

The background is a solid blue color with a pattern of white and light blue streaks and particles, resembling light trails or a starburst effect. The text is centered and reads:

**Optimalisatie van een geïntegreerde optische isolator  
gebaseerd op een halfgeleiderversterker  
met een ferromagnetisch metaalcontact**

*Over licht en magneten en wat er gebeurt als deze in elkaars buurt komen*

# Agenda

Inleiding

Doelstelling

Isolatoren voor beginners

Isolatoren voor gevorderden

Geïntegreerde elektromagneet

Conclusie en vooruitblik



## Inleiding

Binnen welke context kadert het onderzoek?

Wat kan dit onderzoek voor mij betekenen?

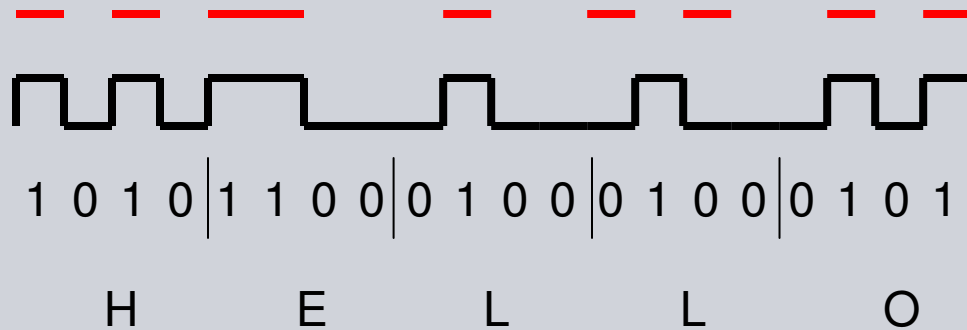
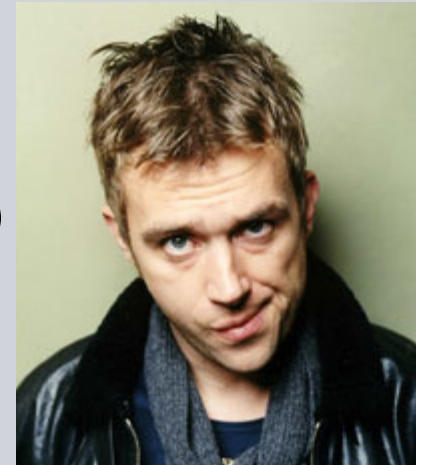
Waarom is dit onderzoek noodzakelijk?

Wat is een optische isolator?

# Optische communicatie

Context

Informatie uitwisselen via lichtpulsen

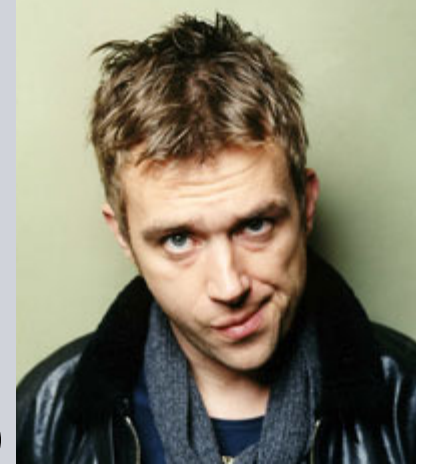




# Optische communicatie

Context

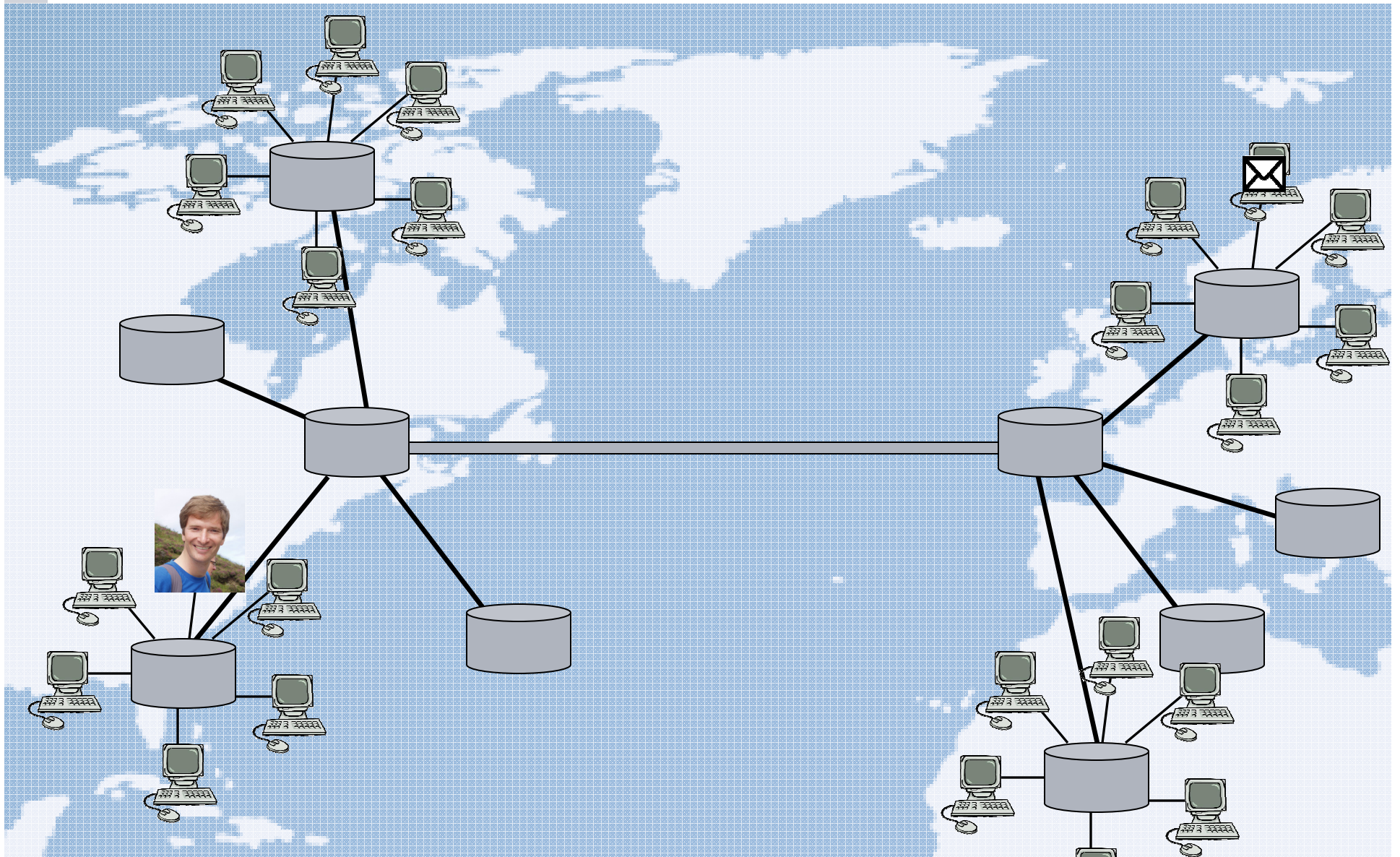
Enorme capaciteit doordat meerdere signalen tegelijkertijd verstuurd kunnen worden (<> elektrische telecommunicatie)



- Televisie via internet
- Voice over IP
- Remote datacenters
- ...

# Wereldwijd telecommunicatienetwerk

Context

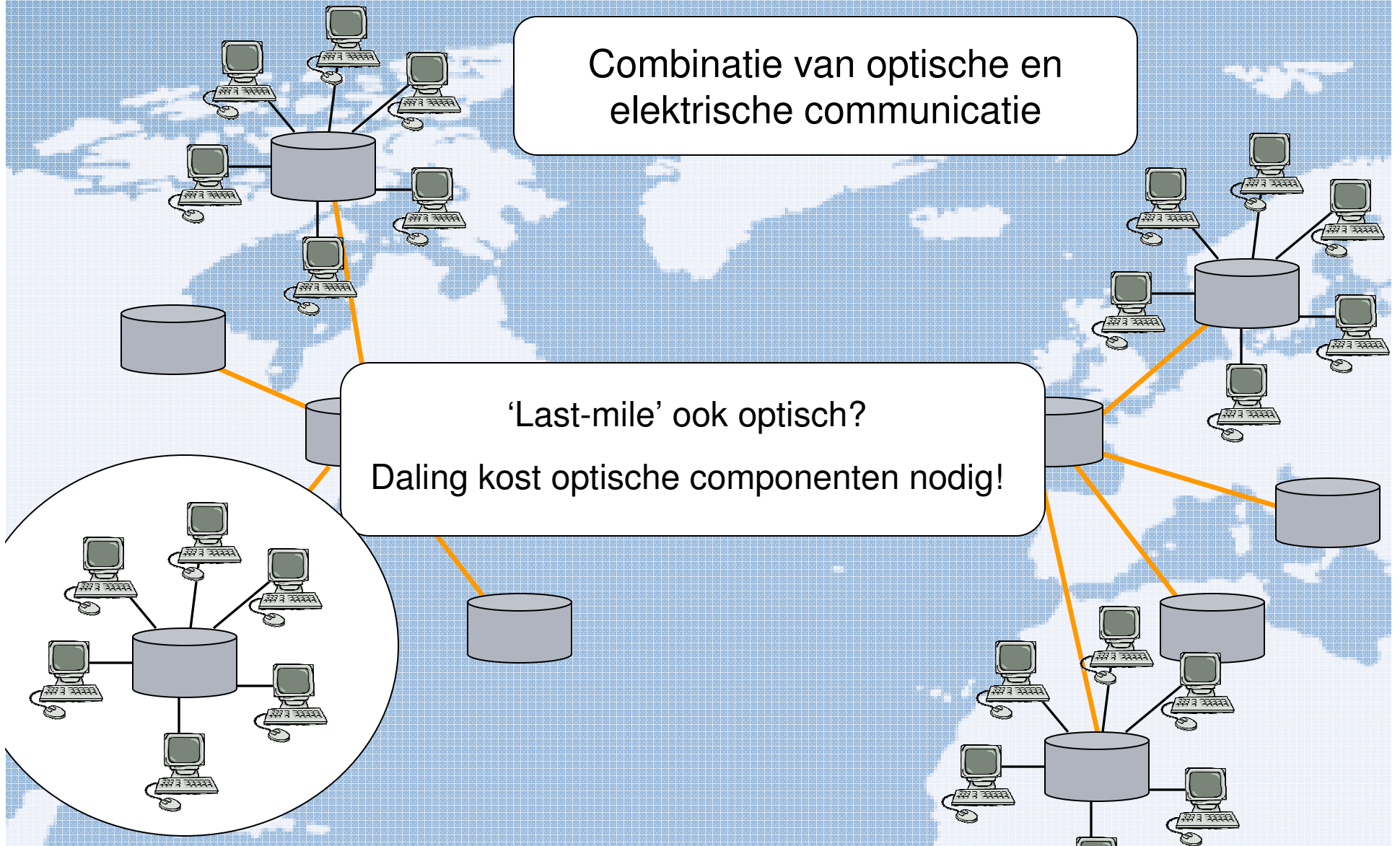


# Wereldwijd telecommunicatienetwerk

Context

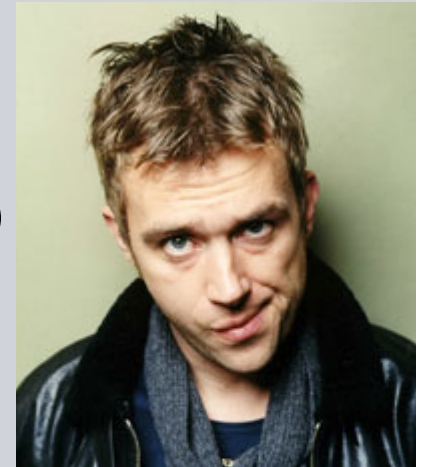
Combinatie van optische en elektrische communicatie

'Last-mile' ook optisch?  
Daling kost optische componenten nodig!

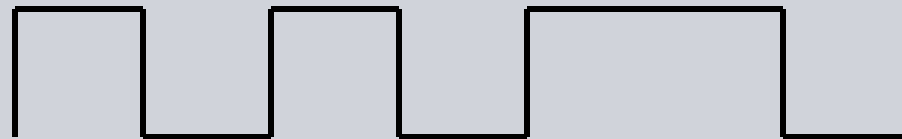


# Laserbron is gevoelig aan gereflecteerd licht

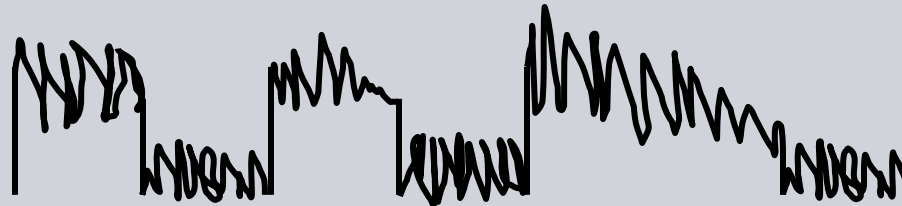
Probleem



ideaal



met reflectie



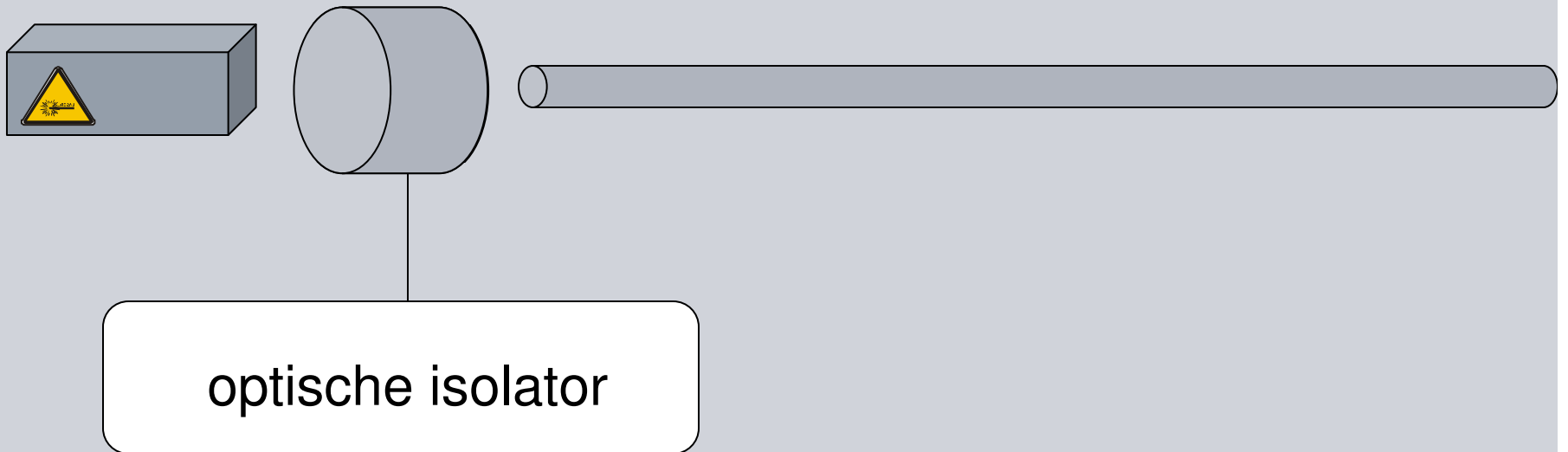
1 0 1 0 1 ? 0

Toename van ruis leidt tot datafouten

## De oplossing

Probleem

Een component die licht doorlaat in één richting, maar niet in de andere

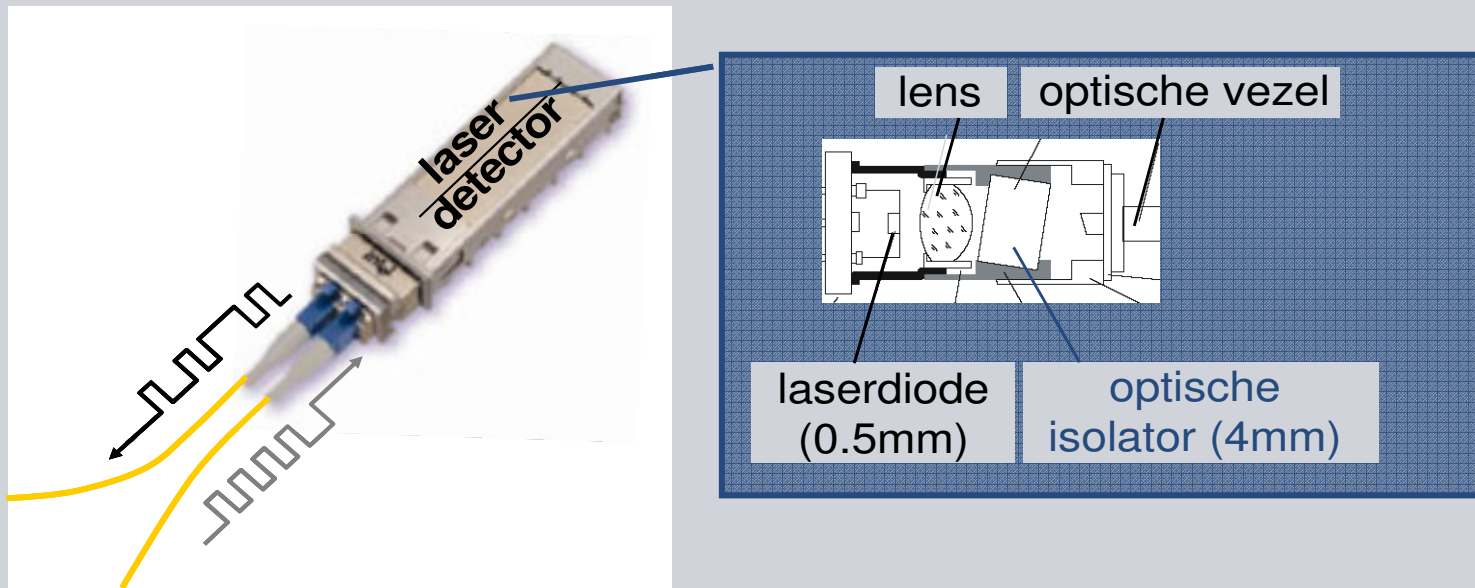


Transparant in één richting, verlieshebbend in de andere

# Optische transceiver

Probleem

Basiscomponent van een optisch communicatienetwerk



90% van de kost van een laser-detector module is verpakking

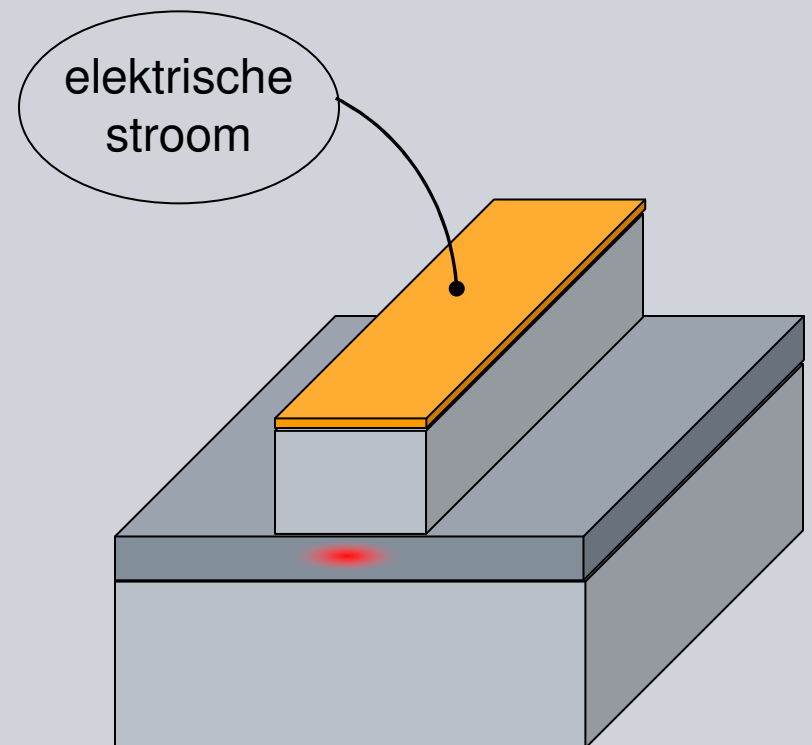
- uiterst nauwkeurige aligering van discrete componenten
- $< 1/50$  van de dikte van een haar

# Integratie is noodzakelijk

Probleem

Laser en isolator integreren als één component

- intrinsiek een enorme kostreductie
- 30 jaar onderzoek
- isolator moet de structuur van een halfgeleiderlaser benaderen
- fotonische chip





## Context: optische communicatie

- informatie verzenden aan de hand van lichtpulsen
- intrinsiek een enorme capaciteit

## Probleem

- volledig optisch netwerk te duur
- kost bron-detectormodule hoog door alignering van discrete componenten

## Isolator: transparant in één richting en verlieshebbend in de andere

- noodzakelijk om de laserbron tegen reflectie te beschermen

## Oplossing

- integratie van de laser en de isolator



# Agenda

Inleiding

Doelstelling

Isolatoren voor beginners

Isolatoren voor gevorderden

Geïntegreerde elektromagneet

Conclusie en vooruitblik

## Doelstelling

Optimalisatie van een geïntegreerde optische isolator  
gebaseerd op een halfgeleiderversterker  
met een ferromagnetisch metaalcontact

1999: theoretisch idee

*[Takenaka, Zaets]*

2003: experimentele demonstratie

*[Vanwolleghem, Van Parys]*

# Agenda

Inleiding

Doelstelling

Isolatoren voor beginners

Isolatoren voor gevorderden

Geïntegreerde elektromagneet

Conclusie en vooruitblik

## **Isolatoren voor beginners**

Hoe reageert licht op een magneetveld?

Hoe werkt een optische isolator?

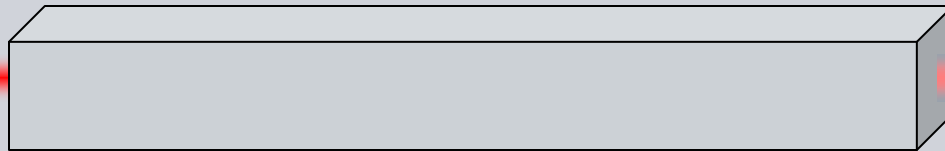
Hoe ziet een geïntegreerde isolator eruit?

Wat bepaalt de kwaliteit van een isolator ?

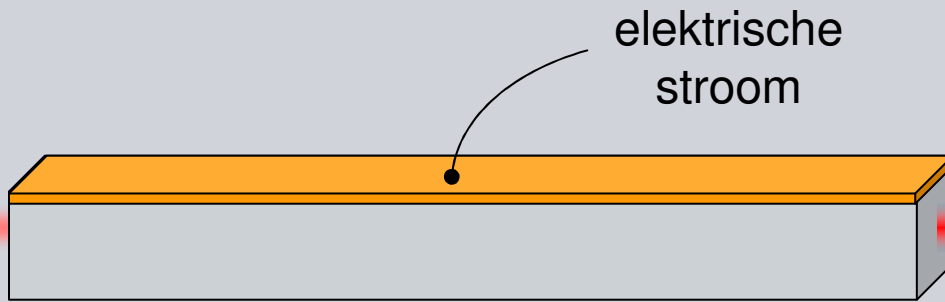
# Interactie van licht met materie

Licht

Optische absorptie



Optische winst



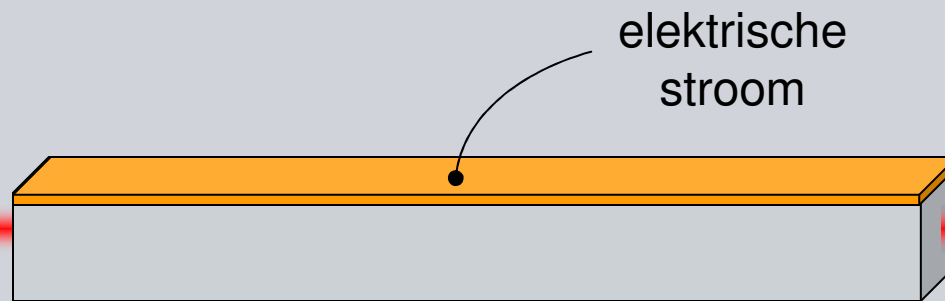
elektrische  
stroom

halfgeleiderversterker

## Interactie van licht met materie

Licht

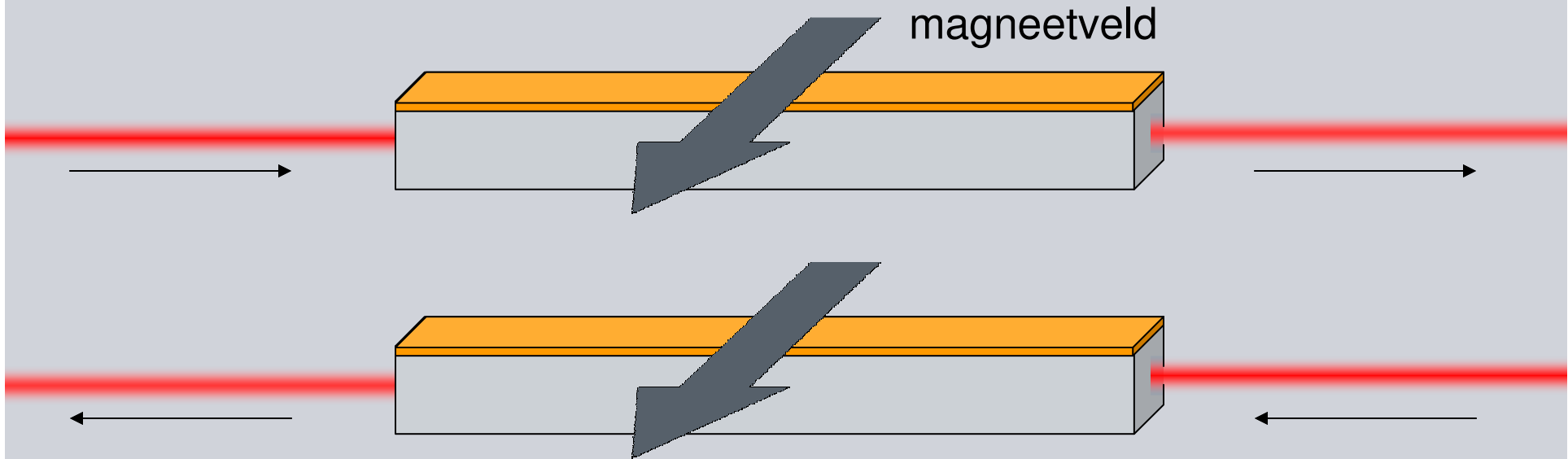
### Optische transparantie



- vermogen van ingangslucht = vermogen van uitgangslucht
- optische absorptie volledig gecompenseerd door optische winst

# Interactie van licht met gemagnetizeerde materie

Licht



Absorptie is identiek in beide propagatierichtingen

## Interactie van licht met gemagnetizeerde materie



Absorptie is afhankelijk van de propagatierichting

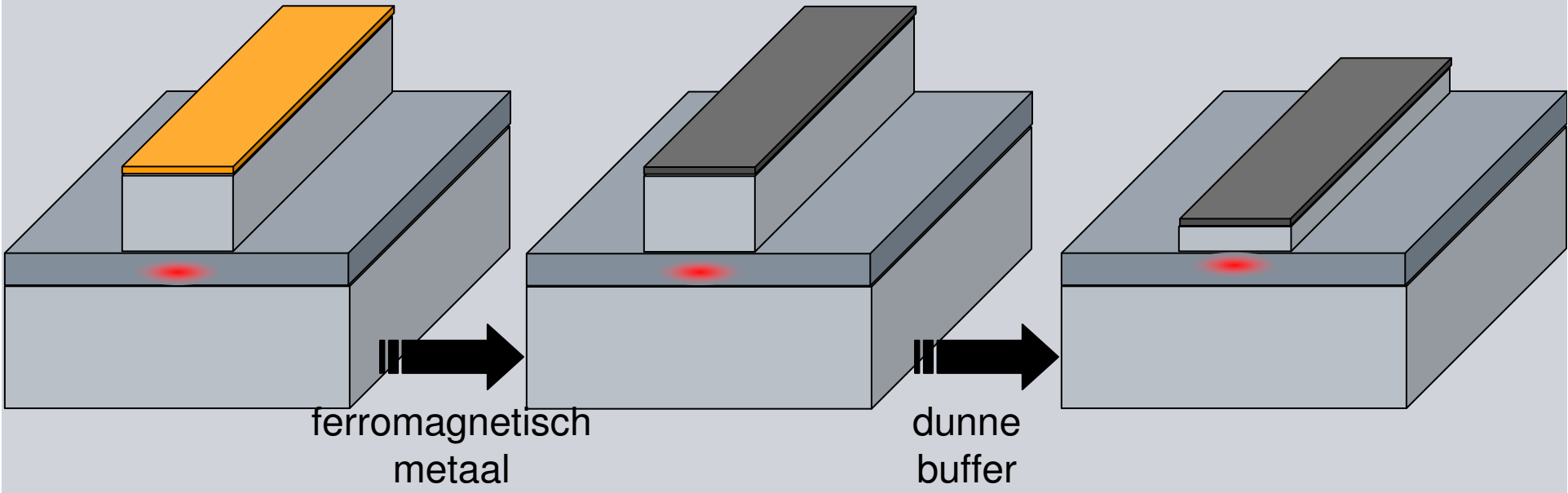
- niet-reciprociteit
- oorzaak is symmetriebreking door de aanwezigheid van een magneetveld
- grootte van het effect is afhankelijk van de metaalkeuze
- magneto-optica



# Een geïntegreerde isolator

Concept

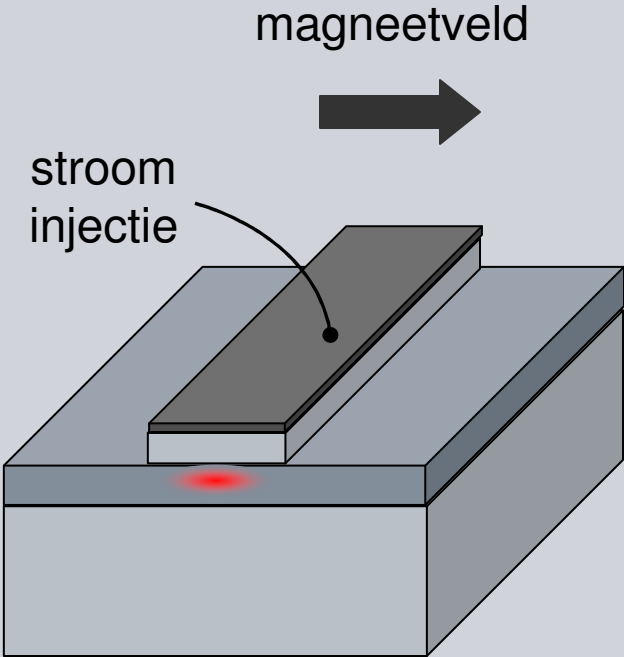
Basisstructuur is een halfgeleiderversterker



Licht moet de ferromagnetische metaalfilm voelen

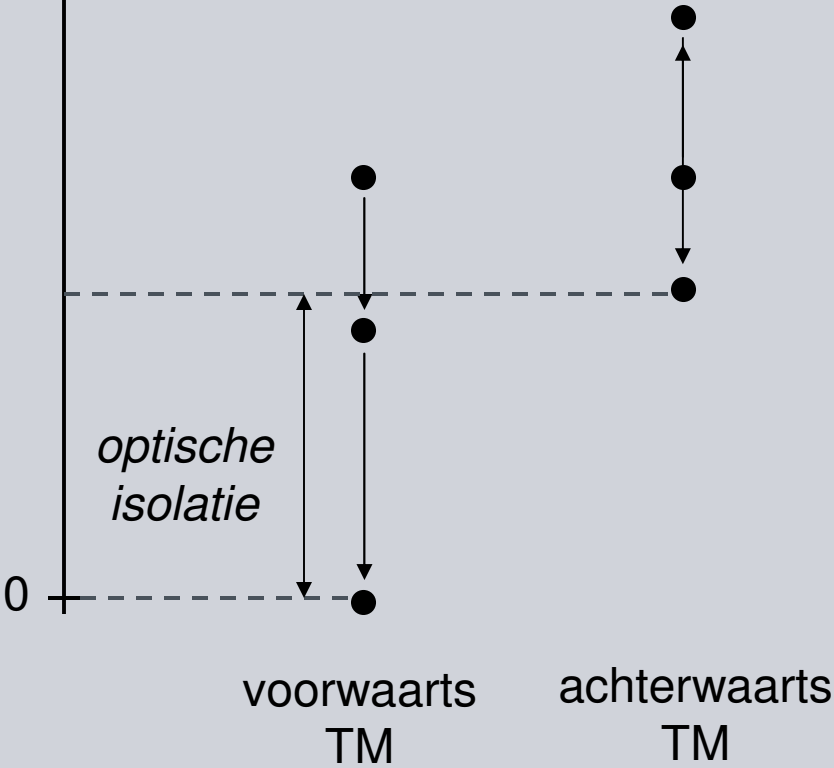
# Een geïntegreerde isolator

Concept



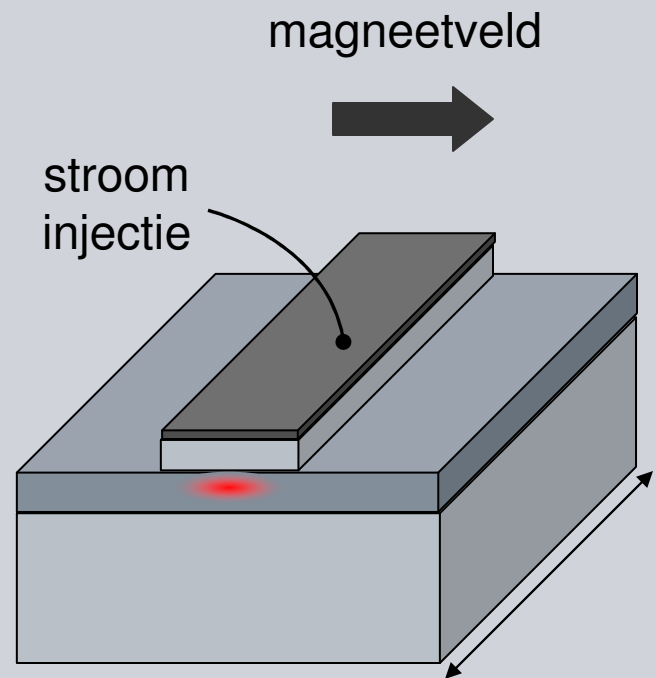
modale absorptie

voorwaarts: transparantie  
achterwaarts: absorptie  
→ *isolator*



# Kwaliteit van een isolator

Concept



## Isolatie [dB]

- verschil in optisch vermogen tussen voorwaartse en achterwaartse richting

## Transparantiestroom [mA]

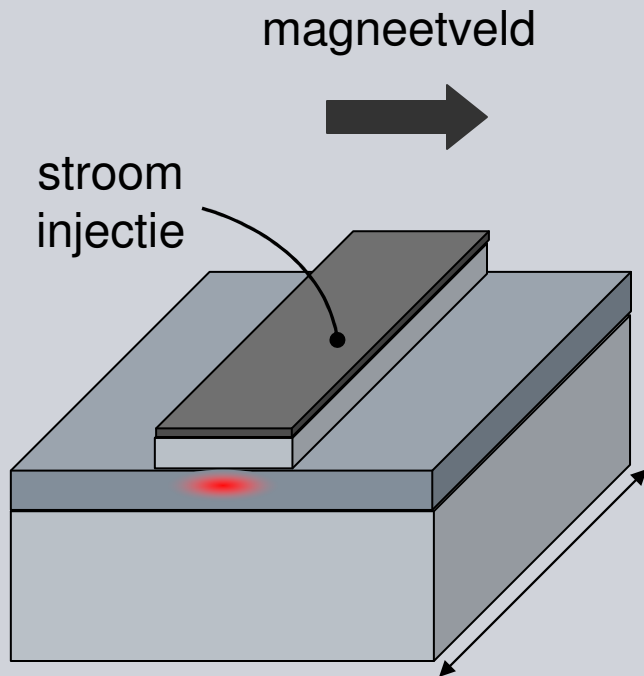
- hoeveel elektrische stroom is nodig voor transparantie in voorwaartse richting

## Lengte [mm]

- orde millimeters

# Kwaliteit van een isolator

Concept



decibel (dB)

$$P_{vw} - P_{aw} \text{ [dB]} = 10 \log^{10} \frac{P_{vw} \text{ [mW]}}{P_{aw} \text{ [mW]}}$$

10dB → 10 x

3dB → 2 x

13dB → 20 x

Lengte [mm]

- orde millimeters

## Licht interageert met materie

- optische absorptie
- optische winst

## Licht interageert met gemagnetizeerde materie

- niet-reciproke optische absorptie
- magneto-optisch effect

## Geïntegreerde isolator

- halfgeleiderversterker met gemagnetiseerd metaal dicht bij lichtbundel
- magneetveld veroorzaakt niet-reciprociteit
- optische winst via stroominjectie compenseert absorptie  
→ voorwaartse transparantie

## Doelstelling

Optimalisatie van een geïntegreerde optische isolator  
gebaseerd op een halfgeleiderversterker  
met een ferromagnetisch metaalcontact

# Agenda

Inleiding

Doelstelling

Isolatoren voor beginners

Isolatoren voor gevorderden

Geïntegreerde elektromagneet

Conclusie en vooruitblik

## **Isolatoren voor gevorderden**

Welke criteria bepalen de werking van de isolator?

Hoe ziet de geoptimaliseerde isolatorstructuur eruit?

Hoe gaat de karakterisatie in zijn werk?

Welke zijn de experimentele resultaten die bereikt werden?



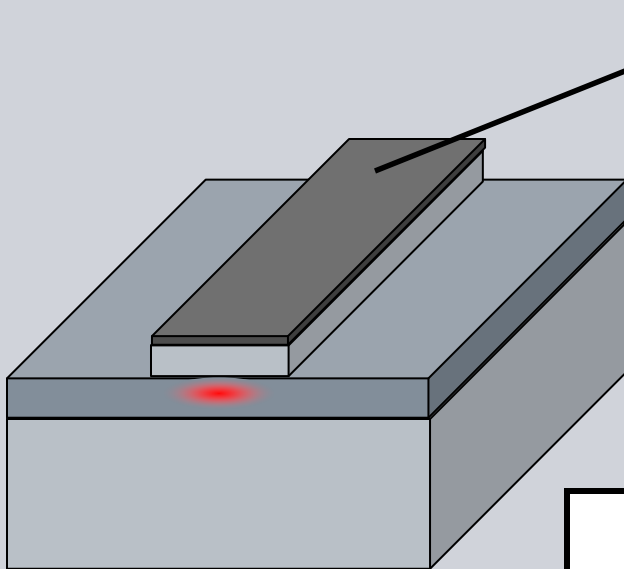
# Basiselementen isolator


Optimalizatie

## Ferromagnetisch metaal

- sterk magneto-optisch effect
- optische eigenschappen even belangrijk
- $Co_{50}Fe_{50}$

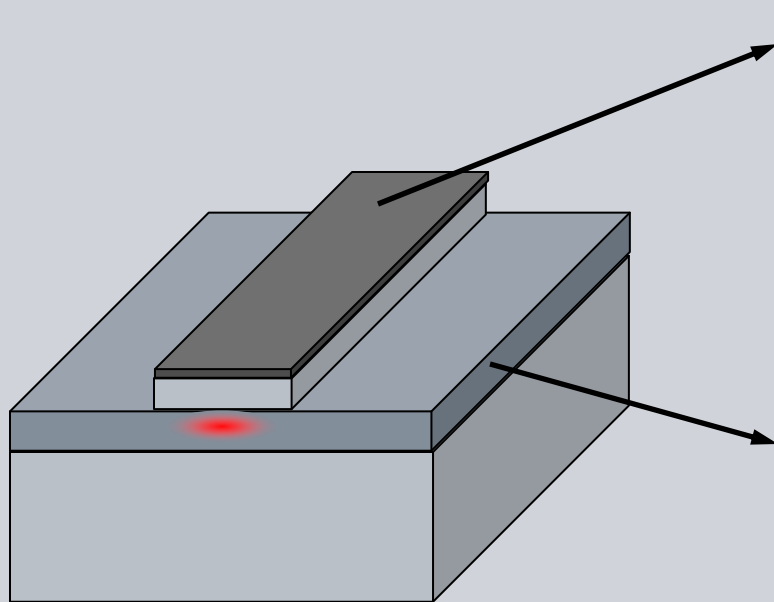
samenwerking met IEF-UPS



	intrinsieke magneto-optische sterkte $ g $	relevante magneto-optische sterkte $\frac{ g }{n\kappa}$
$Co_{90}Fe_{10}$	2.0	0.088
$Co_{50}Fe_{50}$	2.4	0.167
Fe	1.6	0.119

# Basiselementen isolator

Optimalizatie



## Ferromagnetisch metaal

- sterk magneto-optisch effect
- optische eigenschappen even belangrijk
- $Co_{50}Fe_{50}$

samenwerking met IEF-UPS

## Actieve kernlaag

- geleiding en versterking optische bundel (mode)
- optische winst per geïnjecteerde stroom maximaliseren
- polarizatieselectieve winst
- $InAlGaAs/InP$   
*trekgespannen quantumlagen*

samenwerking met Alcatel Thales III-V Lab

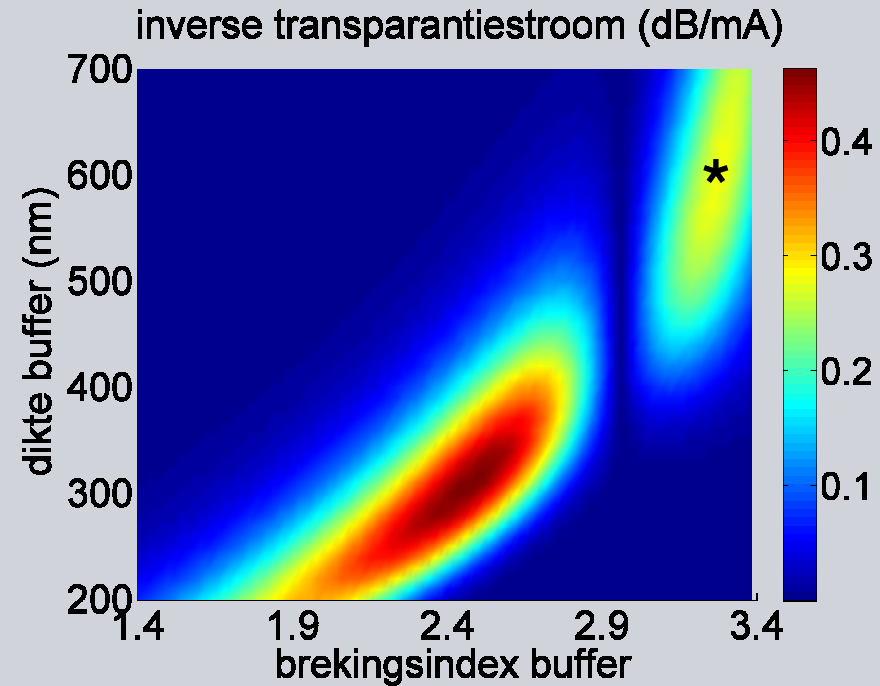
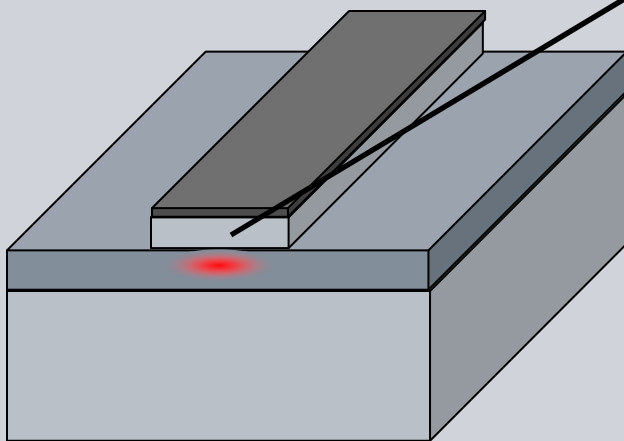
# Optimaal ontwerp

Optimalizatie

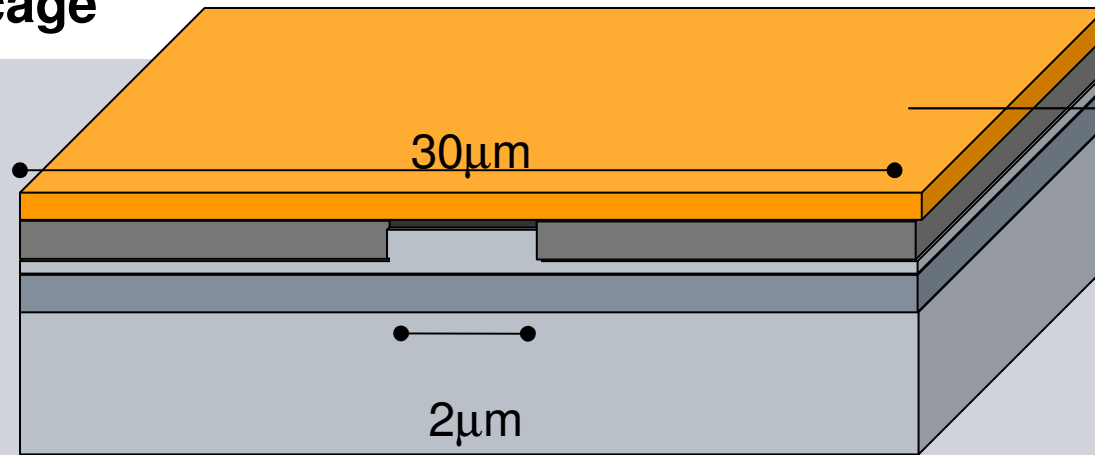
Buffer tussen de kernlaag en het metaal

- ontwerp laagdikte
- optimale materiaalkeuze

→ *minimale stroom voor transparantie*



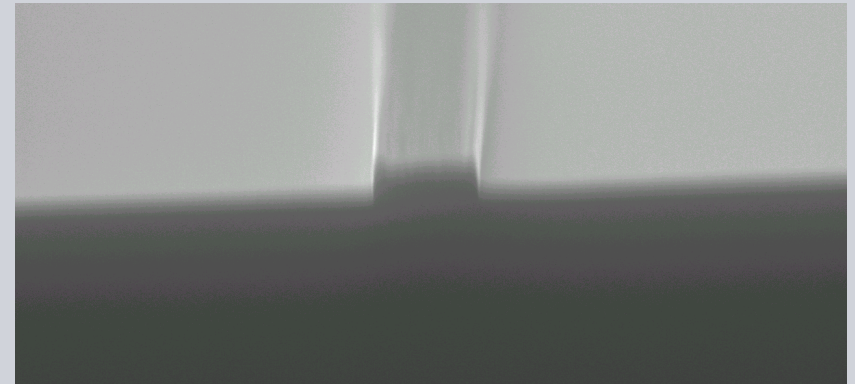
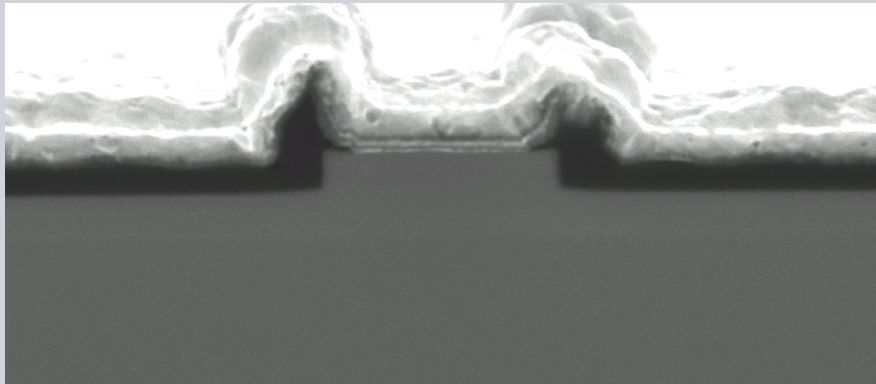
## Fabricage



Experimenteel  
goudlaag voor  
strooinjectie

1/25 van de dikte  
van een haar

Standaard laserfabricage bruikbaar, mits kleine wijzigingen



samenwerking met IMEC

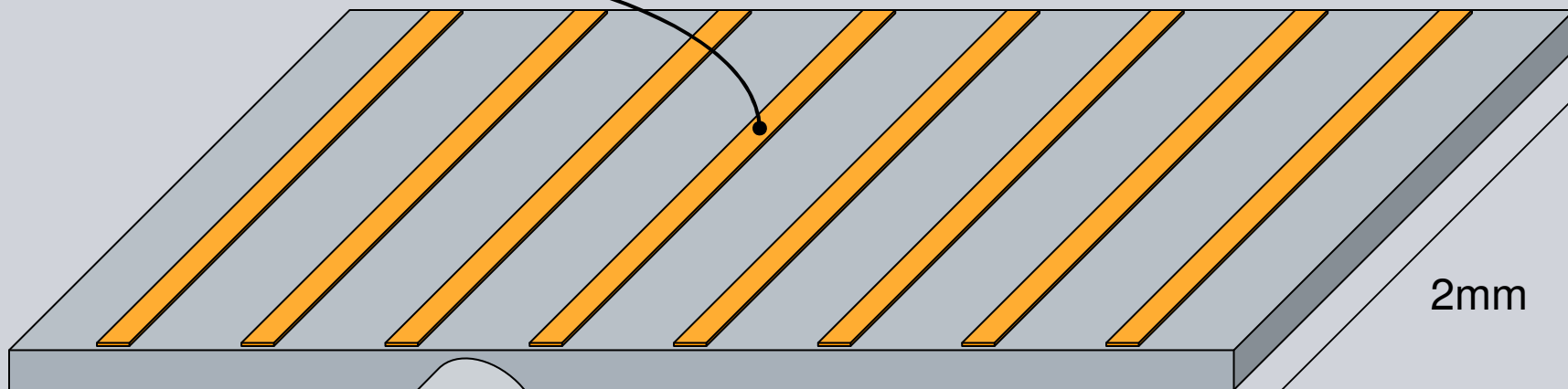
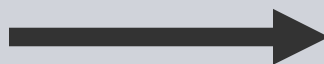
# Karakterisatie

licht  
propagatie

Experimenteel

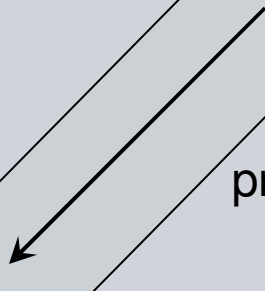
stroom  
injectie

magneetveld



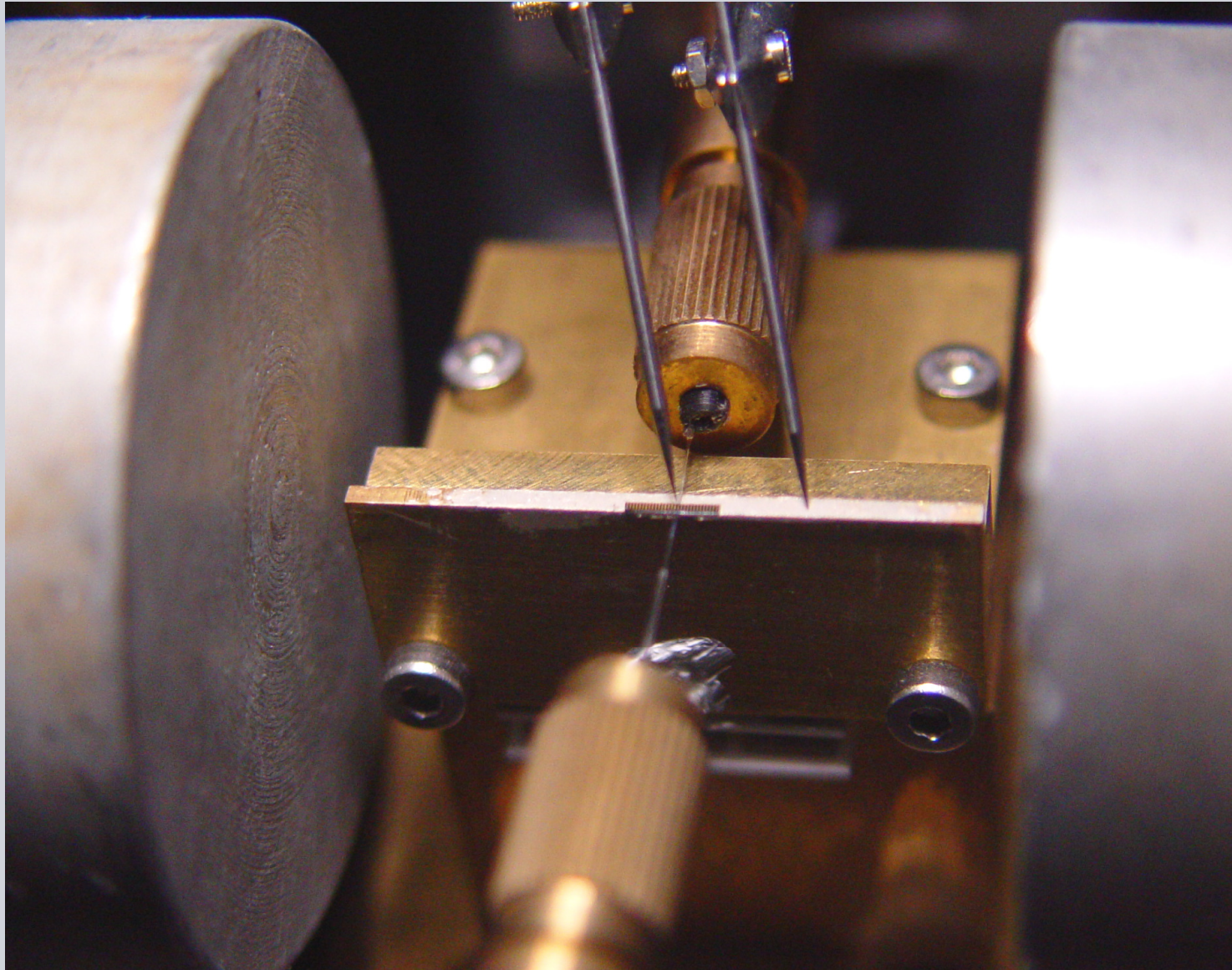
2mm

licht  
propagatie



# Karakterisatie-opstelling

Experimenteel



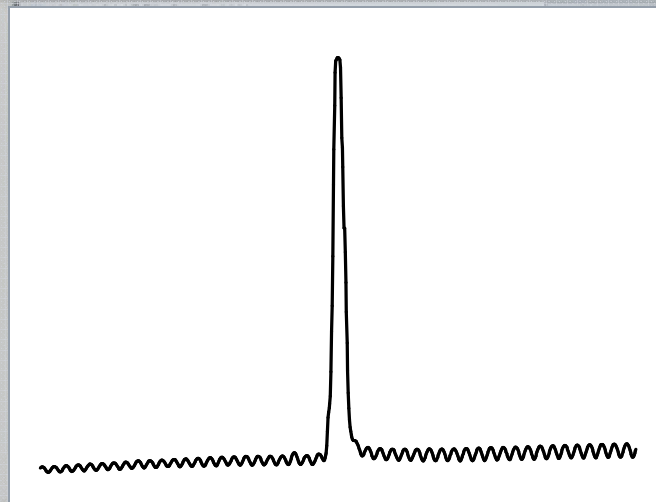


# Karakterisatie-opstelling

Experimenteel

halfgeleiderlaser

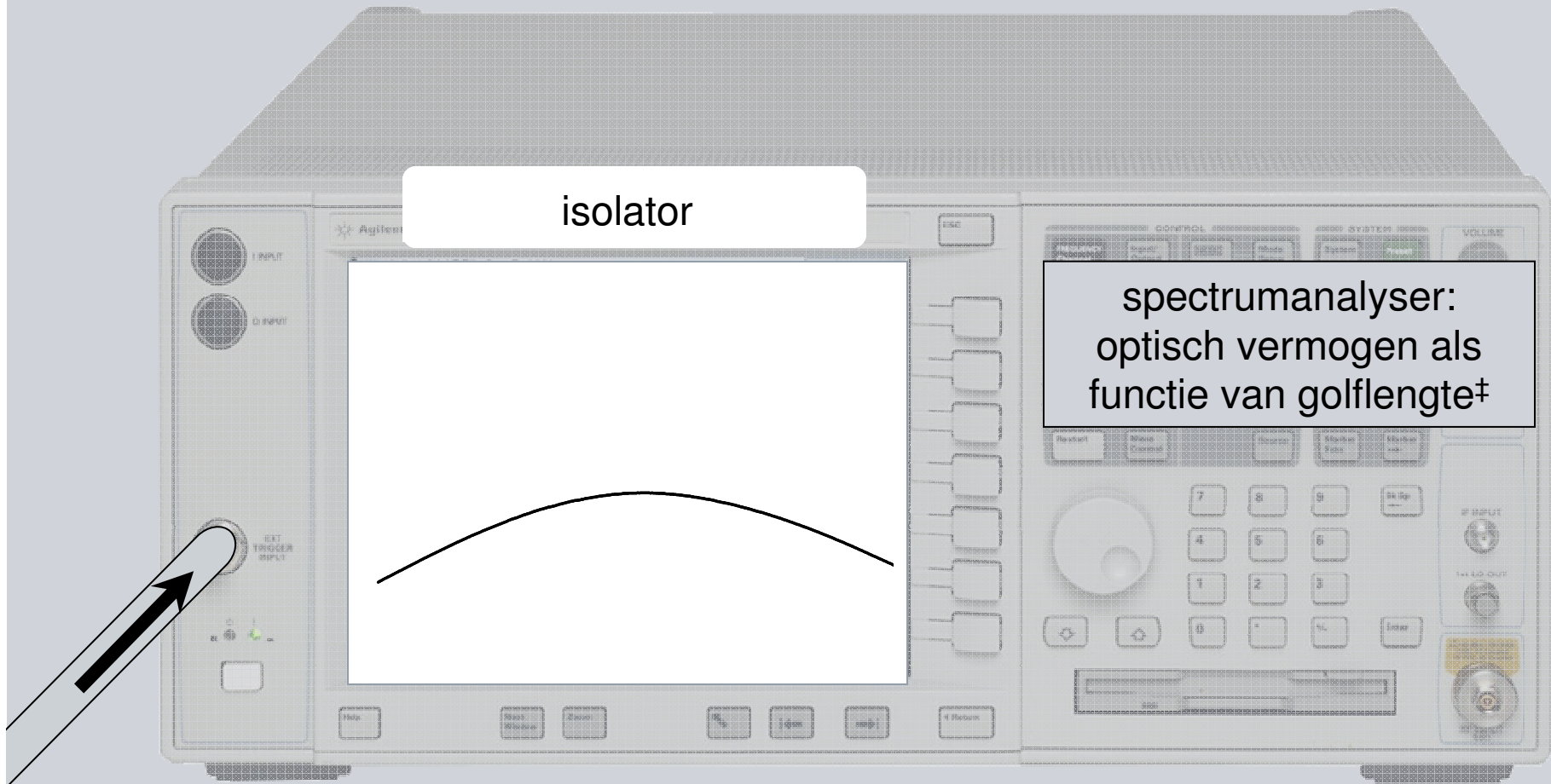
spectrumanalyser:  
optisch vermogen als  
functie van golflengte<sup>‡</sup>



<sup>‡</sup> golflengte = 'kleur', in optische communicatie infrarood licht

# Karakterisatie-opstelling

Experimenteel

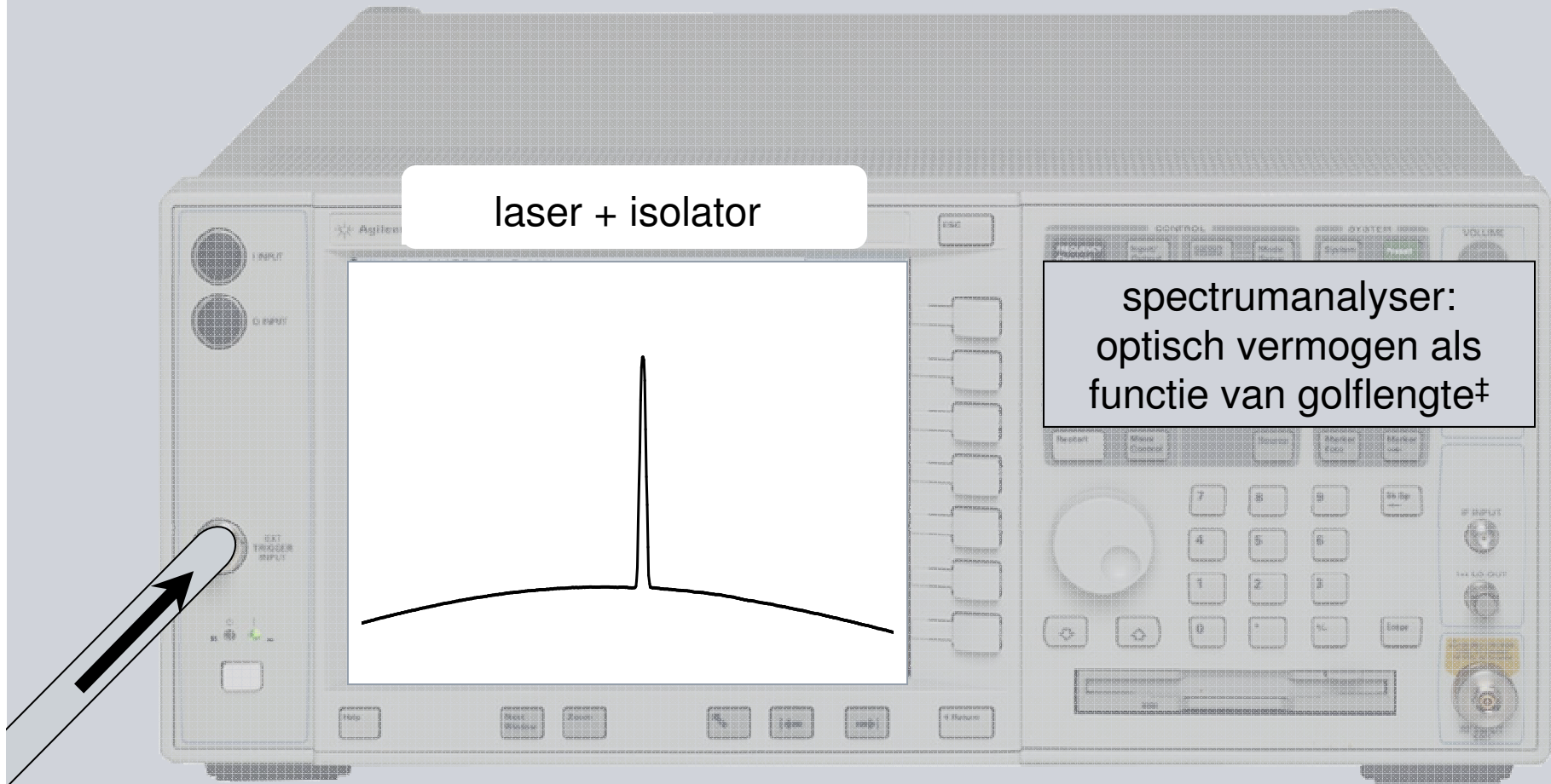


‡ golflengte = 'kleur', in optische communicatie infrarood licht



# Karakterisatie-opstelling

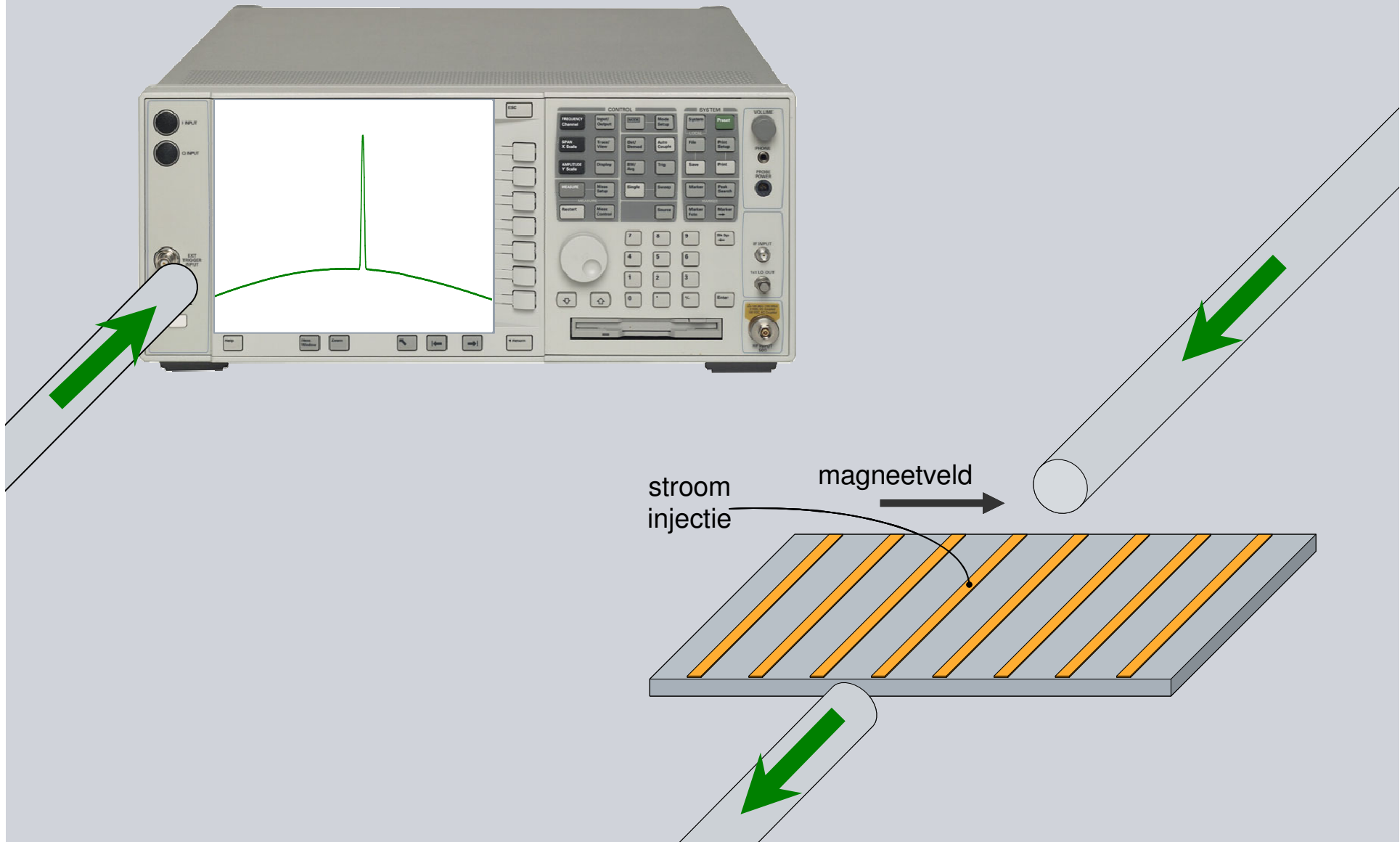
Experimenteel



<sup>‡</sup> golflengte = 'kleur', in optische communicatie infrarood licht

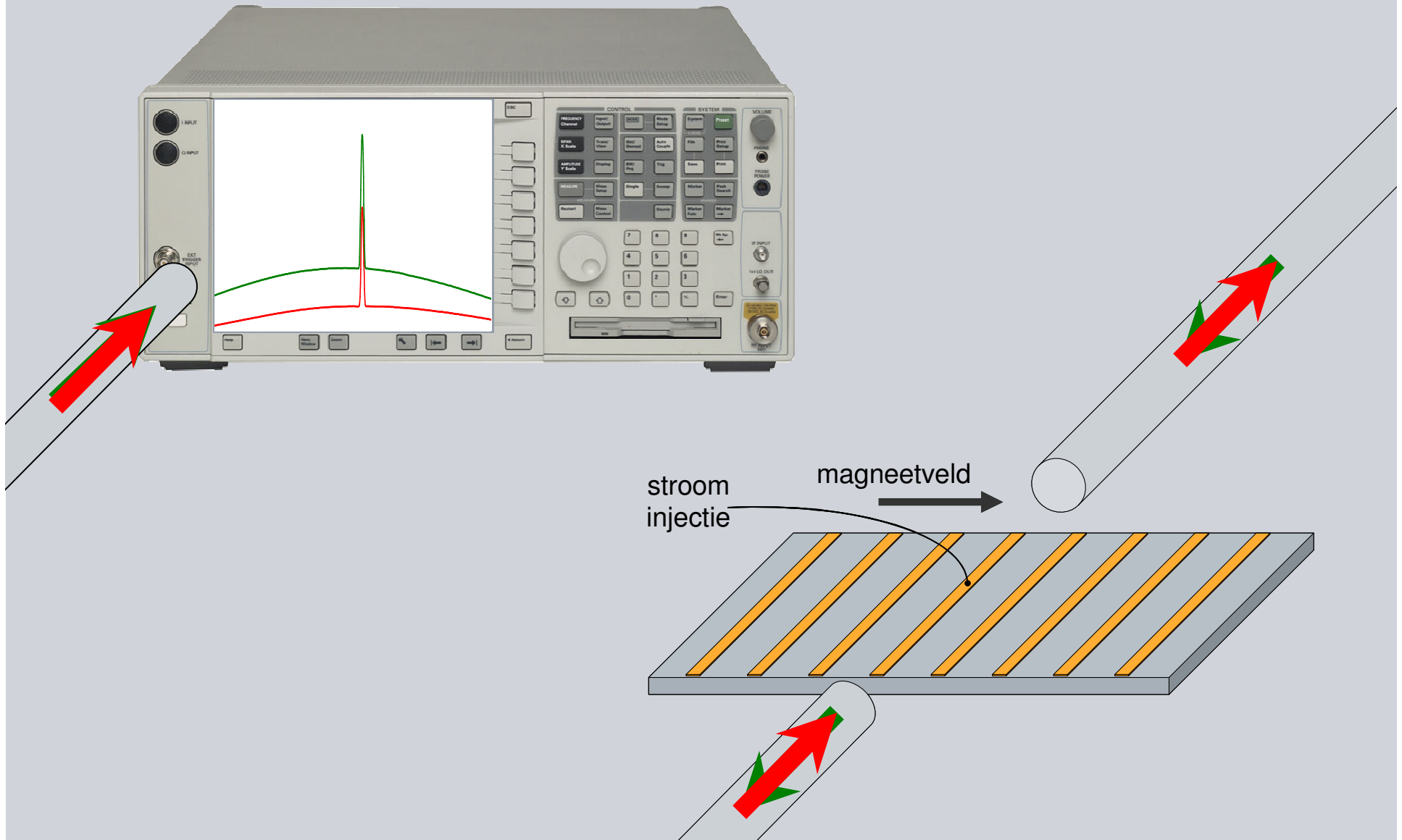
# Karakterisatie-opstelling

Experimenteel



# Karakterisatie-opstelling

Experimenteel

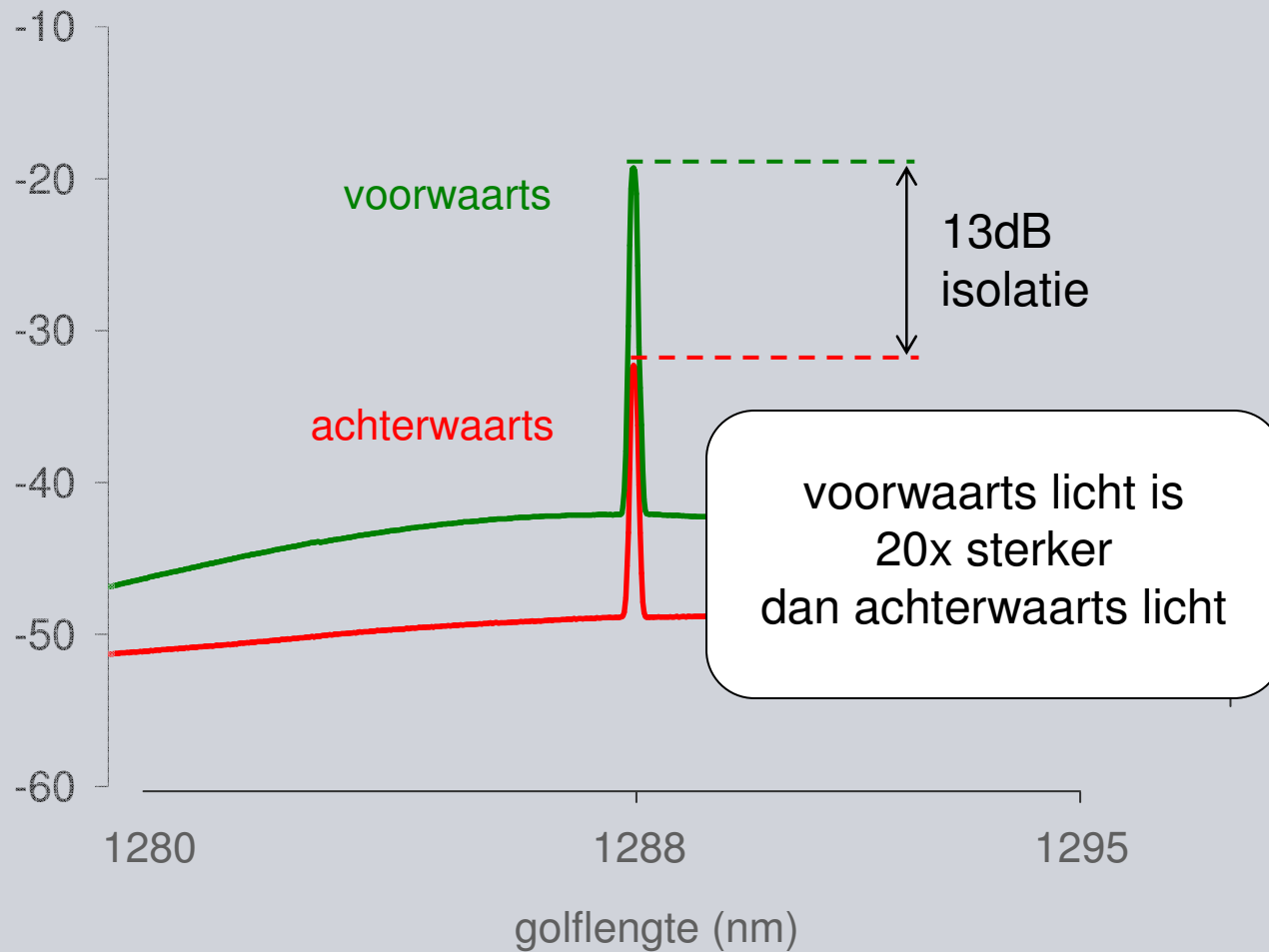


# Sterke experimentele optische isolatie...

Experimenteel

$L = 2.1\text{mm}$ ;  $I = 155\text{mA}$ ;  $P_{\text{laser}} = 0.1\text{mW}$

optische  
intensiteit (dBm)



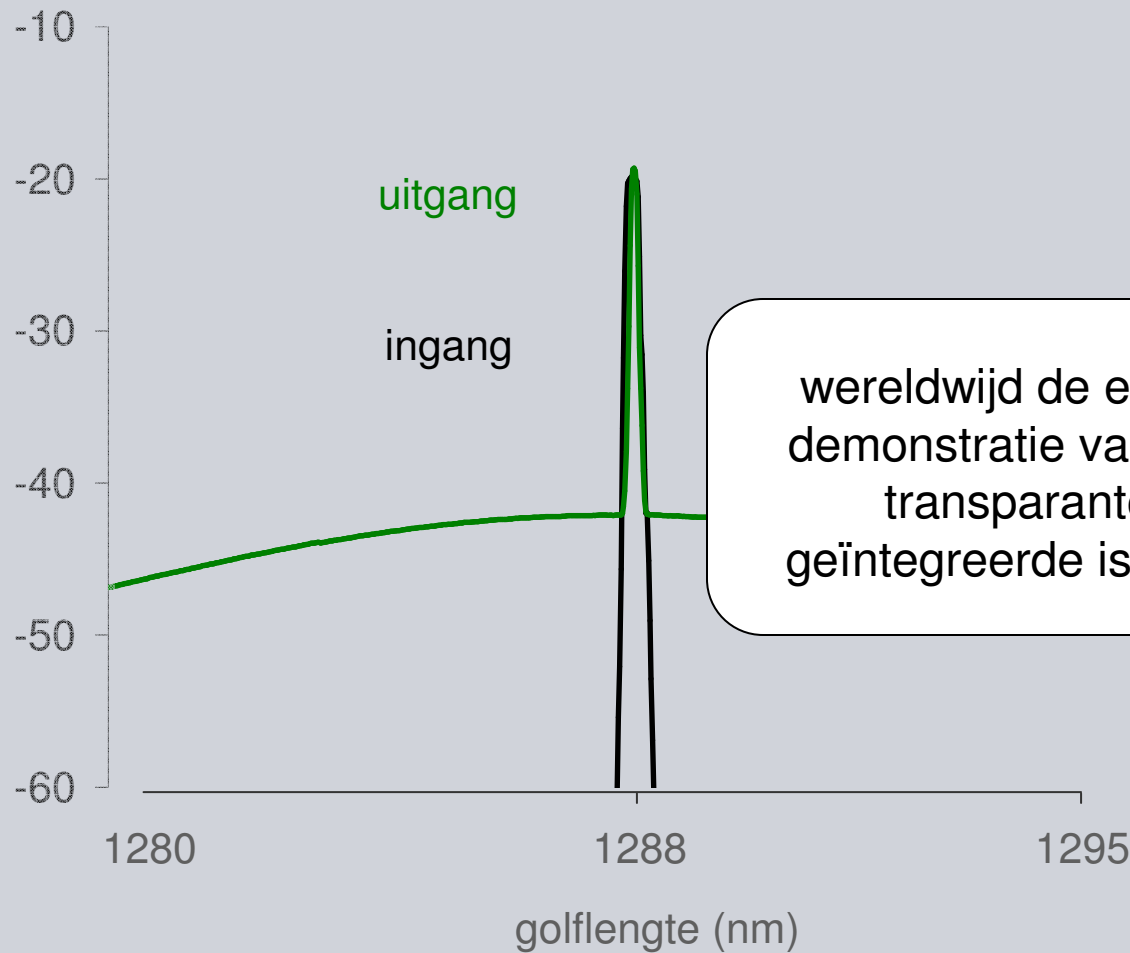
## ... gecombineerd met voorwaartse transparantie

Experimenteel

$L = 2.1\text{mm}$ ;  $I = 155\text{mA}$ ;  $P_{\text{laser}} = 0.1\text{mW}$

optische

intensiteit (dBm)

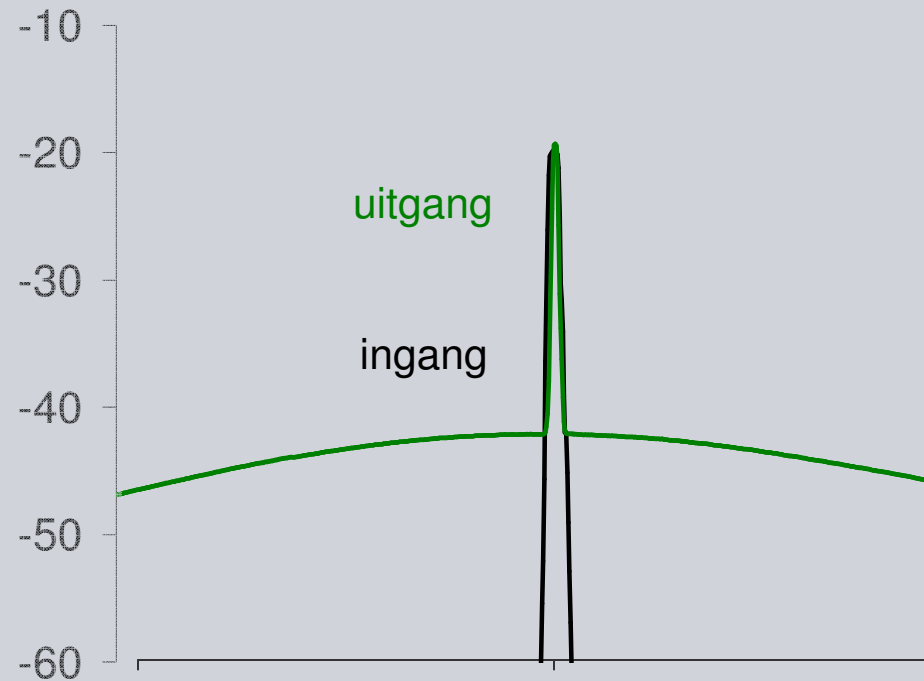


wereldwijd de eerste  
demonstratie van een  
transparante  
geïntegreerde isolator



## Actieve structuur voor passieve isolatorfunctie

Experimenteel



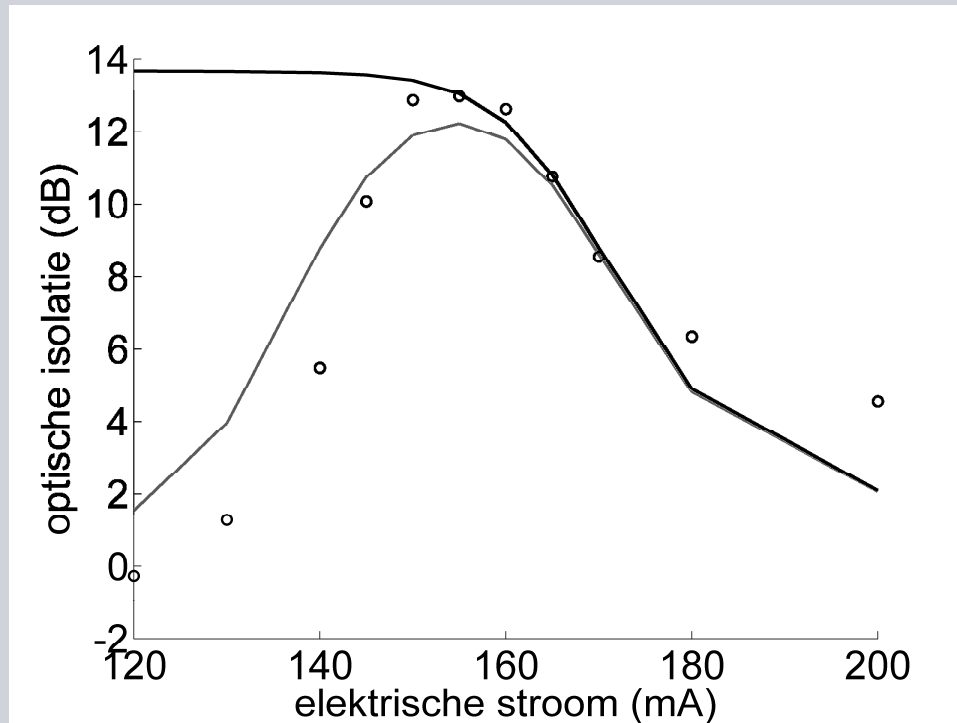
### Spontane emissie

- verlaagt de signaal-ruis verhouding
- heeft een grote invloed op de optische isolatie



## Actieve structuur voor passieve isolatorfunctie

Experimenteel



### Spontane emissie

- verlaagt de signaal-ruis verhouding
- heeft een grote invloed op de optische isolatie

## Theorie

- ontwikkeling van een geoptimaliseerde isolatorstructuur
- fundamentele ontwerpsregels

## Experiment

- eenvoudige fabricage is mogelijk
- wereldprimeur: transparante geïntegreerde isolator
- uitgebreide studie van de invloed van spontane emissie



# Agenda

Inleiding

Doelstelling

Isolatoren voor beginners

Isolatoren voor gevorderden

Geïntegreerde elektromagneet

Conclusie en vooruitblik

## **Geïntegreerde elektromagneet**

Wat is een elektromagneet?

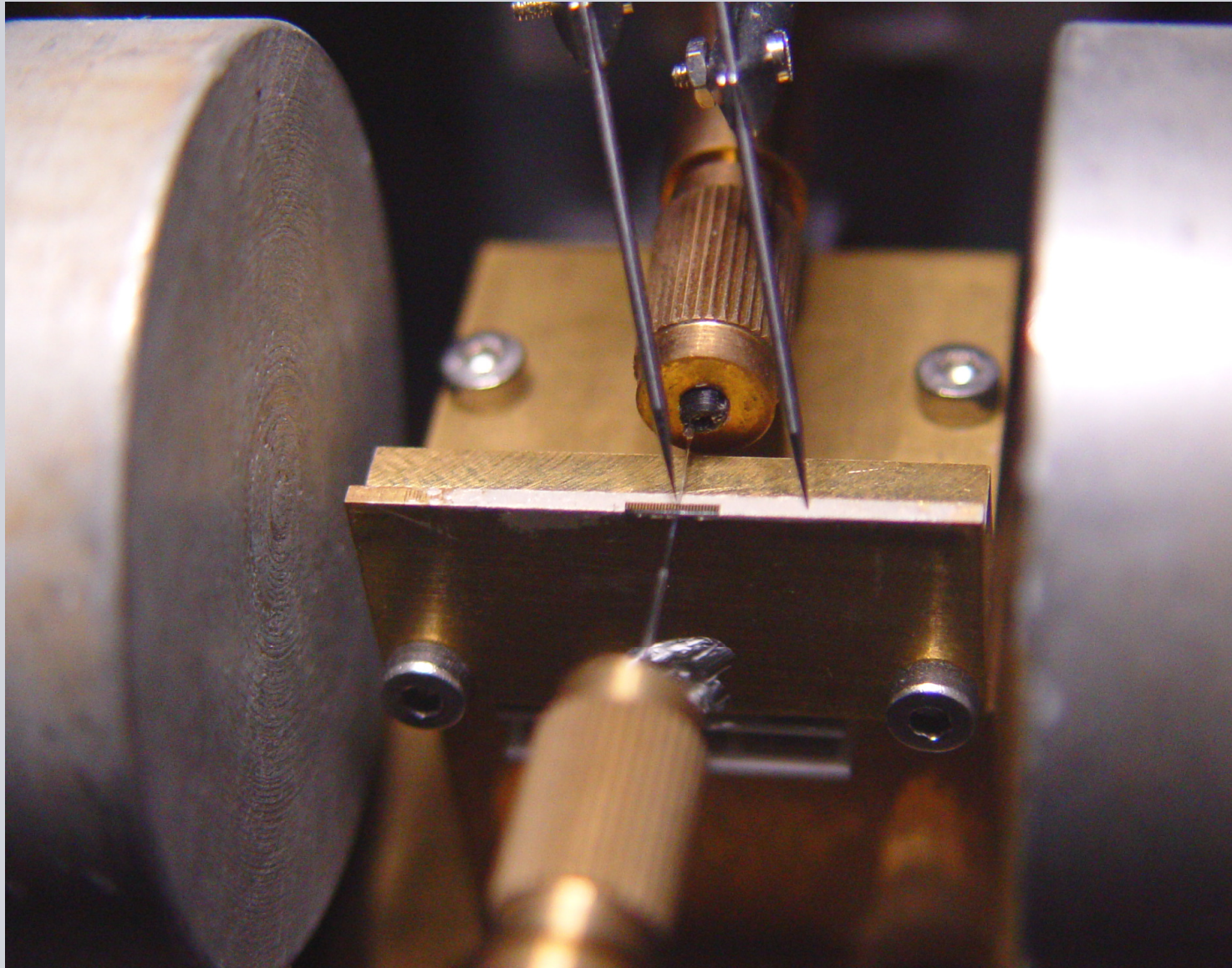
Waarom moeten we een elektromagneet integreren?

Hoe ziet een geïntegreerde elektromagneet eruit?

Werd een geïntegreerde elektromagneet ook effectief gedemonstreerd?

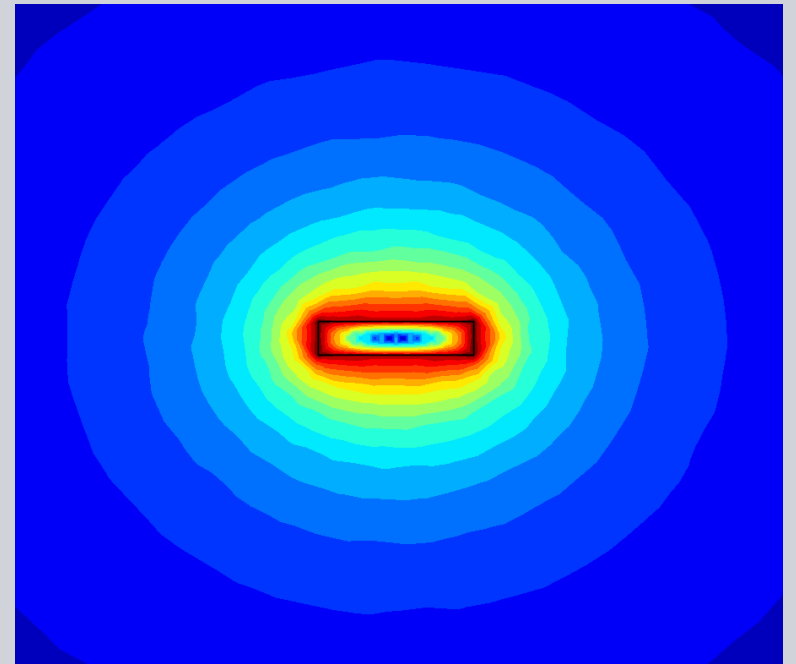
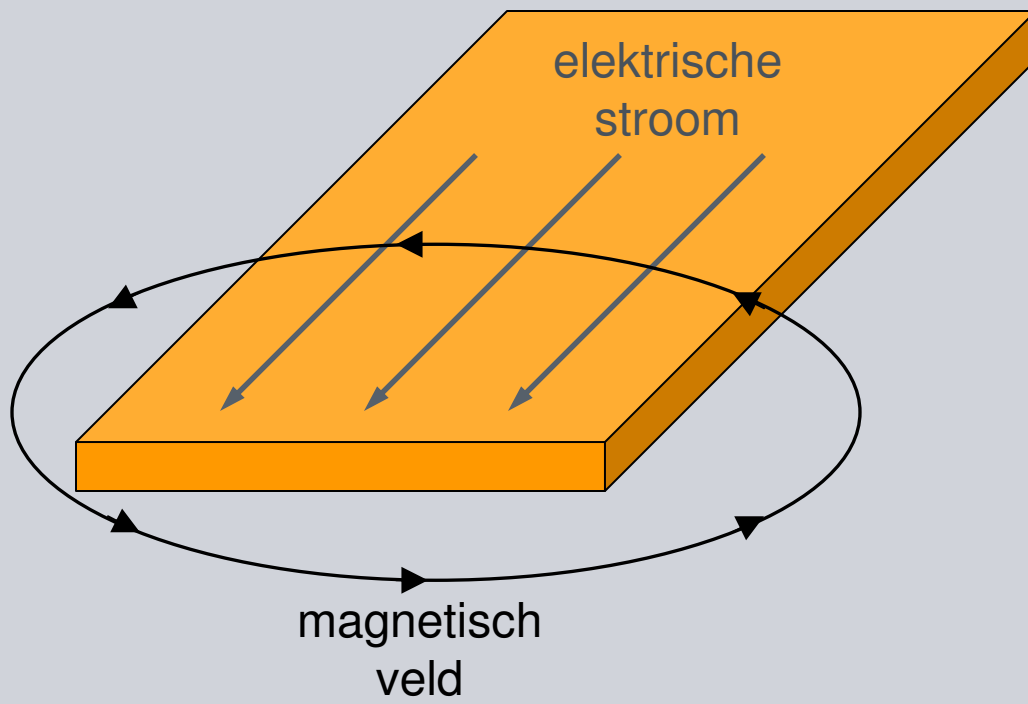
**Een magneet integreren is noodzakelijk**

Noodzaak



# Elektromagneet

Principe

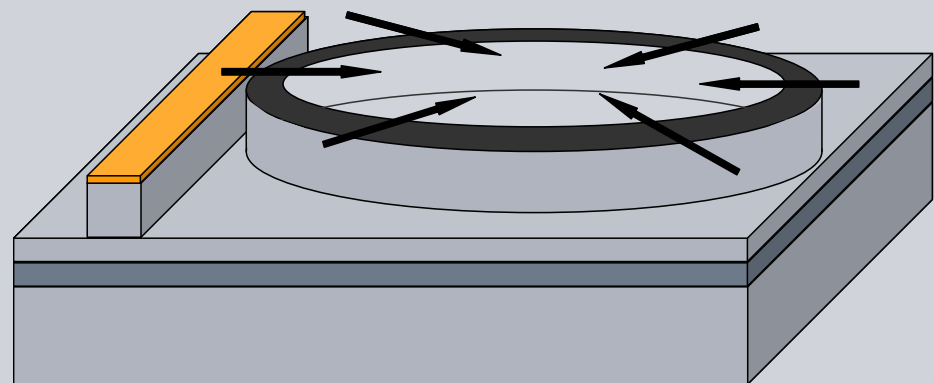
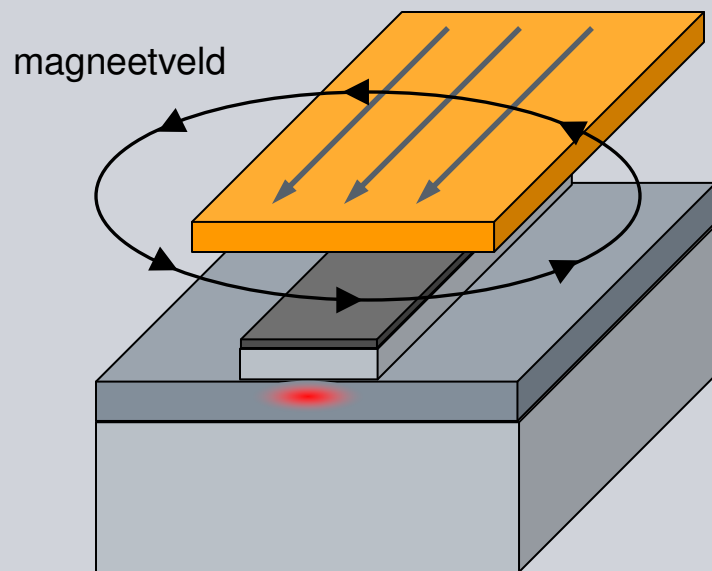


# Geïntegreerde elektromagneet

Principe

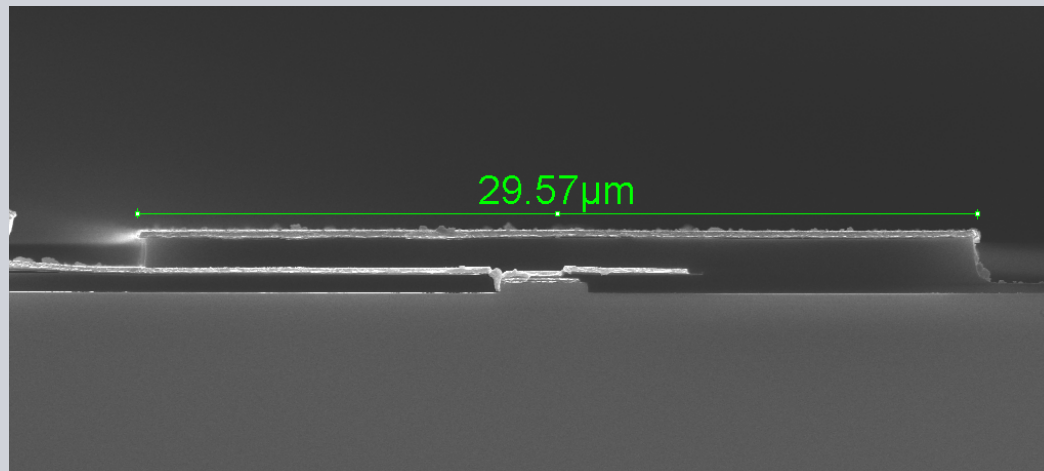
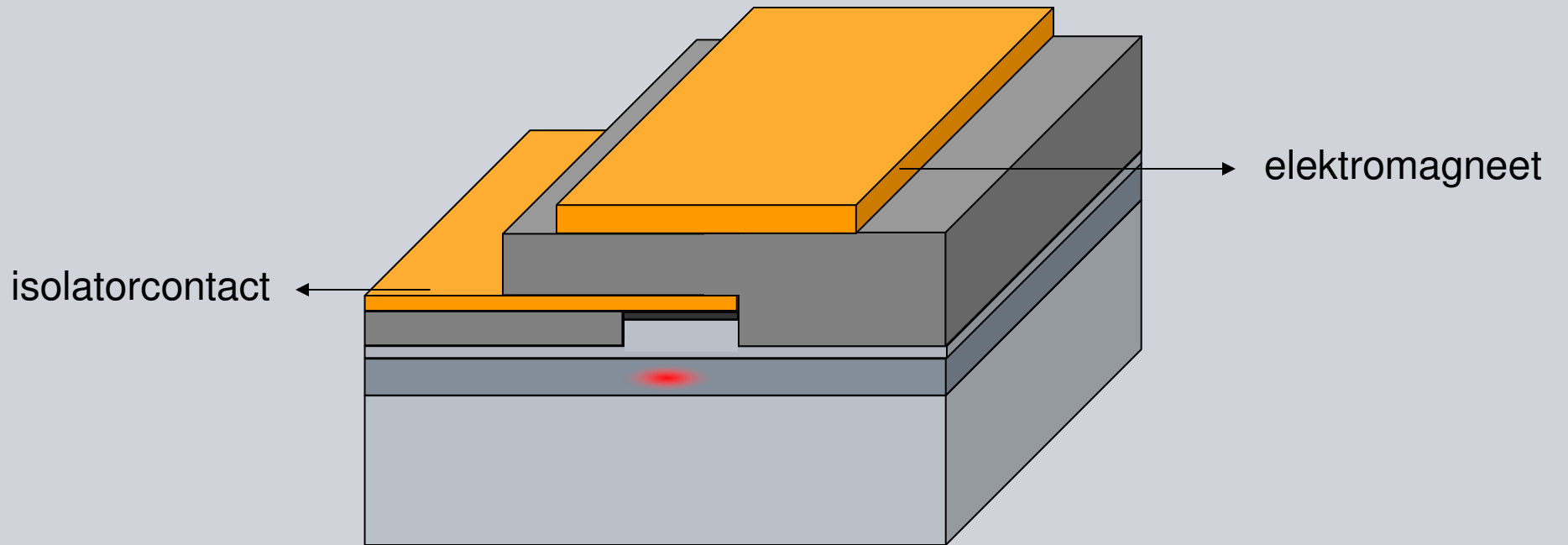
Lateraal magneetveld lokaal aan het ferromagnetisch metaal

- magnetizatie van de isolator
- magnetisch veld genereren met een arbitraire veldrichting



# Fabricage

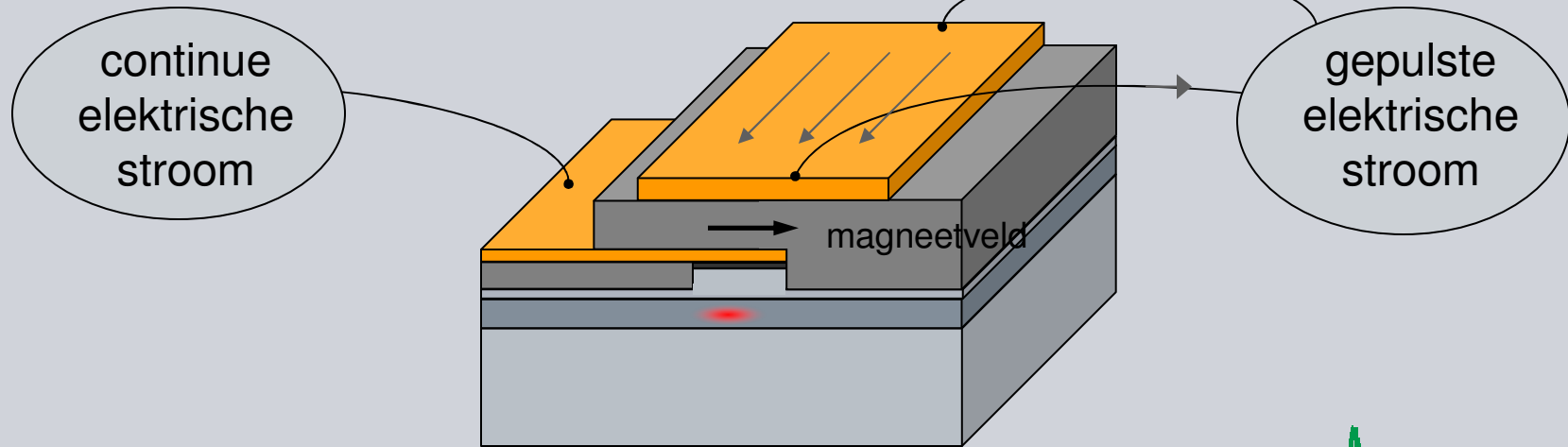
Experimenteel





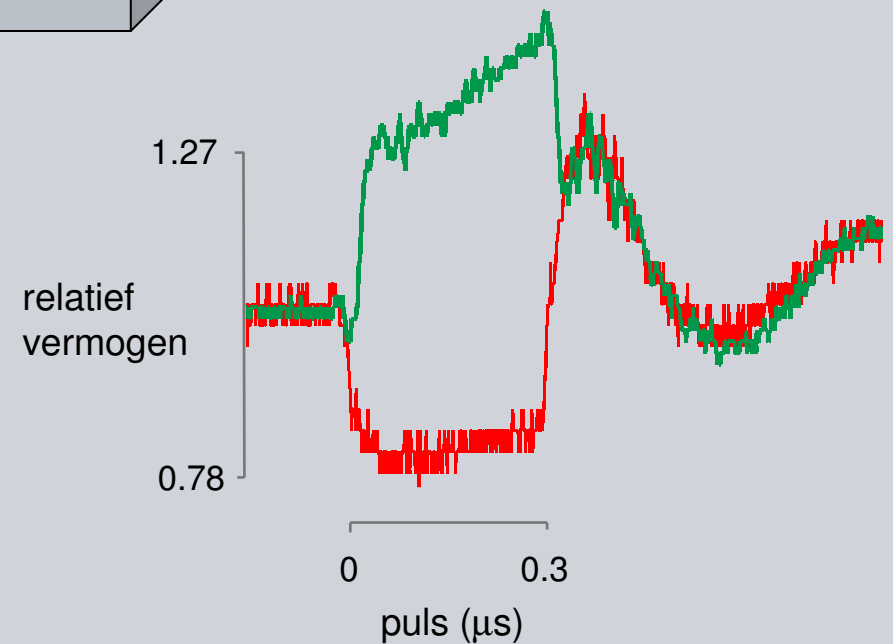
# Demonstratie

Experimenteel



Tijdens de elektrische puls ontstaat een lateraal magneetveld

- magneto-optisch effect
- verschillend vermogen voorwaarts en achterwaarts



# Samenvatting

Geïntegreerde  
elektromagneet

## Elektromagneet

- magnetisch veld opwekken via elektrische stroom

## Geïntegreerde elektromagneet

- magnetizatie van de isolator
- externe magneet onaanvaardbaar groot
- multifunctionele configuratie

## Experimentele resultaten

- succesvolle fabricage
- demonstratie van het concept



# Agenda

Inleiding

Doelstelling

Isolatoren voor beginners

Isolatoren voor gevorderden

Geïntegreerde elektromagneet

Conclusie en vooruitblik

## Conclusie en vooruitblik

- De ontwikkeling van een geïntegreerde optische isolator is een noodzaak om te komen tot een volledig optische telecomnetwerk
- Een optische isolator is gebaseerd op de interactie van licht met gemagnetizeerde materie
- Een geïntegreerde isolator van wereldniveau is ontwikkeld, op basis van een grondige theoretische studie
- Een geïntegreerde elektromagneet lost het probleem van magnetisatie van de isolator op
- Mogelijkheden voor significante verbetering werden geïdentificeerd