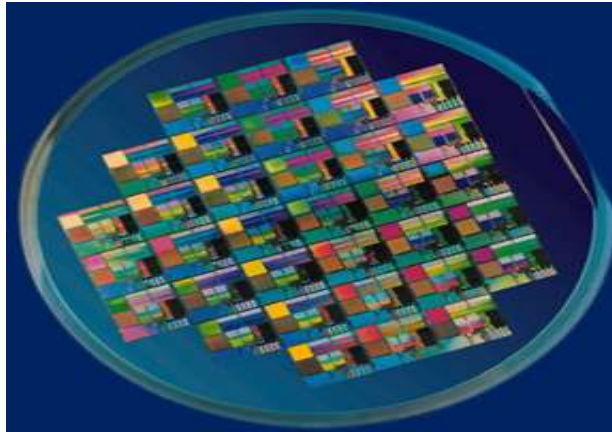


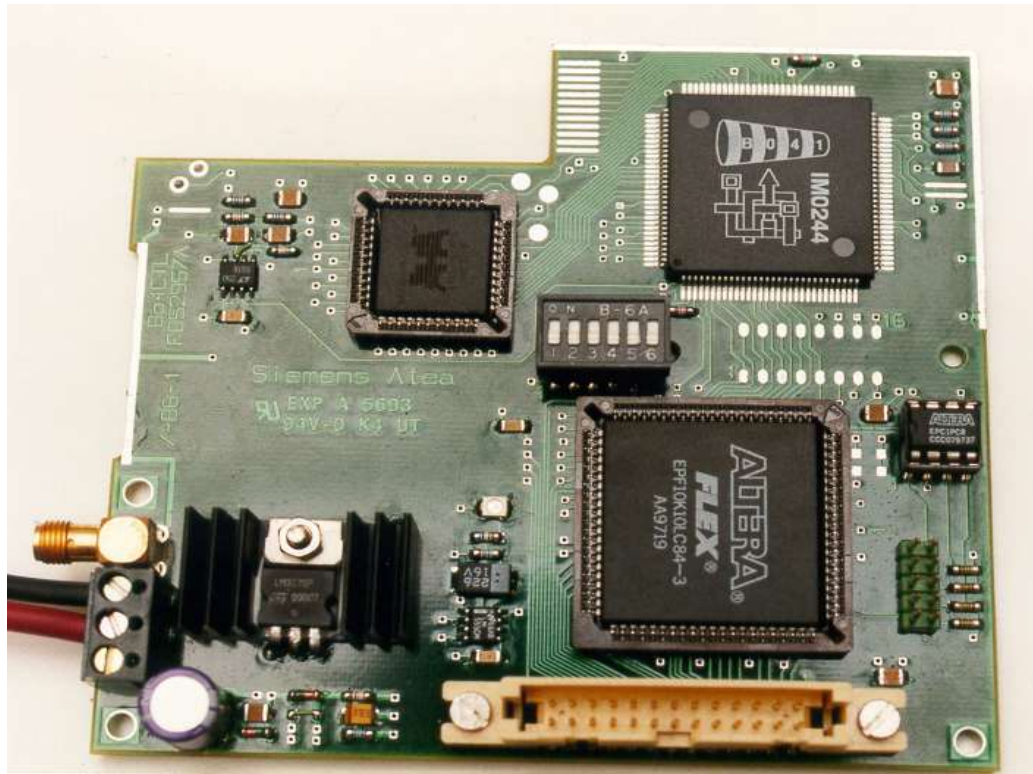
Minuscule Chips en Revolutionaire Toepassingen

Maaïke Op de Beeck

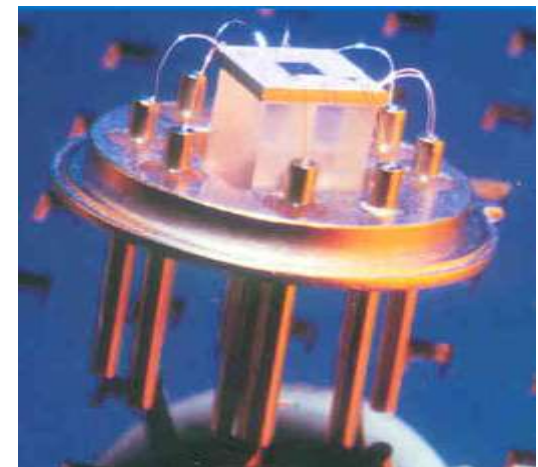
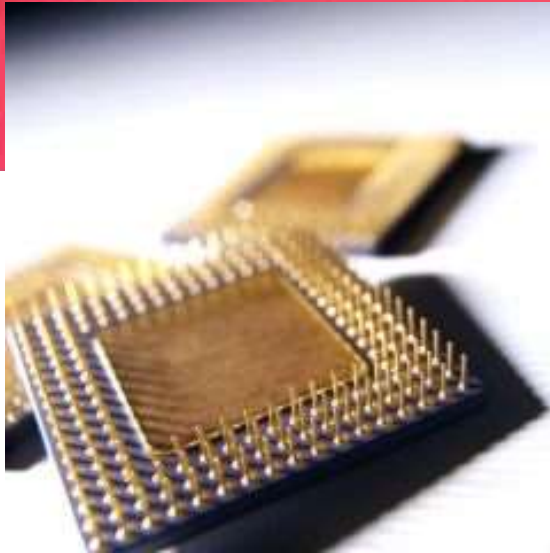
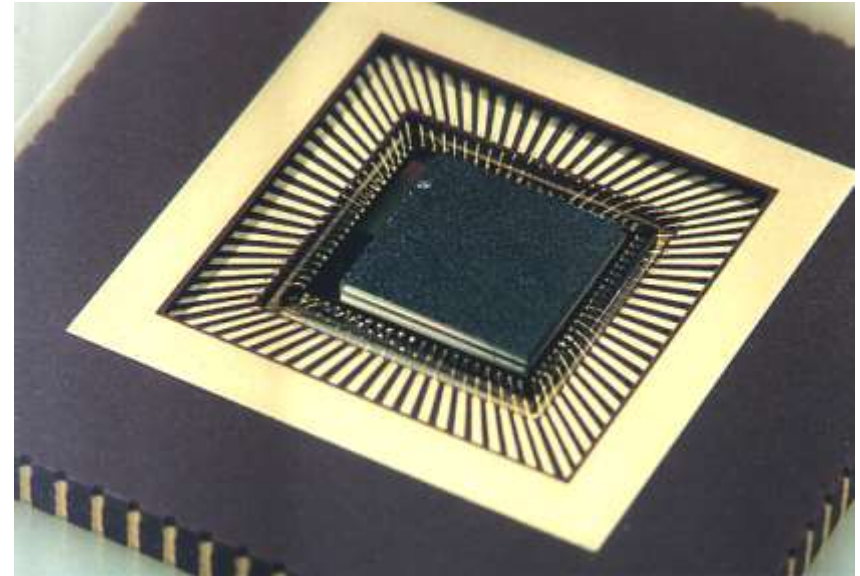
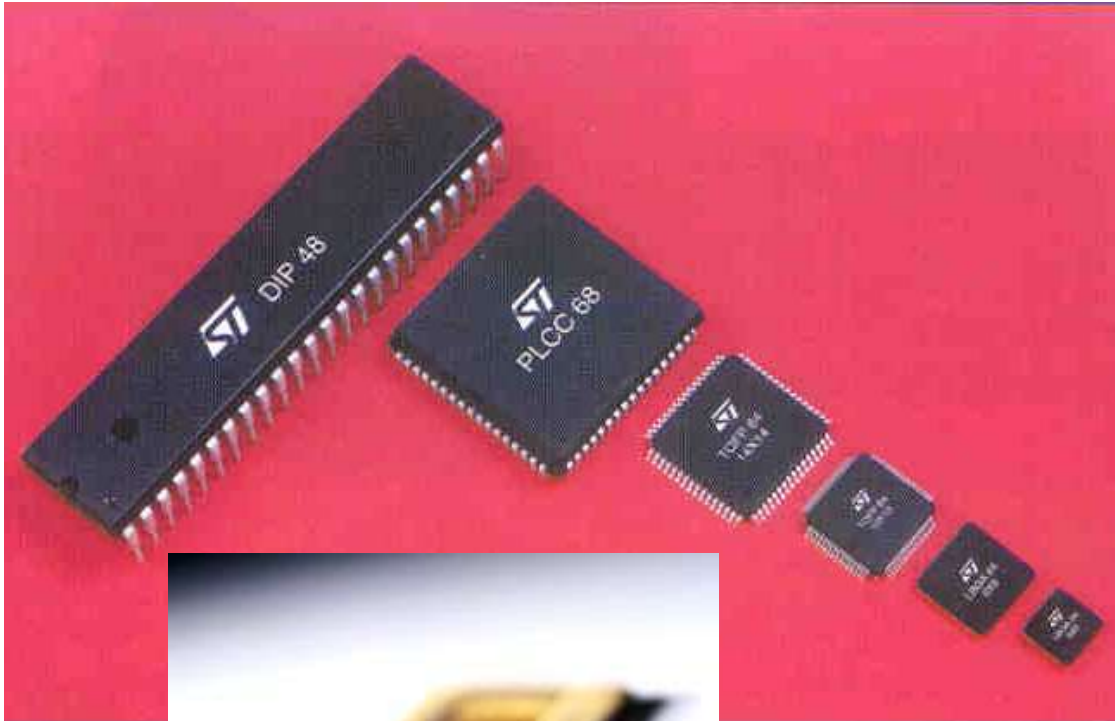
Turnhouts wetenschapscafe, 5 nov. 2018



Een kijkje binnen in een electronisch toestel...



Voorbeelden van chips



- 
- Chips: silicium als basismateriaal
 - Werkingsprincipe van logica-chips
 - Fabricatie van chips in de cleanroom
 - Afwerken van chips: testen, verzagen, verpakken
 - Speciale elektronica voor medische toepassingen

Alles begint met zand...



In vele fasen
wordt het
zand
gezuiverd
tot er enkel
zuivere
Si-atomen
overblijven

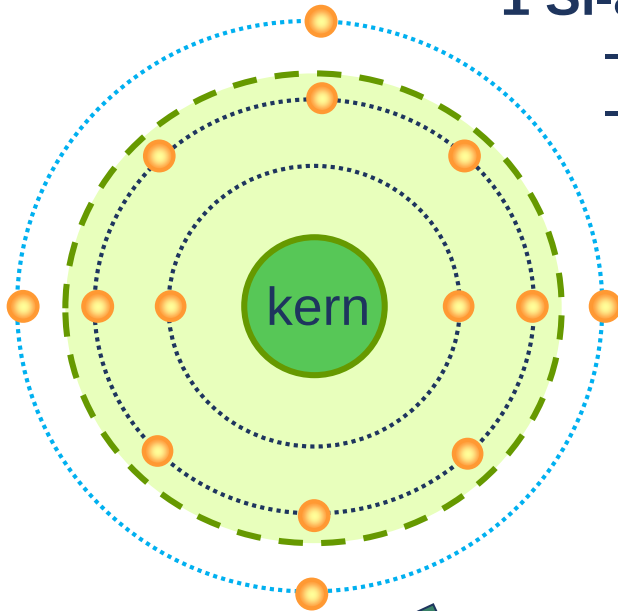


Zeer zuivere poly-silicium broken
99.999999999 % zuiver silicium

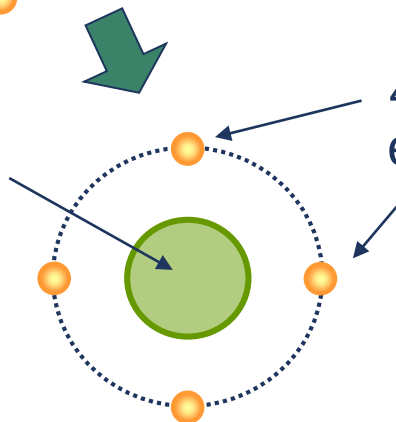
Silicium-atomen moeten een perfect kristal vormen voor de fabricatie van chips

1 Si-atoom =

- 1 atoomkern
- 14 elektronen



Kern en
binnenste
elektronen

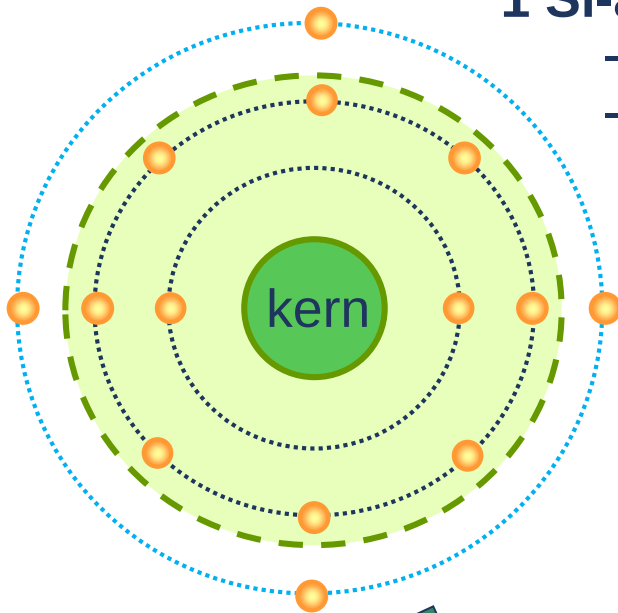


4 valentie-
elektronen

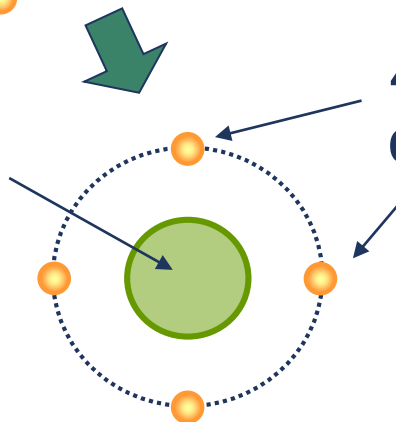
Silicium-atomen moeten een perfect kristal vormen voor de fabricatie van chips

1 Si-atoom =

- 1 atoomkern
- 14 elektronen



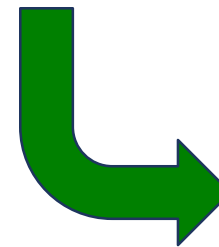
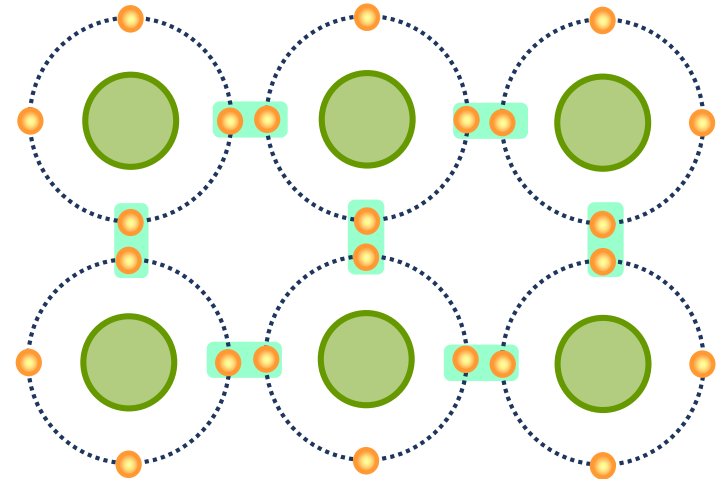
Kern en
binnenste
elektronen



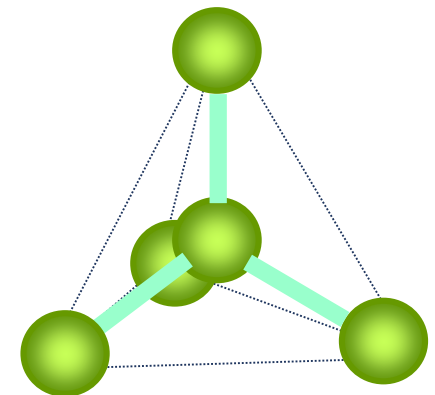
4 valentie-
elektronen

vele Si-atomen

→ deze vormen graag een kristal



Reële
3D opbouw



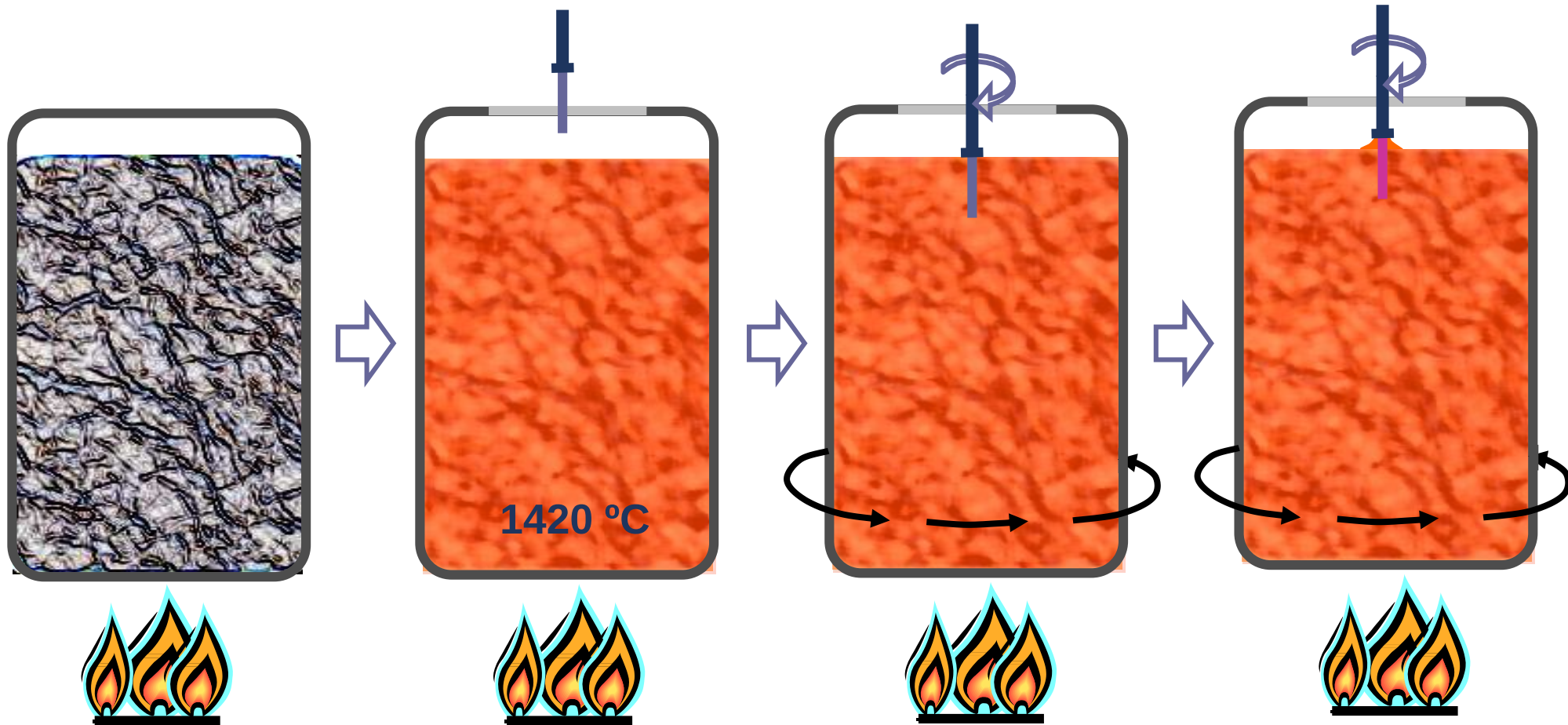
Si atomen omvormen tot perfect éénkristal (1)

De silicium
brokken
worden in een
quarts bad
gelegd

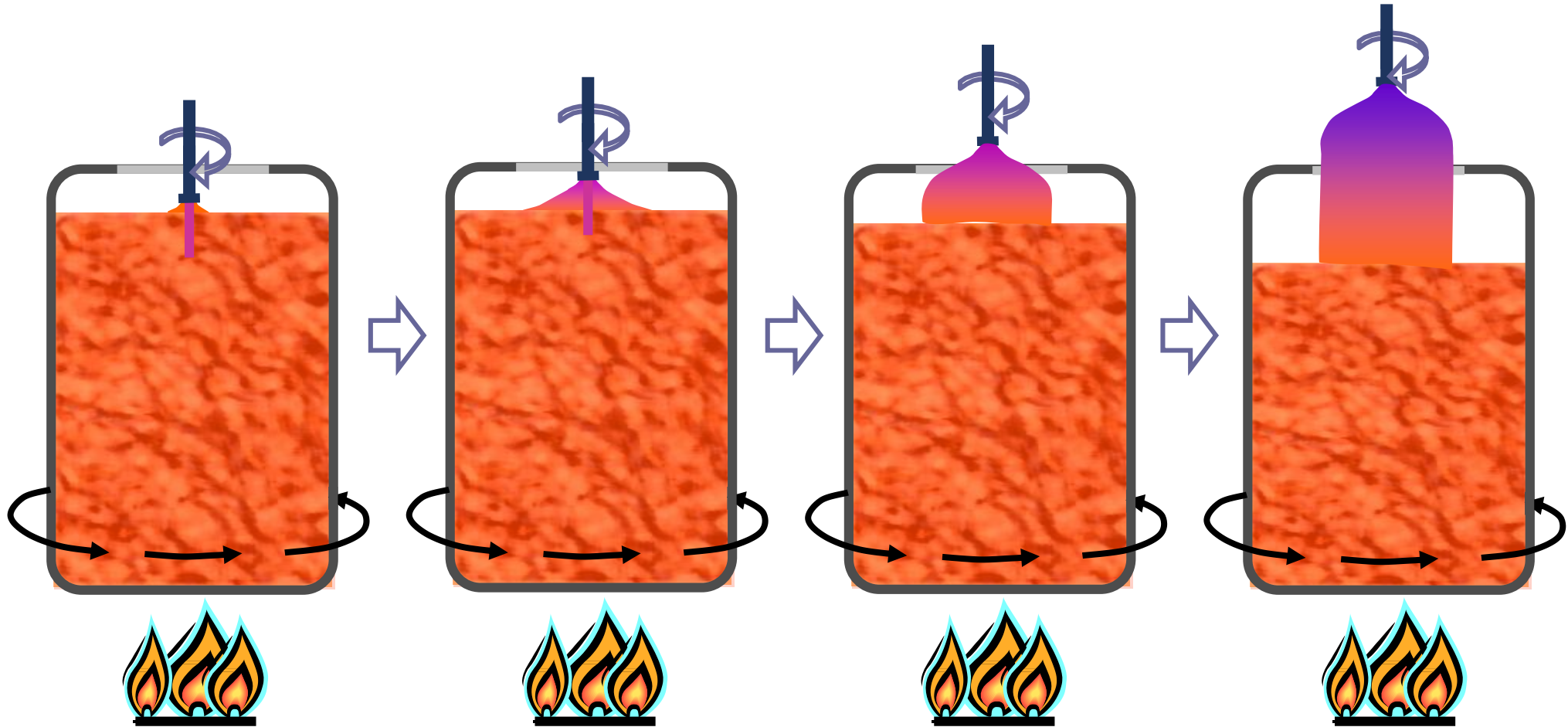


2

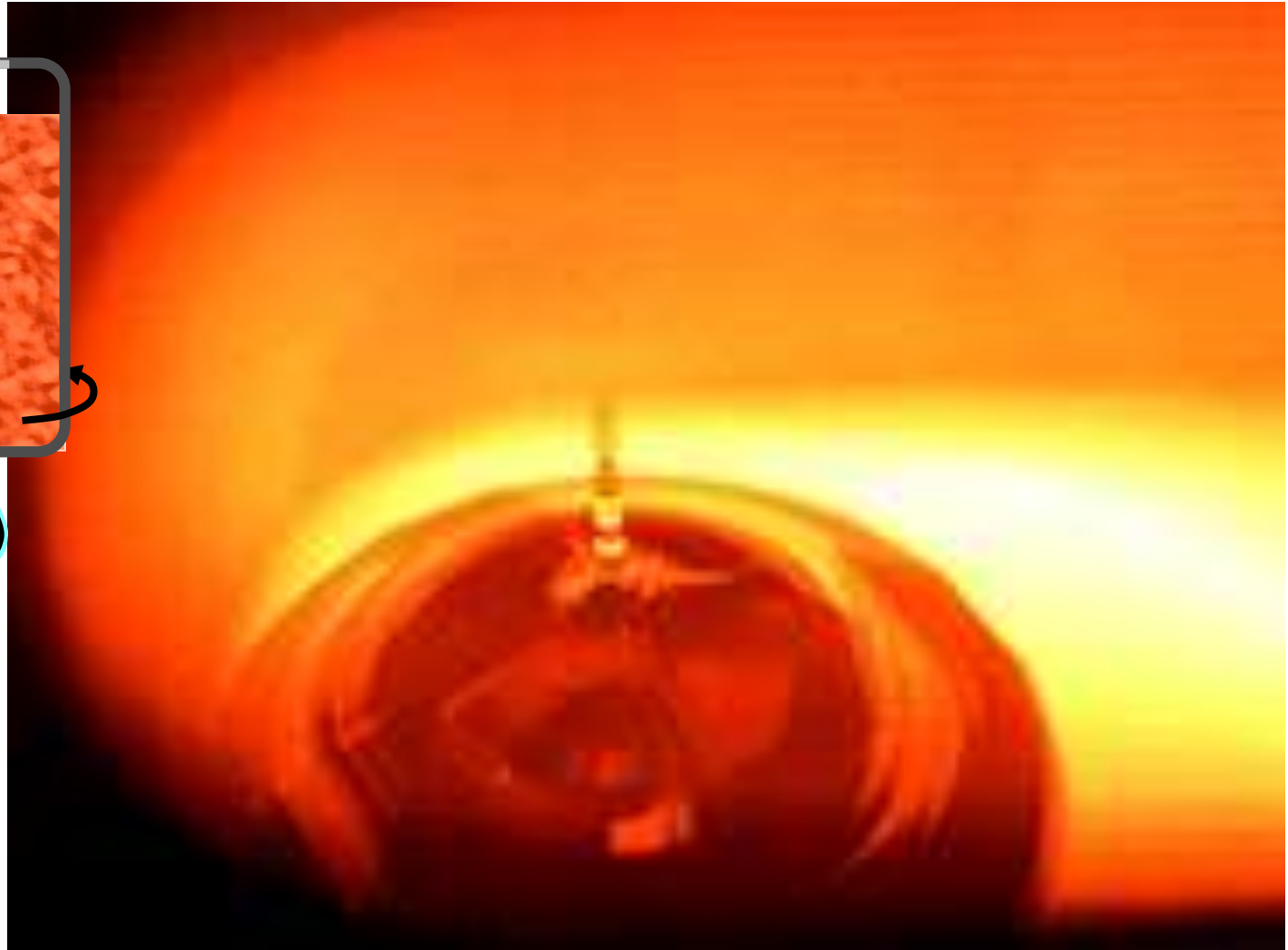
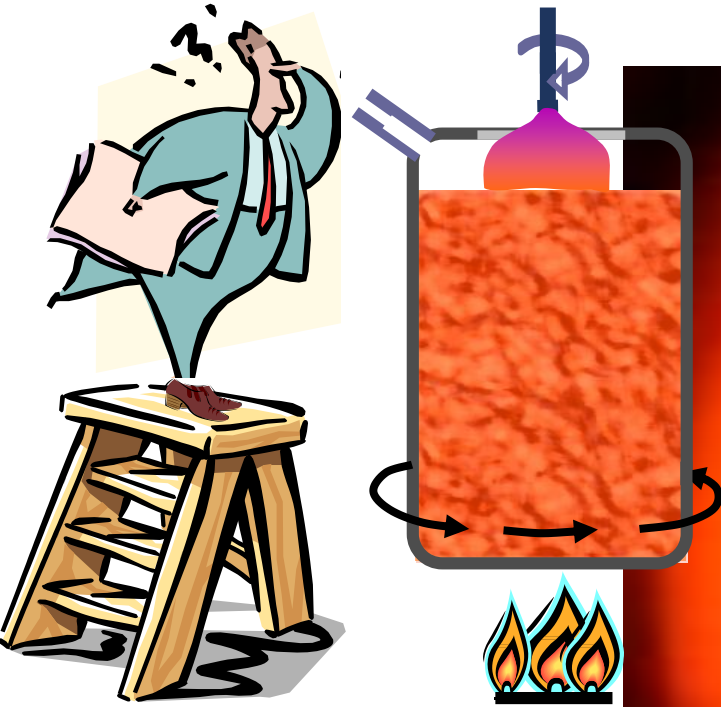
Si atomen omvormen tot perfect éénkristal (2)



Si atomen omvormen tot perfect éénkristal (3)



Si atomen omvormen tot perfect éénkristal (4)



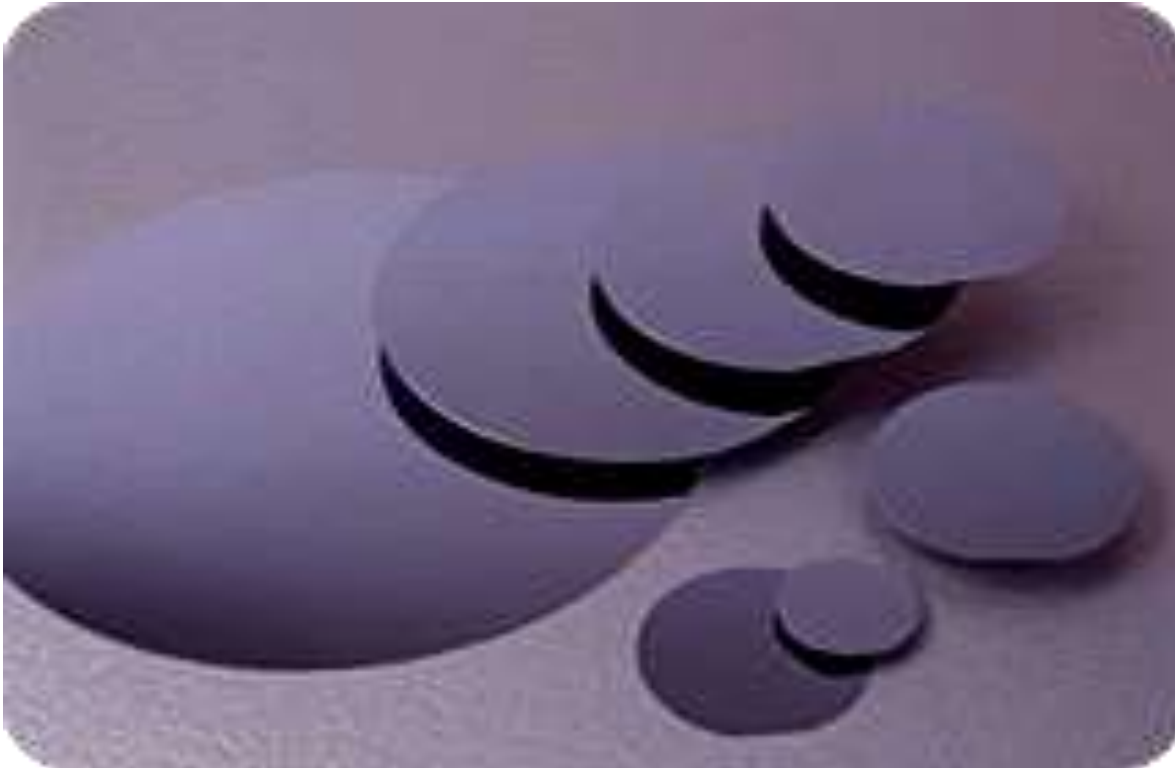
Na langzaam en voorzichtig omhoog trekken van het startstuk uit het hete siliciumbad, bekomt men een mooi rolvormig éénkristal



Eénkristal verzagen tot schijven



Siliciumschijven of wafers: klaar voor chipfabricatie



Silicium schijven zijn erg duur

prijs hangt af van:

- diameter
- kwaliteit van de schijf

Prijs van één Si-schijf
van zeer goede kwaliteit:

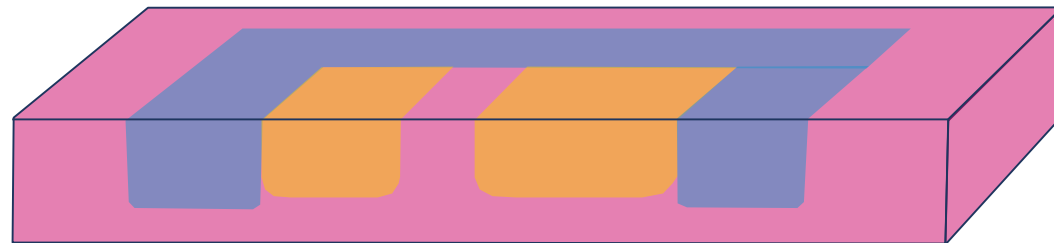
- 20cm diameter: ~200 \$
- 30cm diameter: ~400 \$

- Chips: silicium als basismateriaal
- ➔ • Werkingsprincipe van logica-chips
- Fabricatie van chips in de cleanroom
- Afwerken van chips: testen, verzagen, verpakken
- Speciale elektronica voor medische toepassingen

Wat is een halfgeleider ?

1. In een natuurlijke halfgeleider kunnen elektrisch geladen deeltjes erg moeilijk bewegen.
2. Door bepaalde bewerkingen (zgn. dopering) kan de geleidbaarheid van een halfgeleider heel lokaal erg verbeterd worden
 - materiaal wordt op die plaats een goede geleider
3. Door andere bewerkingen (oxidatie) kan de geleidbaarheid van de halfgeleider heel erg afnemen.
 - materiaal wordt op die plaats een isolator

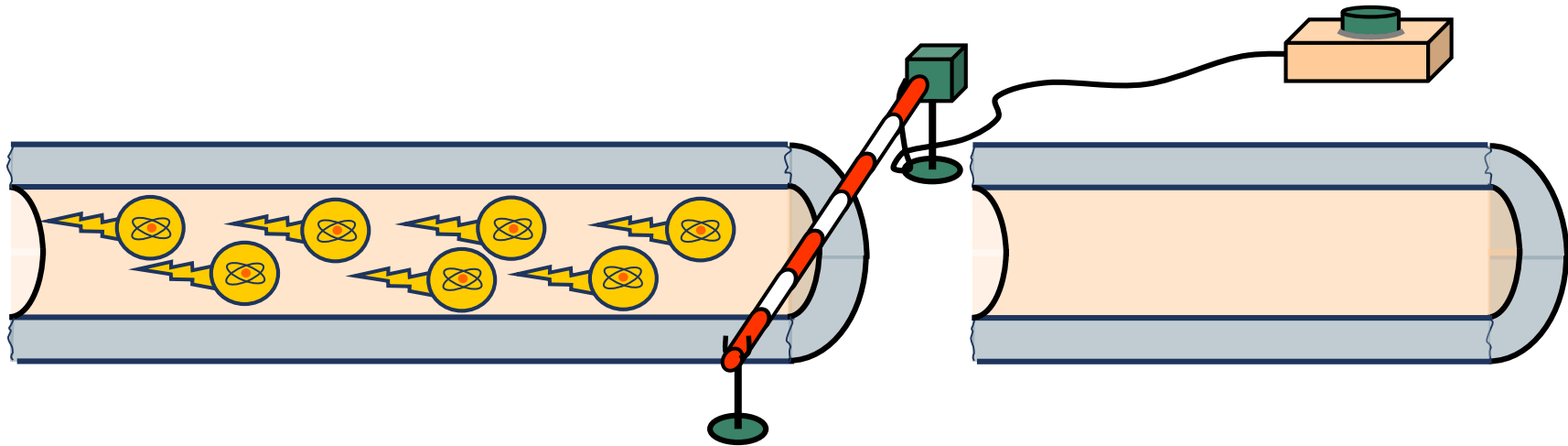
Typische voorbeelden: Silicium, Germanium, Gallium-arsenide...



Transistor: electronische schakelaar met 'afstandsbediening'

elektrische deeltjes kunnen niet meer bewegen als de geleider onderbroken is
bv : als we een open schakelaar in de geleider hebben

→ soort slagboom



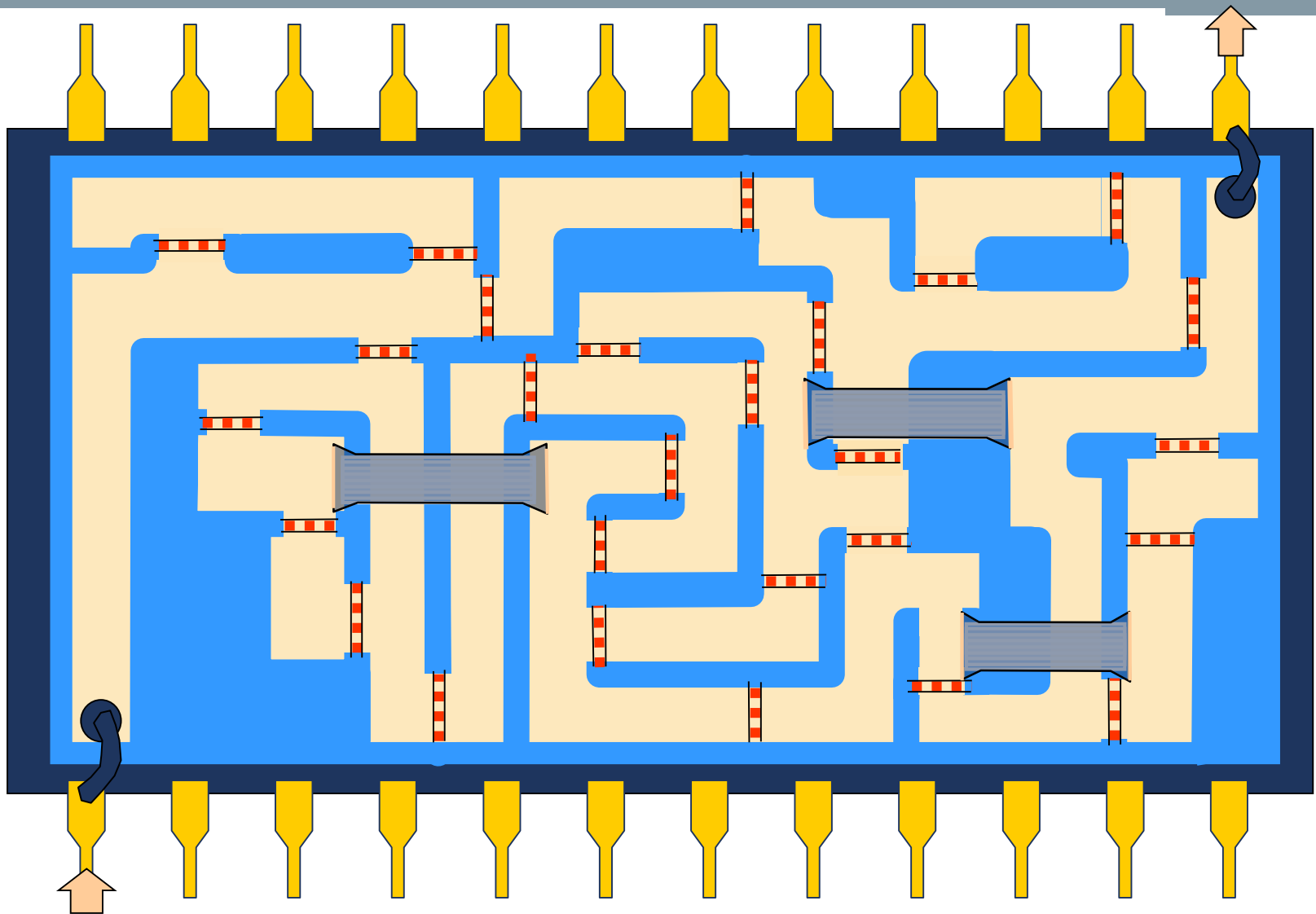
Bouwblok van chip: transistor

➤ soort elektronische schakelaar met afstandsbediening

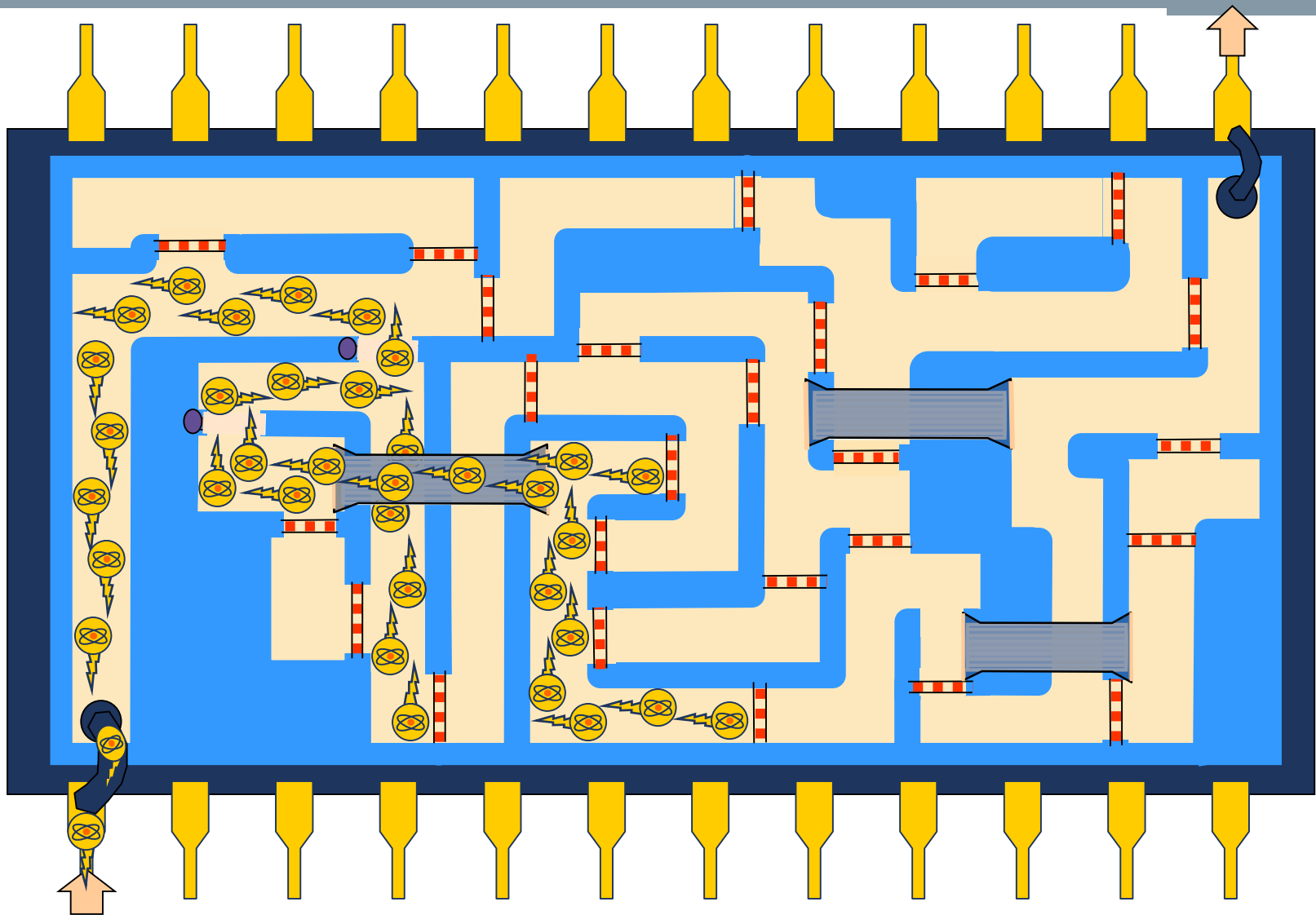
Hoe ziet een chip er van binnen uit?



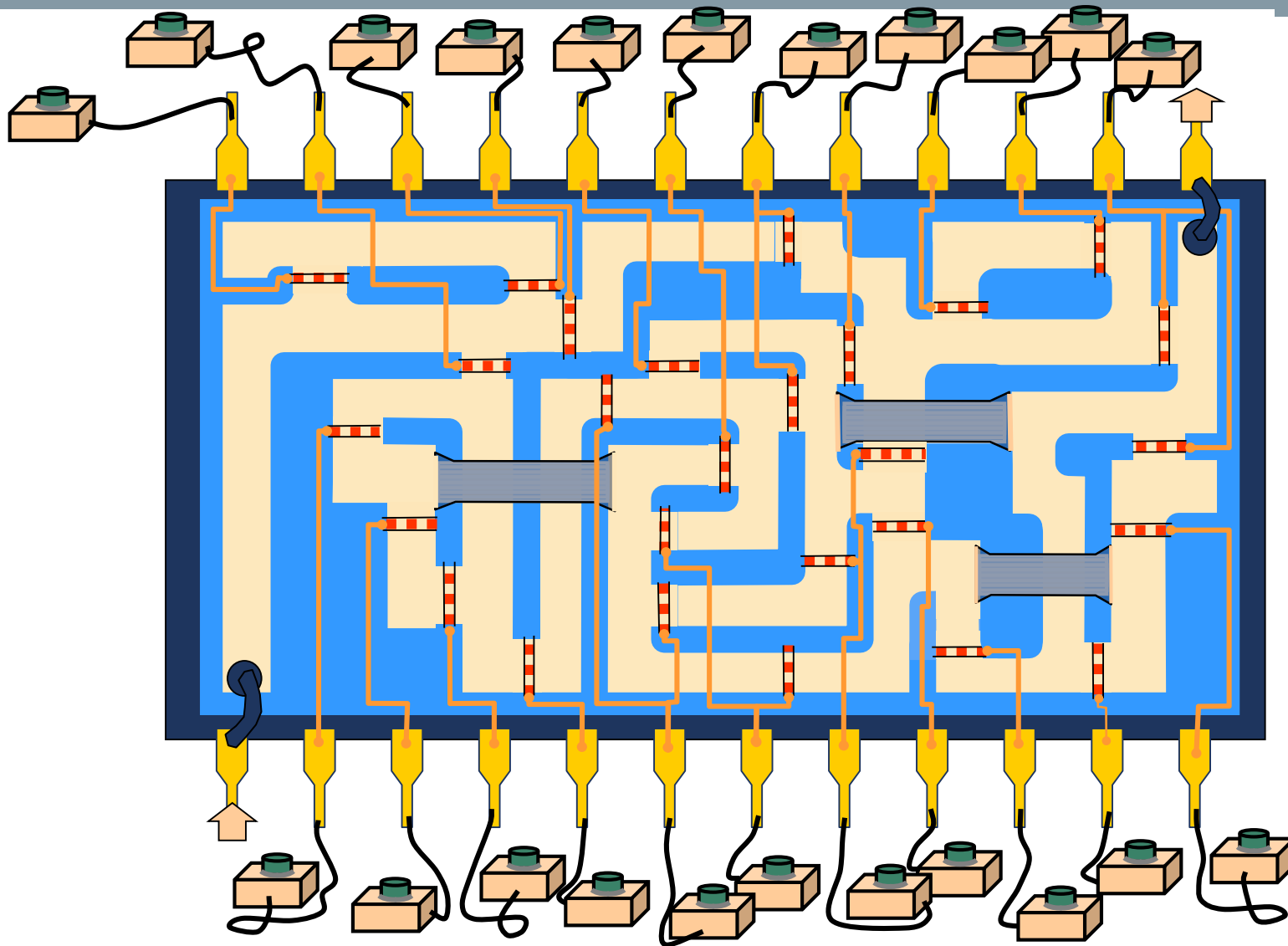
Een chip is eigenlijk een heel speciale doolhof



Hoe loopt de stroom in een chip?



Waar dienen al die pootjes voor?



Hoe werkt zo'n chip-doolhof?

Eenvoudig voorbeeld

Vb: een zeer oude rotstekening in een grot moet beschermd worden tegen beschadiging door de toeristen.

Het alarm gaat af als er iemand een foto met flitslicht maakt (lichtsensor meet teveel licht), en als er iemand te dicht bij de rotswand komt (dan wordt laserstraal onderbroken).

Het alarm moet ook kunnen afgezet worden via een schakelaar (voor reiniging bv.).

Lichtsensor L_{rots} meet hoeveelheid licht op rotswand : normaal licht: $L_{\text{rots}} = 0$
flitslicht: $L_{\text{rots}} = 1$

Lichtsensor L_{laser} meet of de laserstraal onderbroken is : niet onderbroken: $L_{\text{laser}} = 0$
wel onderbroken: $L_{\text{laser}} = 1$

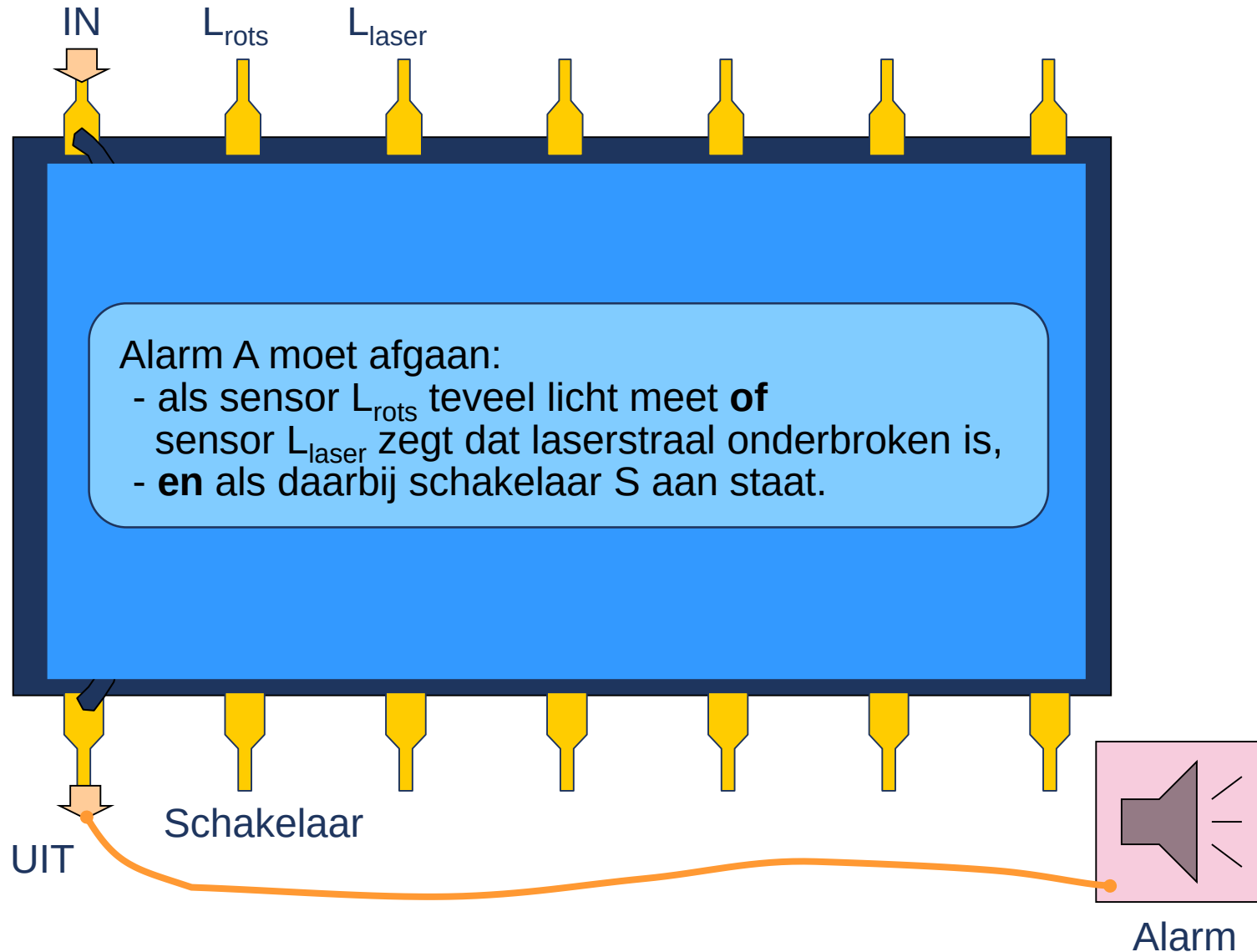
Schakelaar S : schakelaar aan als rotstekening moet beveiligd worden: $S = 1$
schakelaar af (bij reiniging) : $S = 0$

Dus alarm A moet afgaan:

- als sensor L_{rots} teveel licht meet **of** sensor L_{laser} zegt dat laserstraal onderbroken is,
- **en** als daarbij schakelaar S aan staat.

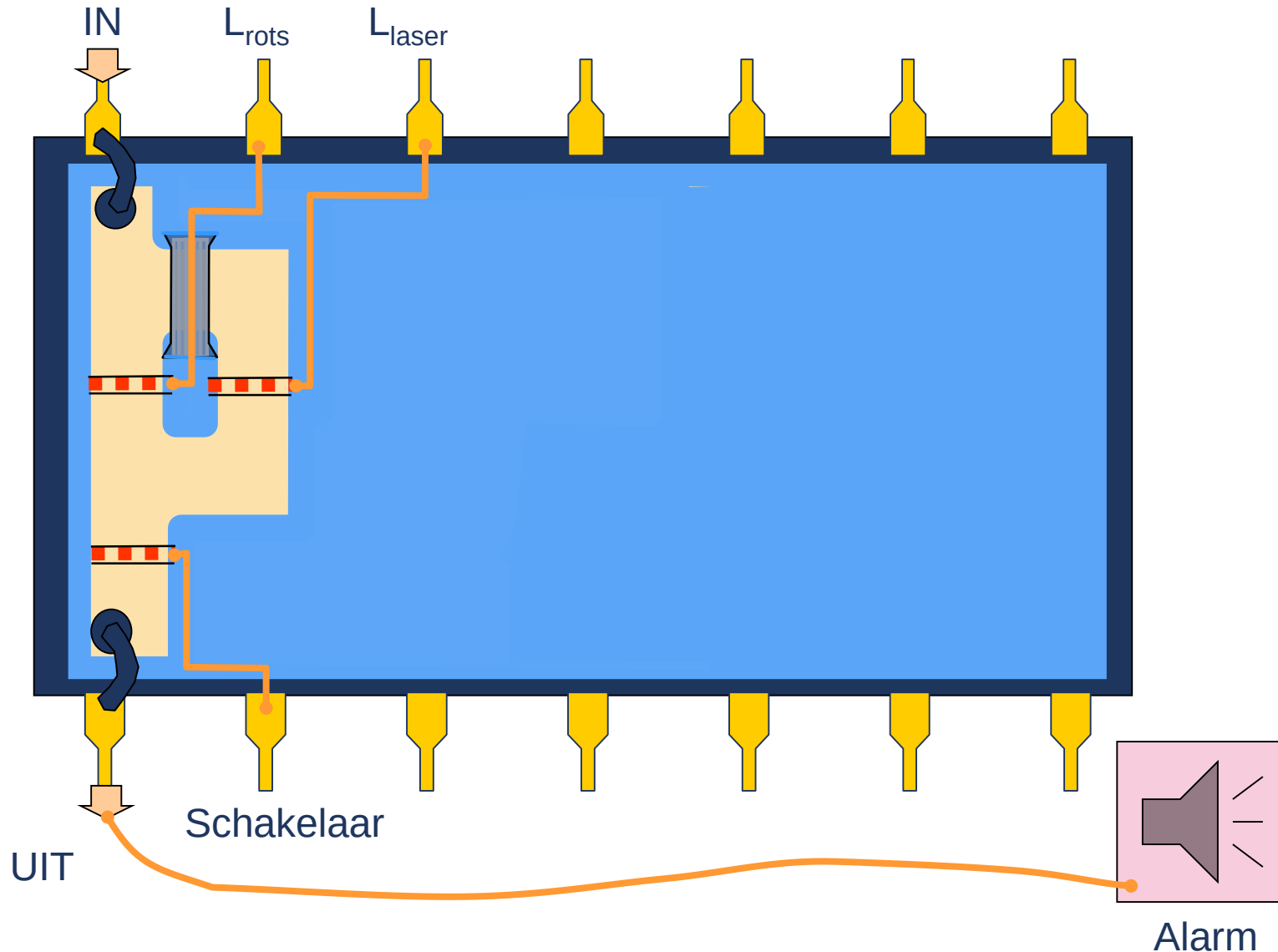
Hoe werkt zo'n chip-doolhof?

Eenvoudig voorbeeld



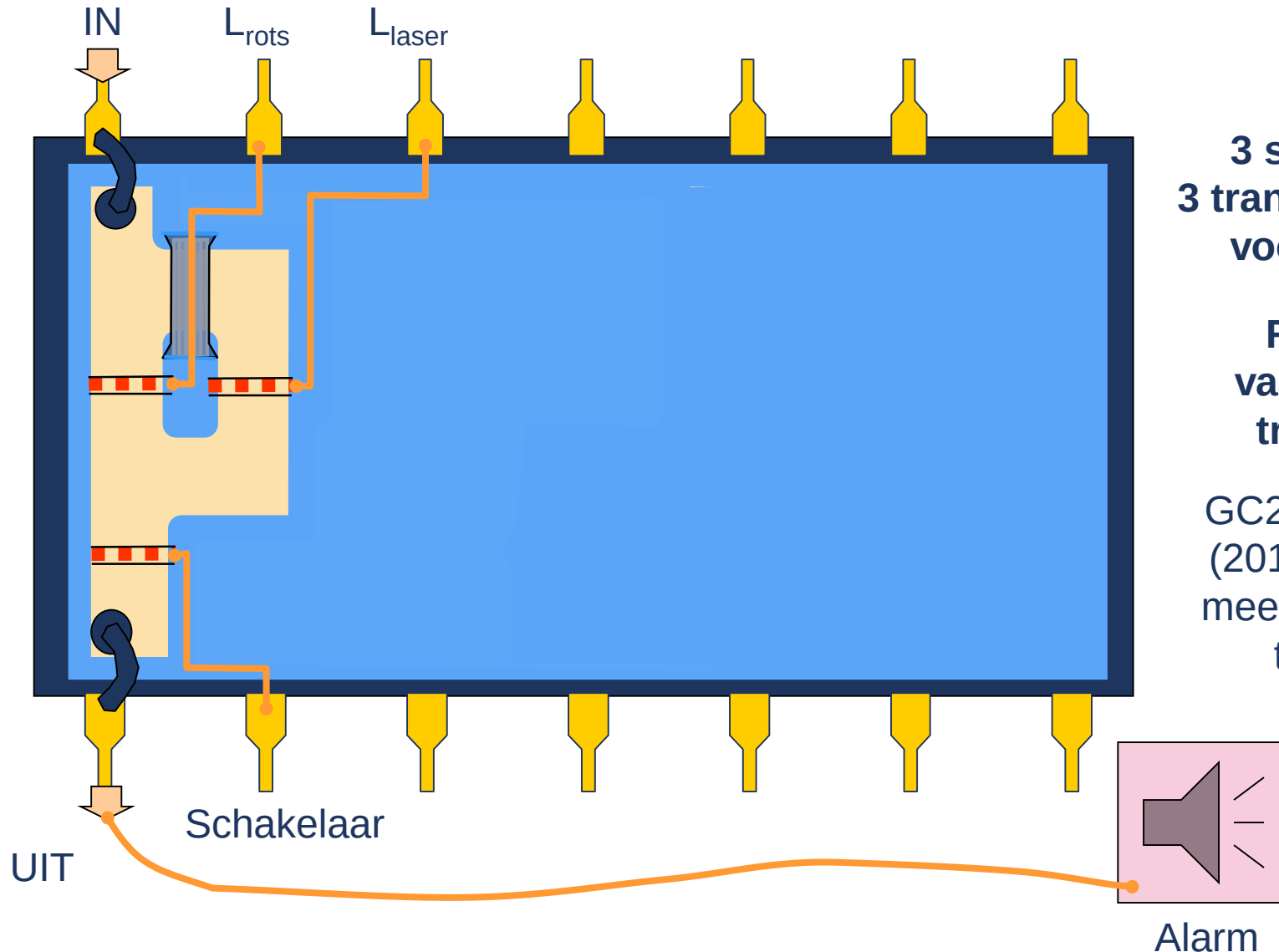
Hoe werkt zo'n chip-doolhof?

Eenvoudig voorbeeld



Hoe werkt zo'n chip-doolhof?

Eenvoudig voorbeeld



3 slagbomen =
3 transistoren nodig
voor deze chip

Reele chip :
vaak miljoenen
transistoren!

GC2 IPU processor
(2018, Graphcore):
meer dan 23 miljard
transistoren

Hoe ziet een IC er van binnen uit ?

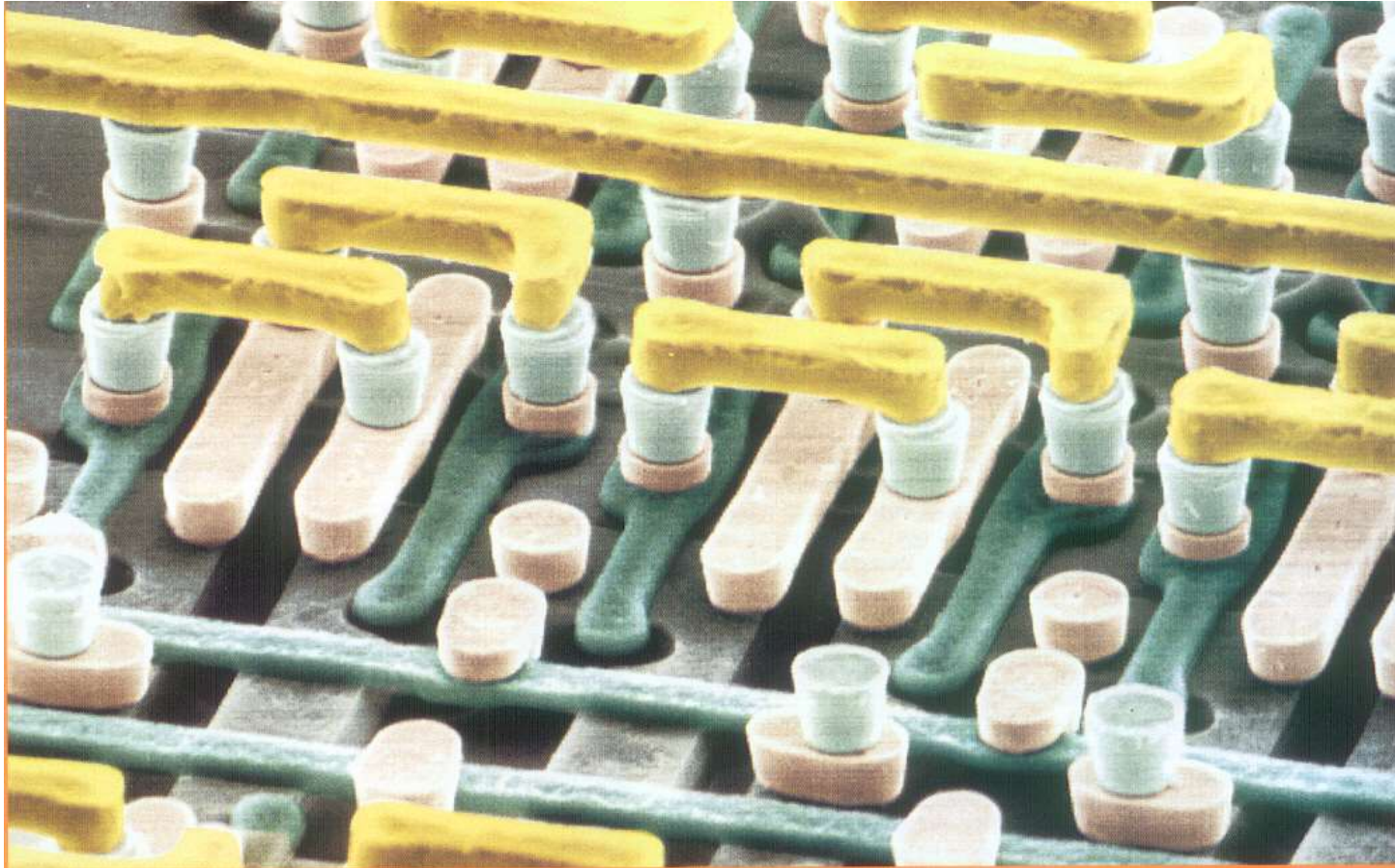
Alles is verschrikkelijk klein
op een chip,
we kunnen niet veel zien
met een vergrootglas
of een gewone microscoop.



We bekijken een chip met
een elektronen-microscoop

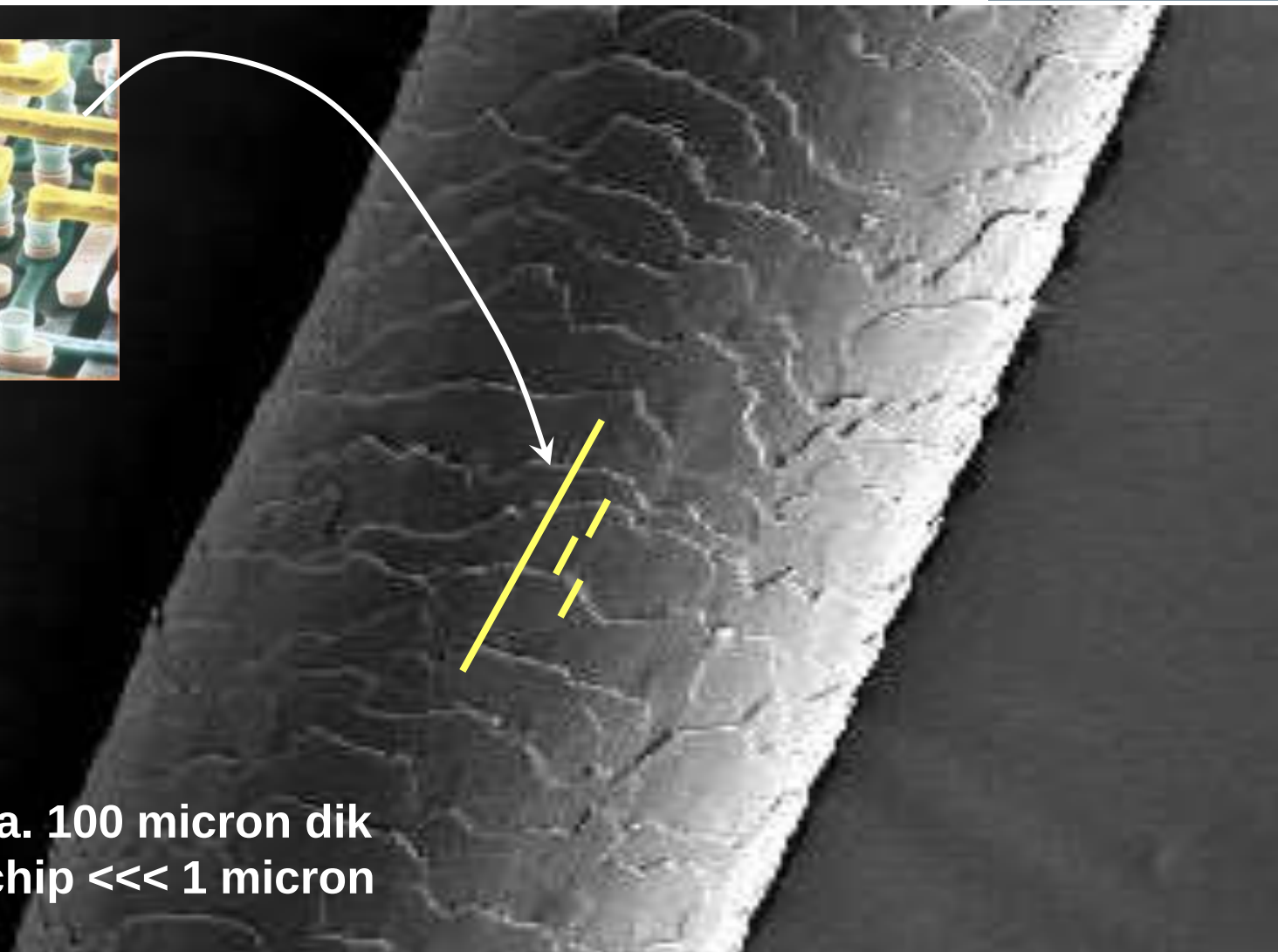


Een kijkje op het silicium zelf (2) ...



Een heel speciale doolhof voor de stroom: baantjes in geleidende materialen lopen naast, over en onder andere baantjes. (foto © IBM)

Hoe groot zijn die geleidende baantjes?



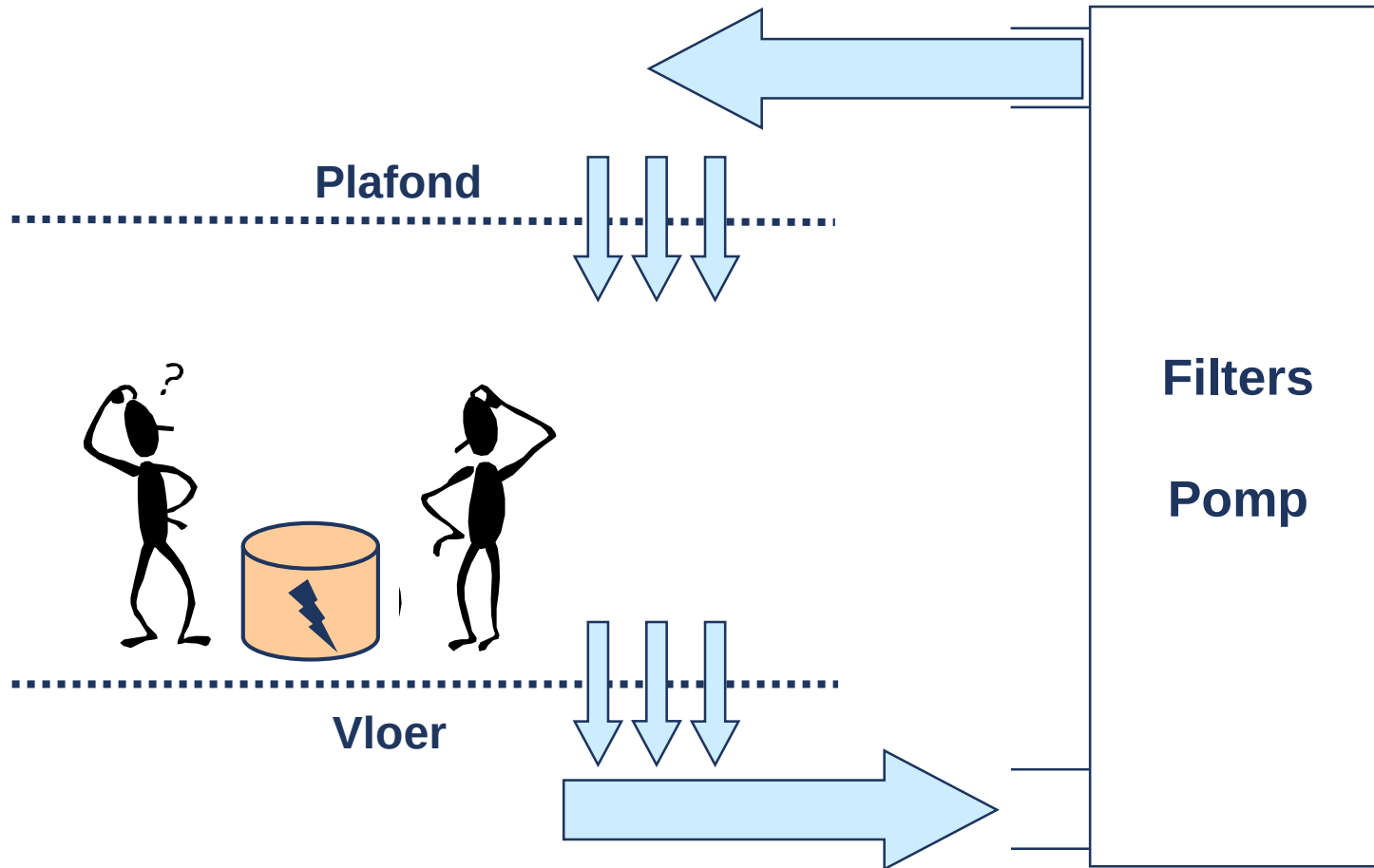
Een mensenhaar: ca. 100 micron dik
Strukturen op een chip <<< 1 micron

- Chips: silicium als basismateriaal
- Werkingsprincipe van logica-chips
-  • Fabricatie van chips in de cleanroom
- Afwerken van chips: testen, verzagen, verpakken
- Speciale elektronica voor medische toepassingen

Omdat alles op een chipje zo klein is, is het kleinste stofje al een probleem: het chipje zal niet meer goed werken

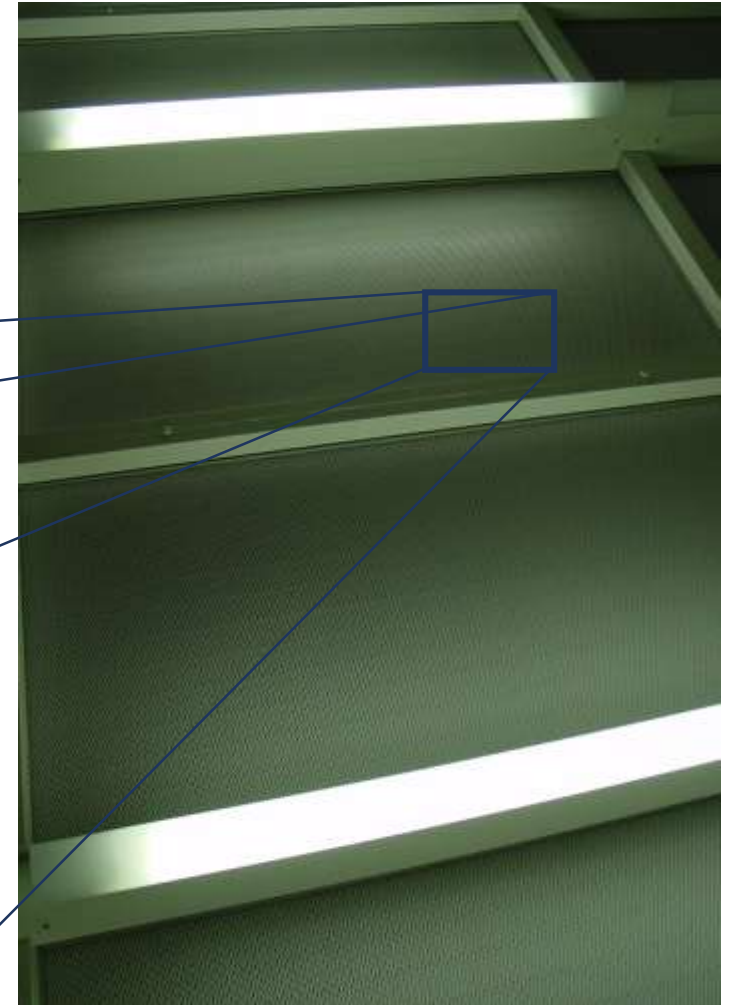
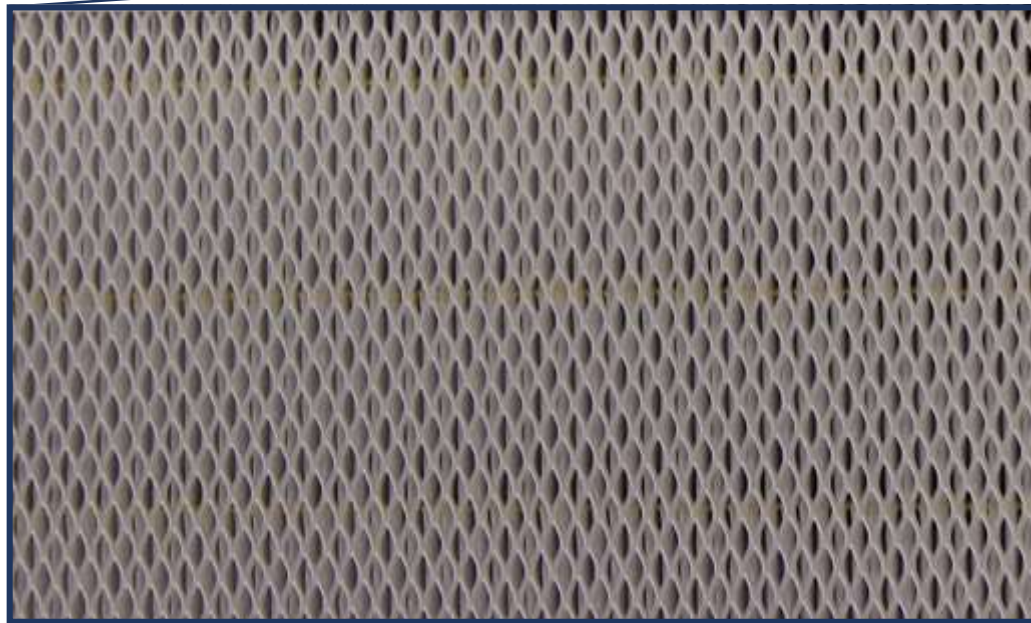
- dus moet alles moet heel netjes zijn
- we maken chipjes in een 'clean room'
- we zorgen ervoor dat er geen vuil of stofjes zijn in de clean room, en mensen zijn heel speciaal gekleed

De clean room : stofjes worden weggezogen



De clean room : stofjes worden weggezogen

De lucht wordt gefilterd, en door het plafond de clean room ingepompt.



De clean room : stofjes worden weggezogen



**Er is altijd
een luchtstroom
naar beneden,
daarom zijn er
gaatjes
in de grond!**

De clean room : stofjes worden weggezogen

**Er mogen geen
grote platte vlakken zijn,
daarom hebben
de tafels gaatjes!**



**De vensterbanken zijn
smal en schuin,
opdat er geen stofjes op
zouden blijven liggen.**



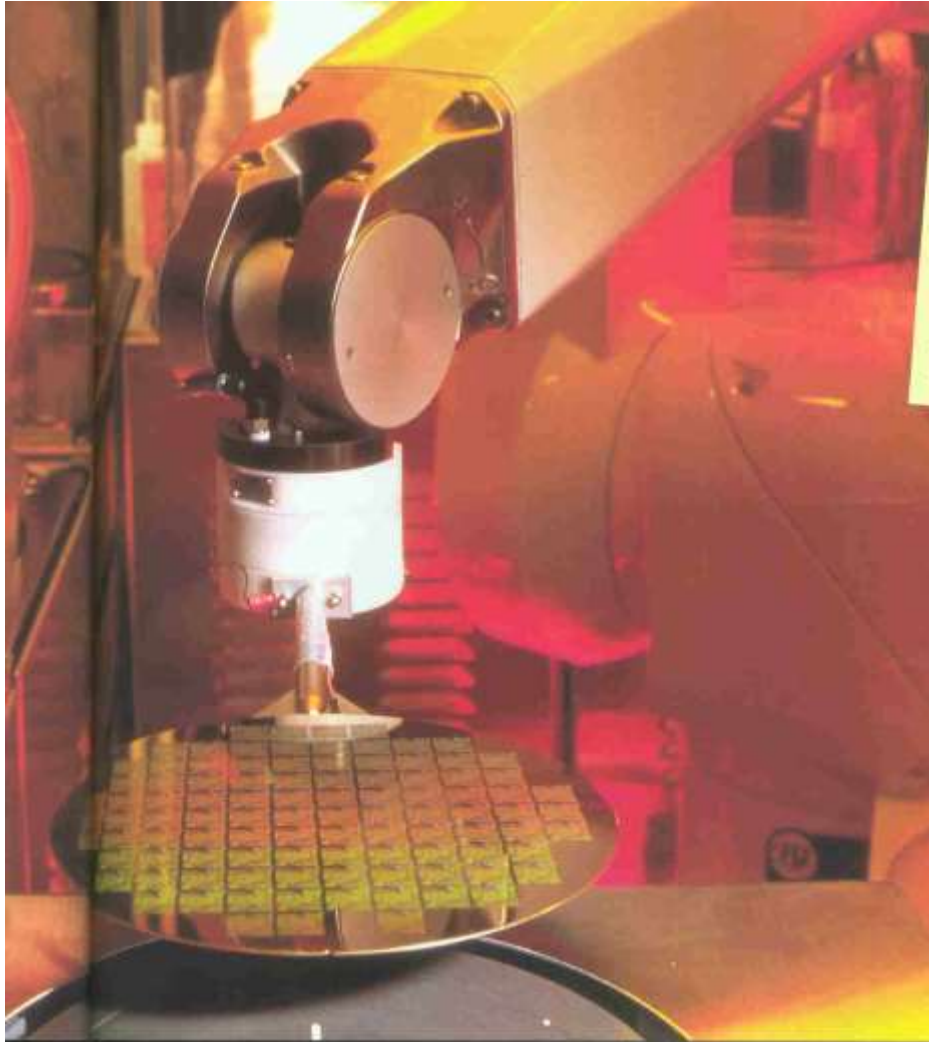
Mensen in de clean room



**mensen zijn helemaal ‘ingepakt’:
speciale overall, dubbele kap,
speciale schoenen en overschoenen,
monddoekje, veiligheidsbril,
handschoenen...**



Hoe neem je een siliciumschijf vast?



**machines hebben
robot-armen
om de schijven
te verplaatsen**

Wat gebeurt er met de silicium schijven in de clean room (1) ?



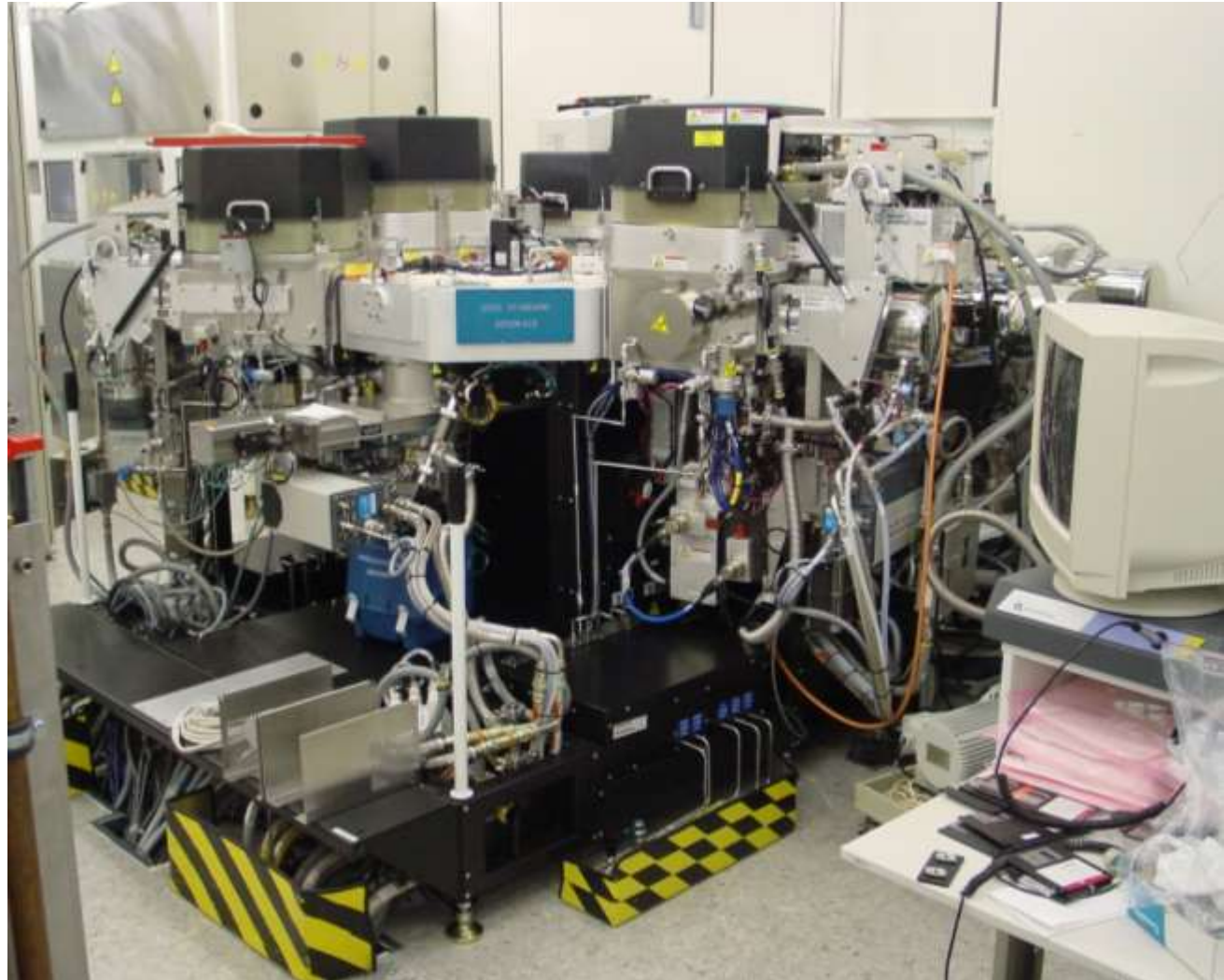
**De schijven
gaan machines
in en uit**

Wat gebeurt er met de silicium schijven in de clean room (2) ?



Ieder werkt met veel aandacht aan een klein onderdeel van het productieproces van een chip. Zonder goede afspraken met elkaar zou alles in het honderd lopen, want het productieproces is heel ingewikkeld.

**Vooraan zien
clean room toestellen
er eenvoudig uit,
maar de werkelijkheid
is heel anders!**



**Als deze machine kapot gaat,
hoe gaan we ze dan maken ?**

Welk slangetje is er lek?

Welk vijsje is er los ?

**Wie kan dit toestel openvijzen
(en ook terug ineen krijgen) ?**

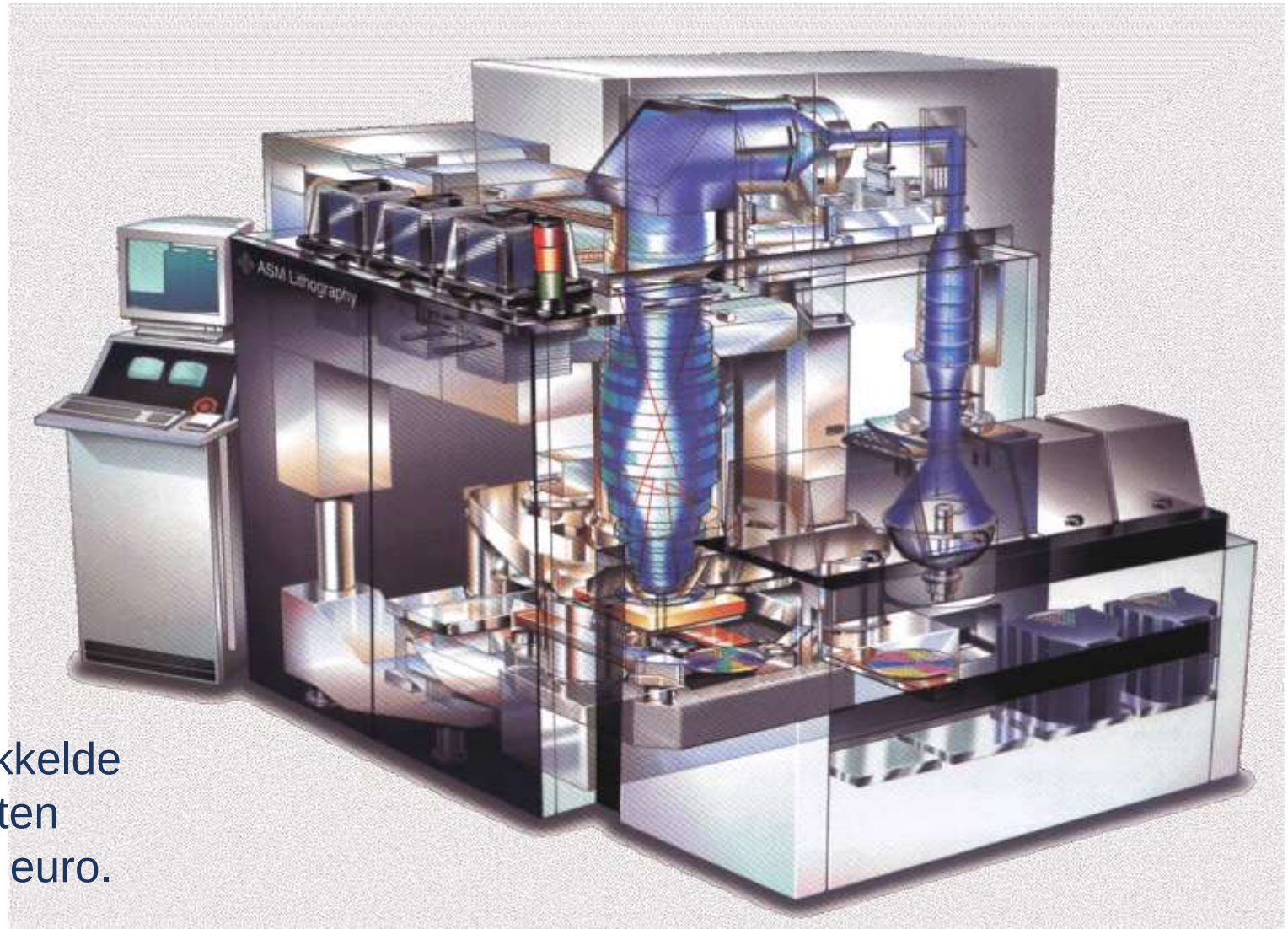
Dit is werk voor specialisten ...



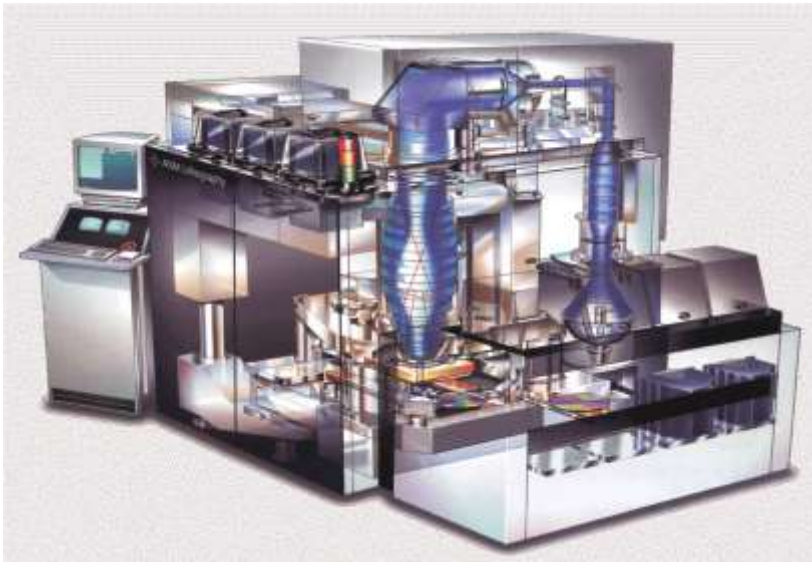
Hoeveel kosten clean room toestellen?

Veel van de
gebruikte
toestellen zijn
heel erg duur.

De meest ingewikkelde
toestellen kosten
30 tot 40 miljoen euro.



Hoeveel kosten clean room toestellen?

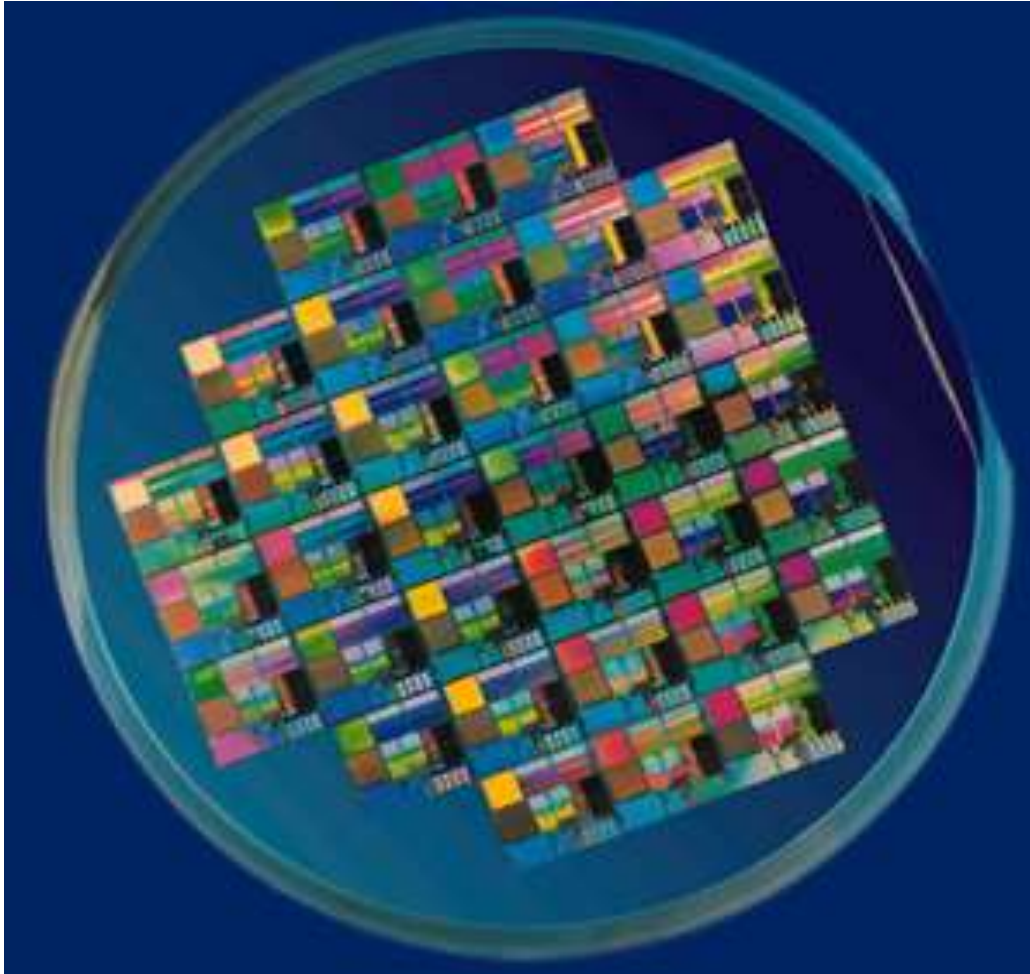


30 tot 40 miljoen euro

=

365.000 euro x **100 stuks** =
36.5 miljoen euro

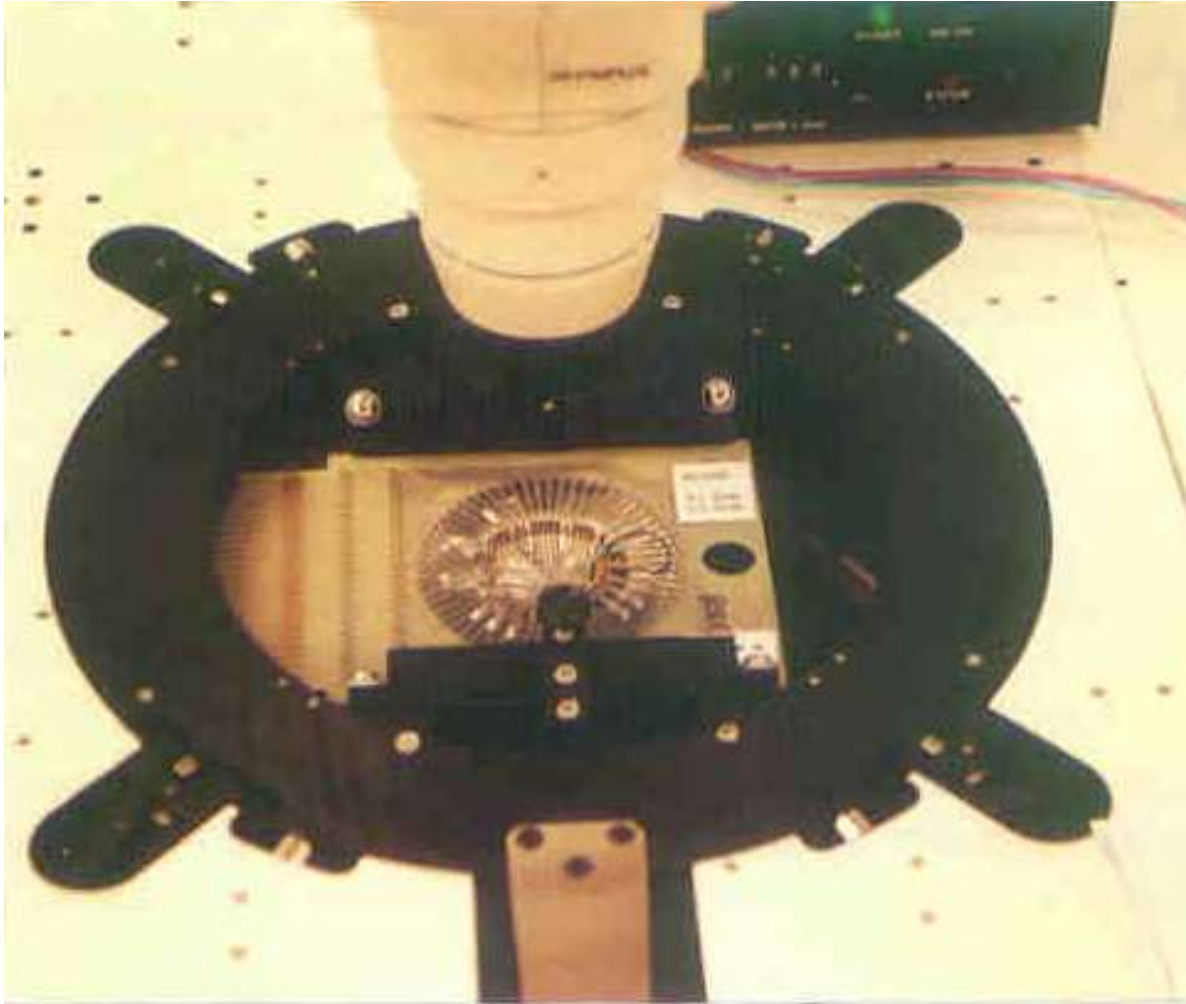
Na veel en nauwkeurig werk in de cleanroom...



**De siliciumschijf
is klaar!**

**de chipjes zouden nu
moeten werken...**

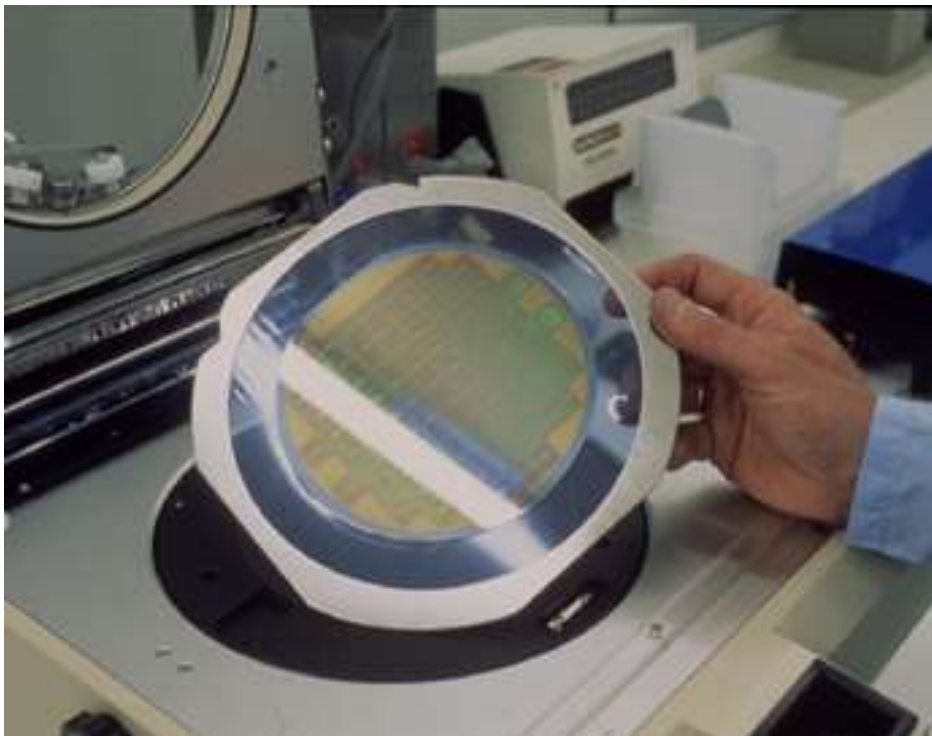
- Chips: silicium als basismateriaal
- Werkingsprincipe van logica-chips
- Fabricatie van chips in de cleanroom
- ➔ • Afwerken van chips: testen, verzagen, verpakken
- Speciale elektronica voor medische toepassingen



Alle chipjes worden gemeten om na te kijken welke chips goed functioneren

Silicium schijf verzagen

Si-schijf wordt op folie gekleefd

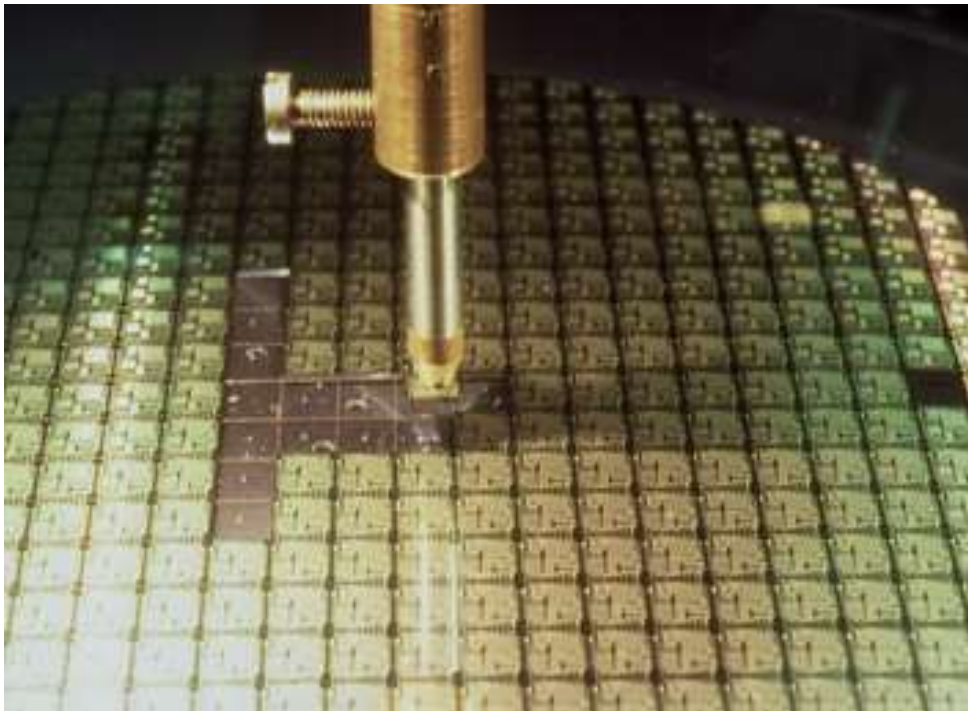


de schijf wordt in stukjes gezaagd



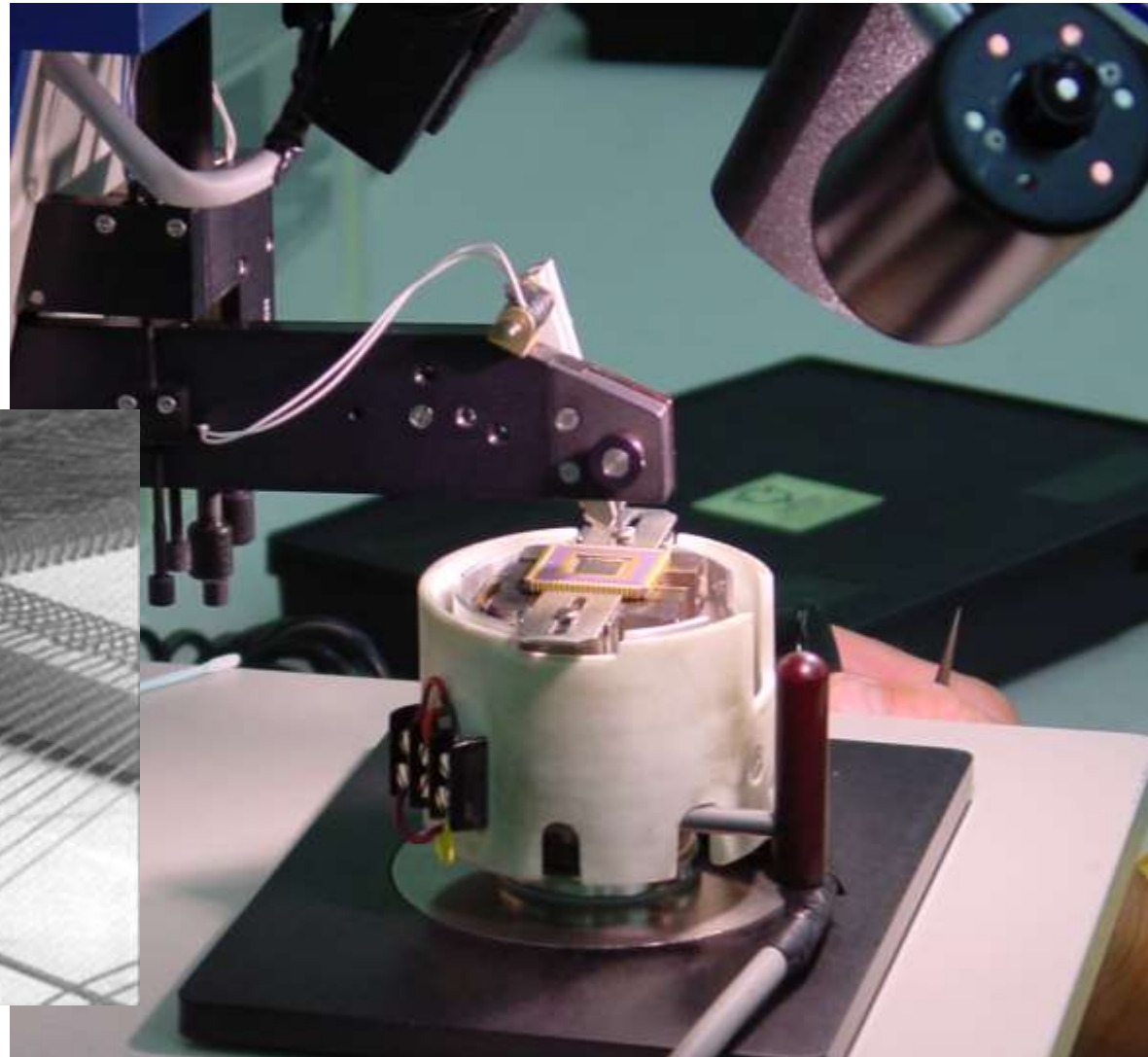
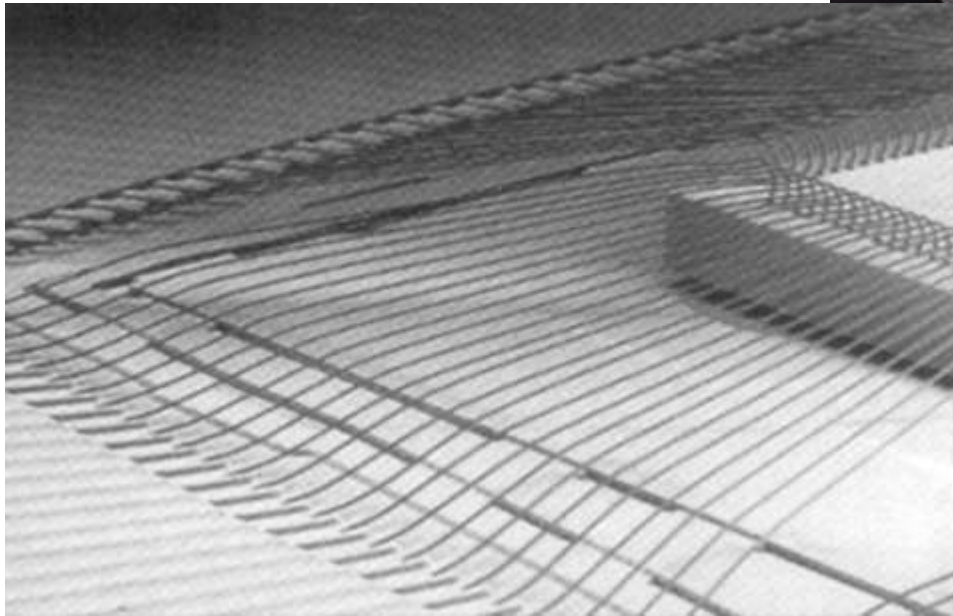
Montage van chip in houder

De goed functionerend chips worden van de plakfolie gehaald en één voor één in de houder gekleefd

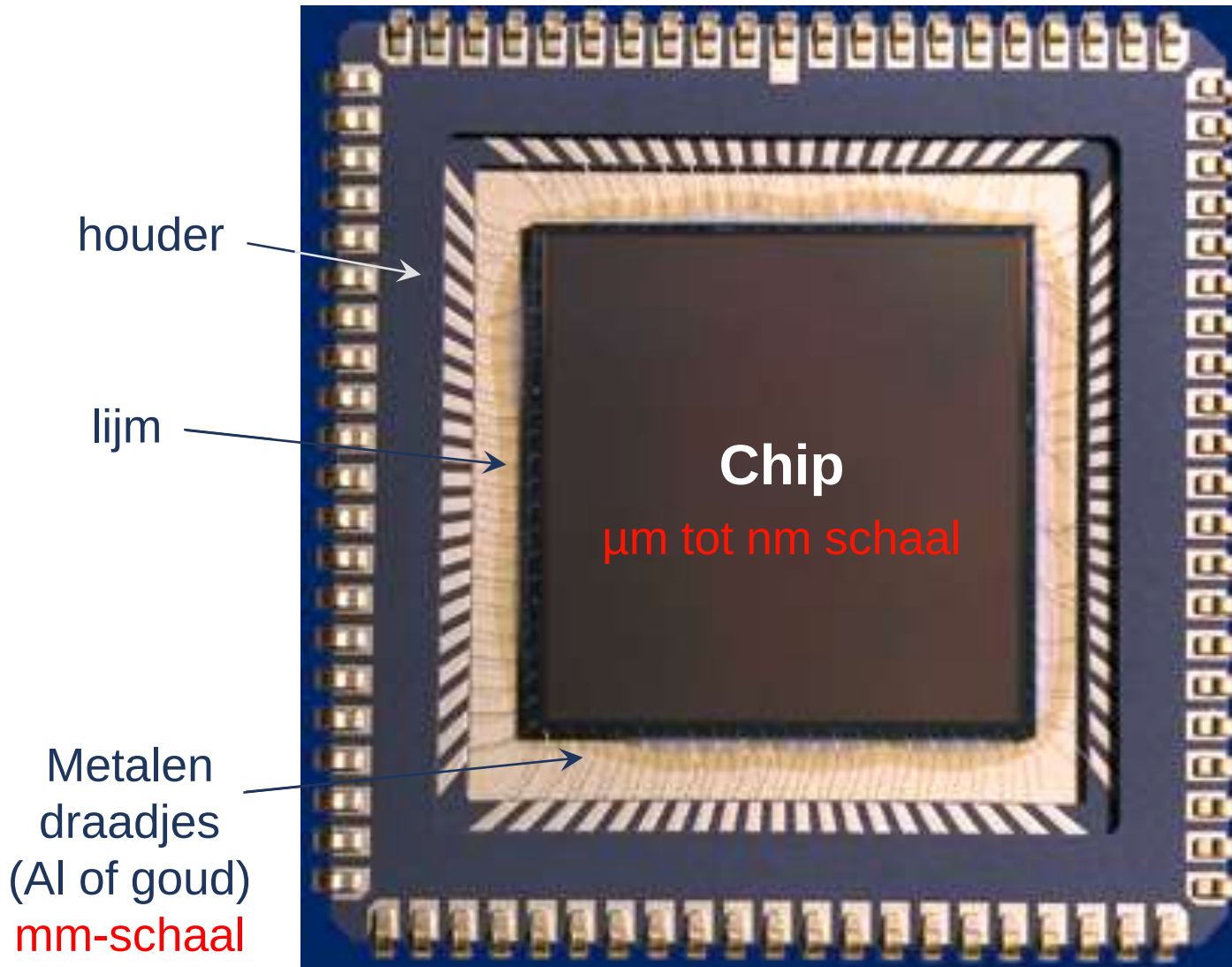


Verbinding chip met houder

**Metalen draadjes verbinden
de chip met de metalen
pinnetjes van de houder**



Chip na montage in houder



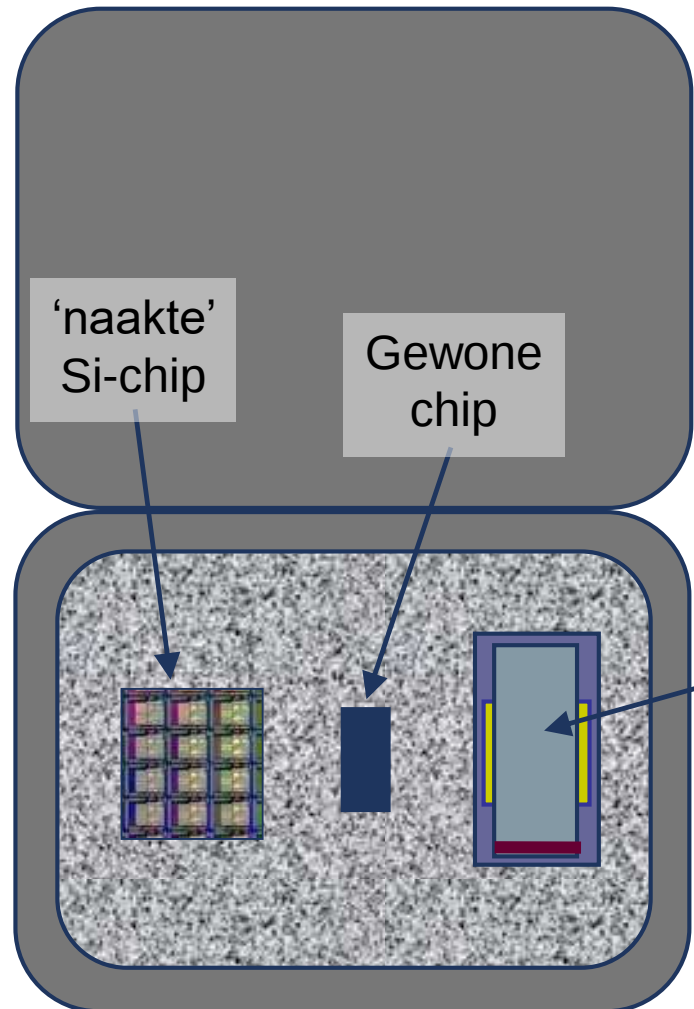
huidige chips:
structuren op
nm schaal tgv
miniaturisatie

veel betere
verpakkings-
technieken
nodig

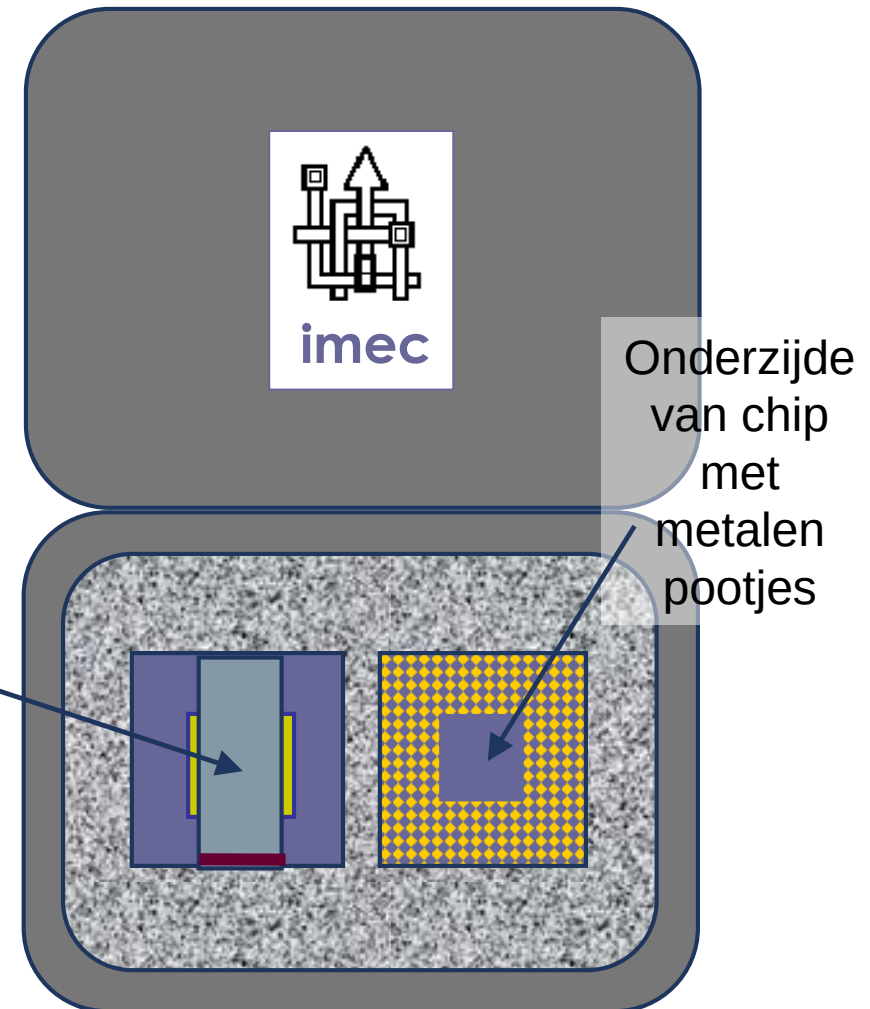
Laatste 10 jaar:
veel R&D op
verpakkings-
technieken !

We kijken van dichtbij naar chips ...

Chip in polymeer-doosje



Chip in keramische verpakking

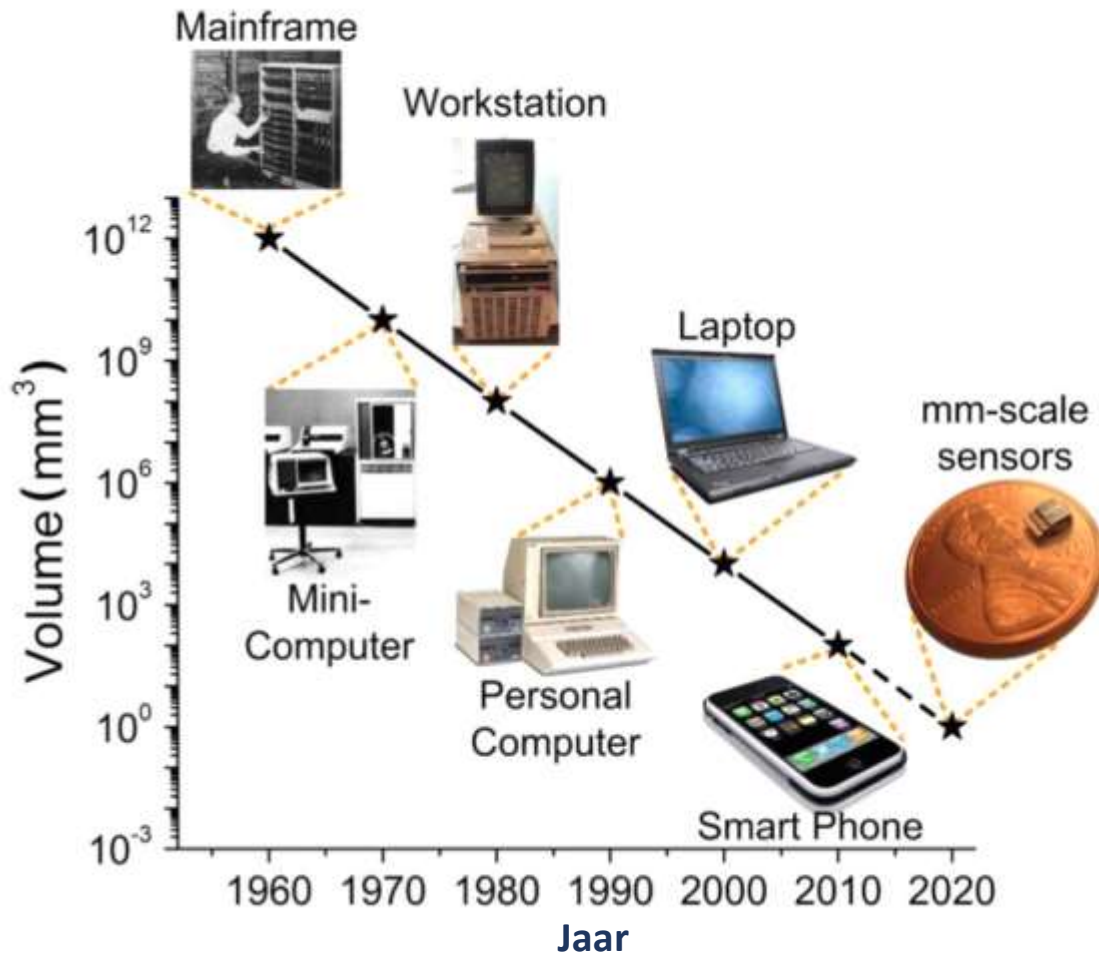


Bovenzijde van chip die open kan :

Voorzichtig plakband oplichten!

- Chips: silicium als basismateriaal
- Werkingsprincipe van logica-chips
- Fabricatie van chips in de cleanroom
- Afwerken van chips: testen, verzagen, verpakken
- ➔ • Speciale elektronica voor medische toepassingen

Algemene trend in elektronica: slimmere en kleinere toestellen



Slimmere en kleinere toestelletjes:
heel interessant voor
medische toepassingen,
waar een klein formaat
en laag gewicht heel belangrijk is



ontstaan van
draagbare
medische toestellen

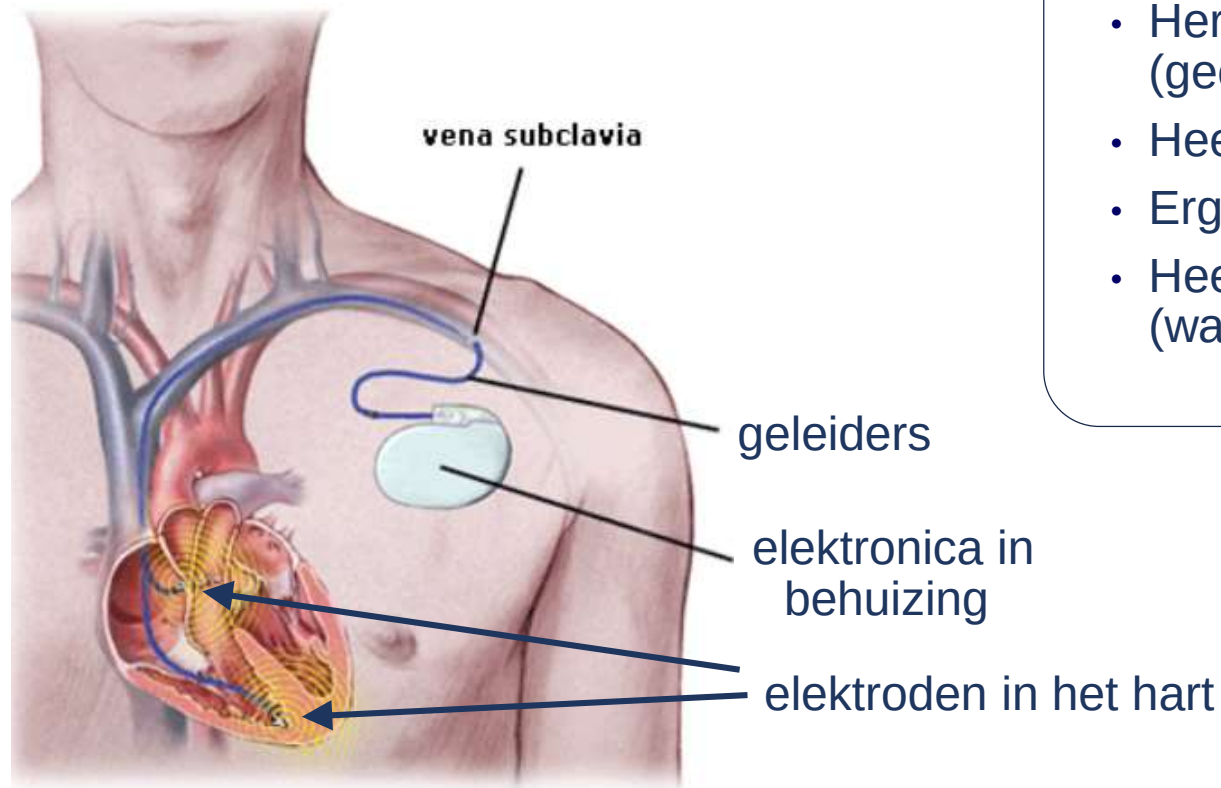


elektronische
implantaten

The image is a composite of two photographs. On the left, a young boy is dressed as an engineer, wearing a yellow hard hat and holding a rolled-up blueprint. He is standing in front of a blackboard filled with white chalk drawings of various engineering tools and structures, including a crane, a truck, a hard hat, a wrench, a gear, a house, a ruler, a compass, a lightbulb, and the words "ENGINEER", "CIVIL", and "CONSTRUCTION". On the right, a young girl is dressed as a doctor, wearing a white lab coat and holding a stethoscope. She is standing in front of a green chalkboard filled with white chalk drawings of various medical equipment and terms, including a heart, a bottle, a plus sign, a microscope, a DNA helix, a tooth, a heart with a pulse line, an ambulance, a first aid kit, a pill bottle, a syringe, and the words "Healthcare", "Doctor", "Medical", and "AMBULANCE".

Een elektronisch implantaat maken is niet zo gemakkelijk

Traditionele elektronische pacemaker



Eisen voor implantaat:

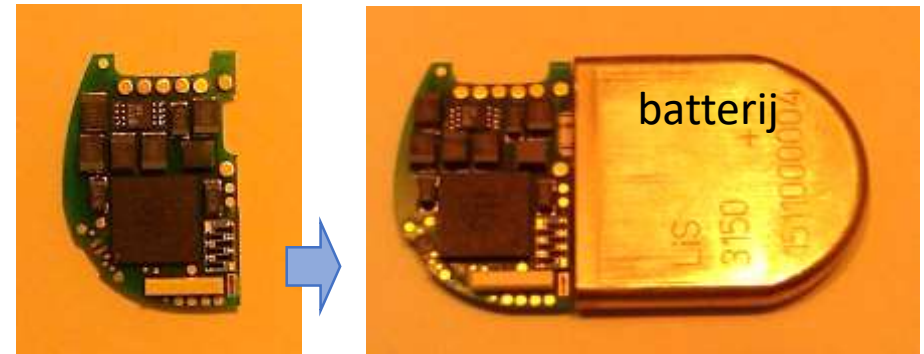
- Biocompatibiliteit
- Hermeticiteit (geen vocht in toestel)
- Heel betrouwbare werking
- Erg klein, lichtgewicht
- Heel weinig energieverbruik (warmte, batterij-grootte)

Trend: veel meer elektronica in zelfde volume

Pacemakers: alsmaar slimmer → hoe houden we ze klein?

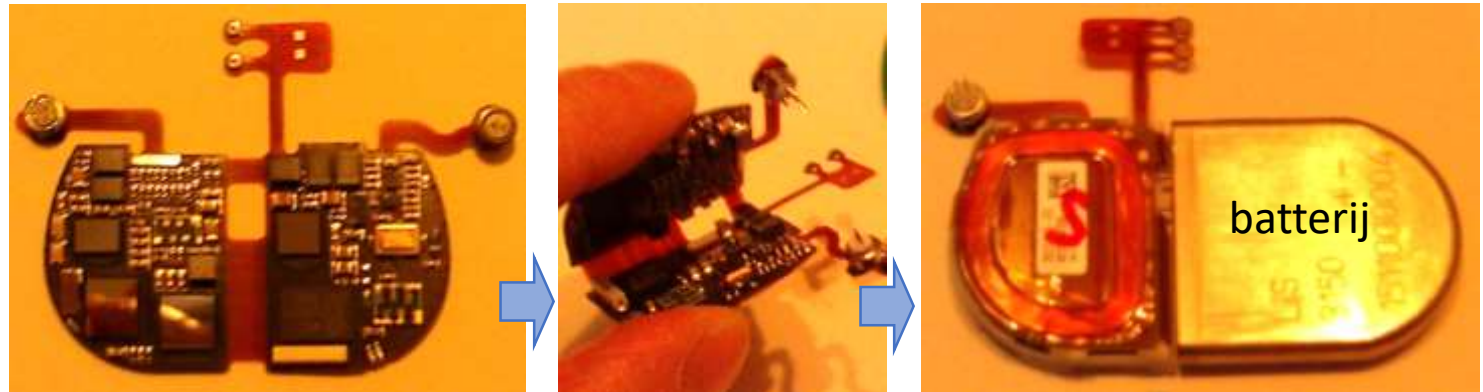
Vroeger:

- dikke printplaat
- klein aantal grotere elektronische componenten

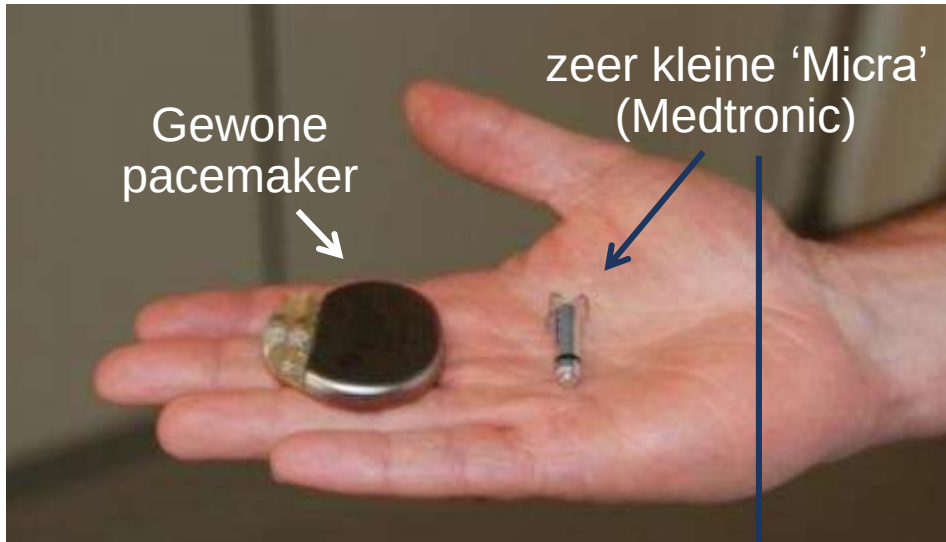


Nu:

- veel meer maar veel kleinere elektronische componenten
- dunne opvouwbare printplaat



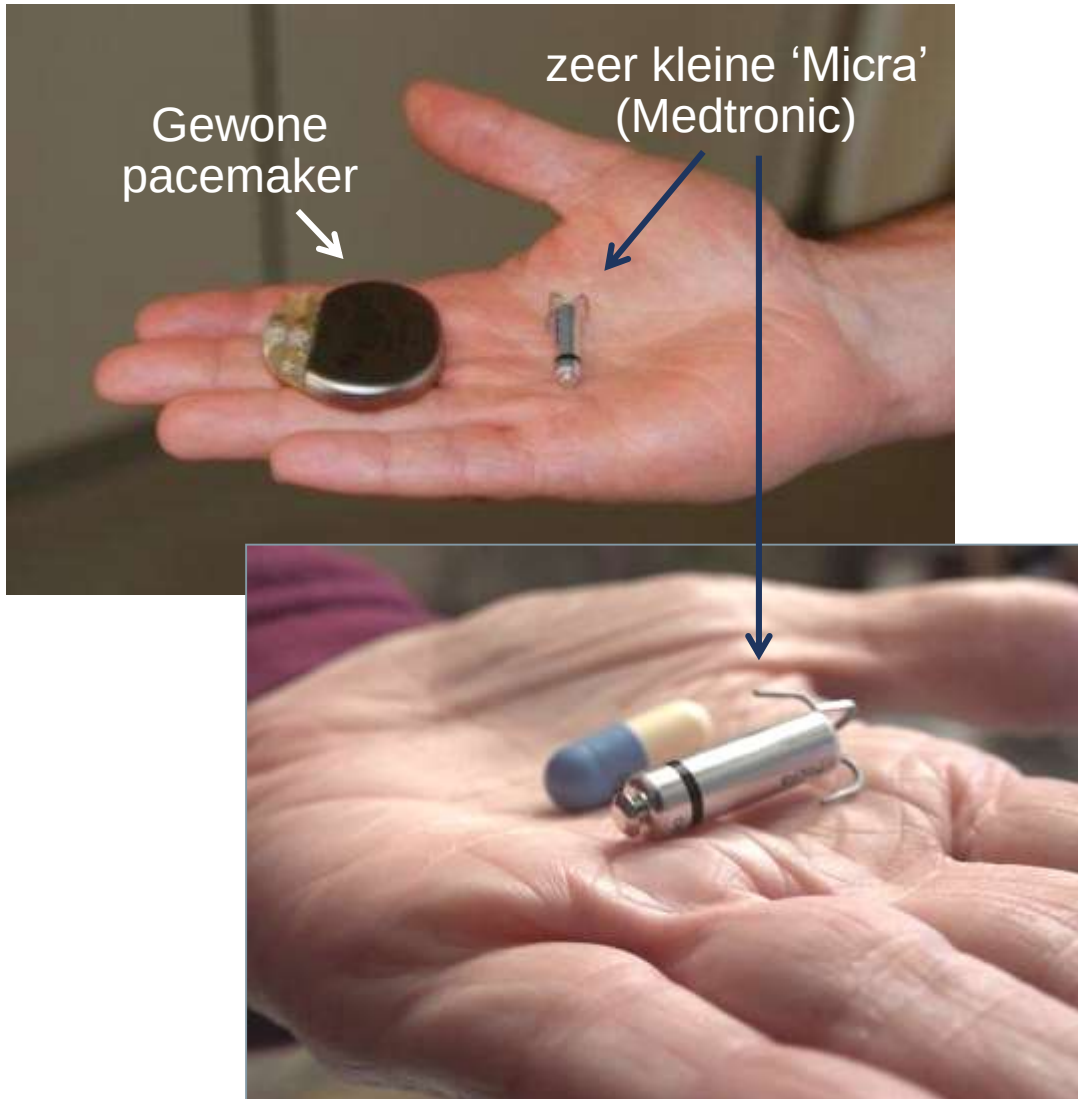
Voor bepaalde medische toepassingen is een zeer klein implantaat nodig of gewenst...



Voor sommige patiënten
is de gewone pacemaker
nog te groot



Voor bepaalde medische toepassingen is een zeer klein implantaat nodig of gewenst...

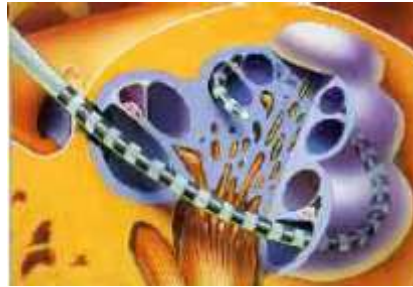
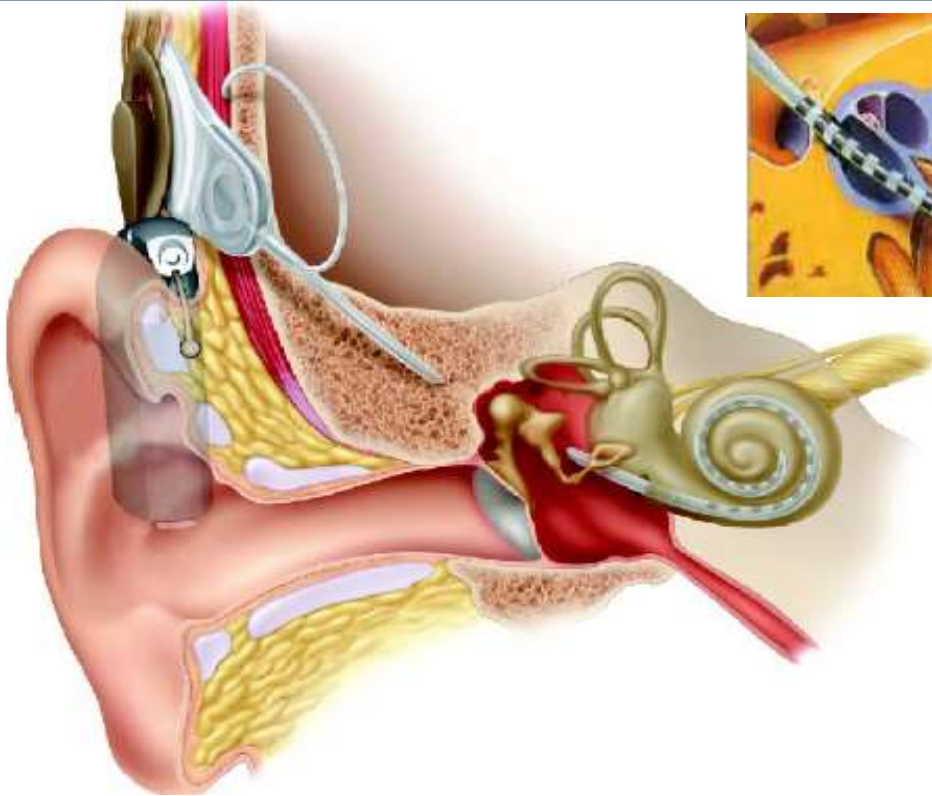


- Geen ruimte in lichaam
- Groot implantaat kan functie van cellen verstoren
- Groot implantaat → cellen kapot
- Klein implantaat is veel minder ingrijpend voor het lichaam
→ operatie veel lichter
lagere kans op infecties
sneller herstel

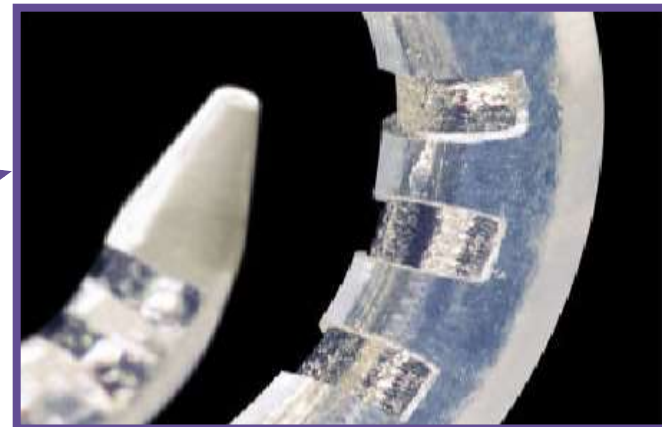


**Nood aan superkleine
implanteerbare
elektronica**

Implantaten voor cochleaire neurale stimulatie



22 Pt elektroden verpakt in Siliconen-rubber, individueel verbonden met de controle elektronica via Pt connecties



Medische elektronica: eigen werk van CMST / imec / Ugent

Enkele voorbeelden

Slimme contactlens



Draagbare applicaties



Flexibele en
rekbare elektronica

imec

Neurologische implantaten



Implanteerbare
neuro-probe

imec DARPA

CMST imec

UNIVERSITEIT
GENT

Ontwikkeling van dunne, flexibele elektronica voor medische implantaten

Eigen werk op CMST / imec / UGent :

FITEP fabricatie-platform: Flexible Implantable Thin Electronic Package

- silicium chip wordt verdund tot 25 - 40 micron
→ chip is flexibel
- chip is hermetisch verpakt
→ bescherming tegen lichaamsvocht
- volledig biocompatibel
- volledig verpakte chip is maar ~75micron dik
→ dunner dan gemiddelde mensenhaar



FITEP toepassing: een chip voor mensen met een bionische hand

Patient met een kunsthand



© Case Western U.

Om een ei te nemen, een druif te plukken, een aardbei te eten, ...
beweging en **gevoel** nodig

Beweging: motoren van bionische hand

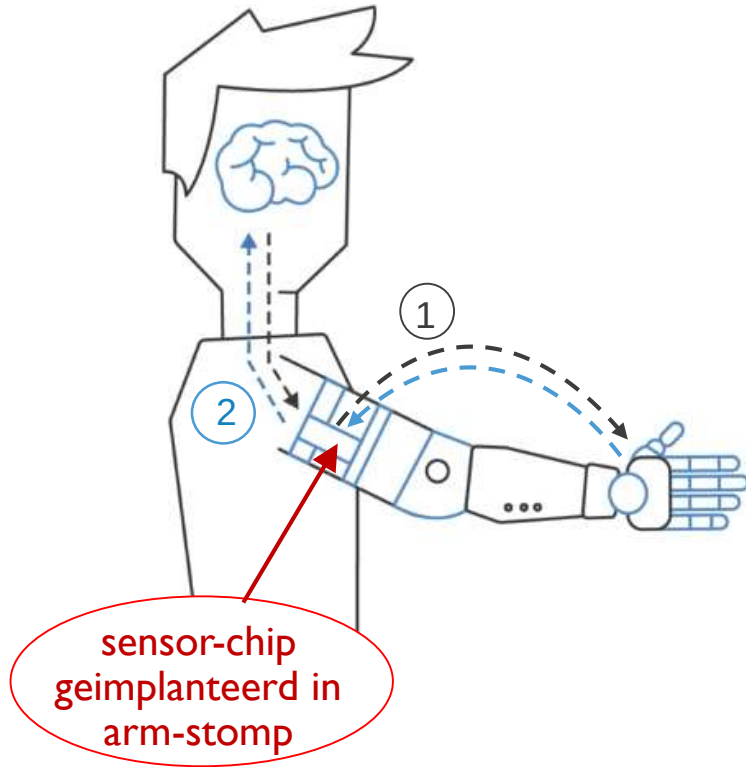
Gevoel: sensoren op kunstvingers

Hoe kan patient beweging sturen
en terwijl ook voelen?



FITEP-verpakte sensor-chip
voor de directe communicatie tussen
de zenuwcellen en de bionische hand

FITEP toepassing: een chip voor mensen met een bionische hand



Implantaat: speciale chip met vele elektroden die rechtstreeks in contact staan met de zenuwcellen

Deze chip zorgt voor communicatie in 2 richtingen:

1. **Patient denkt aan gewenste beweging**
signaal: hersenen → chip → bionische arm
2. **Sensoren op kunstvingers voelen druk en wrijving**
signaal: bionische arm → chip → hersenen

The work shown here is performed within the context of the IMPRESS project, sponsored by the DARPA BTO under the auspices of Dr. D. Weber through the Space and Naval Warfare Systems Center, Pacific Grant/Contract No. N66001-15-C-4018 to the University of Florida.

FITEP toepassing: een chip voor mensen met een bionische hand

Fabricatie van zeer kleine elektronische sensor om in de zenuwbundel te implanteren, voor directe communicatie met de zenuwcellen

→ chip met elektroden

- 16 'schrijf'-elektroden om signaal van gevoelssensoren naar hersenen te sturen
- 64 'lees'-elektroden om bewegings-gedachten van patient naar arm te sturen

Zeer flexibele sensor-chip,
dunner dan een mensenhaar!



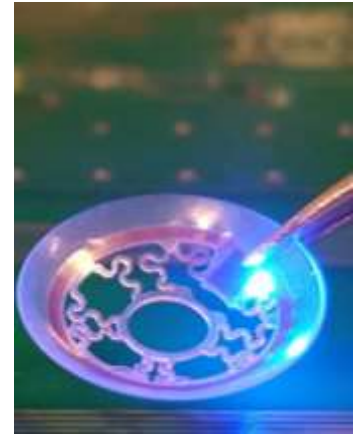
The work shown here is performed within the context of the IMPRESS project, sponsored by the DARPA BTO under the auspices of Dr. D. Weber through the Space and Naval Warfare Systems Center, Pacific Grant/Contract No. N66001-15-C-4018 to the University of Florida.

Slimme contactlens

Wat is een slimme contactlens?

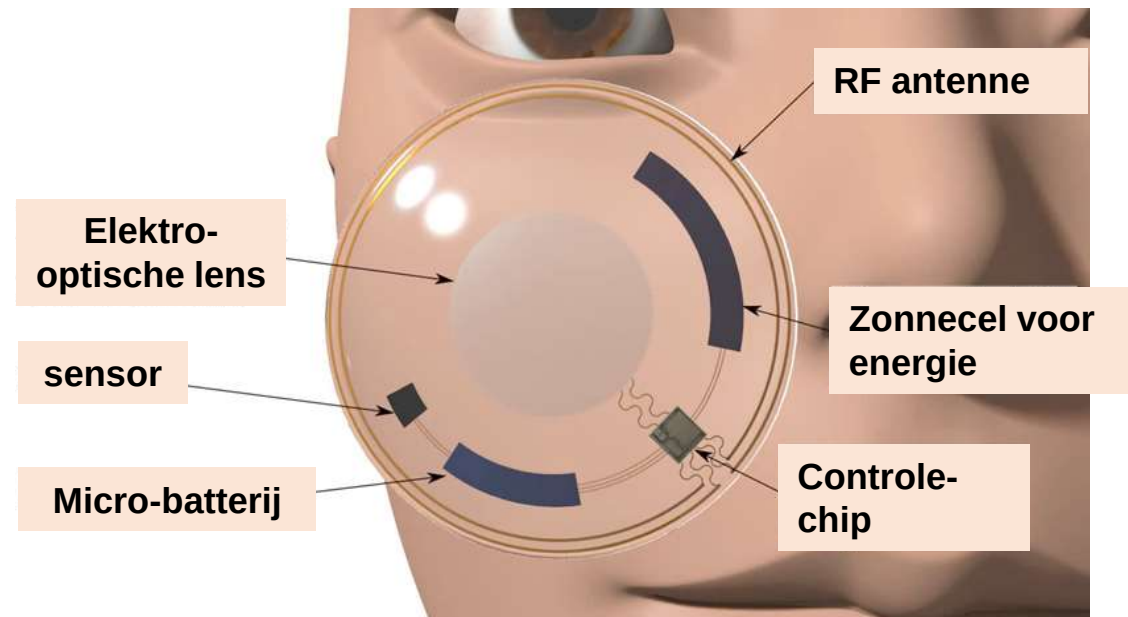
→ elektronische lens om bepaalde functie te creëren, bv.

- meting van produkt in traanvloeistof
- aanpassen van hoeveelheid licht op het oog
- aanpassen van lens-dioptrie door elektro-optische lens



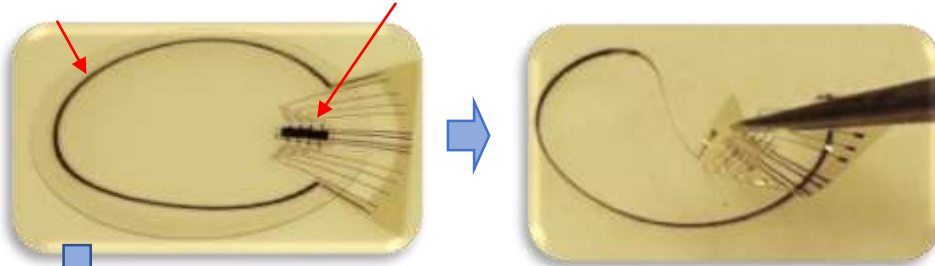
Nodig:

- Elektronisch circuit:
→ heel dun en flexibel
- Elektronica :
→ hermetisch verpakt
- Alle gebruikte materialen:
→ biocompatibel

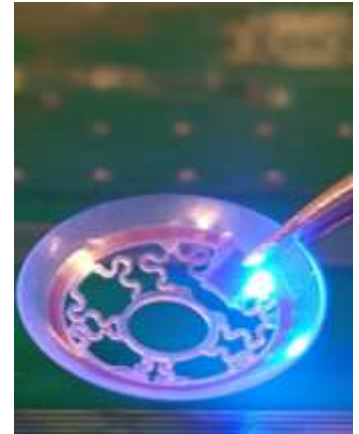


Slimme contactlens

antenne Zeer dunne chip



zeer flexibele
elektronica



elektronische kern

- Alle elektronische componenten vormen de elektronische kern die flexibel, hermetisch en biocompatibel is
- Deze kern wordt verbogen in de juiste vorm
- De kern wordt ingebed in lensmateriaal (hydrogel)

