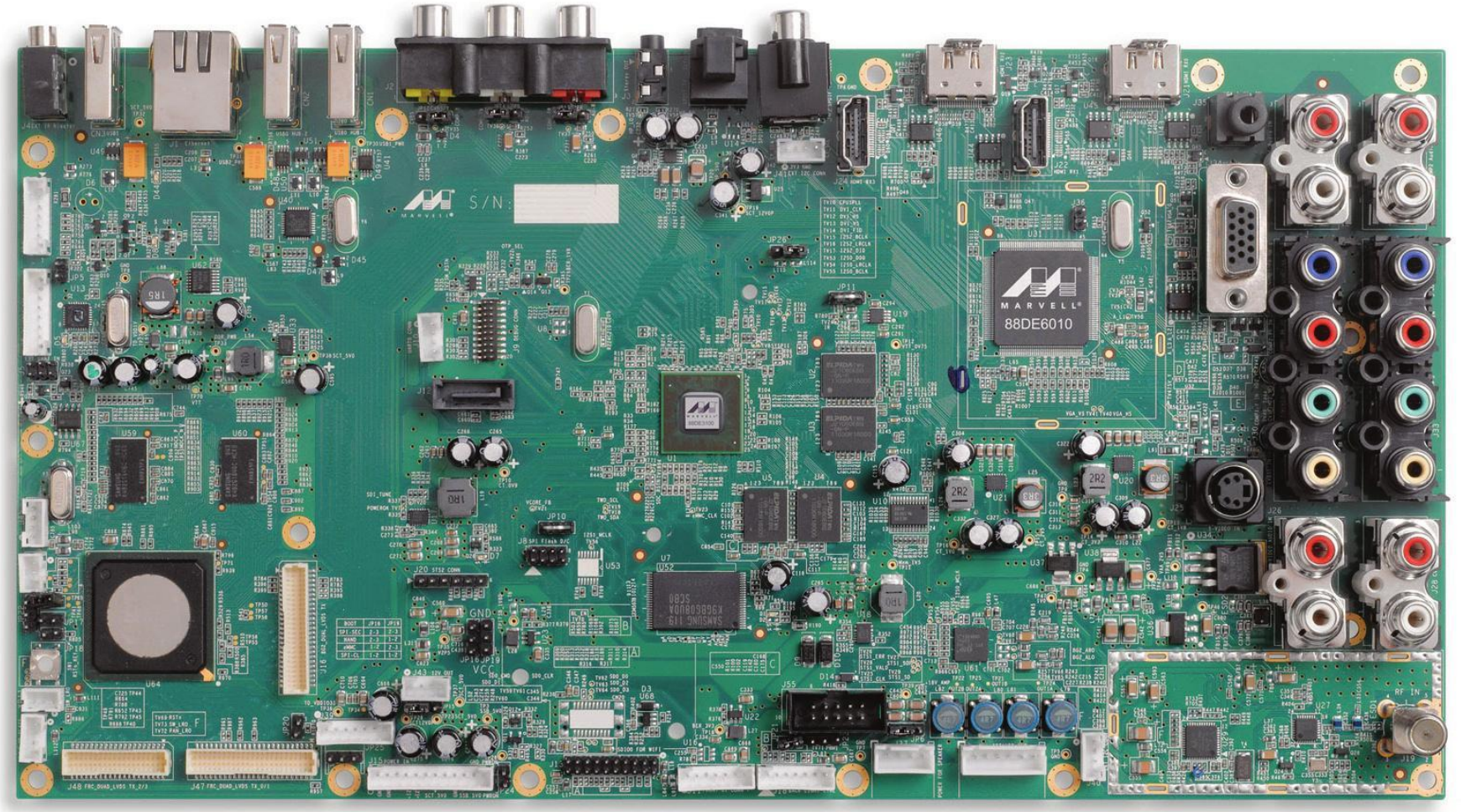


# Exemplo de Níveis de Abstração de Software: Set Top Box do Google




http://www.marvell.com/digital-entertainment/armada-1500/

# Placa do Set Top Box.
# Sua TV possui algo parecido!!!



# Exemplo de Abstração de Software

```
swap(int v[], int k)
{int temp;
   temp = v[k];
   v[k] = v[k+1];
   v[k+1] = temp;
}
```

Programa em linguagem C

Compiler

```
swap:
      muli $2, $5,4
      add  $2, $4,$2
      lw   $15, 0($2)
      lw   $16, 4($2)
      sw   $16, 0($2)
      sw   $15, 4($2)
      jr   $31
```

Programa em linguagem Assembly

Assembler

```
00000000101000010000000000011000
00000000000011000000110000100001
10001100011000100000000000000000
10001100111100100000000000000100
10101100111100100000000000000000
10101100011000100000000000000100
00000011111000000000000000001000
```

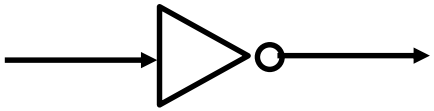
Programa em linguagem de máquina em binário

# Níveis de Abstração no Projeto de Hardware. Exemplo do Inversor

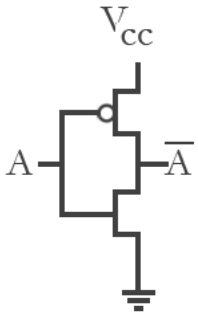
abstração

```
A <= not B
```

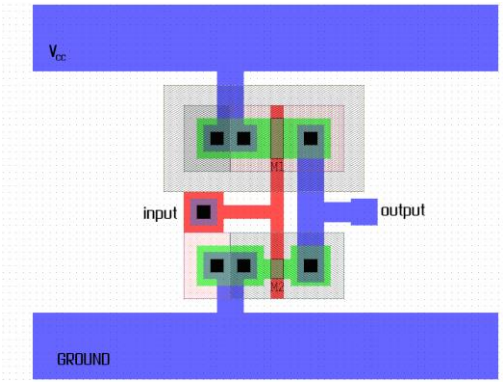
Nível de registrador (RTL)



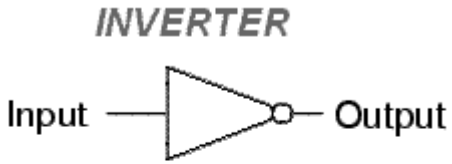
Nível de porta lógica




Nível de transistores




Nível de layout




| Input | Output |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |

# Níveis de Abstração em um Sistema Computacional

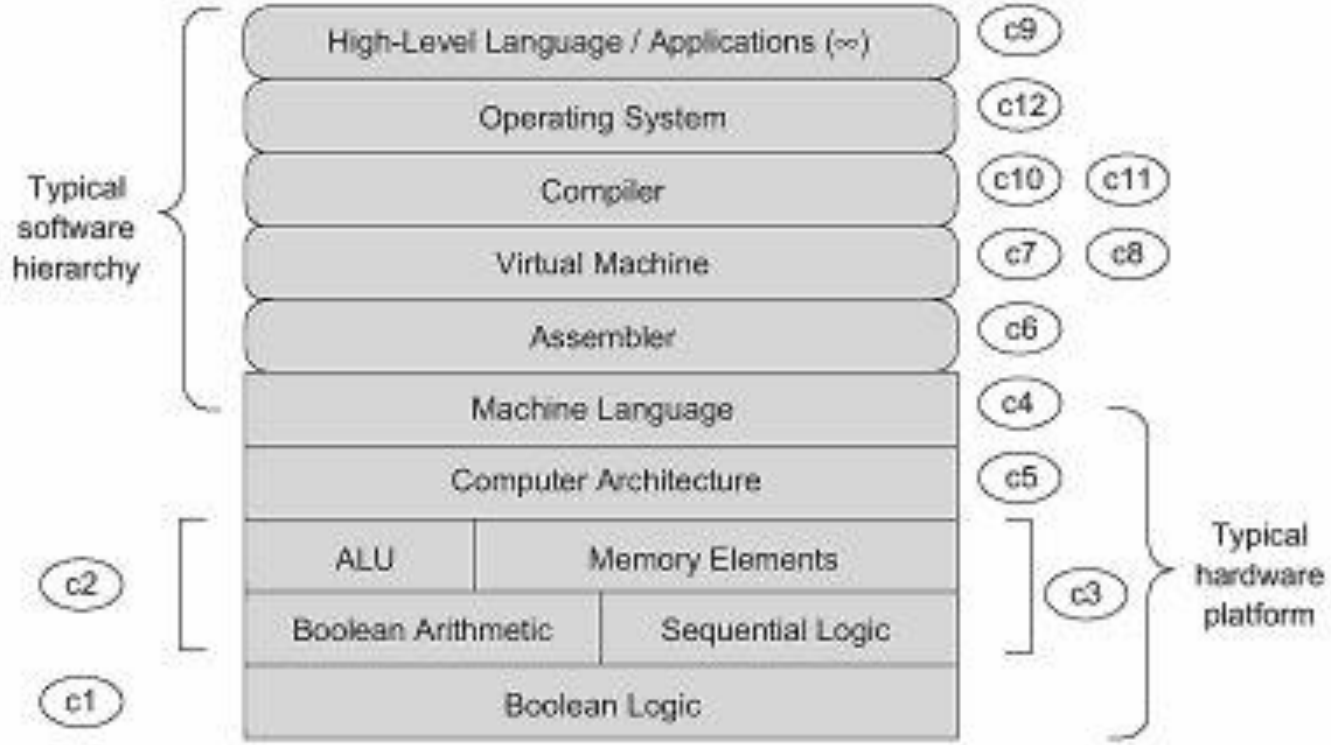



**Figure P.1** Book and proposed course map, with chapter numbers in circles.

Noam Nisan; Shimon Schocken. "The Elements of Computing Systems: Building a Modern Computer from First Principles". The MIT Press; 2005; 344 p.

# Resumo

- Vimos uma breve descrição do processo de fabricação de um chip
  - O processo envolve várias etapas
  - Cooperação entre diversos profissionais
- Abstração é um método chave para a composição de sistemas complexos
  - Permite esconder detalhes menos relevantes para os níveis superiores
  - Abstração é utilizada em software e em hardware
  - Permite construir sistemas cada vez mais complexos
- Antigamente (15 ou 20 anos) projetistas de hardware e software tinham uma formação acadêmica distinta

Hoje, projetista de hardware tem que saber programar para descrever o hardware e programador tem que conhecer o hardware para programar bem