

Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits met metaalroosters

Stijn Scheerlinck

Promotoren: Prof. dr. ir. Roel Baets, Prof. dr. ir. Dries Van Thourhout

Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van Doctor in de
Ingenieurswetenschappen: Elektrotechniek



Photonics Research Group



<http://photonics.intec.ugent.be>

Overzicht

- **Licht ... een snelcursus fotonica**
 - Licht, lichtbreking en lichtgeleiding
 - Optische vezels
 - Nanofotonische chips

- **Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits**
 - Probleem
 - Oplossing
 - Praktijk

- **Conclusies**

Overzicht

- **Licht ... een snelcursus fotonica**
 - Licht, lichtbreking en lichtgeleiding
 - Optische vezels
 - Nanofotonische chips
- Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits
 - Probleem
 - Oplossing
 - Praktijk
- Conclusies

Licht

$$c = f \times \lambda$$

Frequentie f (Hz)

10^{20} 10^{18} 10^{16} 10^{14} 10^{12} 10^{10} 10^8

γ -stralen

Ultraviolet

Radar

Kosmische stralen

Röntgen (X)

Infrarood

TV - Radio

10^{-12}

10^{-10}

10^{-8}

10^{-6}

10^{-4}

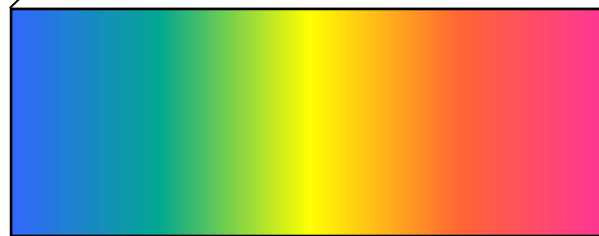
10^{-2}

1

Golflengte λ (m)



1 μ m



10 nm

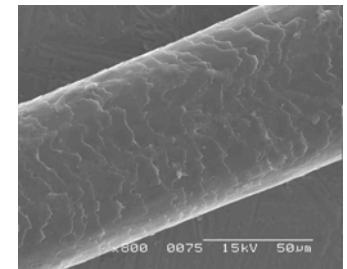
380 nm

Zichtbaar licht

760 nm

1.55 μ m

100 μ m



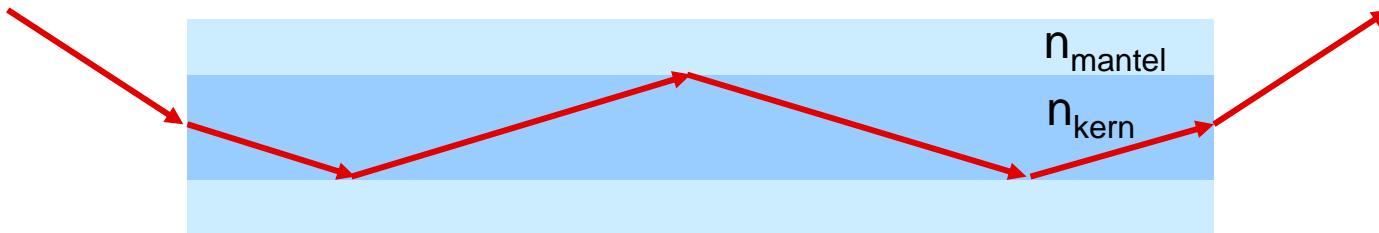
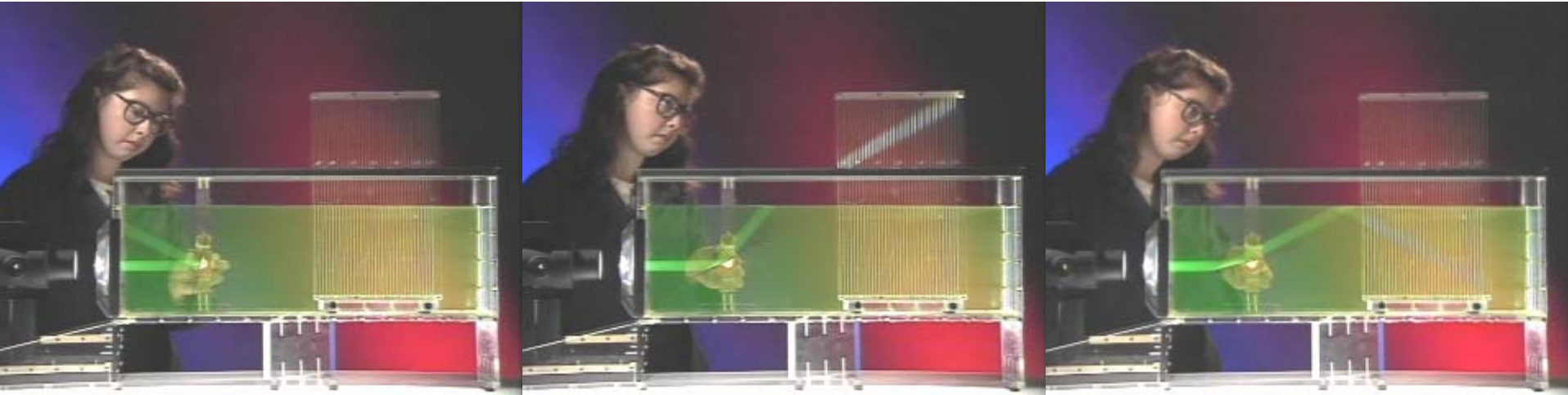
Licht

- Licht plant zich voort met de lichtsnelheid:
 - Vacuüm: $c = 300\,000$ km/s
 - In elk ander materiaal gaat het licht trager: c/n , met n de brekingsindex van het materiaal



Licht

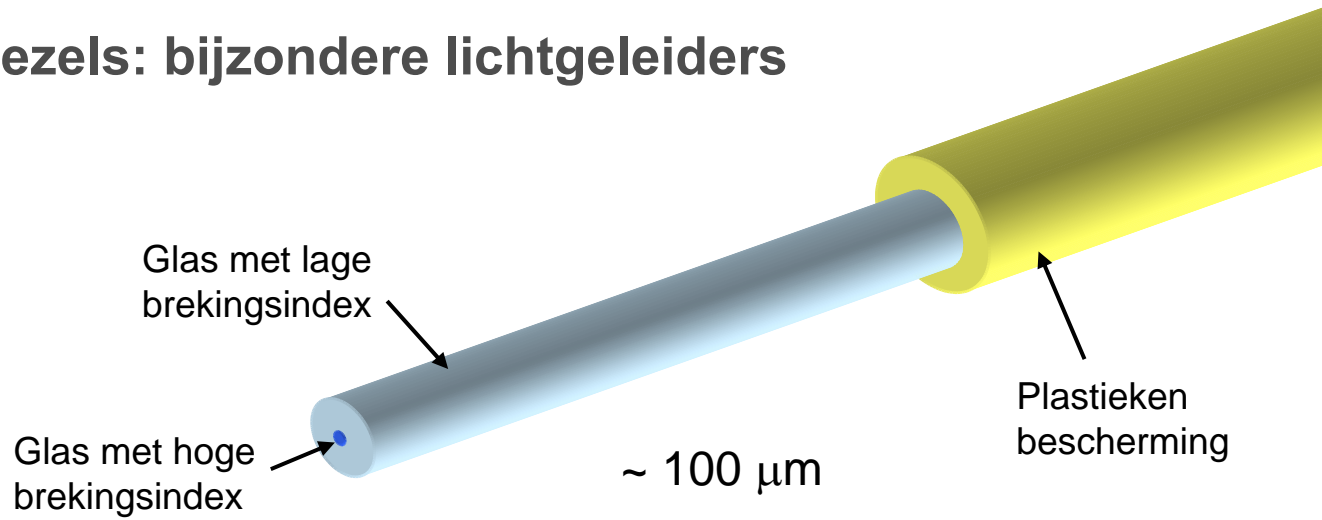
- Lichtbreking



→ **Optische vezel**

Licht

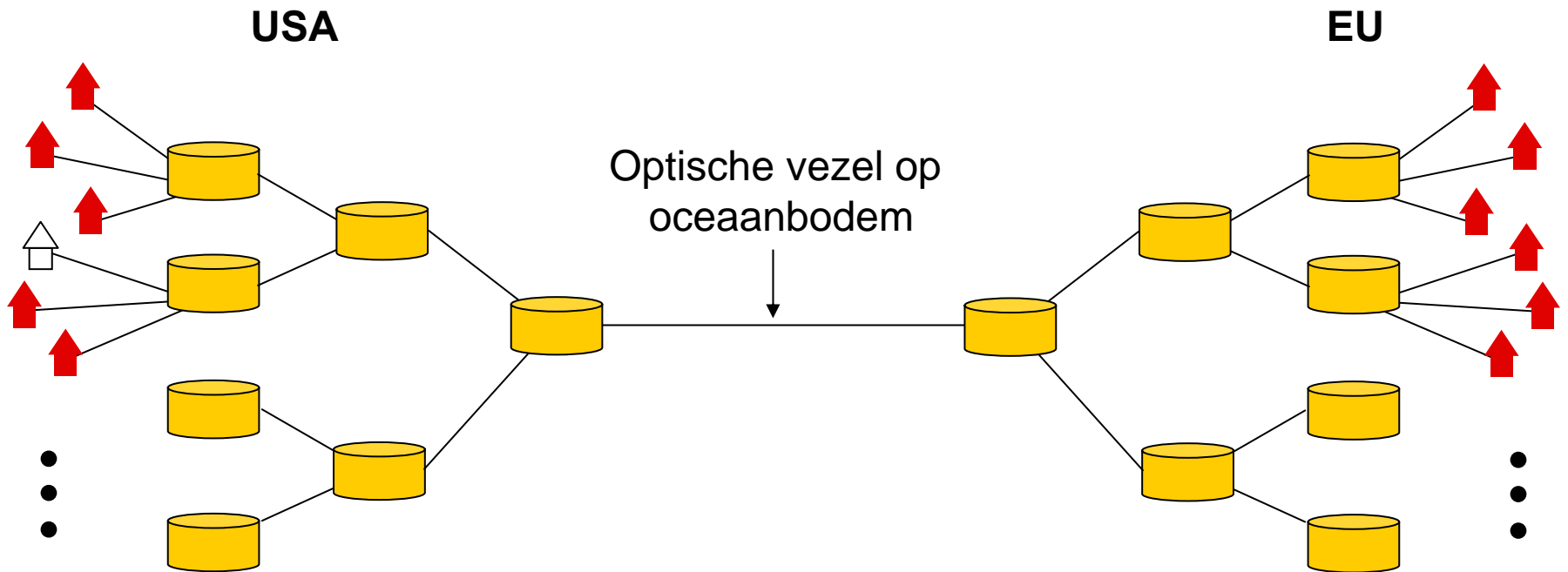
- Optische vezels: bijzondere lichtgeleiders



Optische vezels geleiden licht met weinig verlies

- Toepassingen
 - Geneeskunde: diagnose en behandeling
 - Communicatie over lange afstanden

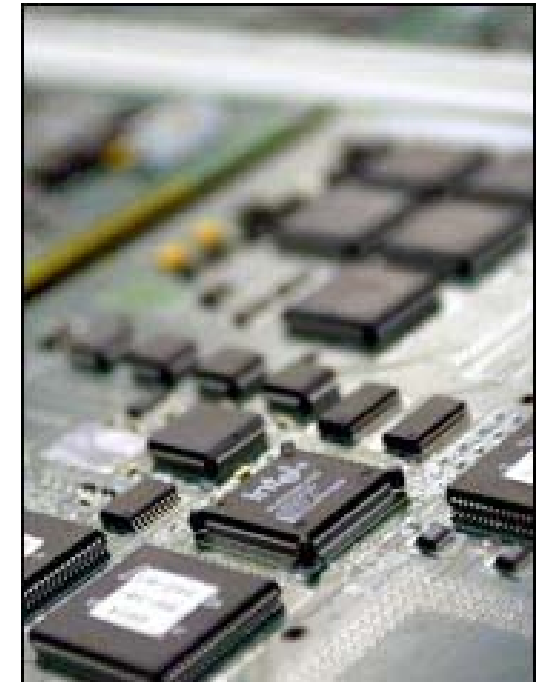
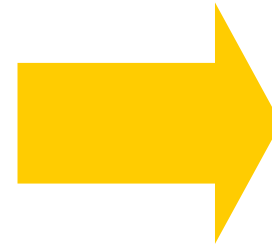
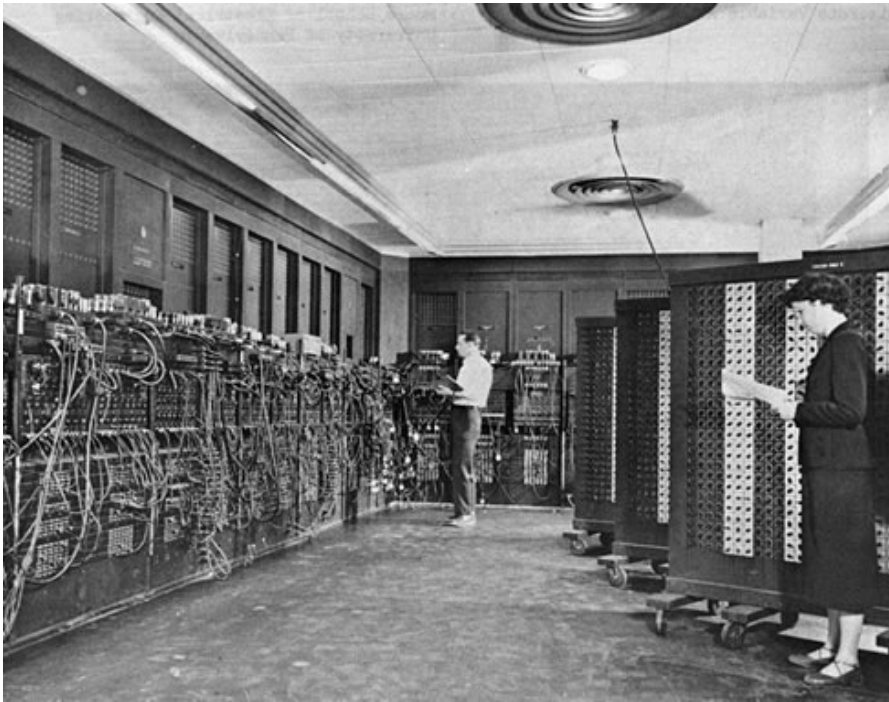
Licht voor communicatie



Talrijke conversies tussen optische en elektrische signalen

Licht voor communicatie

- Succes van de elektronica: miniaturisatie
= verschillende elektronische functies op een chip



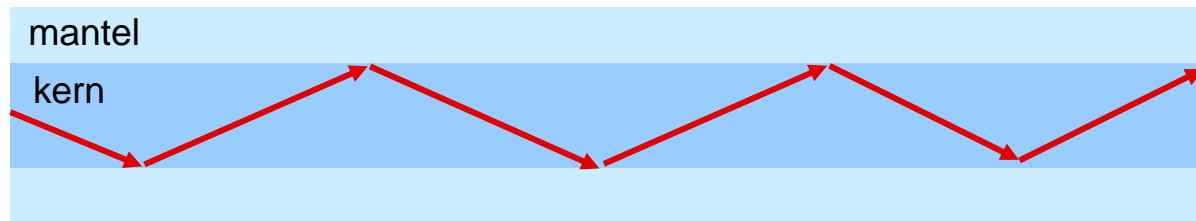
Aantal berekeningen per seconde:

5 000/seconde

1 000 000 000 000/seconde

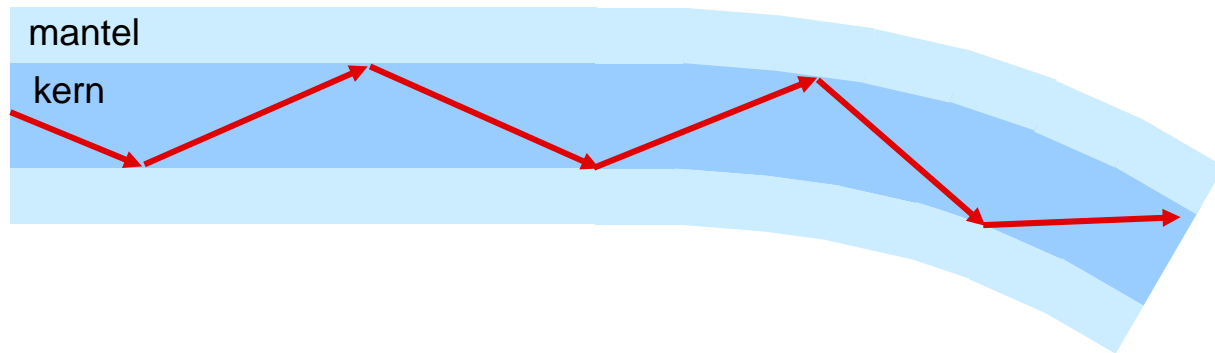
Licht voor communicatie

- Miniaturisatie met licht?



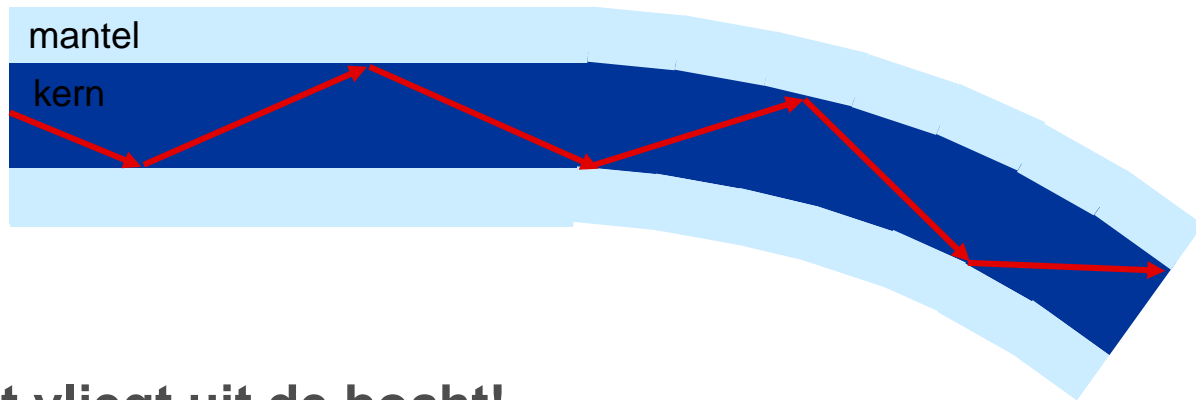
Licht voor communicatie

- Miniaturizatie met licht?



Licht voor communicatie

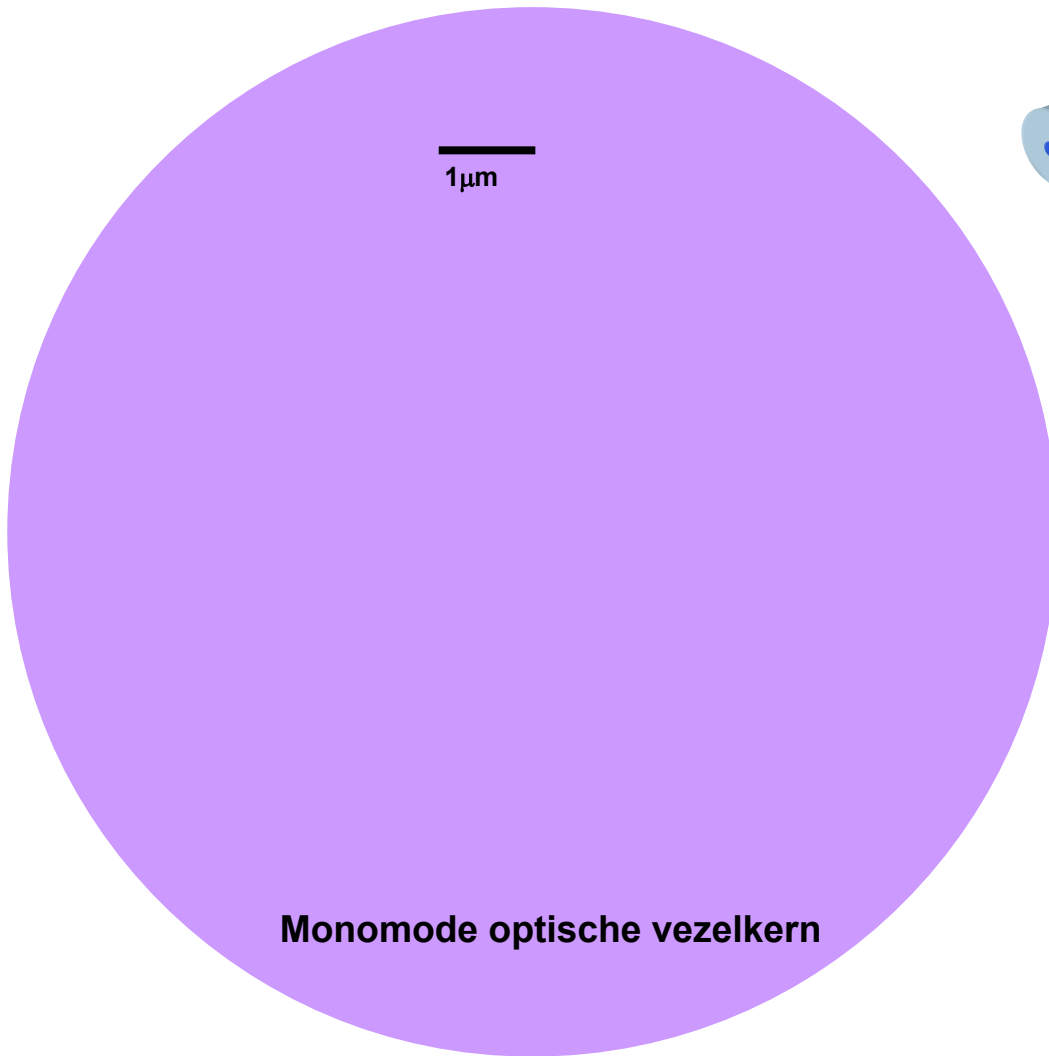
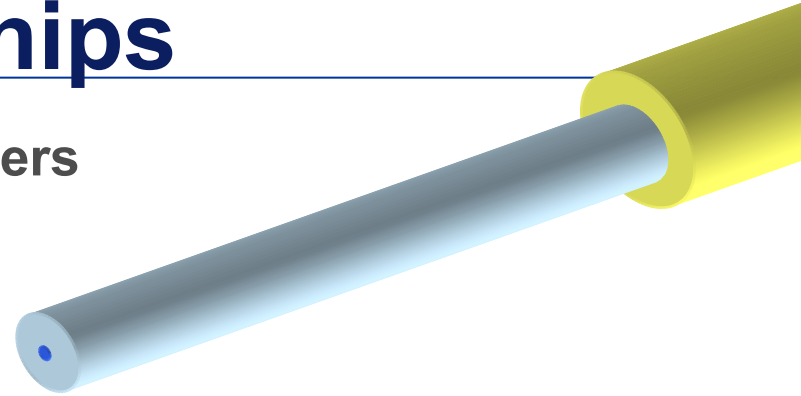
- Miniaturizatie met licht?



- Licht vliegt uit de bocht!
- Scherpe bochten zijn wel mogelijk in materialen met een hogere brekingsindex n
- Bijvoorbeeld: Silicium ($n=3.45$)

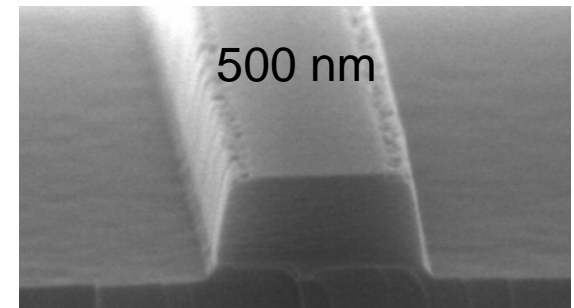
Nanofotonische chips

Ultra-compacte silicium lichtgeleiders



1µm

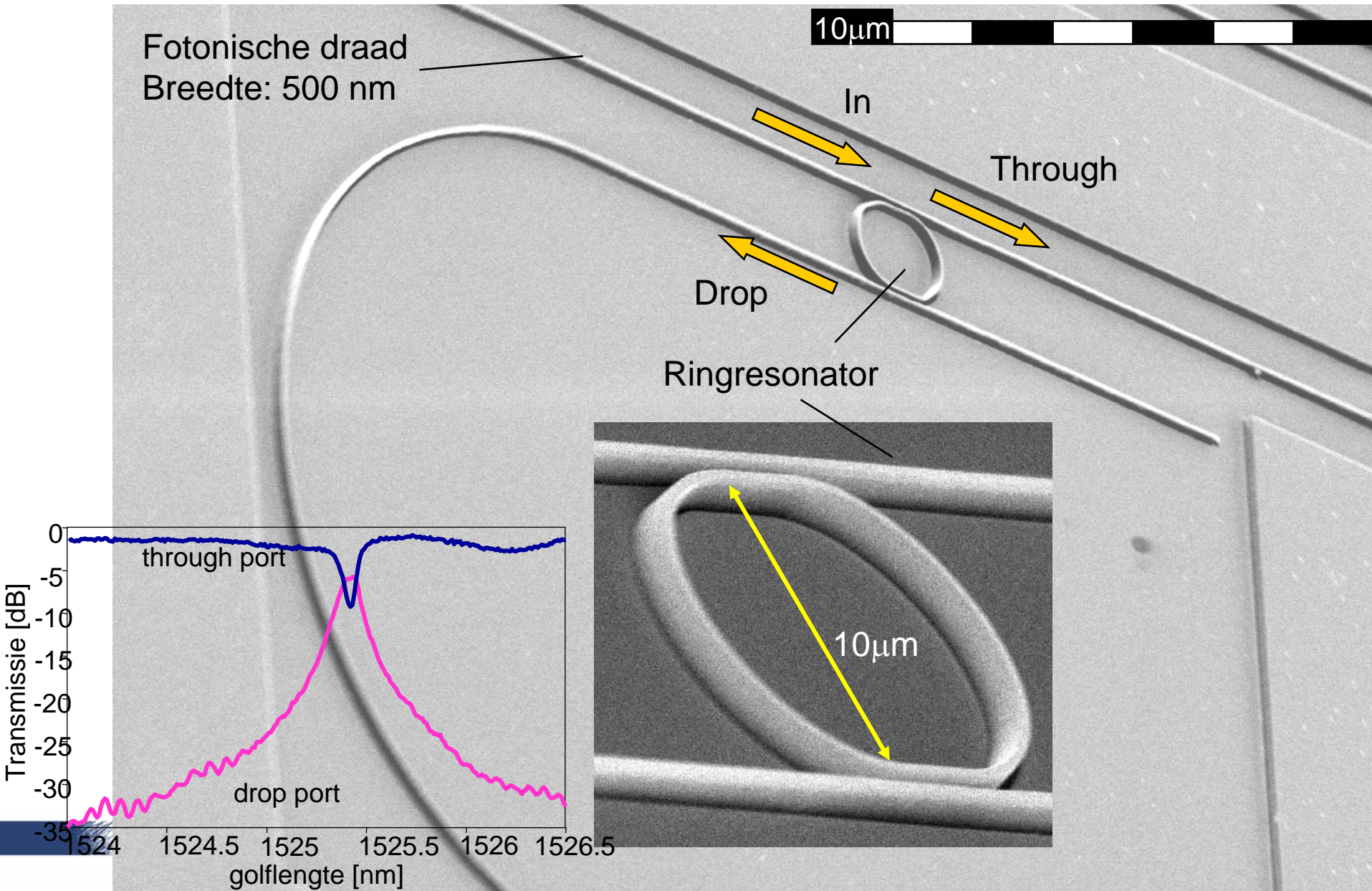
Monomode optische vezelkern



500 nm

Silicium lichtgeleider

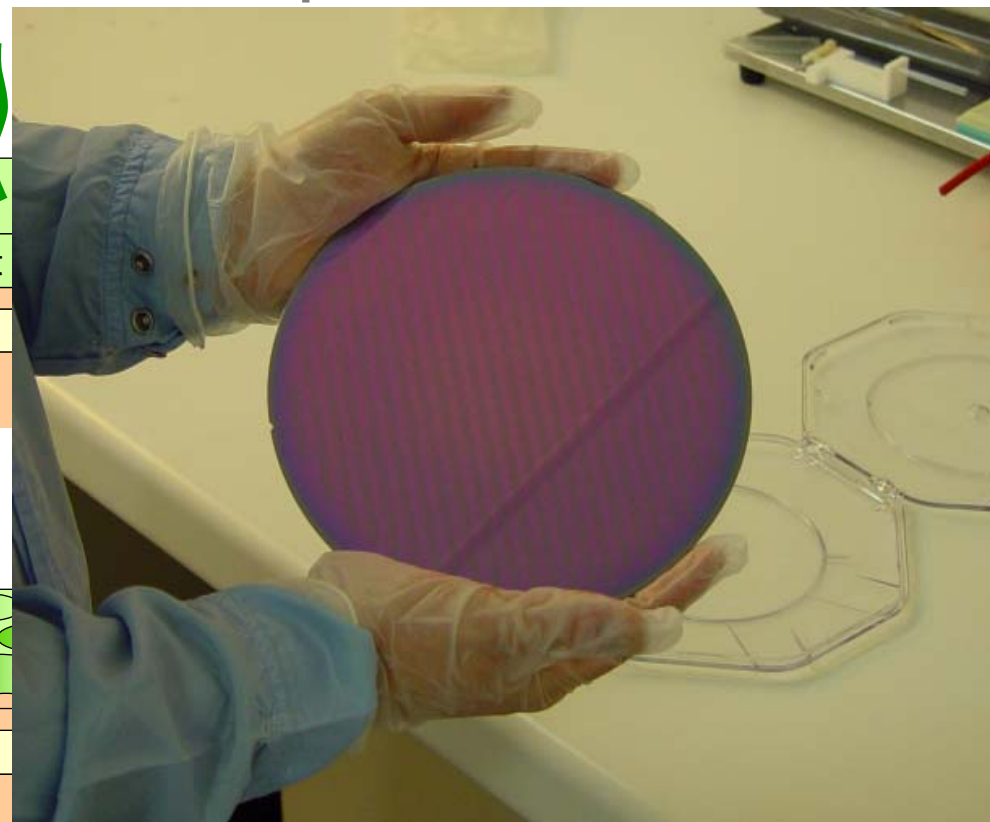
Nanofotonische chips



Nanofotonische chips

Fabricage

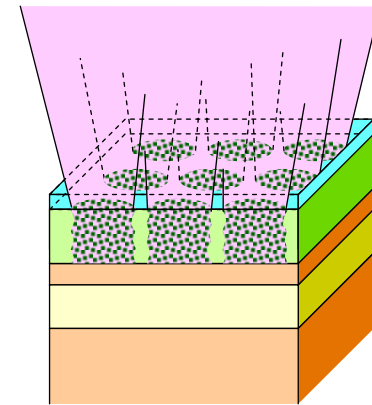
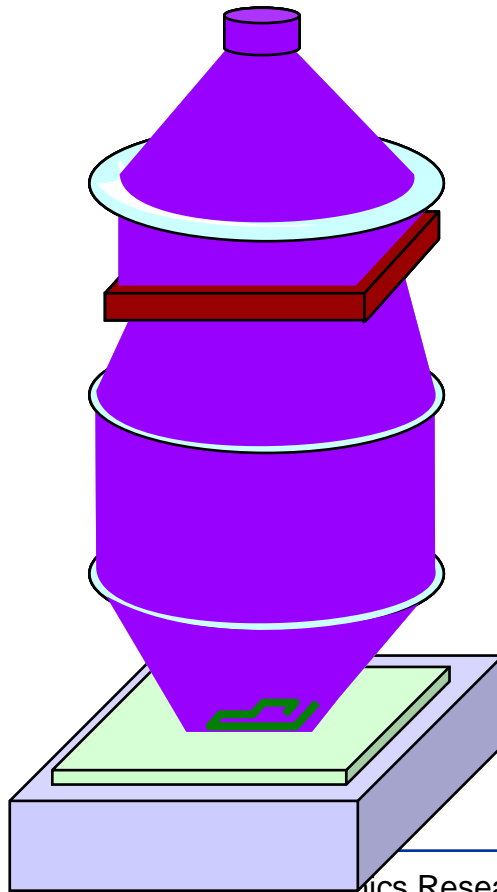
- Vraagt uitzonderlijke nauwkeurigheid (~1 nm)
- Siliciumtechnologie voor elektronica
- UGent & IMEC: processen aanpassen voor nanofotonica



Nanofotonische chips

Fabricage

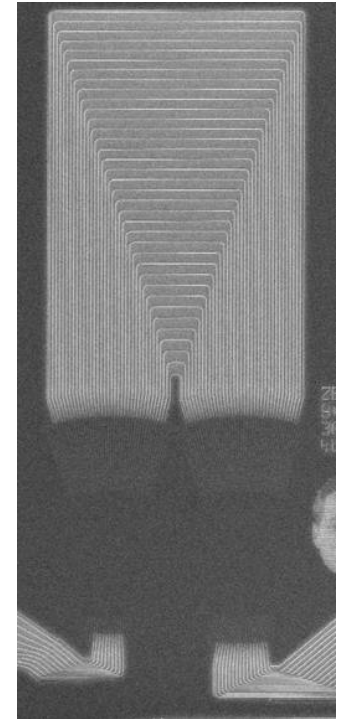
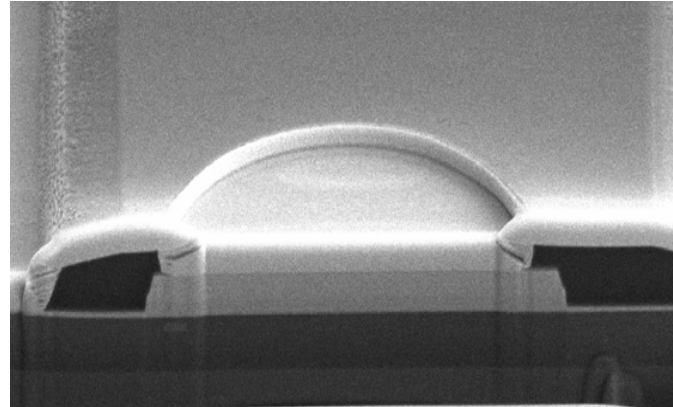
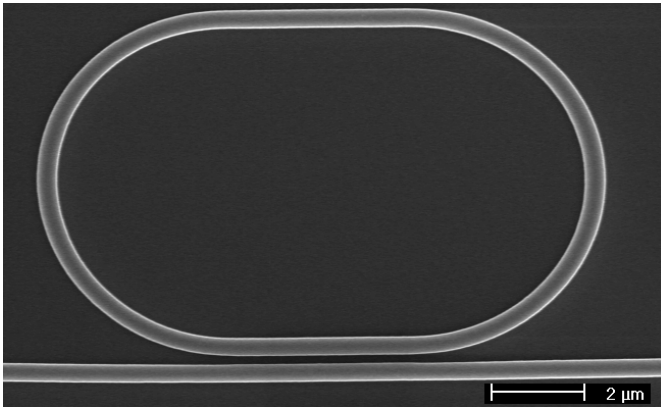
- Vraagt uitzonderlijke nauwkeurigheid (~ 1 nm)
- Siliciumtechnologie voor elektronica
- UGent & IMEC: processen aanpassen voor nanofotonica



Diep-UV lithografie

Nanofotonische chips

Talrijke toepassingen



- Voor telecommunicatie/datacommunicatie
 - Passieve componenten: filters, spectrometers, ...
 - Actieve componenten: lasers, detectoren, ...
- Voor sensor-toepassingen
 - Biosensoren (lab-on-a-chip)
 - Druksensoren

Overzicht

- **Licht ... een snelcursus fotonica**
 - Licht, lichtbreking en lichtgeleiding
 - Optische vezels
 - Nanofotonische chips

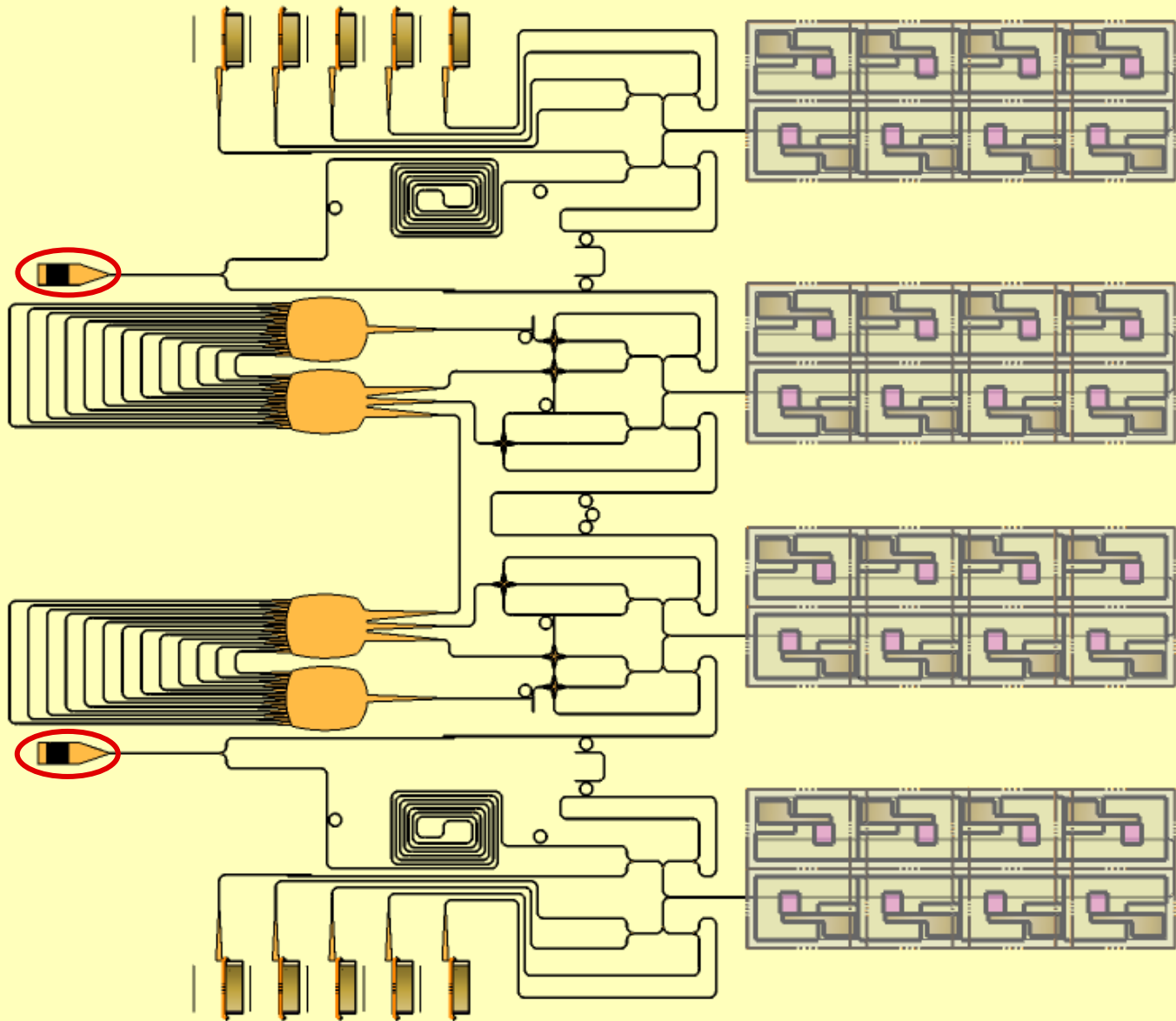
- **Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits**
 - Probleem
 - Oplossing
 - Praktijk

- **Conclusies**

Overzicht

- Licht ... een snelcursus fotonica
 - Licht, lichtbreking en lichtgeleiding
 - Optische vezels
 - Nanofotonische chips
- Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits
 - Probleem
 - Oplossing
 - Praktijk
- Conclusies

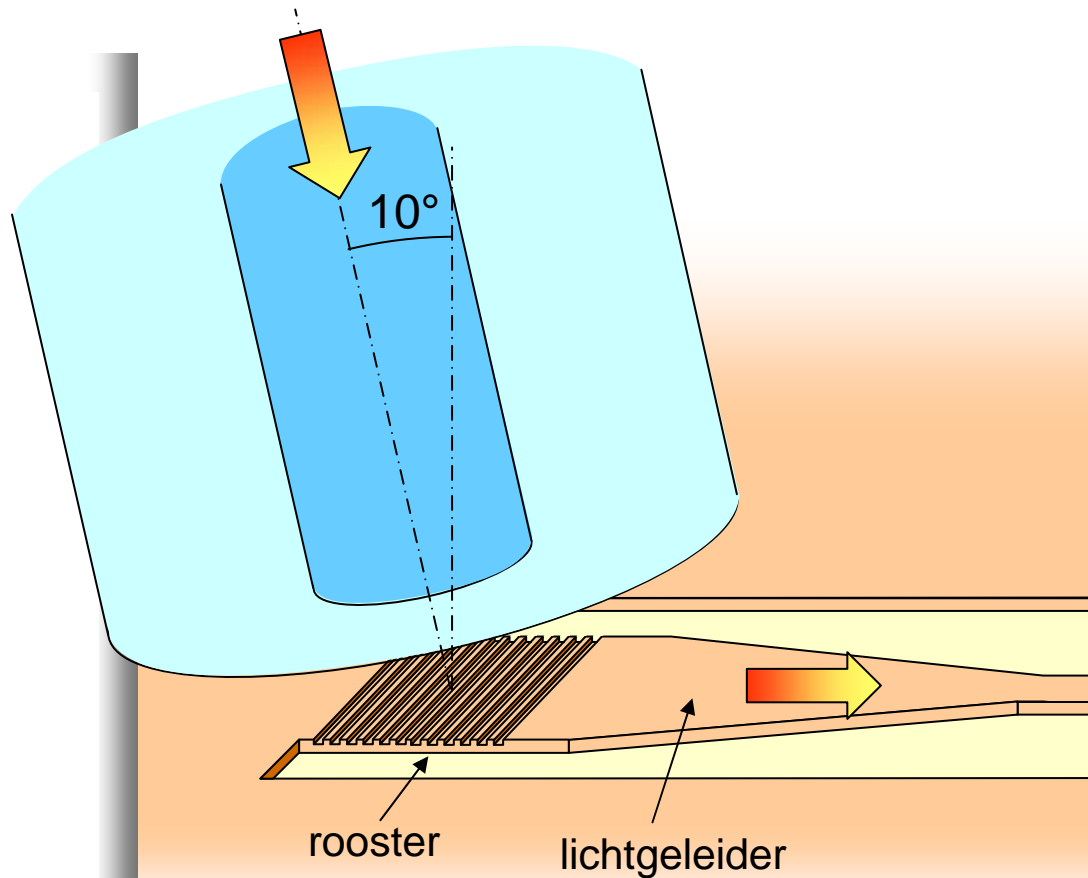
Probleem



Probleem

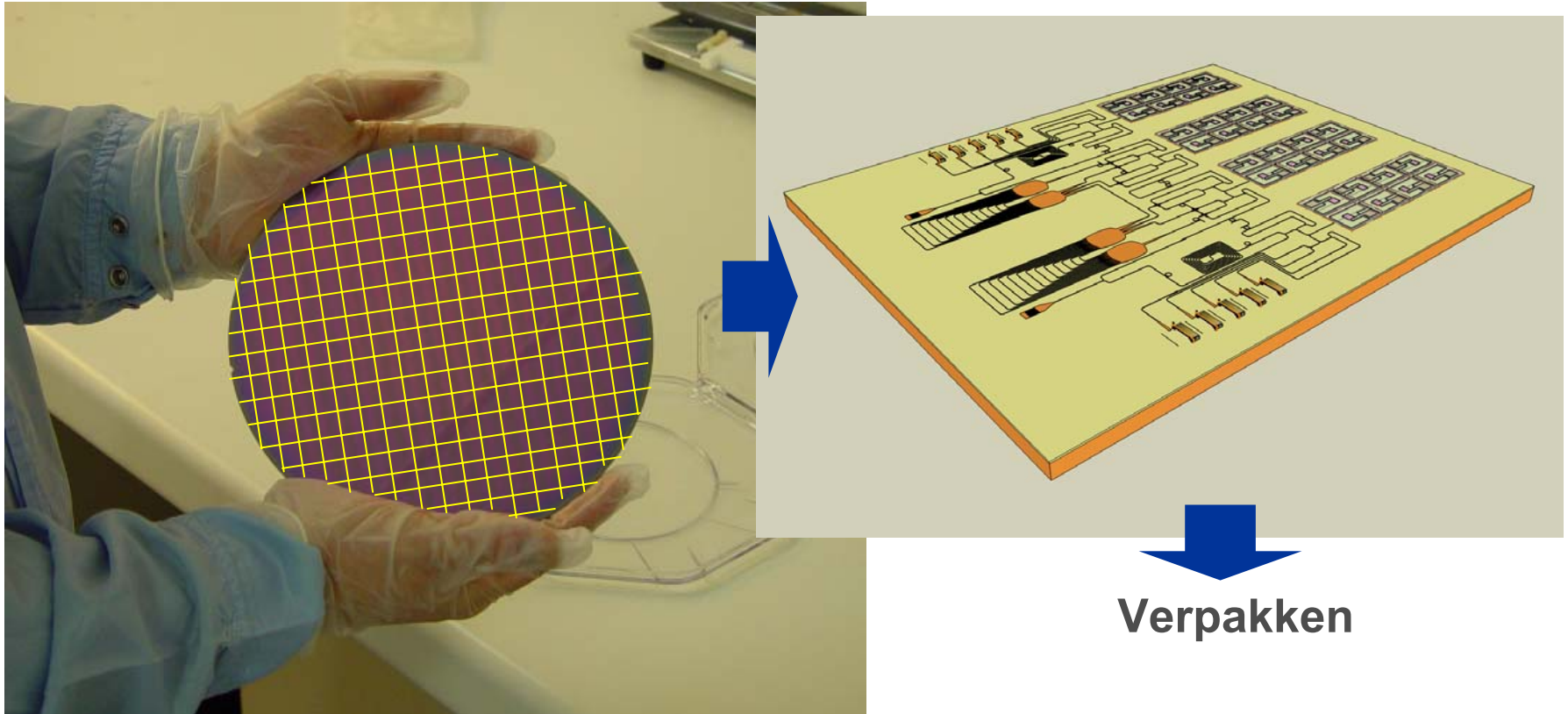
Koppelen tussen optische vezels en nanofotonische chips

De oplossing: geëtste roosterkoppelaars



Probleem

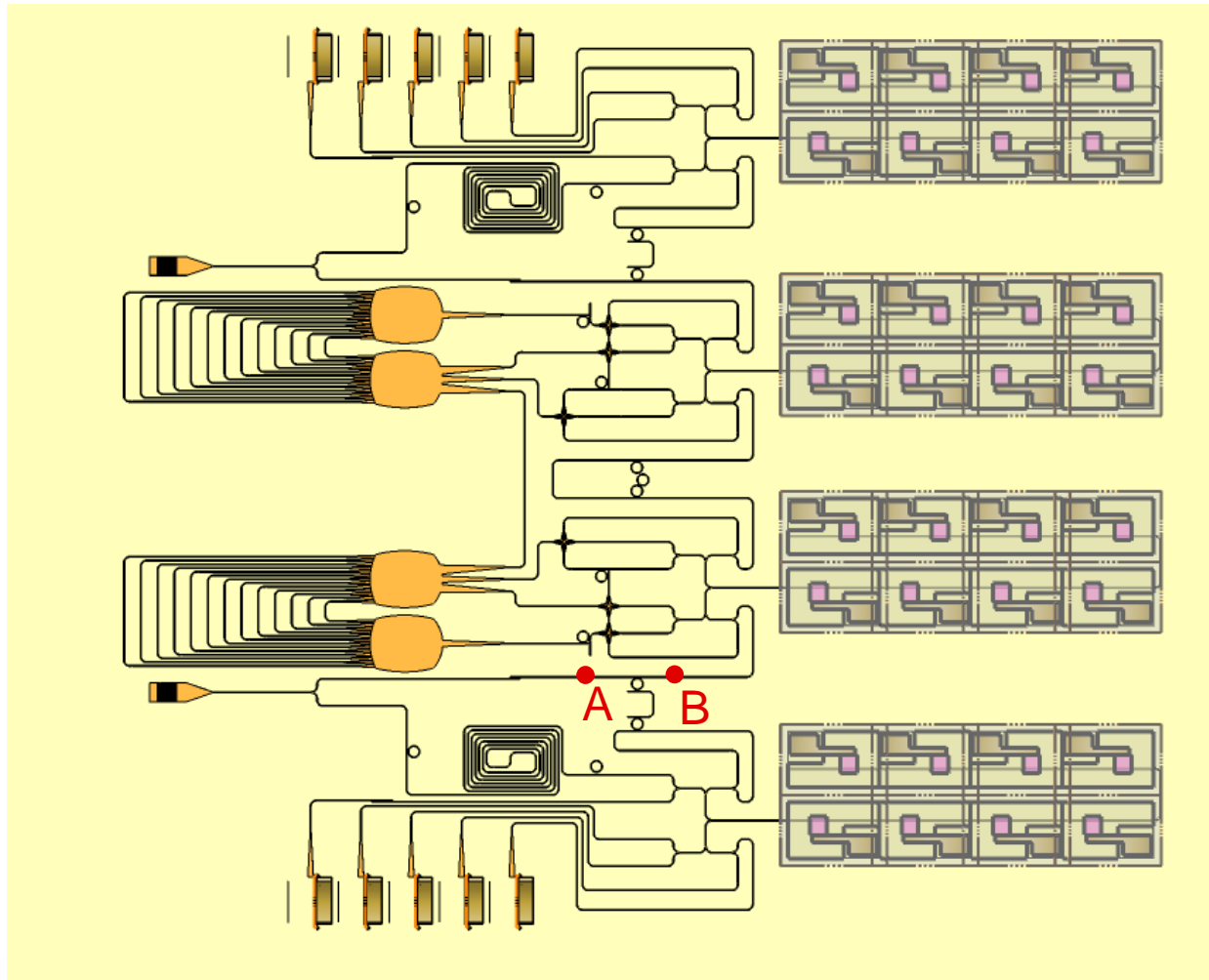
- Fabricage bestaat uit een groot aantal processtappen
- Post-fabricageprocessen

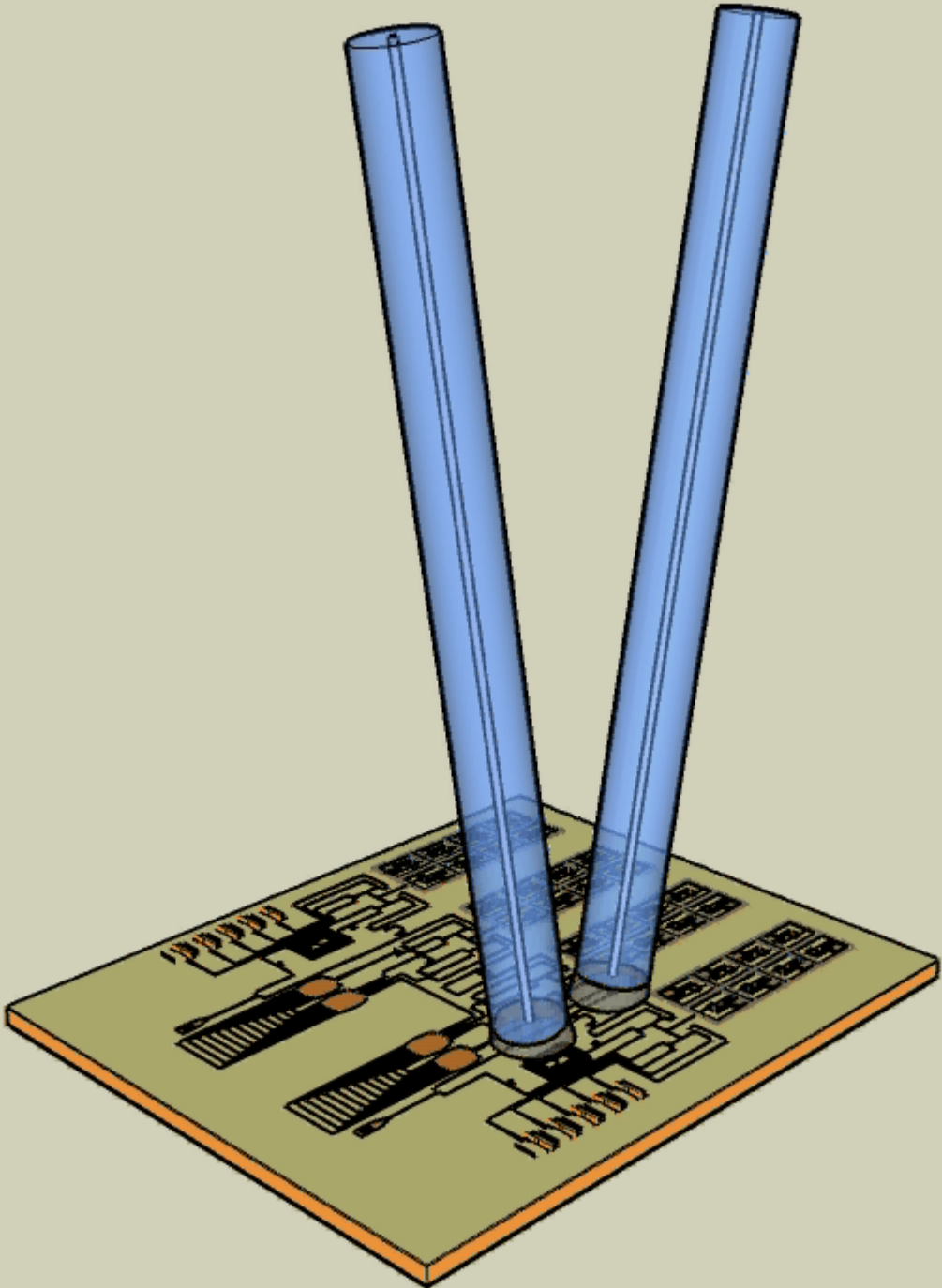


Probleem

Testen noodzakelijk, maar hoe?

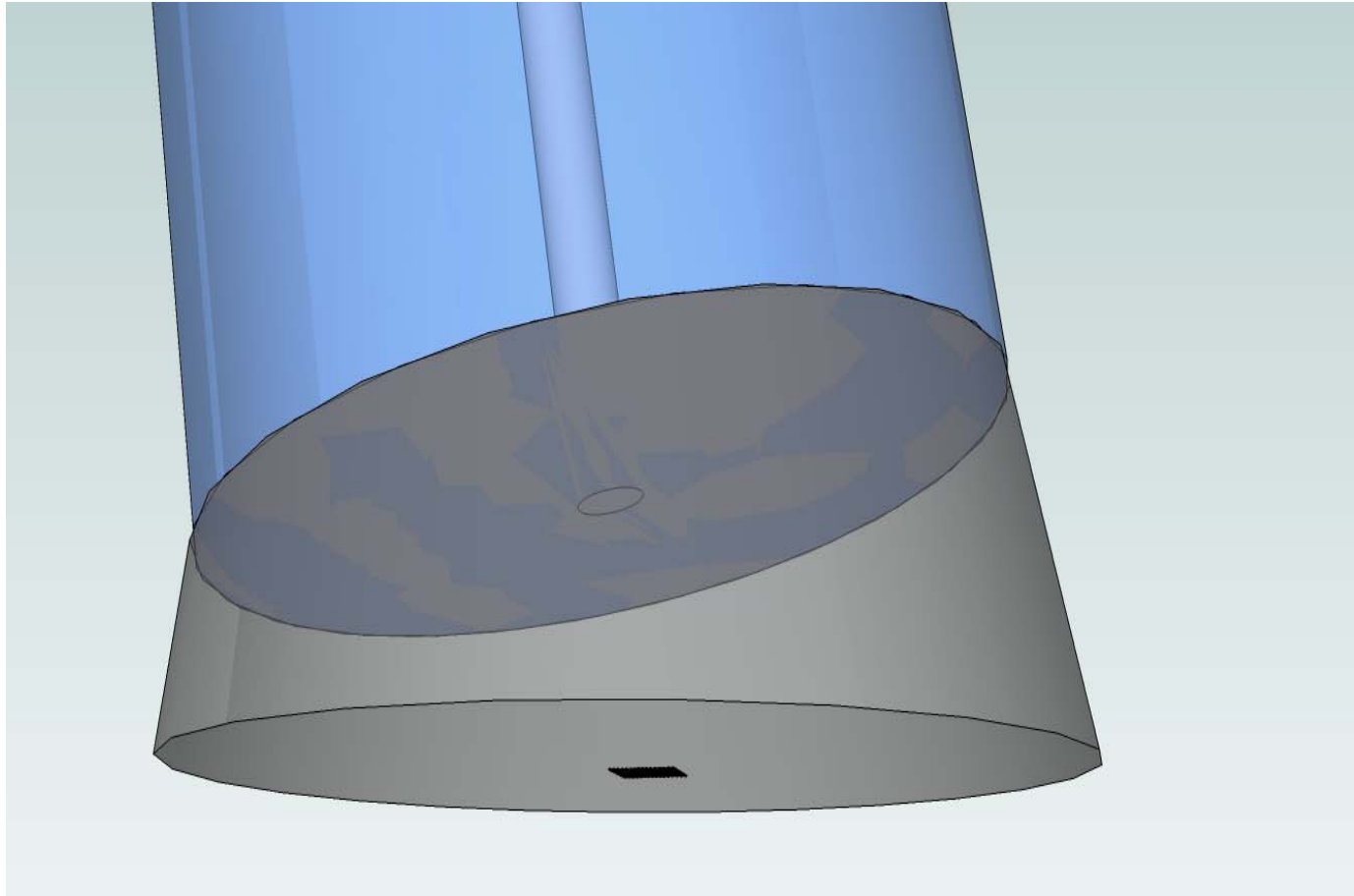
We hebben een probe nodig:





Oplossing

Metaalrooster-gebaseerde optische vezelprobe



Overzicht

- Licht ... een snelcursus fotonica
 - Licht, lichtbreking en lichtgeleiding
 - Optische vezels
 - Nanofotonische chips
- Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits
 - Probleem
 - Oplossing
 - Praktijk
- Conclusies

Overzicht

- Licht ... een snelcursus fotonica
 - Licht, lichtbreking en lichtgeleiding
 - Optische vezels
 - Nanofotonische chips
- Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits
 - Probleem
 - Oplossing
 - **Praktijk**
- Conclusies

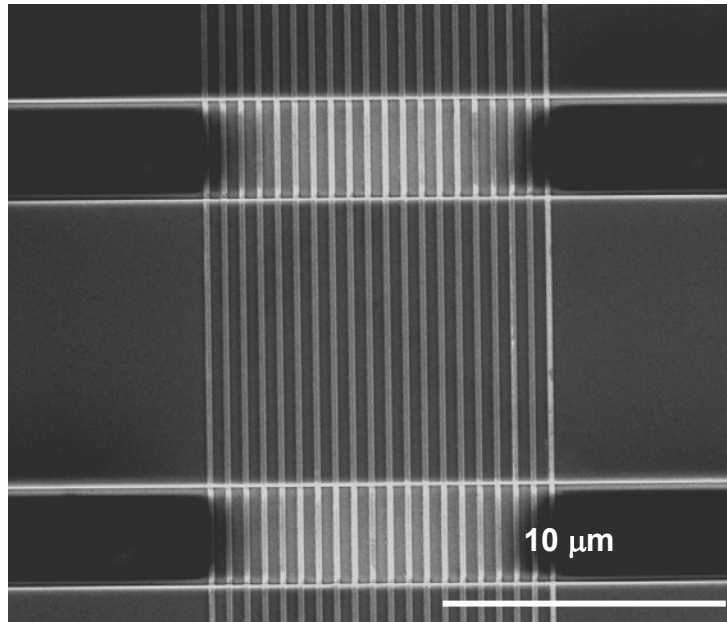
Praktijk

1. Metaalrooster

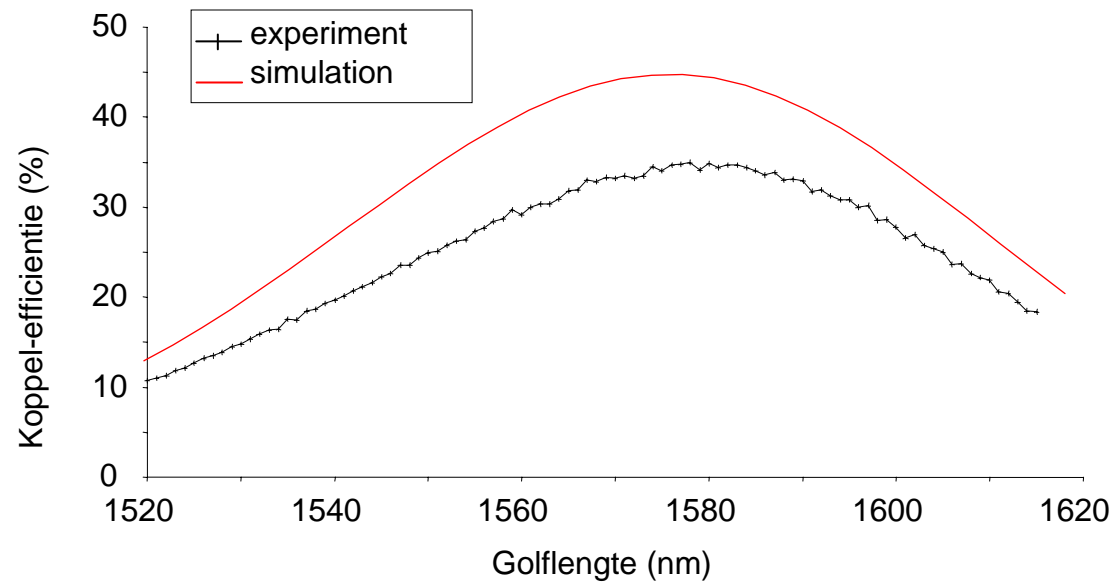
- Ontwerp op basis van numerieke simulaties
- Fabricage met verschillende technieken

Praktijk

1. Metaalrooster



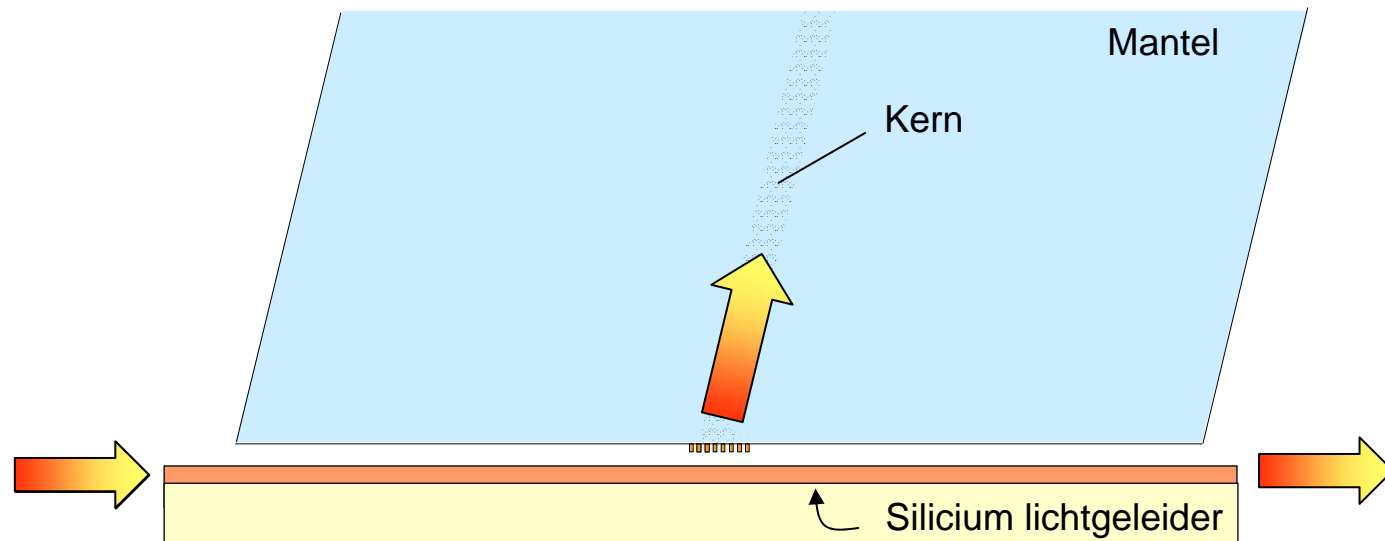
Roosterperiode: 630 nm
Lijnbreedte: 200 nm
Hoogte: 25 nm



Praktijk

2. Metaalrooster op een vezel

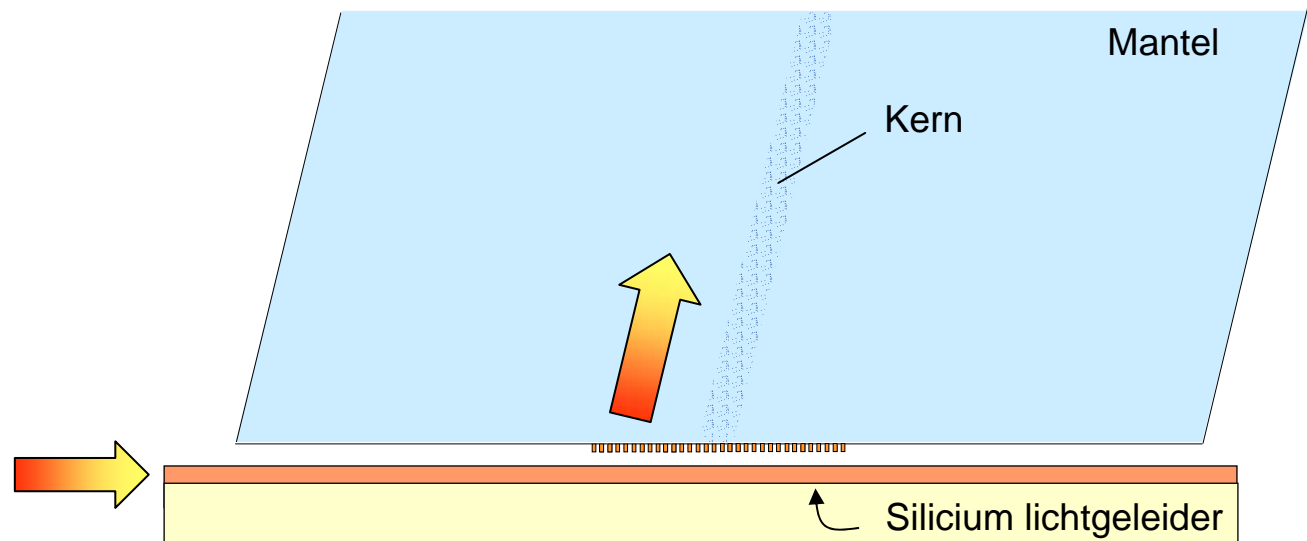
- Metaalrooster heeft een periode van ongeveer 600 nm
- Facet van een optische vezel is haarfijn
- Andere eisen specifiek voor ons ontwerp
 - Hoek tussen metaalrooster en as van de optische vezel
 - Afmetingen van het metaalrooster
 - Alignatie



Praktijk

2. Metaalrooster op een vezel

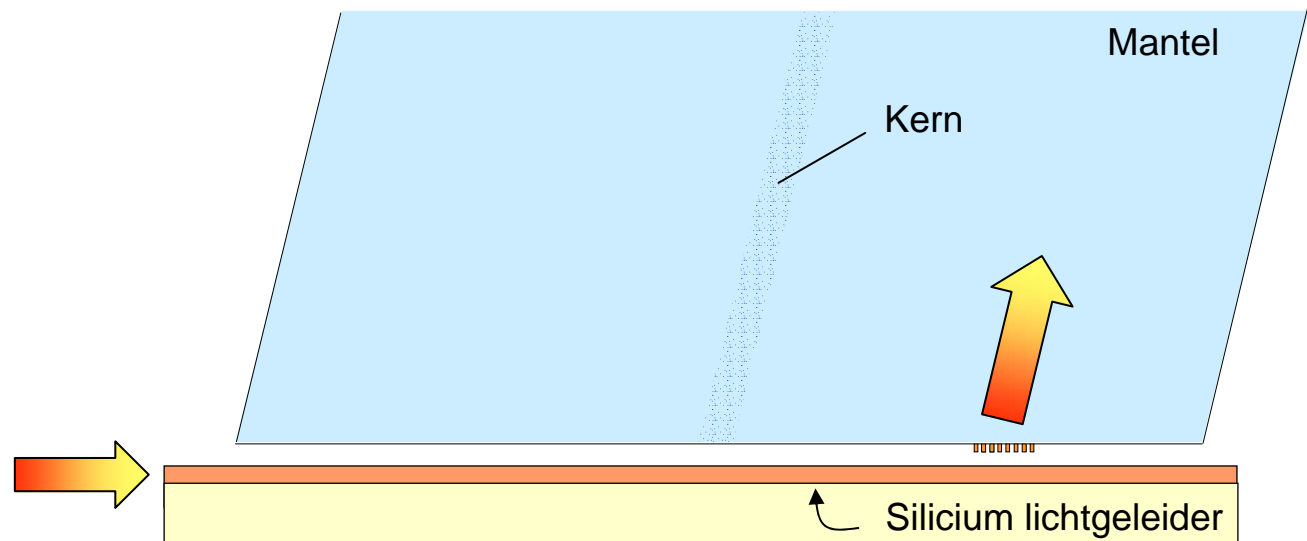
- Metaalrooster heeft een periode van ongeveer 600 nm
- Facet van een optische vezel is haarfijn
- Andere eisen specifiek voor ons ontwerp
 - Hoek tussen metaalrooster en as van de optische vezel
 - Afmetingen van het metaalrooster
 - Alignatie



Praktijk

2. Metaalrooster op een vezel

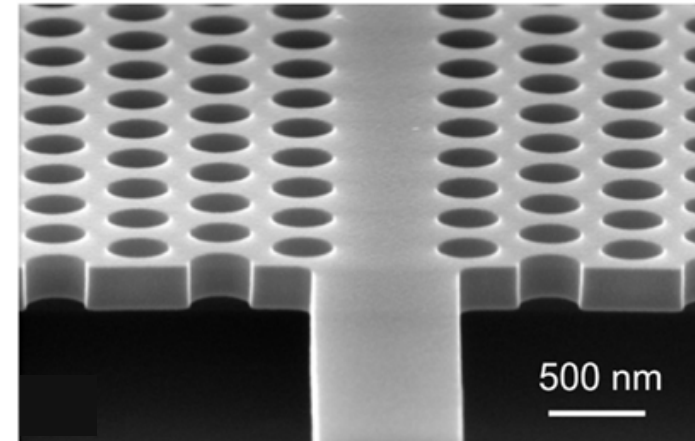
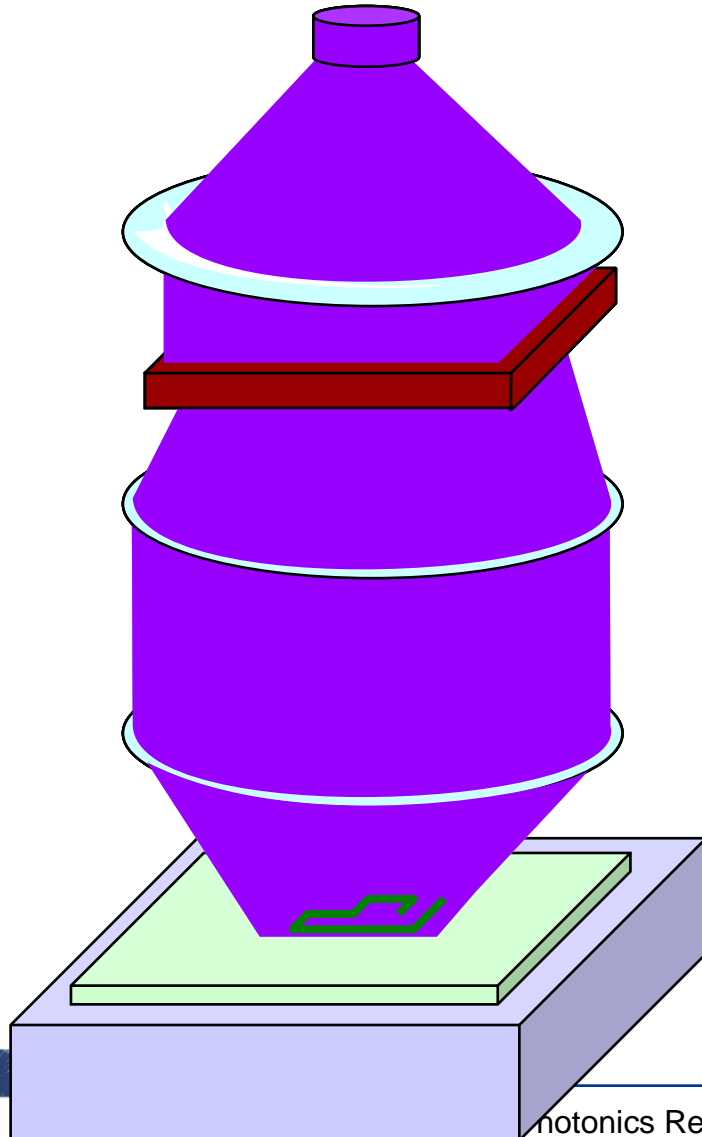
- Metaalrooster heeft een periode van ongeveer 600 nm
- Facet van een optische vezel is haarfijn
- Andere eisen specifiek voor ons ontwerp
 - Hoek tussen metaalrooster en as van de optische vezel
 - Afmetingen van het metaalrooster
 - Alignatie



Hoe?

Nano-fabricage

Diep-UV lithografie

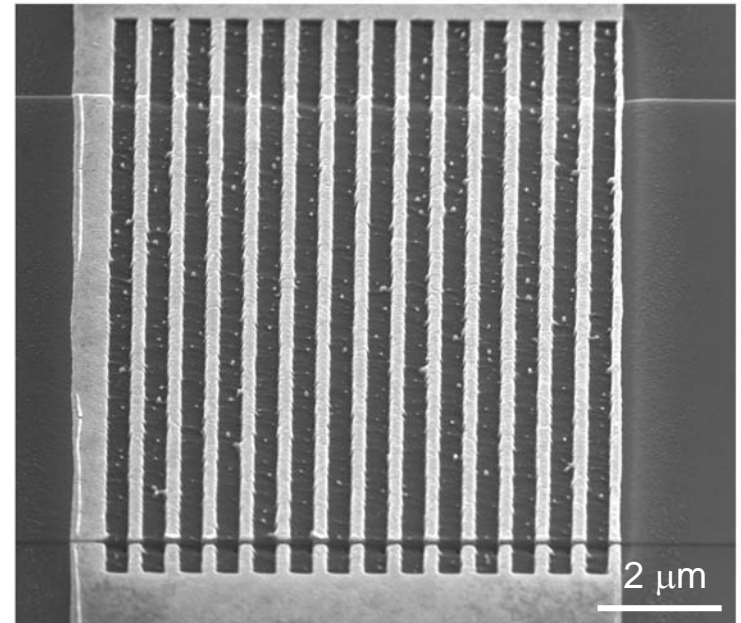
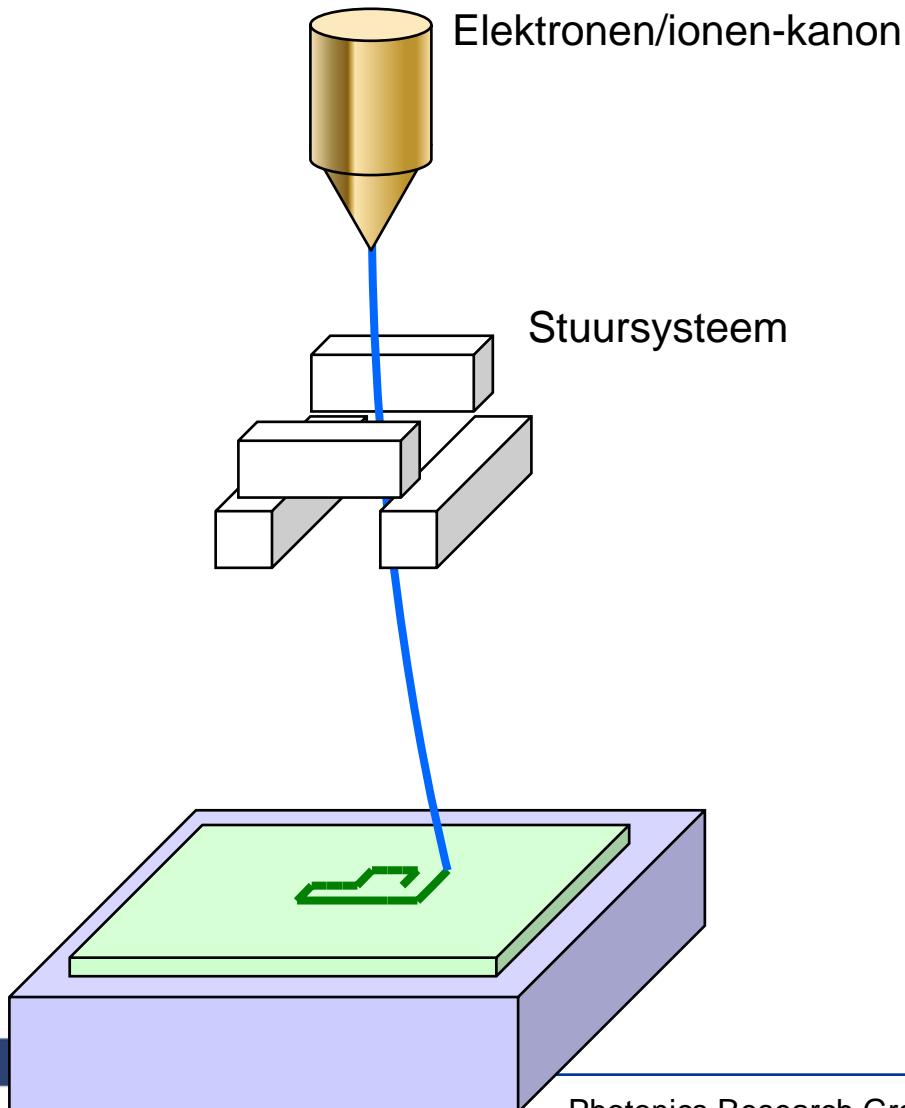


Op vezels ipv chips?

1. DUV-lithografie is niet flexibel
2. Processen werken niet

Nano-fabricage

Elektronenstralen / Ionenbundel lithografie

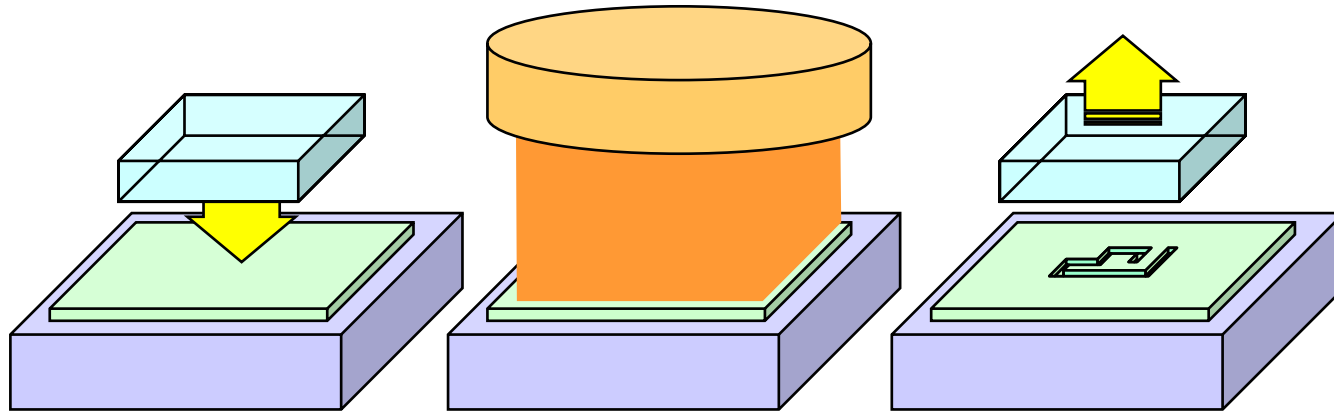


Op vezels ipv chips?

1. Wel flexibel maar moeilijk
2. Sterk gelimiteerd qua processen
3. Dure toestellen!

Nano-fabricage

Nano-imprintlithografie

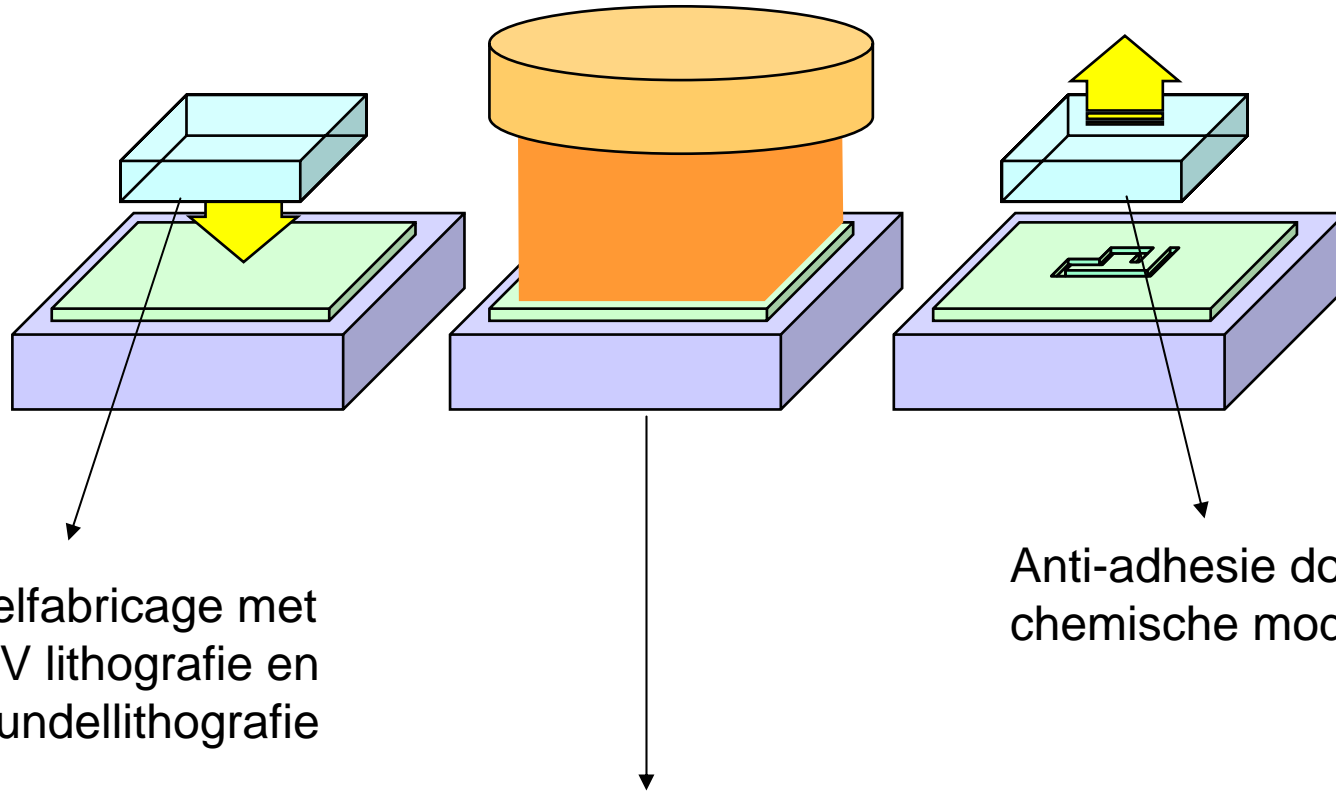


Flexibiliteit

- Keuze van materialen en procesparameters
- Keuze van substraten
- Geen dure toestellen

Nano-fabricage

Nano-imprintlithografie



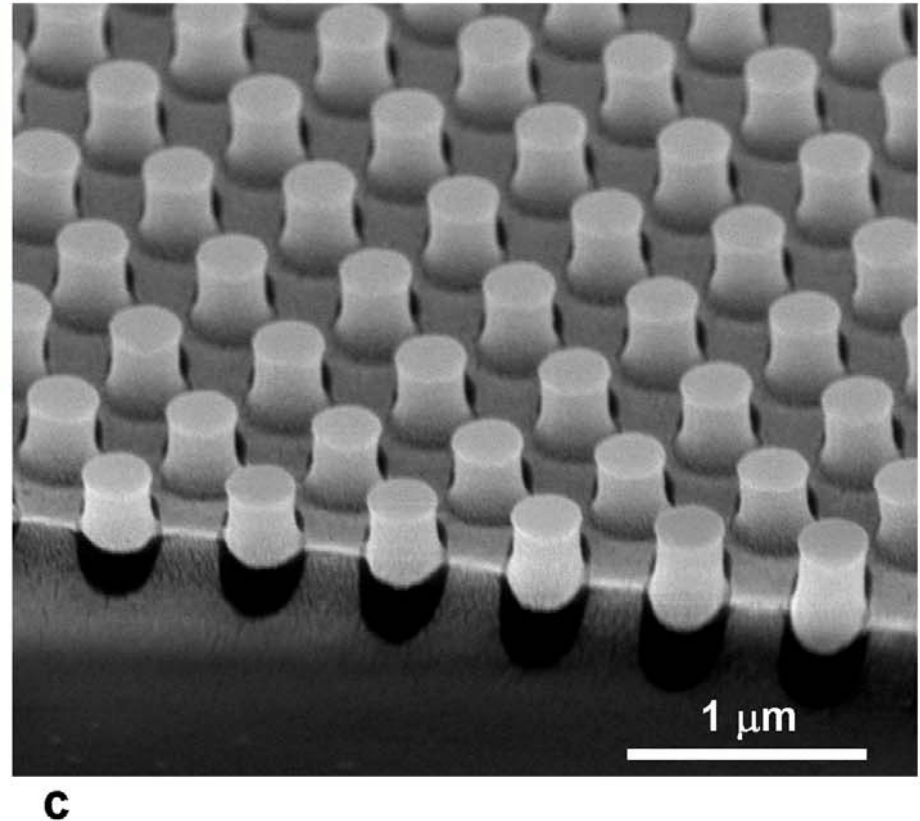
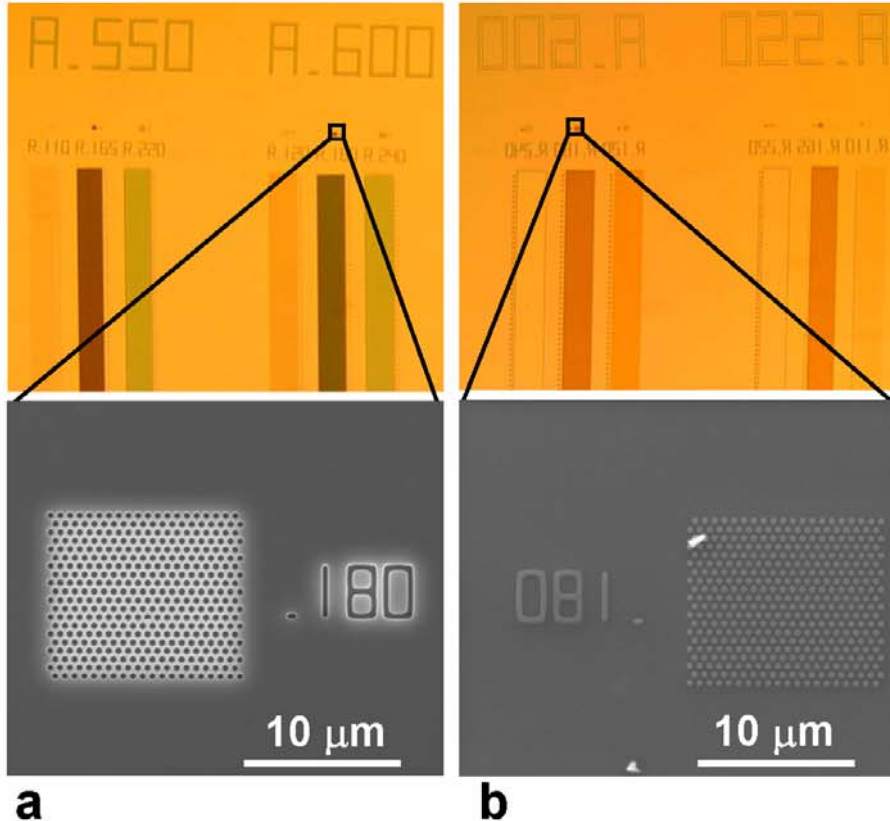
Stempelfabricage met
Diep-UV lithografie en
ionenbundellithografie

Anti-adhesie door
chemische modificatie

Keuze van polymeermaterialen
en bepalen van procesparameters

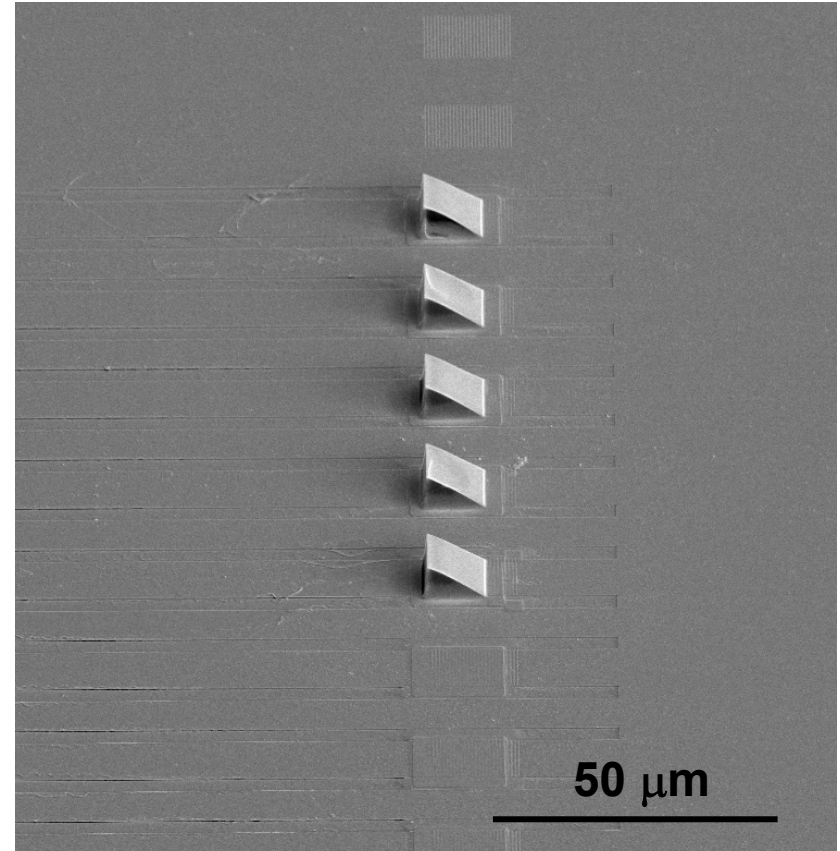
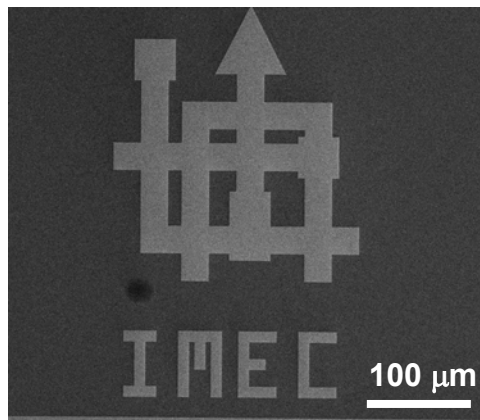
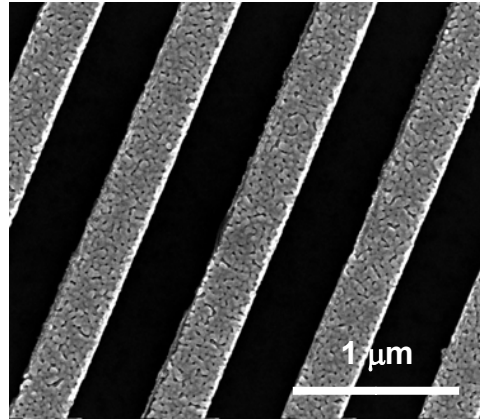
Nano-imprintlithografie

- Resultaten op chips



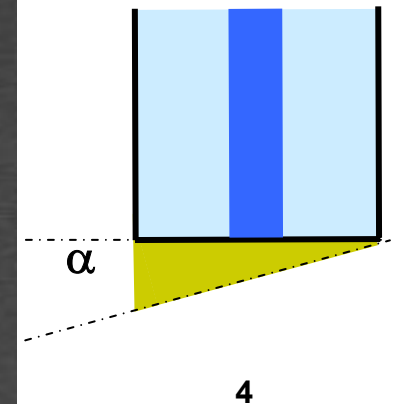
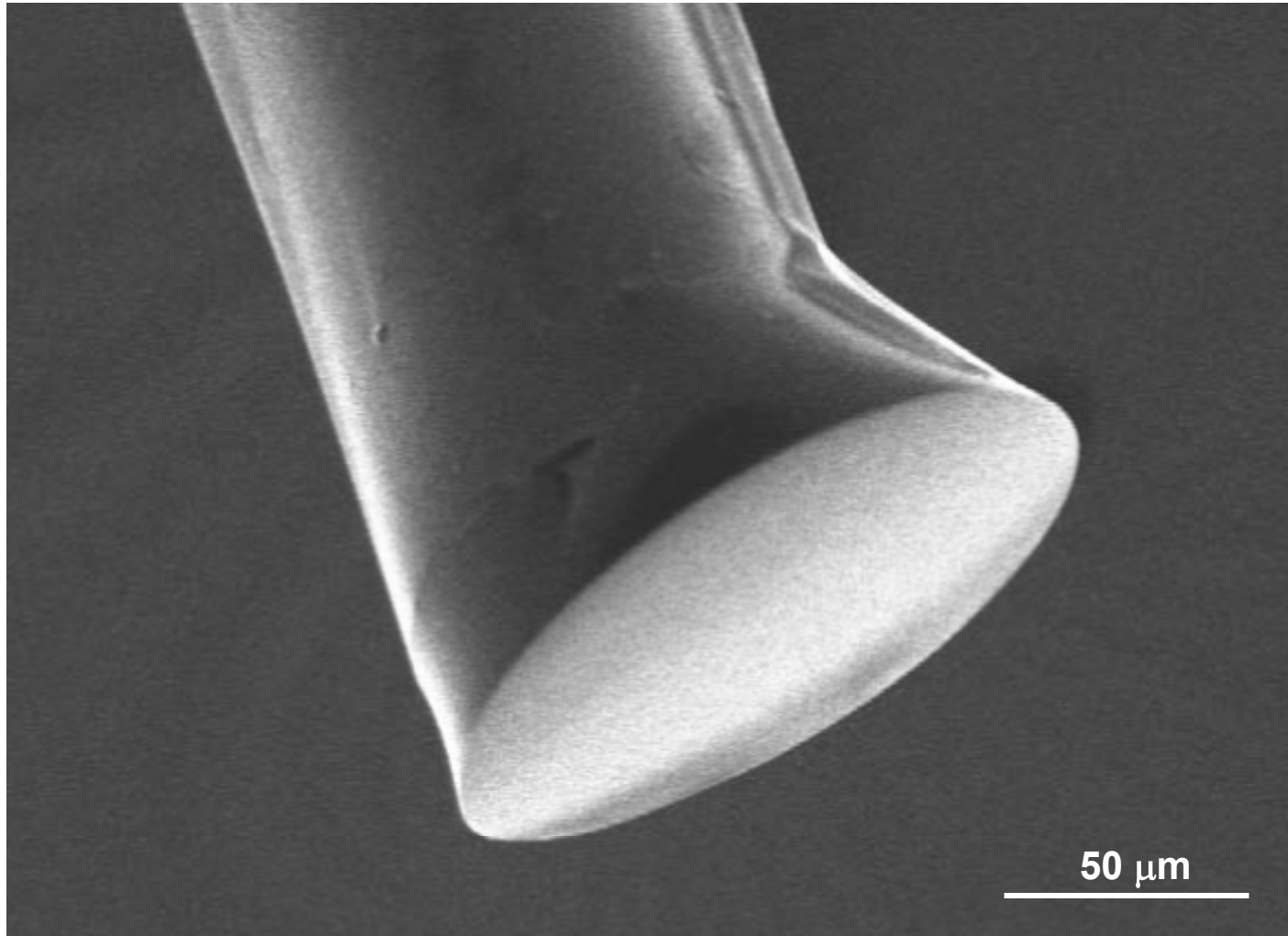
Nano-imprintlithografie

- Resultaten op chips



Nano-imprintlithografie

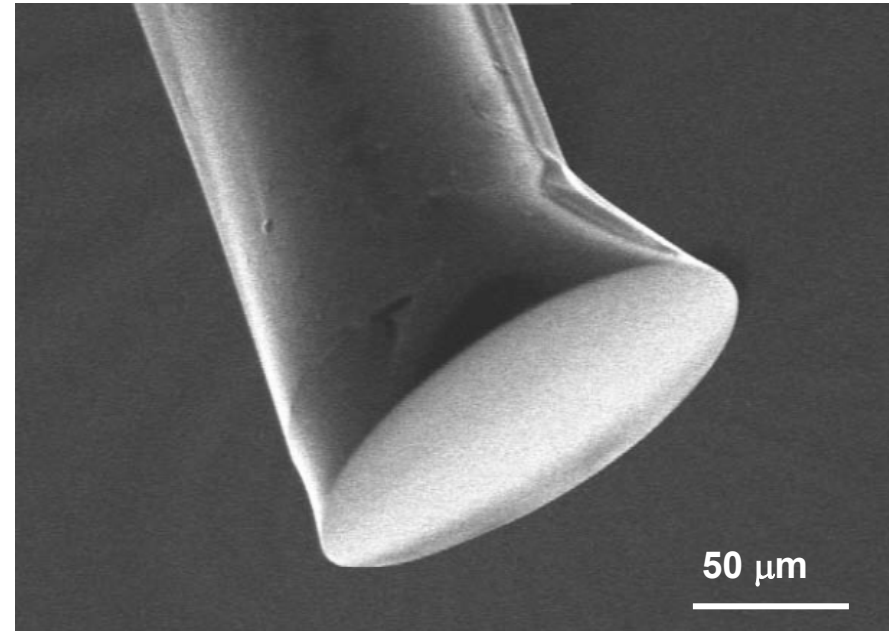
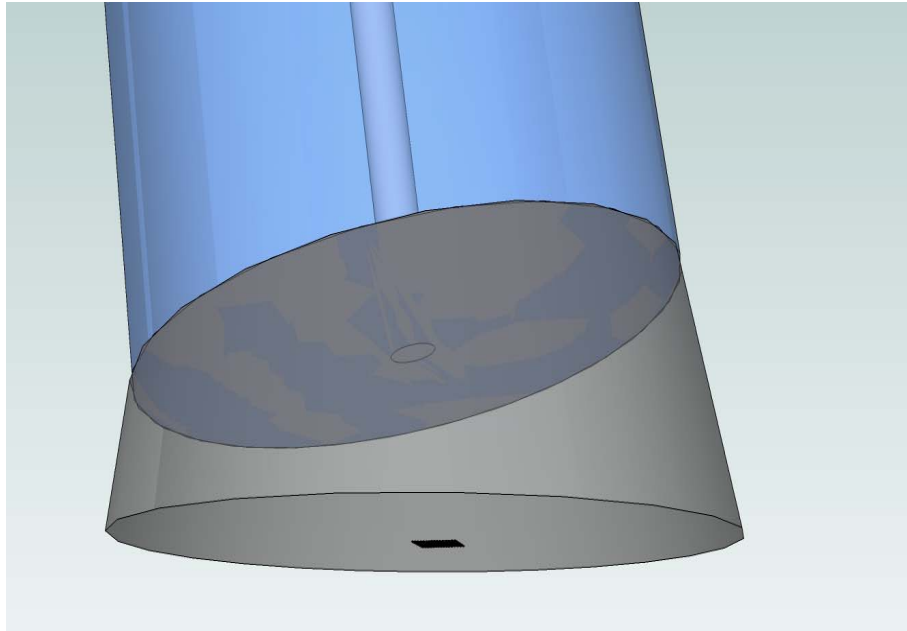
- Resultaten op vezels



Nano-imprintlithografie

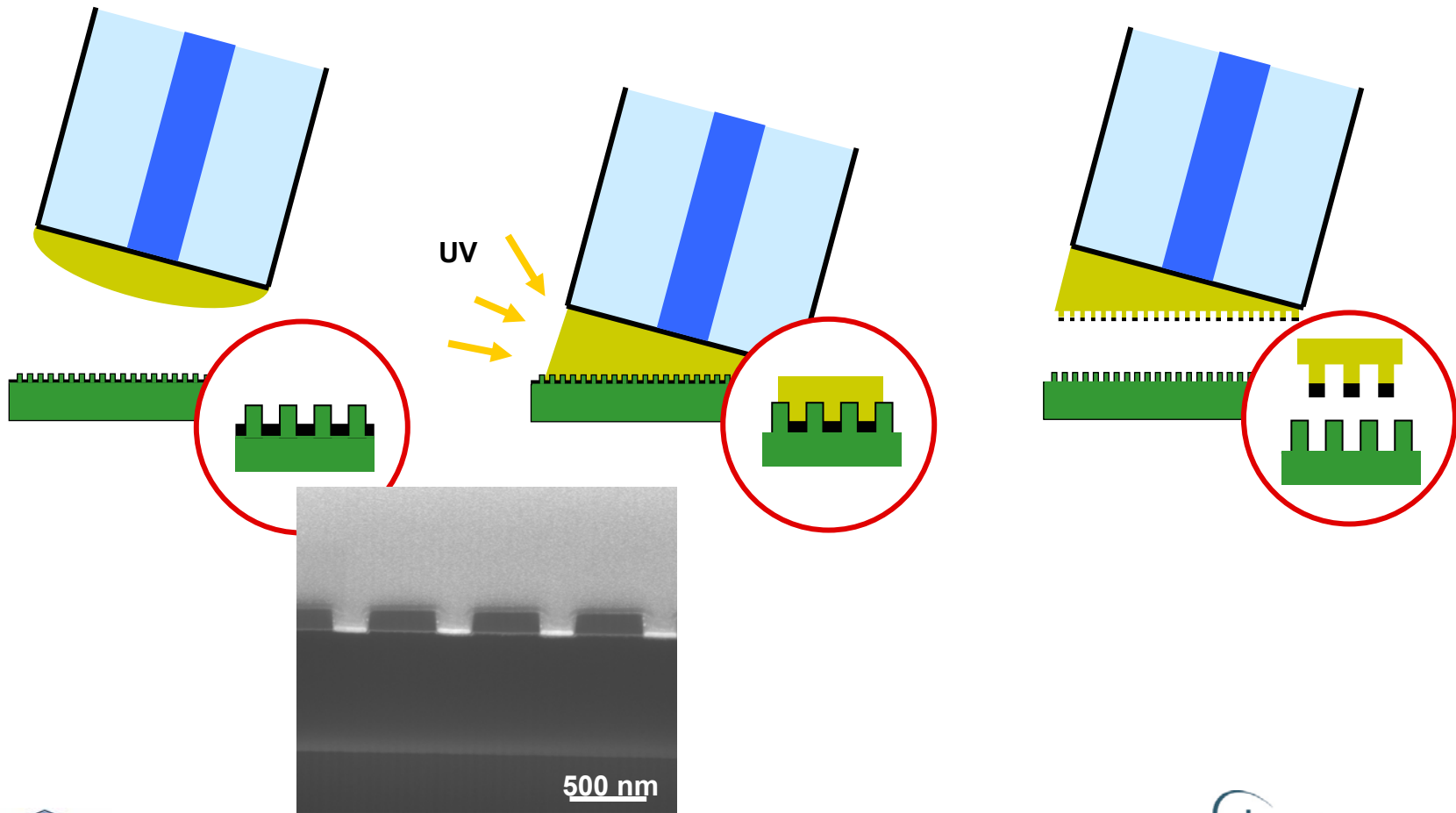
Oorspronkelijke vraag:

Hoe krijg je een metaalrooster op het vezelfacet?

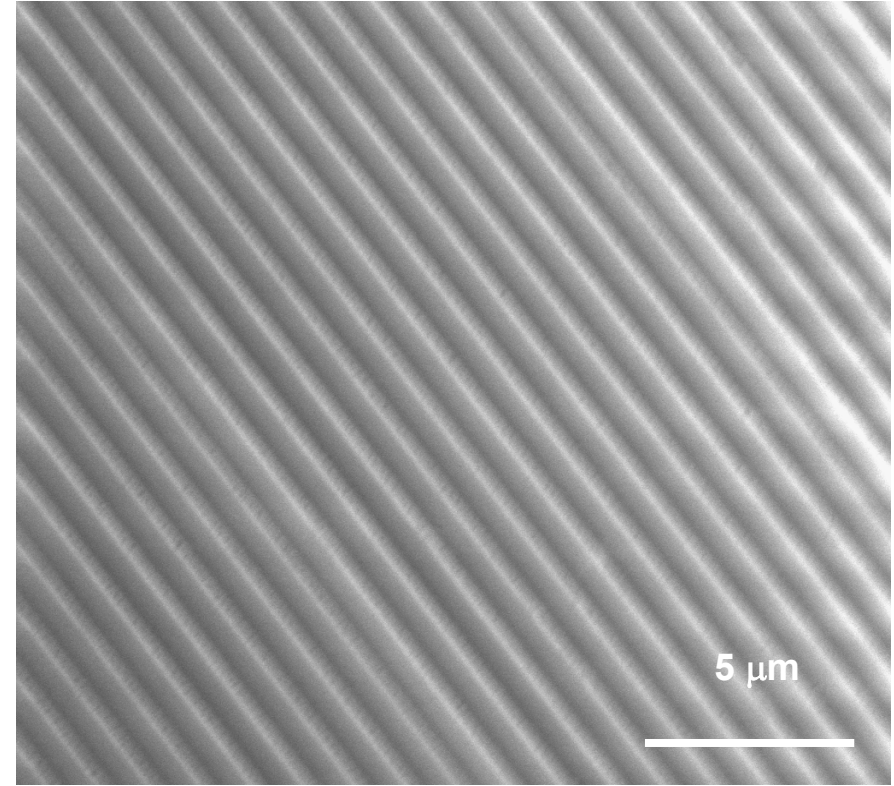
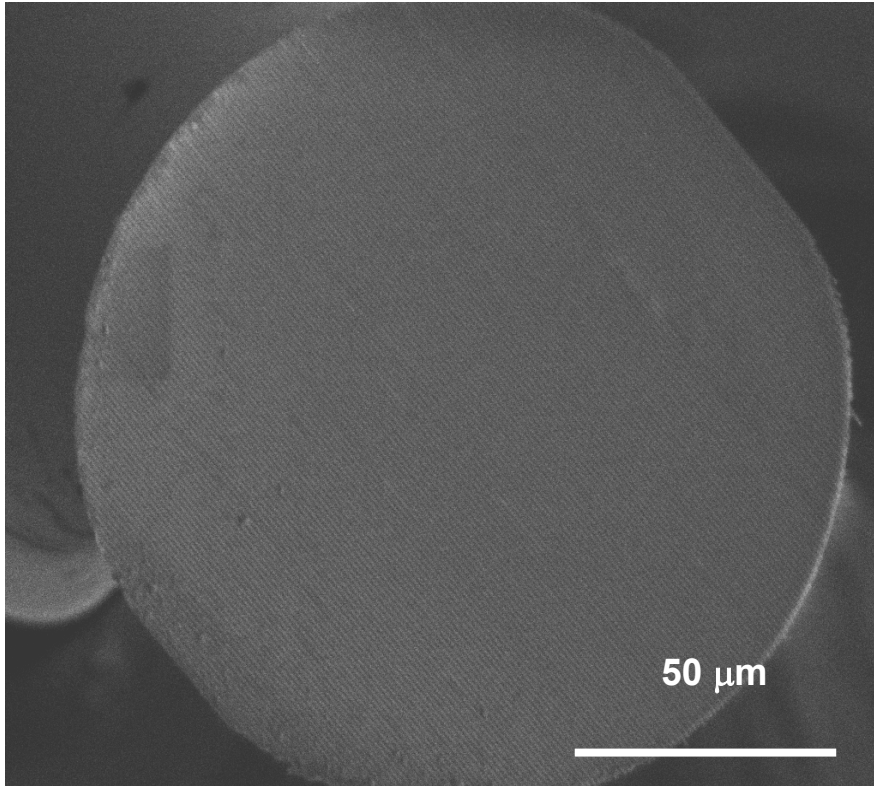


Nano-imprintlithografie

Nano – imprint – en – transfert – techniek

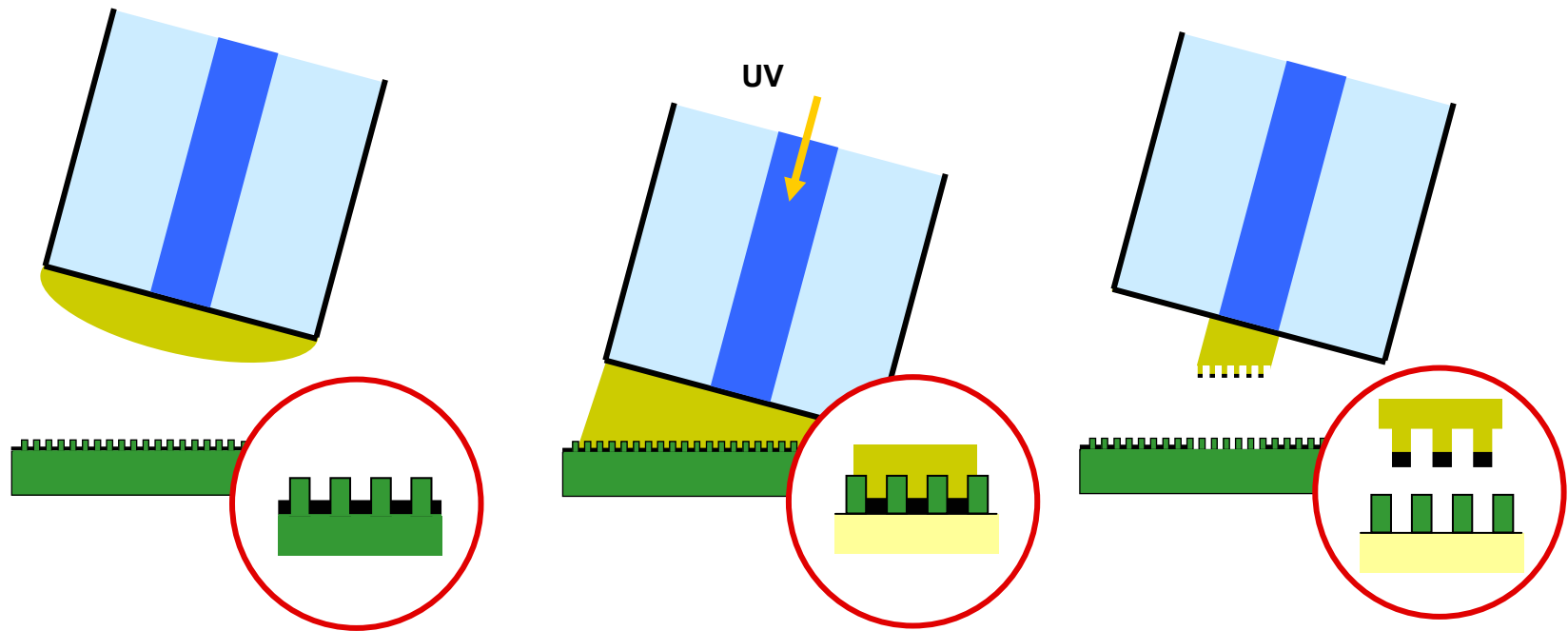


Nano-imprintlithografie

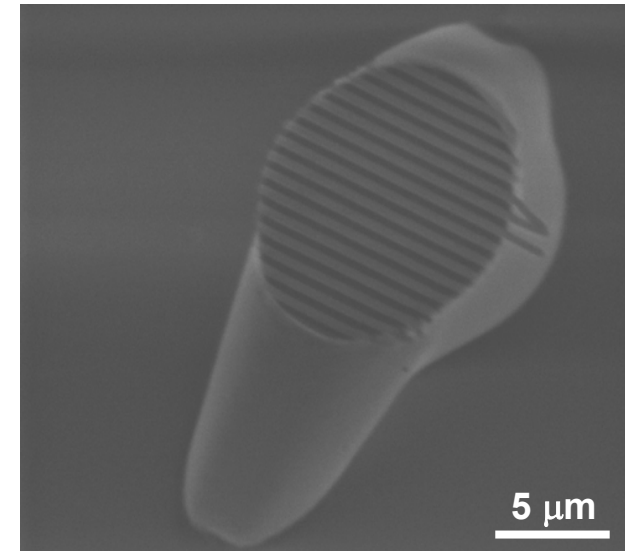
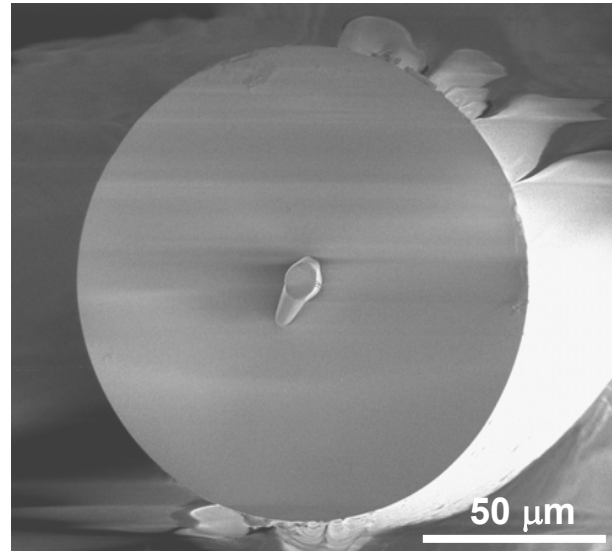
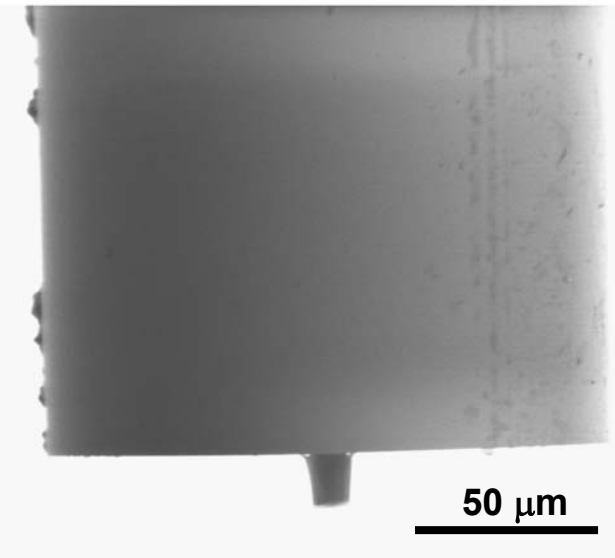


Nano-imprintlithografie

Nanoimprint-en-transfert met zelf-alignering

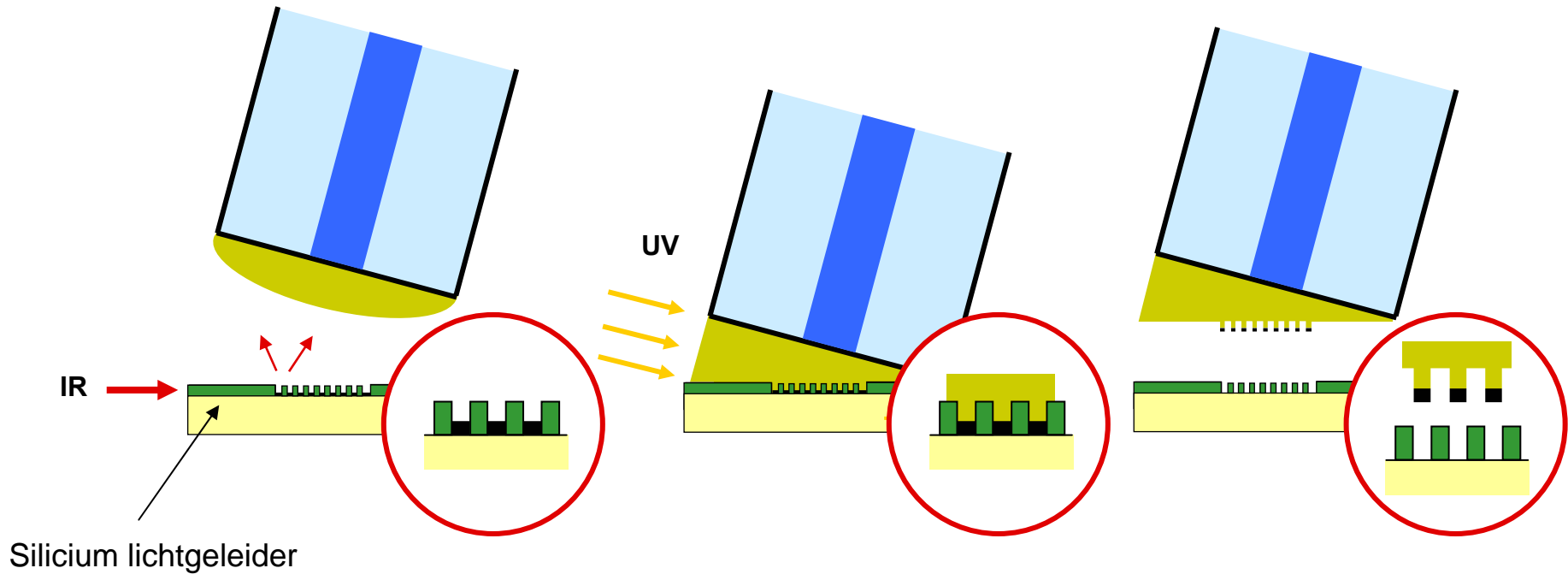


Nano-imprintlithografie



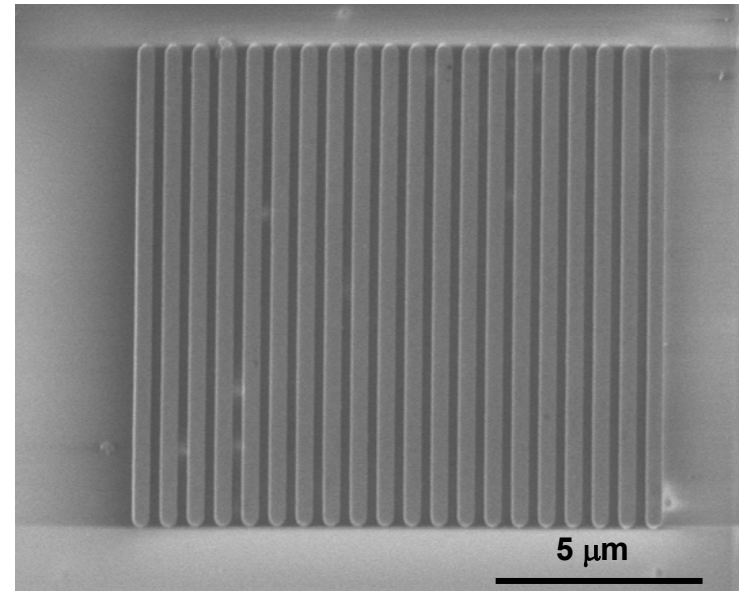
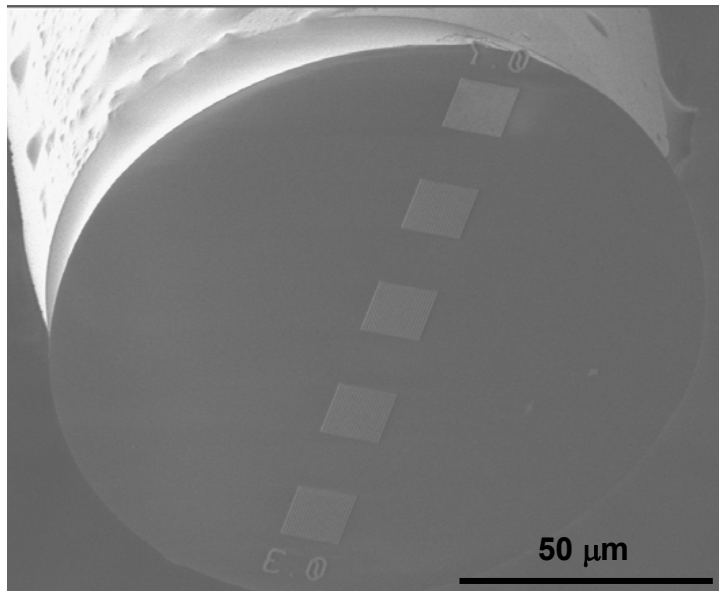
Nano-imprintlithografie

Nano-imprint-en-transfert met alignering

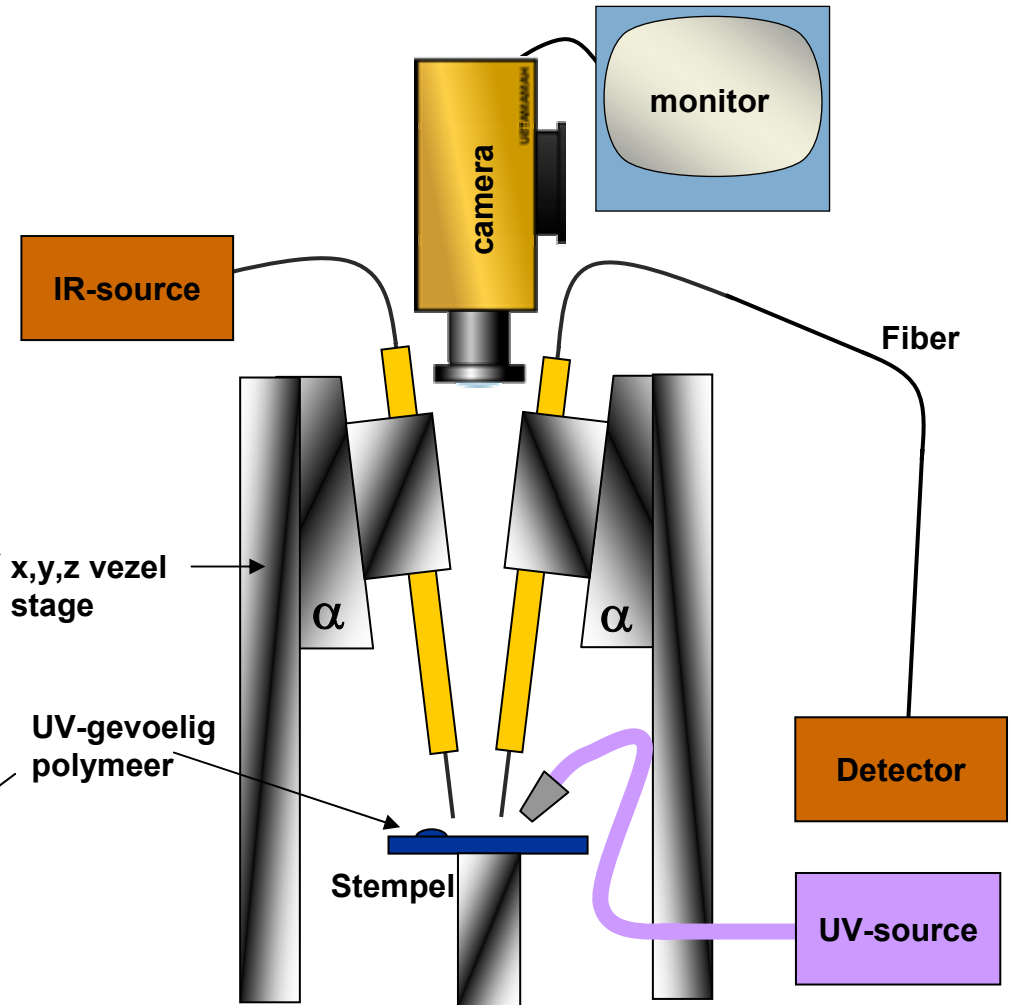
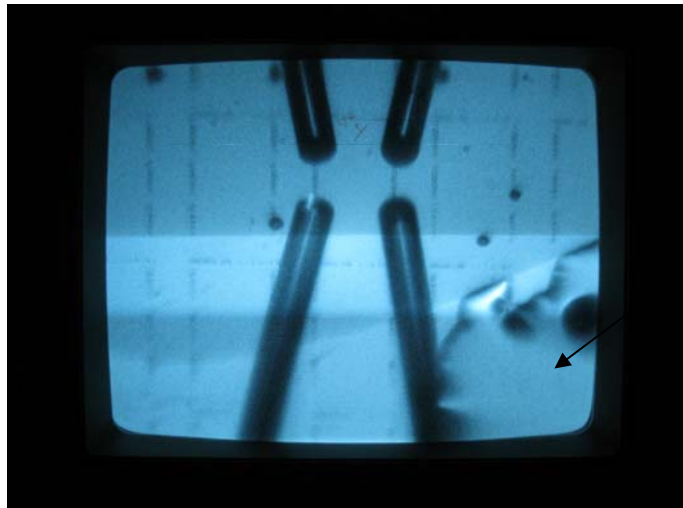
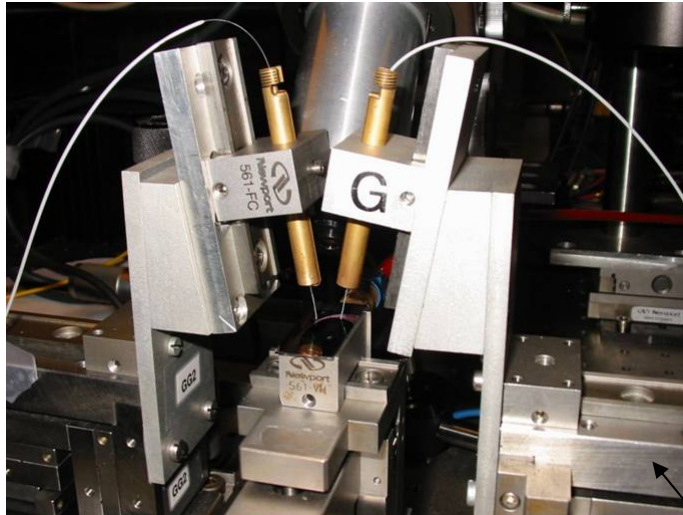


Nano-imprintlithografie

Nano-imprint-en-transfert met alignering



Nano-imprintlithografie



Hoe?

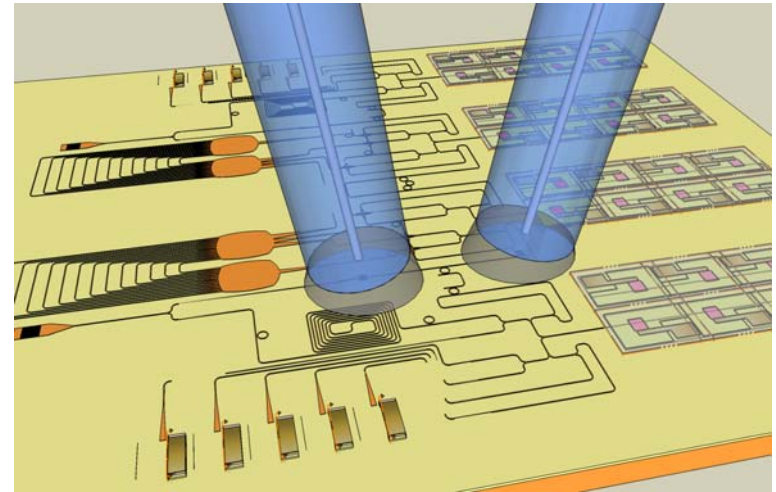
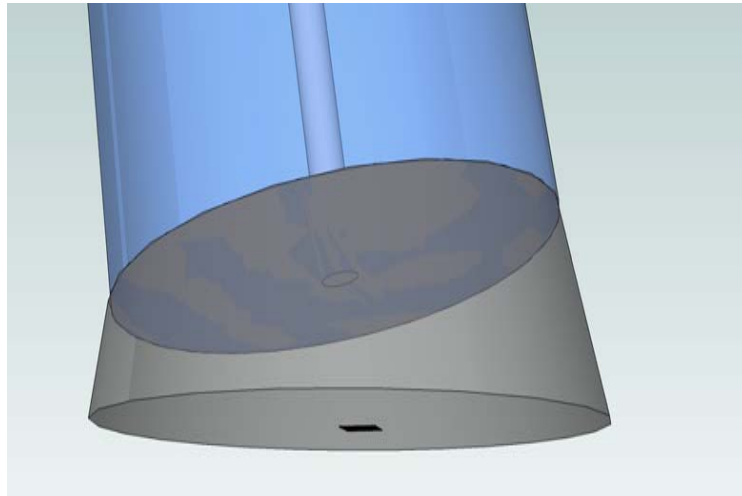
Hoe?

Opgelost!

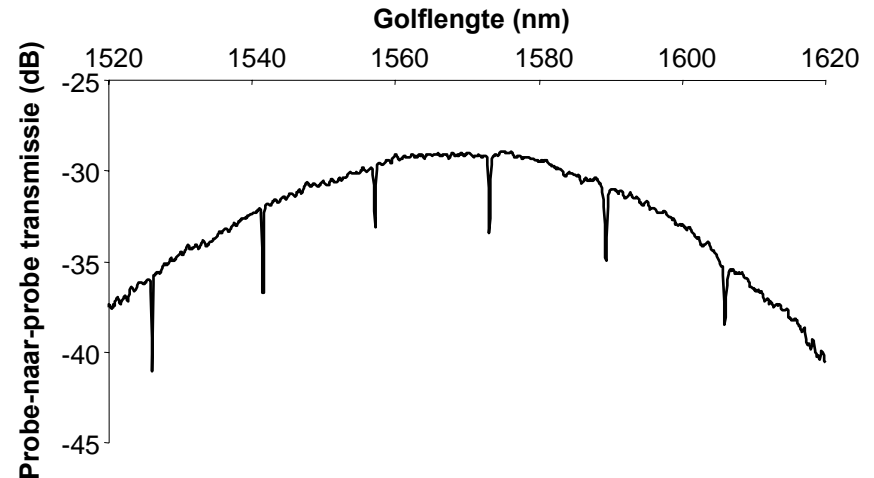
Zijt ge
zeker?

Praktijk

Optische vezelprobe



1. **15 % koppel-efficiëntie** tussen de probe in contact met een $3 \mu\text{m}$ brede waveguide
2. **Testen van een ringresonator** met 2 probes



Conclusies

Koppelen naar en proben van nanofotonische circuits met metaalroosters

1. We hebben $> 30\%$ efficiënte koppeling aangetoond tussen nanofotonische circuits en optische vezels met metaalroosters
2. We hebben nieuwe technieken ontwikkeld voor nanofabricage op optische vezels en chips gebaseerd op nano-imprintlithografie
3. We hebben een metaalrooster-gebaseerde optische vezelprobe voor nanofotonische circuits ontwikkeld en getest