

Lys fra silicium-nanopartikler

Fysiklærererdag

22. januar 2010

Brian Julsgaard

Oversigt

- Hvorfor silicium?
- Hvorfor lyser nano-struktureret silicium?
- Hvad er en nanokrystal og hvordan laver man den?
- Hvad studerer vi eller vil vi gerne studere på IFA?
 - Fundamental forståelse af nanokrystaller.
 - Fremtidens solceller med nanokrystaller.
 - Sjældne jordarter og nanokrystaller.

Silicium

Billigt materiale, 25.7% af Jordens skorpe består af silicium.

Elektriske egenskaber kan modificeres/kontrolleres.

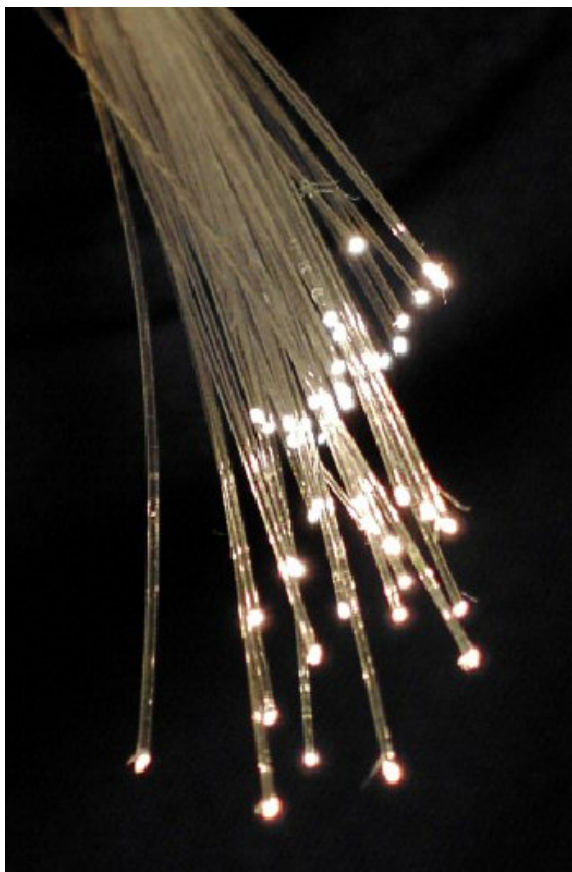
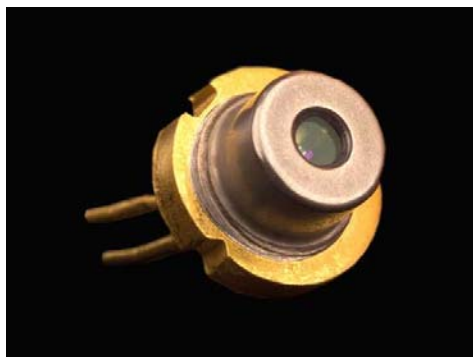
Basis for elektronik-industrien

Men, silicium kan ikke udsende lys...



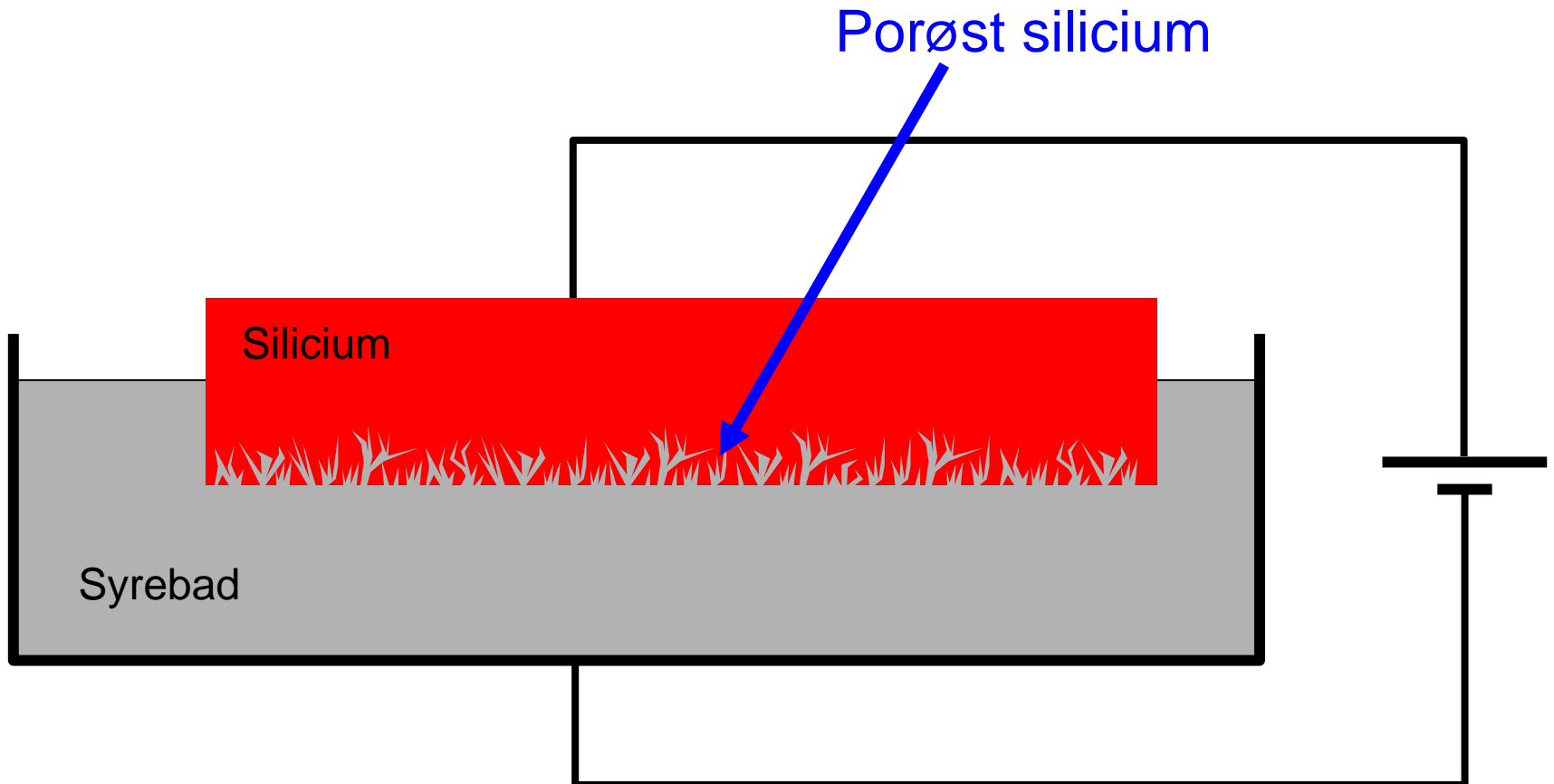
Silicium

Lys er vigtigt i mange sammenhænge for elektroniske produkter:

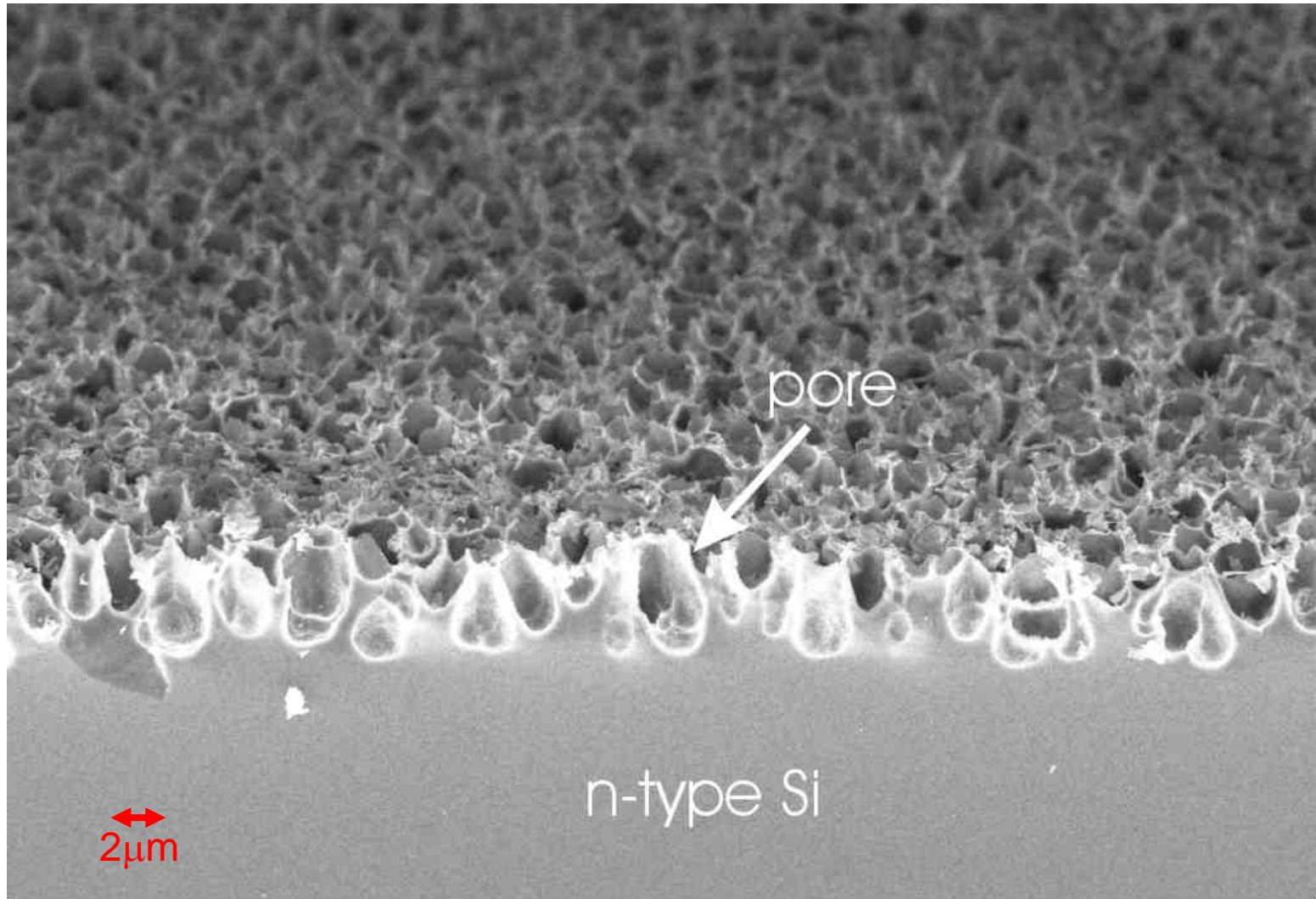


Lys fra silicium

Leigh Canham, 1990:



Lys fra silicium



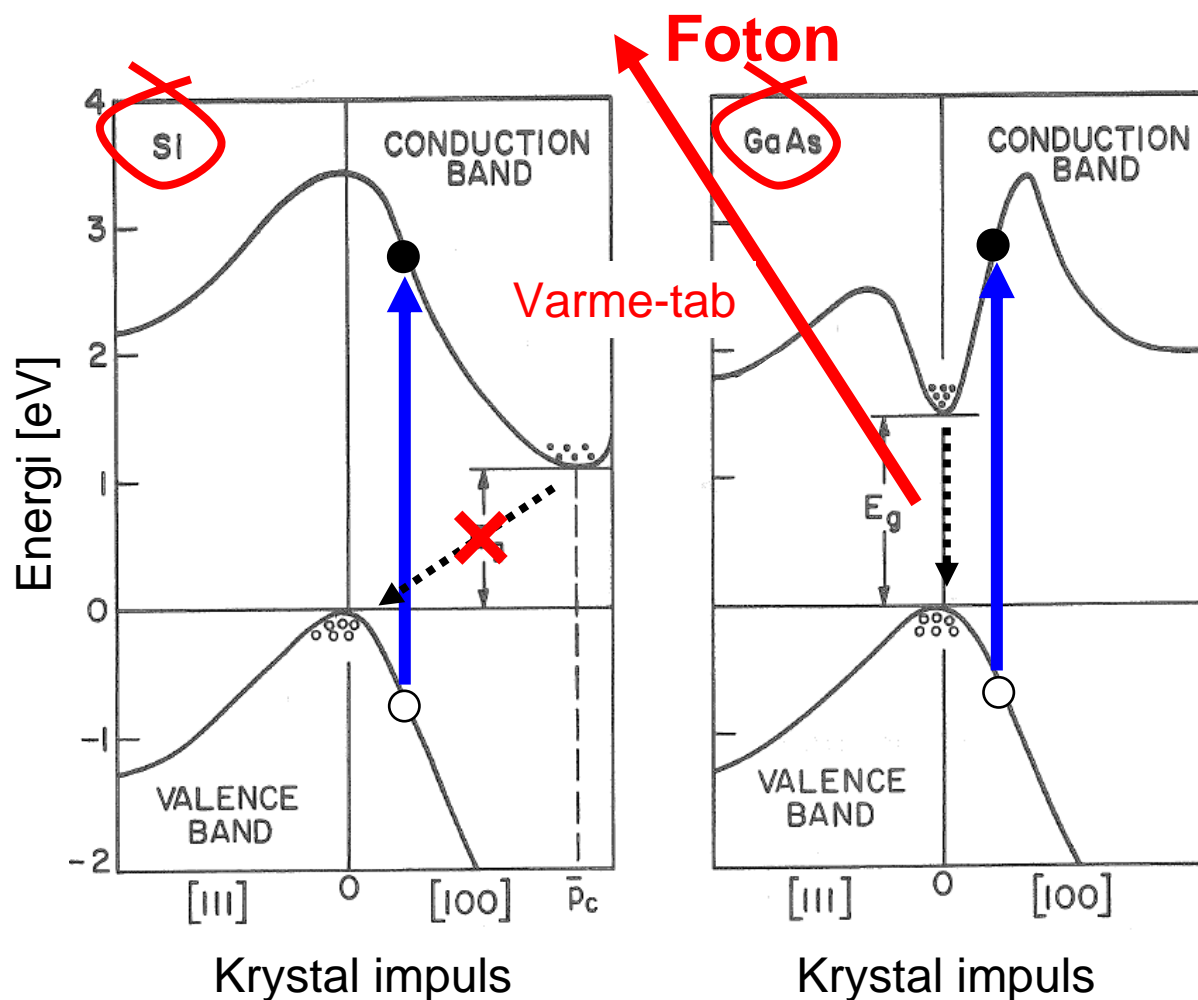
Porøst silicium – kan godt udsende lys.

Hvorfor lyser normalt silicium ikke?

Forklaring i energi-bånd-strukturen:

Vekselvirkning med lys kræver impuls- og energi-bevarelse.

Båndstrukturen er en makroskopisk egenskab af materialet.



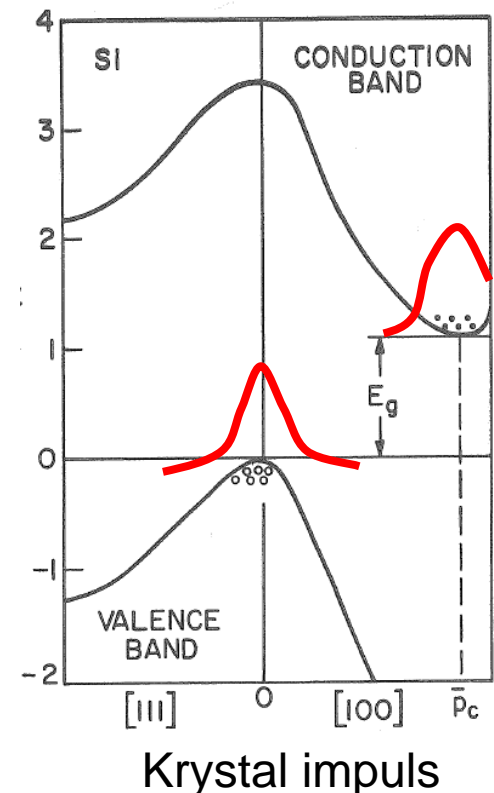
Hvorfor lyser nanostruktureret silicium?

- 1) Materialet er ikke makroskopisk.
Bånd-struktur-argument virker ikke mere...

2) Heisenbergs usikkerhedsprincip: $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$

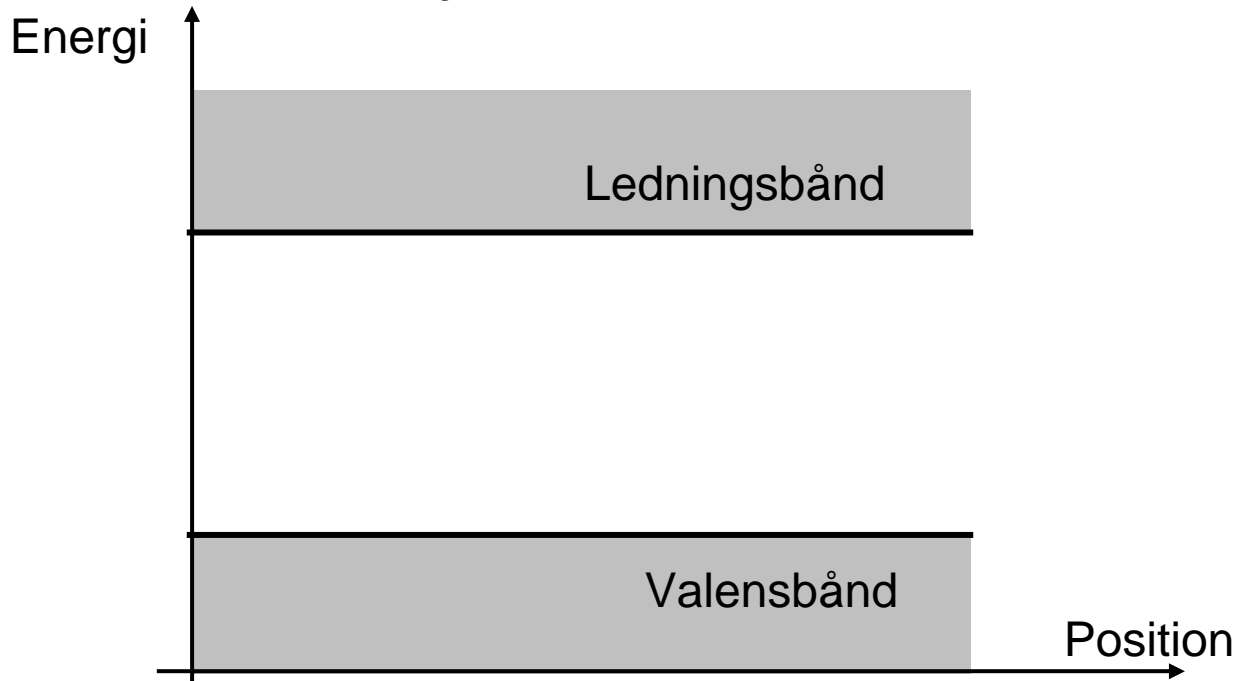
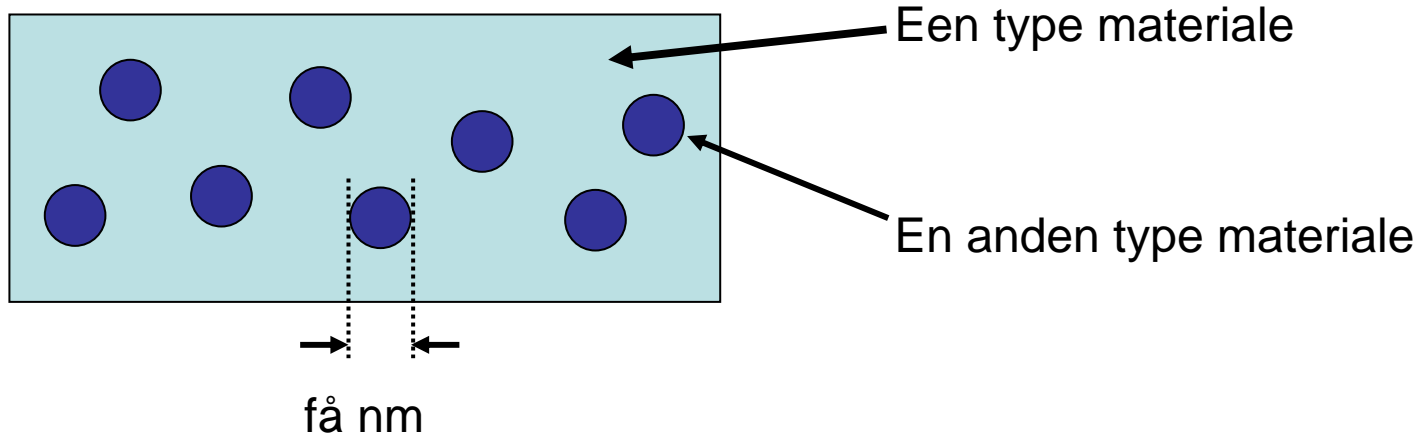
I en nanokrystal:

- 1) Position af et elektron/hul-par er velbestemt.
- 2) Impulsen er IKKE velbestemt, men udgør en bred fordeling.
- 3) Lettere at opnå energi- og impuls-bevarelse!



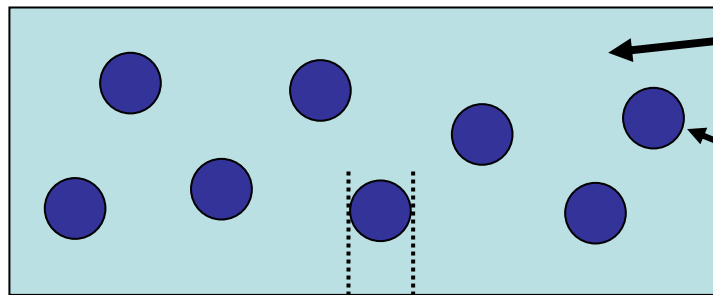
Fabrikation af nanokrystaller

Hvad er en nanokrystal?



Fabrikation af nanokrystaller

Hvad er en nanokrystal?

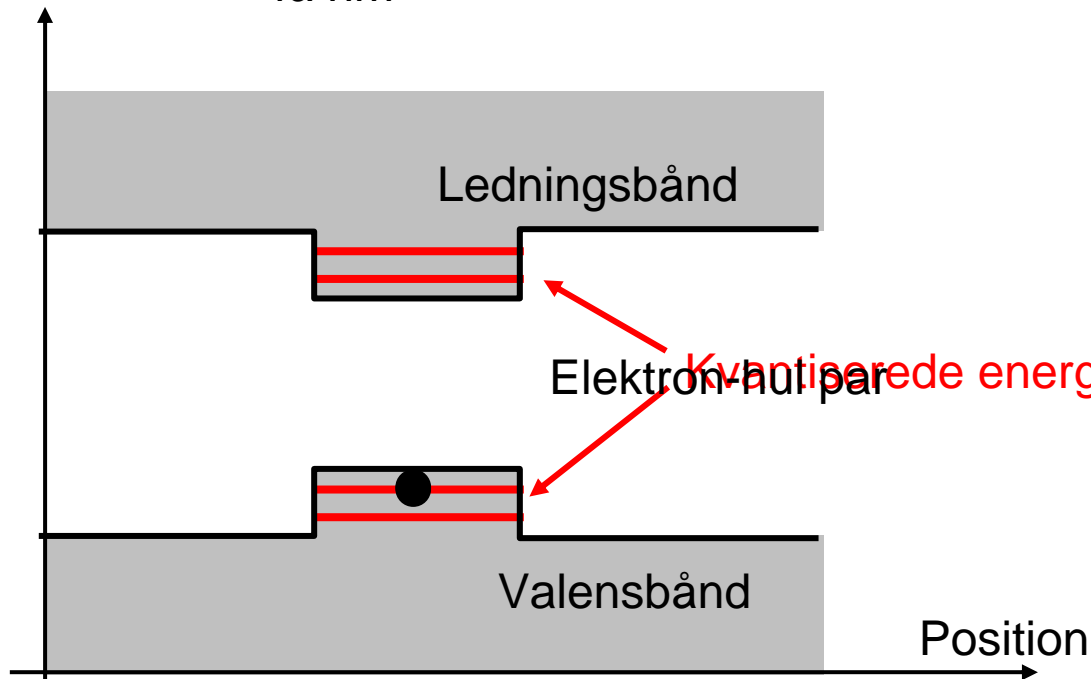


Een type materiale
f.eks. kvarts (SiO_2)

En anden type materiale
f.eks. Si

få nm

Energi



Ledningsbånd

Elektron-hul par

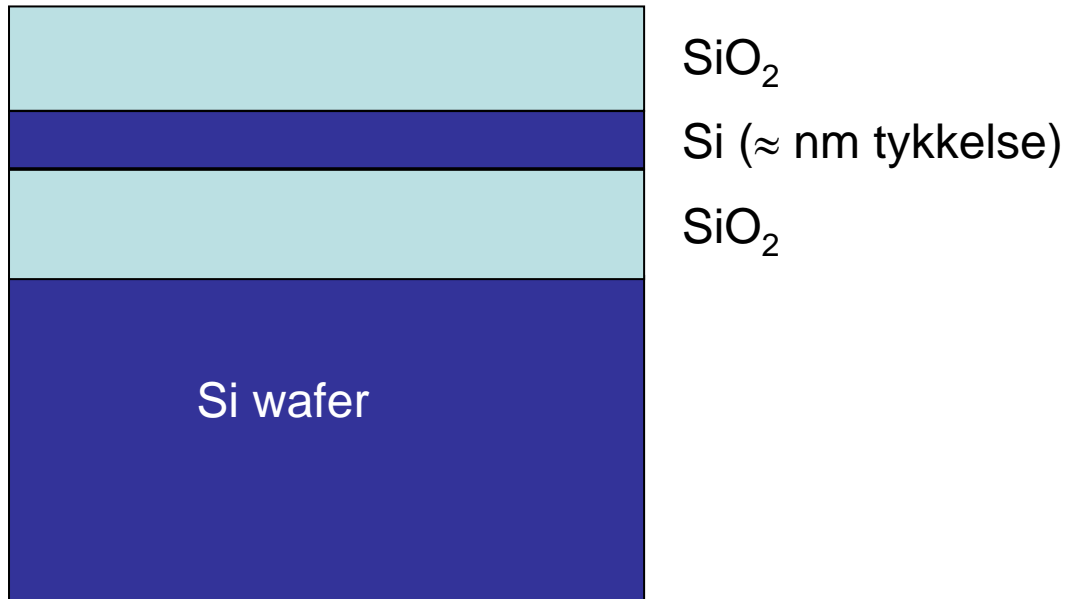
Kvantiserede energiniveauer

Valensbånd

Position

Fabrikation af nanokrystaller

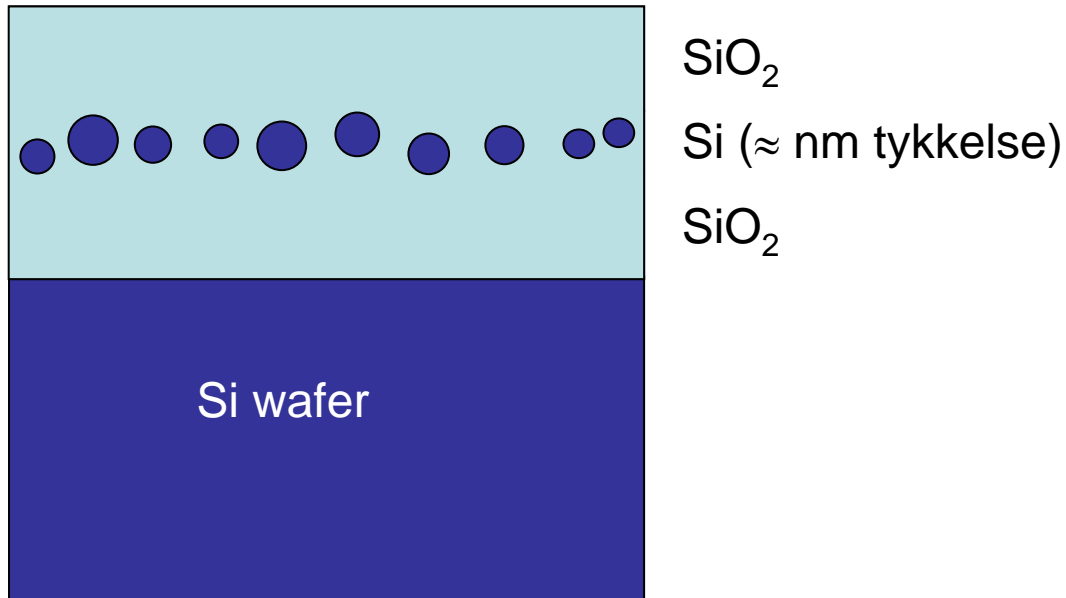
Nanokrystal fabrikation:



Fabrikation af nanokrystaller

Nanokrystal fabrikation:

Varmebehandling (typisk 1100 °C)



Fundamental forståelse af nanokrystaller

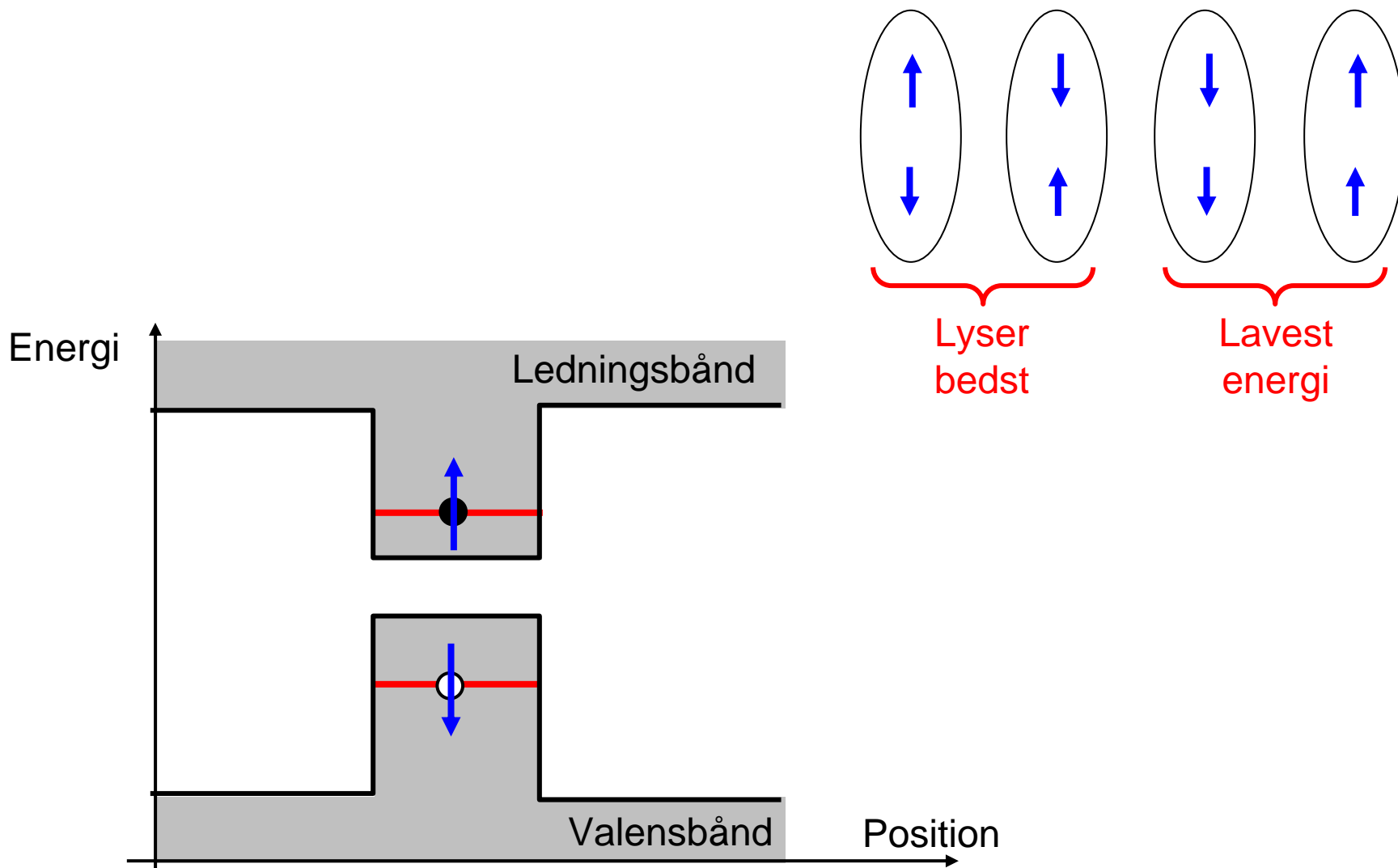
Mange vigtige detaljer er studeret gennem tiden:

- Hvorfor lyser nanokrystallerne egentligt?
- Hvad sker der når nanokrystallerne bliver mindre?
- Hvor effektivt lyser nanokrystallerne?
- Hvad kan det udsendte lys fortælle om nanokrystallernes interne struktur og dynamik?

Eksempel på tidsopløste metoder...

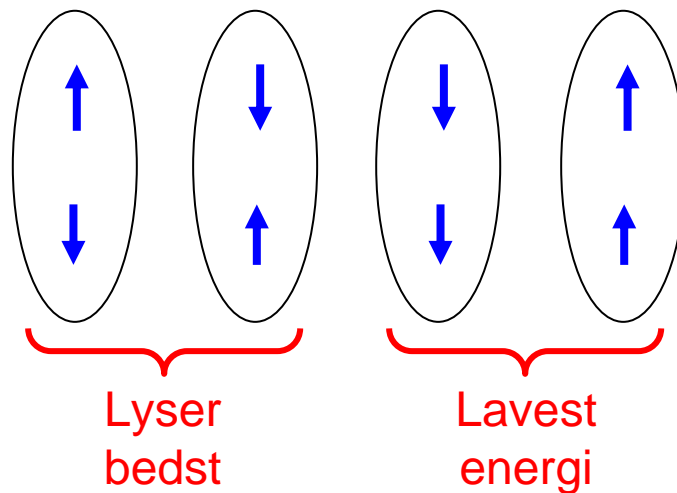
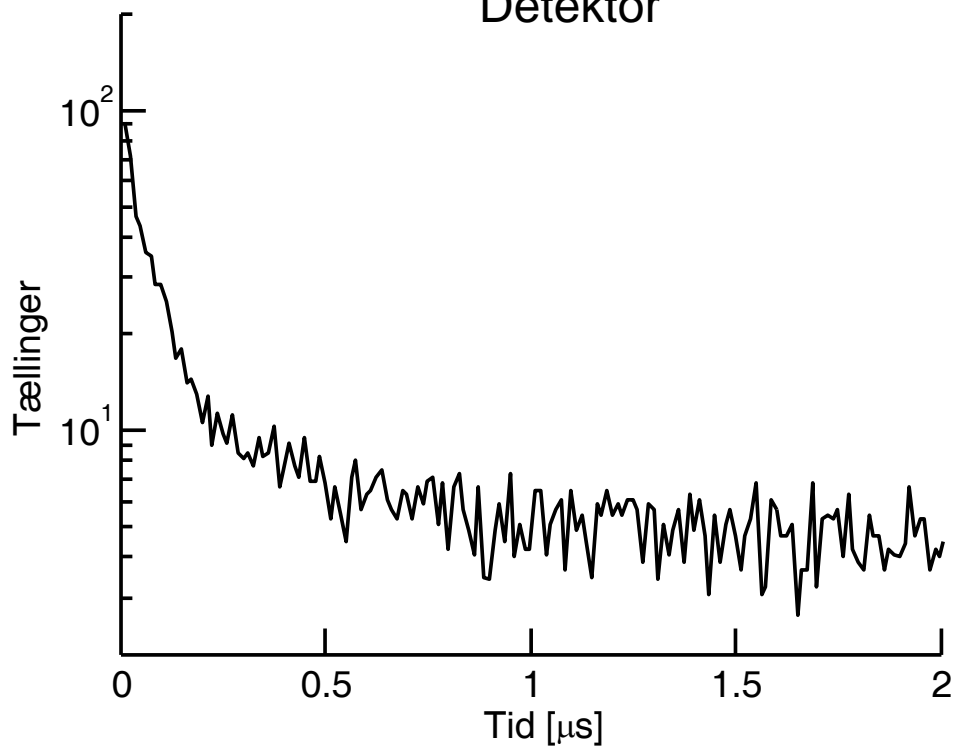
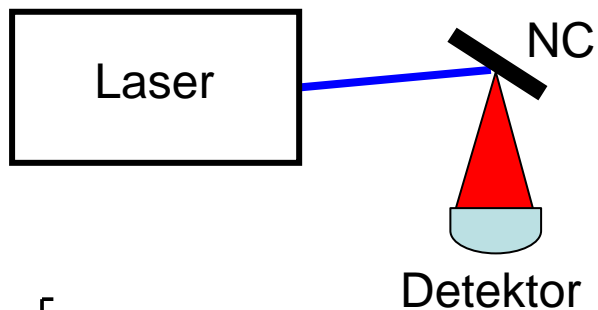
Spin-dynamik i nanokrystaller

Elektronerne og hullerne har spin:



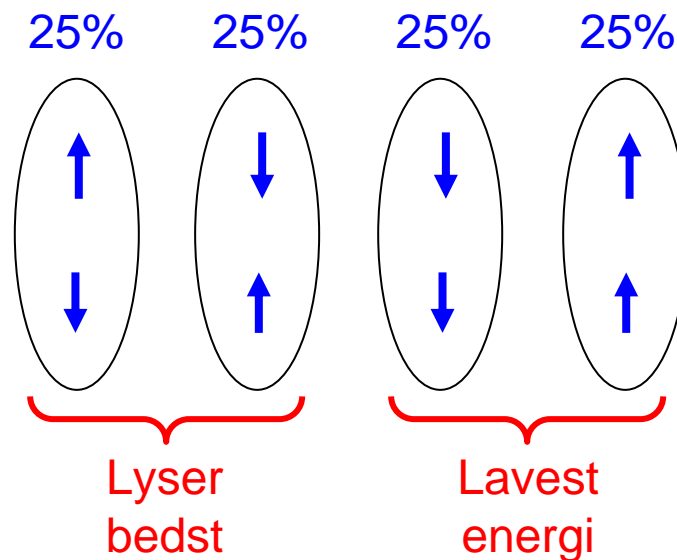
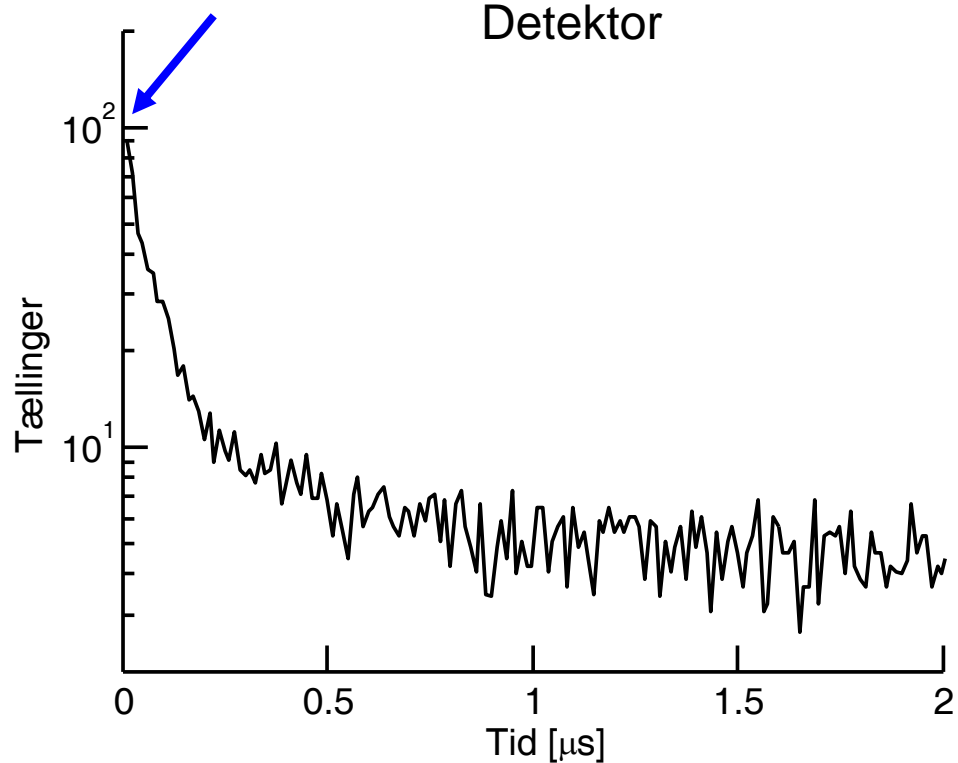
Spin-dynamik i nanokrystaller

Detekter det udsendte lys:



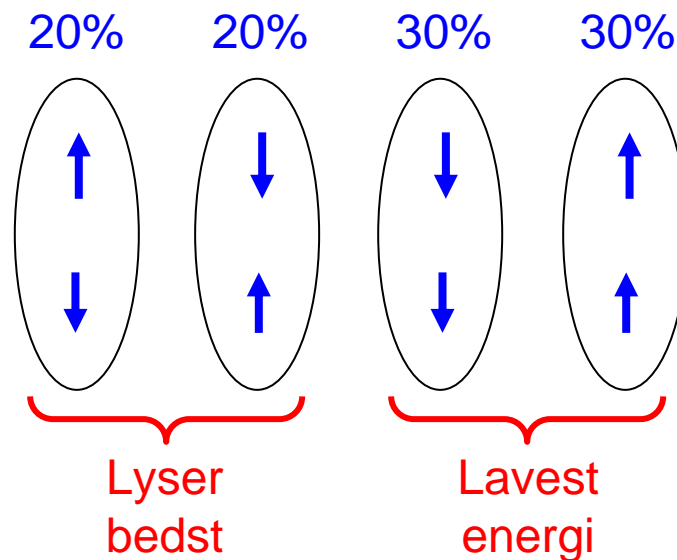
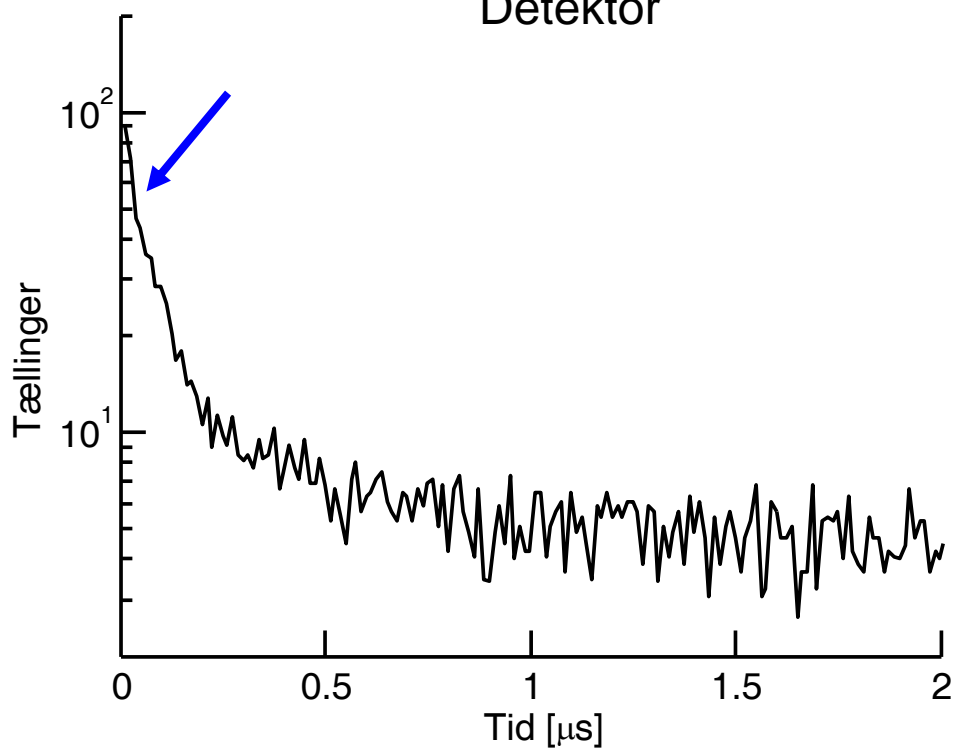
Spin-dynamik i nanokrystaller

Detekter det udsendte lys:



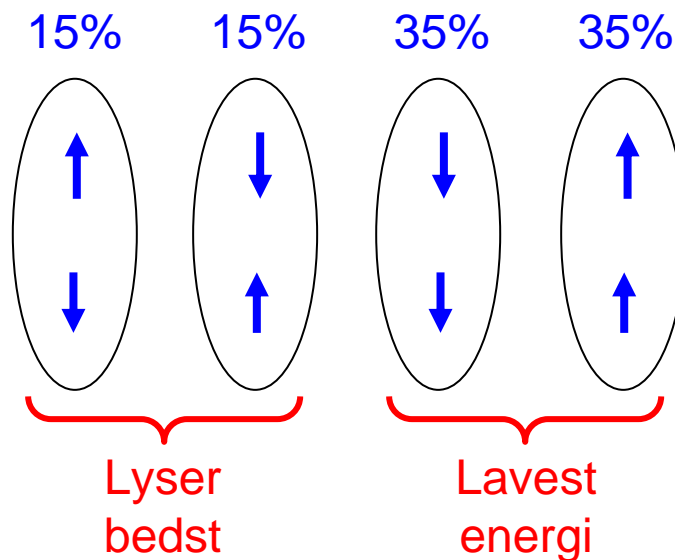
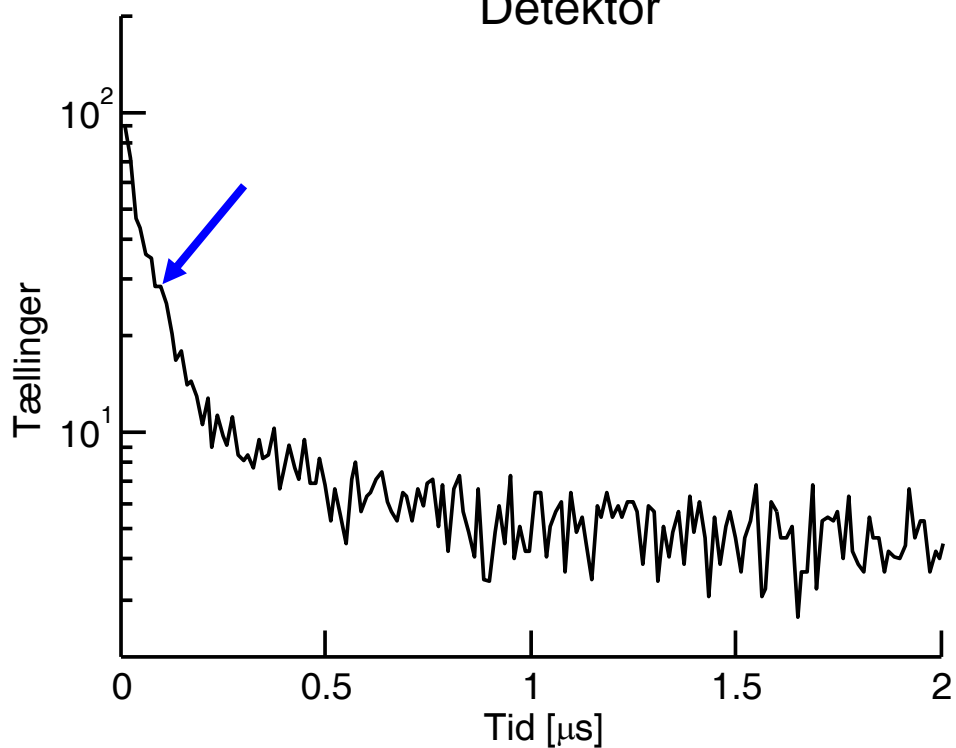
Spin-dynamik i nanokrystaller

Detekter det udsendte lys:



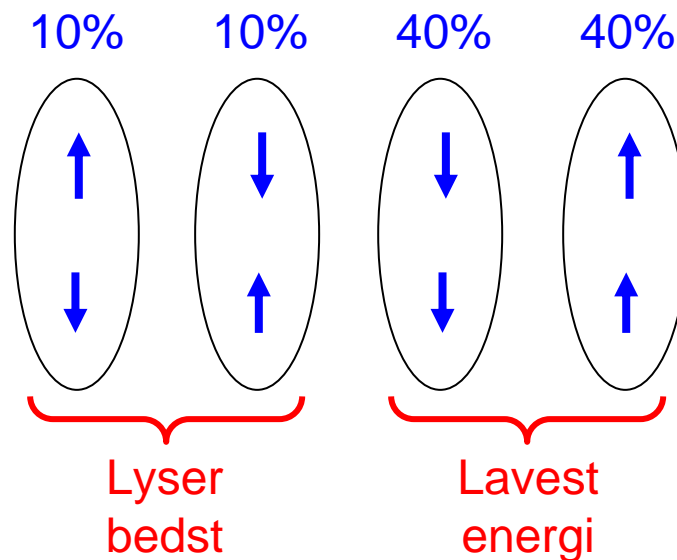
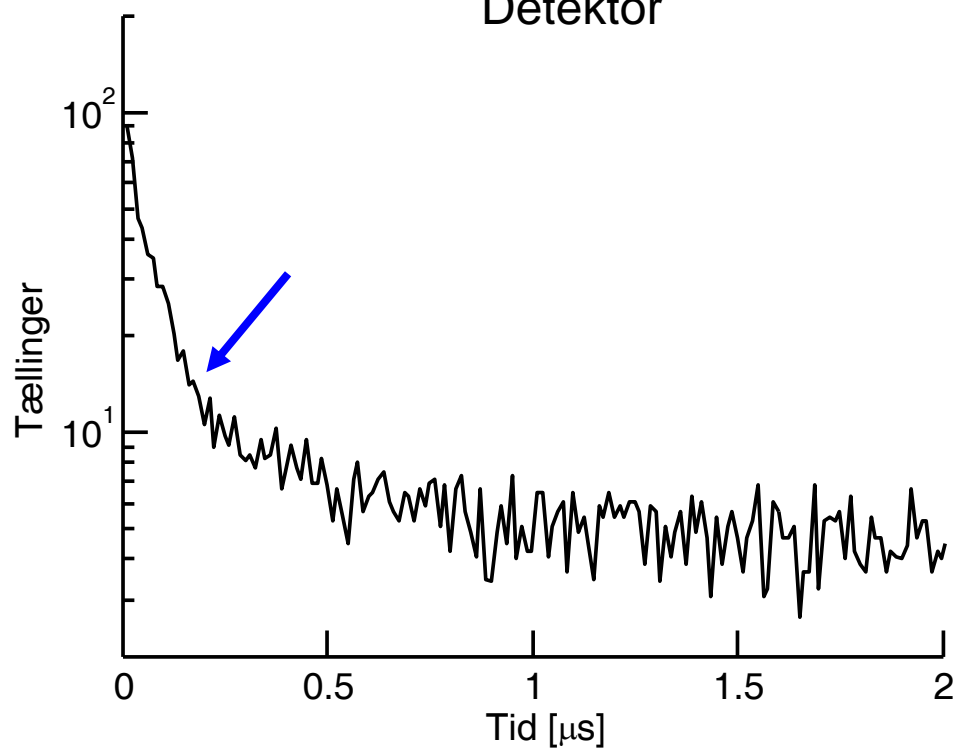
Spin-dynamik i nanokrystaller

Detekter det udsendte lys:



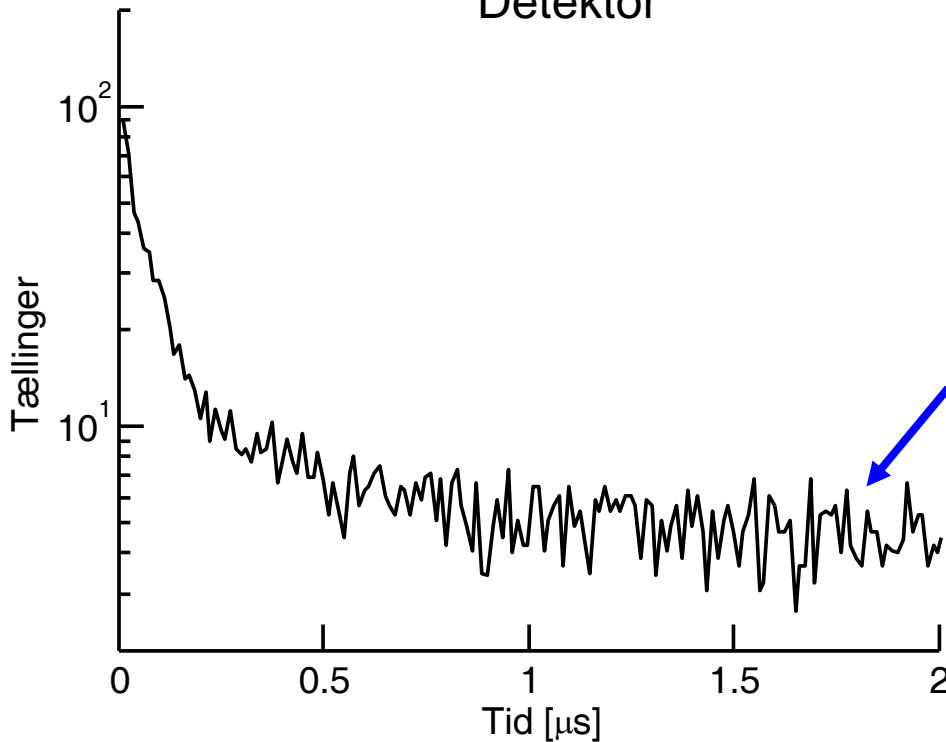
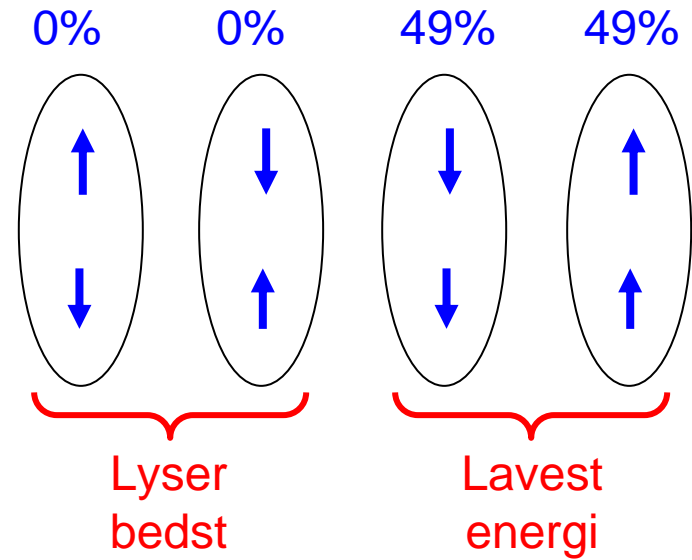
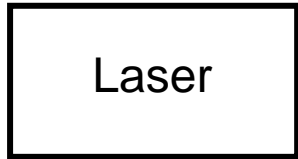
Spin-dynamik i nanokrystaller

Detekter det udsendte lys:



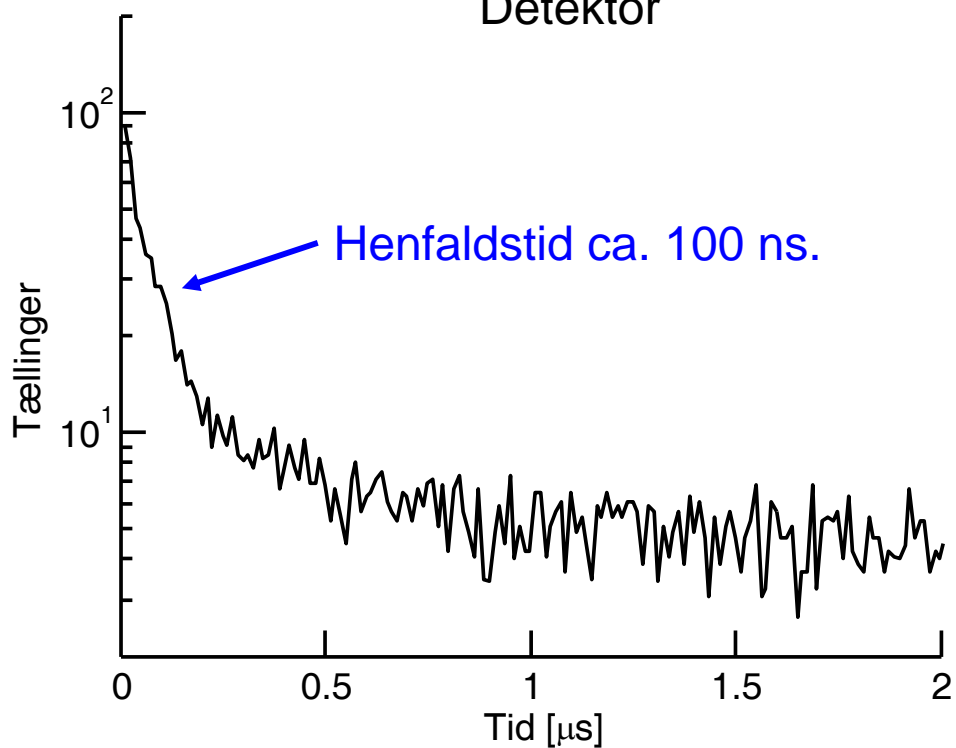
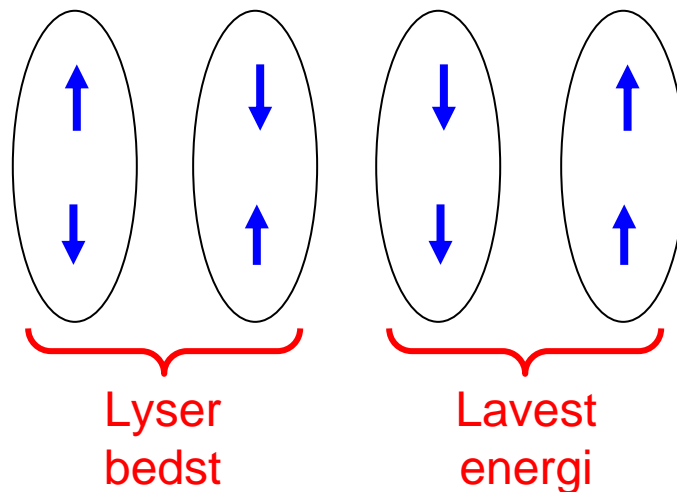
Spin-dynamik i nanokrystaller

Detekter det udsendte lys:



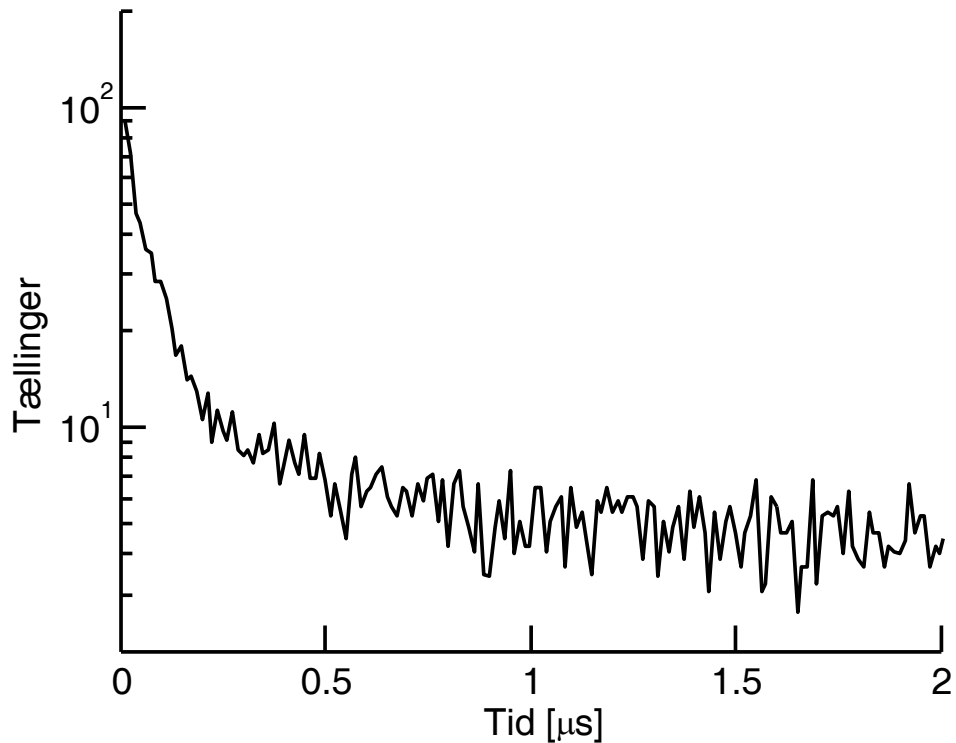
Spin-dynamik i nanokrystaller

Detekter det udsendte lys:



Spin-dynamik i nanokrystaller

- Tidsopløste metoder kan adskille forskellige processer.
- Spin-dynamik er vigtigt for tolkningen af henfaldskurver.
- Spin-dynamik er vigtigt for forståelsen af vekselvirkningen mellem nanokrystallerne og det omgivende miljø.



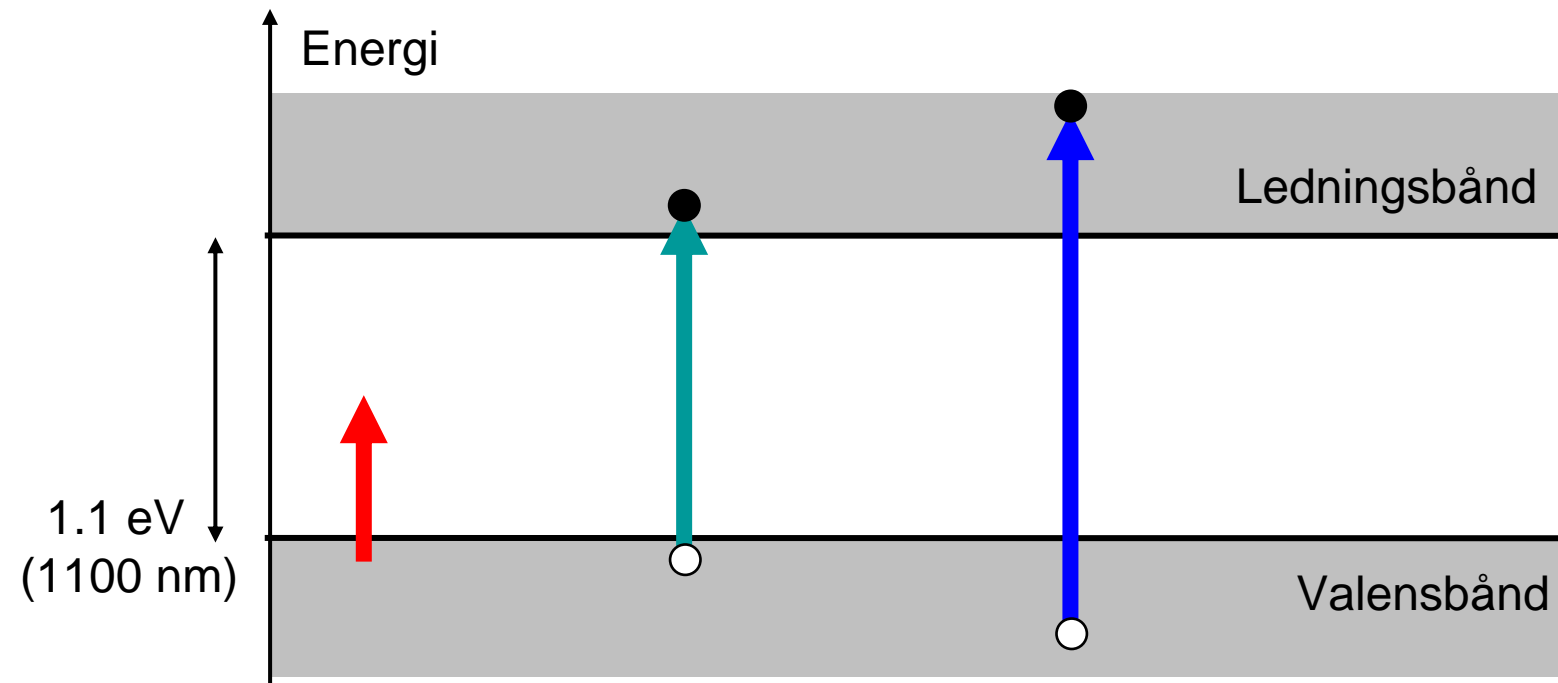
Fremtidens solceller

Solceller i praksis lavet af halvleder-materialer – f.eks. silicium.

IR lys absorberes ikke.

Lys lidt under 1100 nm absorberes i tyk solcelle.

Korte bølgelængder absorberes effektivt, men giver varmetab.



Fremtidens solceller

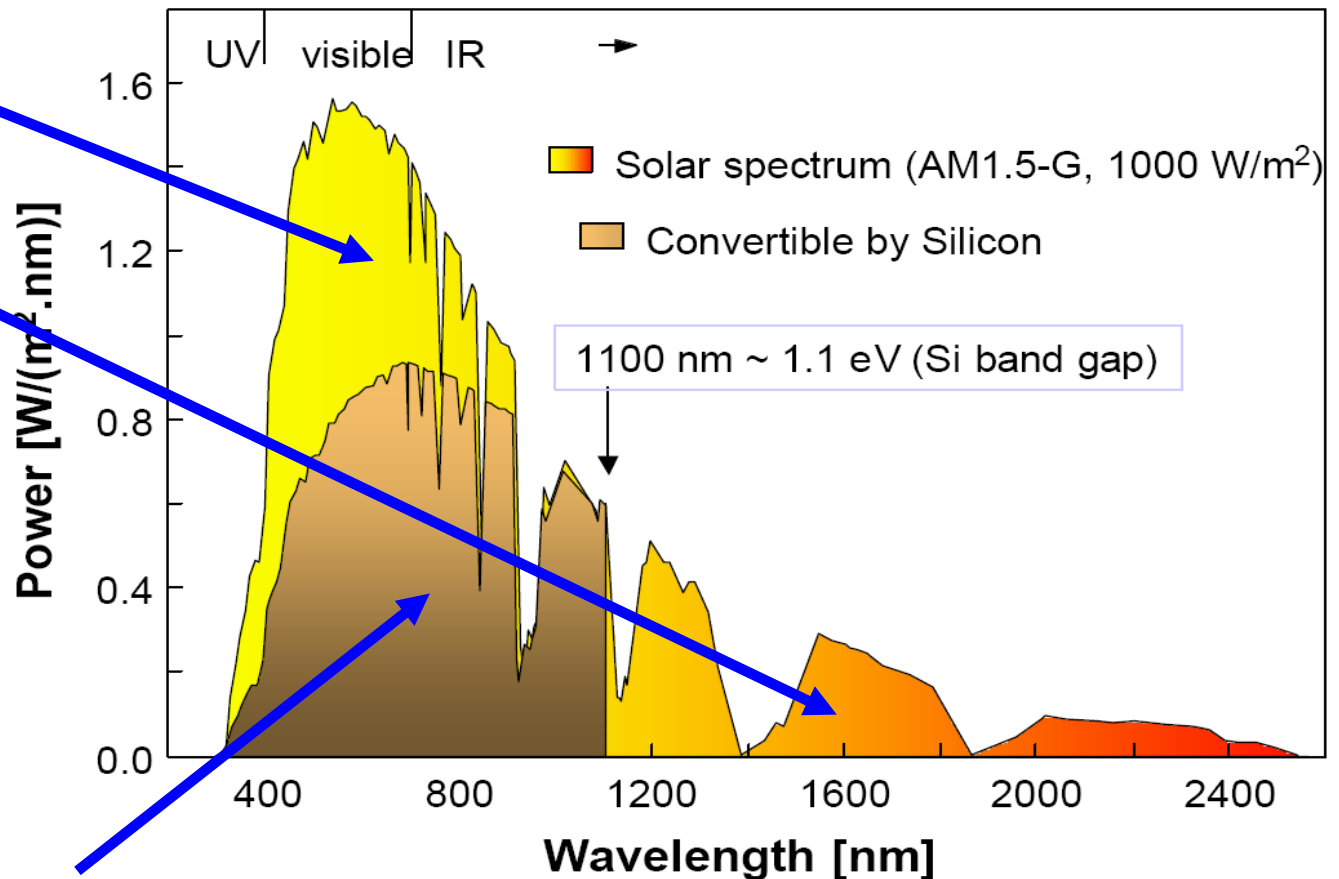
Standard silicium solcelle

47% går tabt til varme

18% kan ikke absorberes

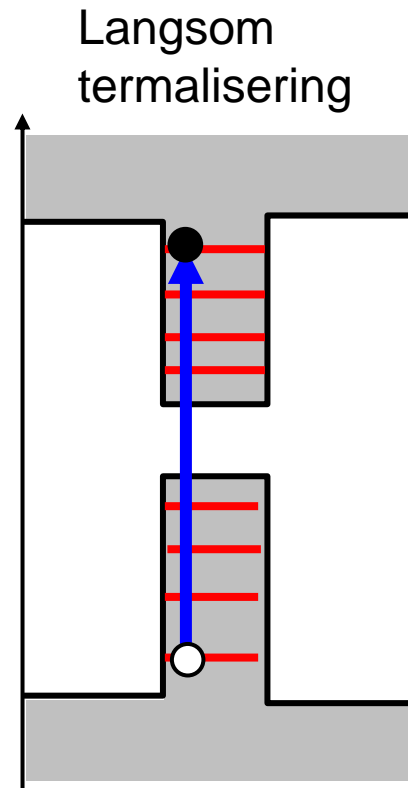
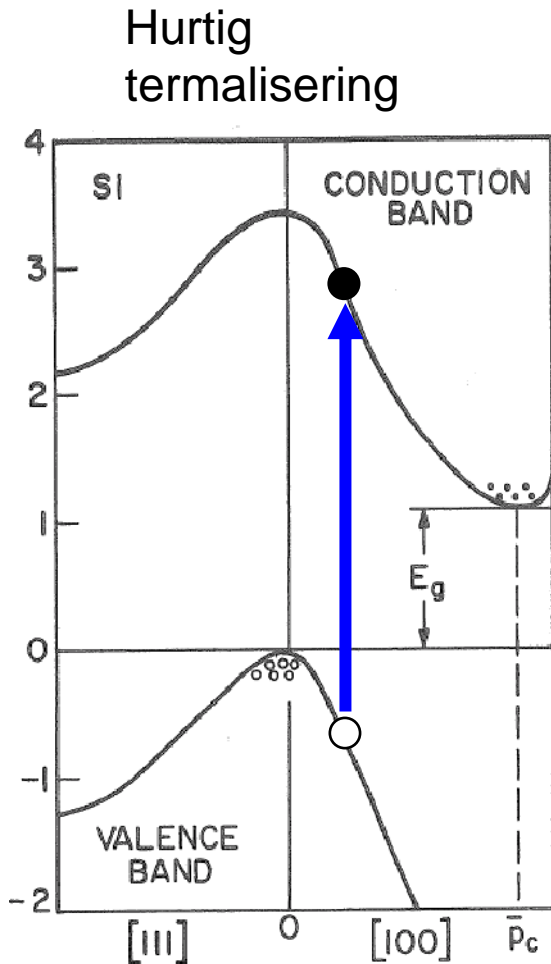
5% går tabt pga. rekombination

Kan omsættes til elektricitet i en solcelle – ca. 30%



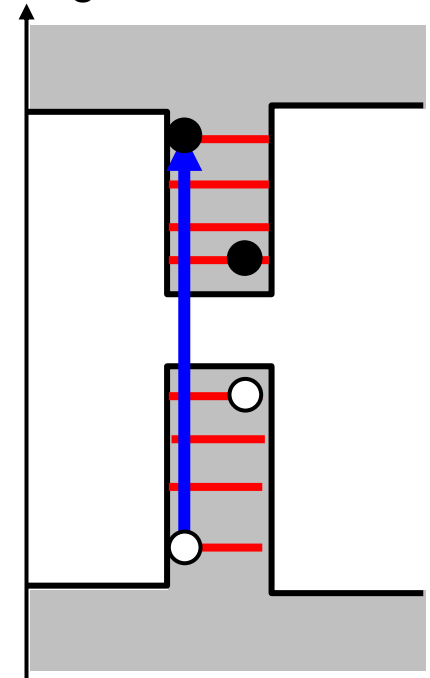
Fremtidens solceller

Hvad kan nanokrystaller bidrage med?



Kan måske mindske varmetabet

Multi-exciton generation

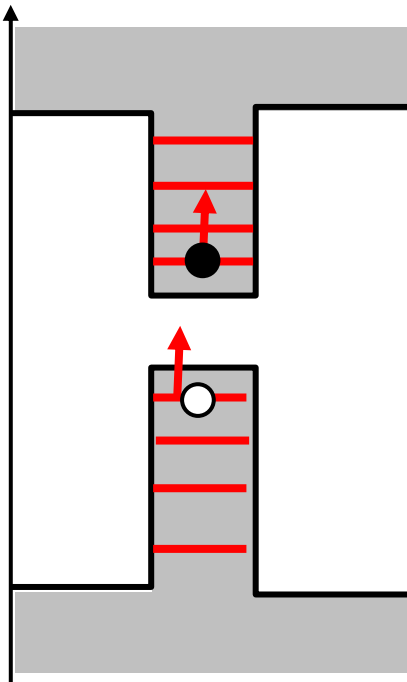


"Exciton" = elektron-hul par

Fremtidens solceller

Hvordan detekterer man multi-exciton generation?

Først: Detektion af excitoner generelt:



Brug infrarødt lys:

Kan ikke skabe et elektron-hul par.

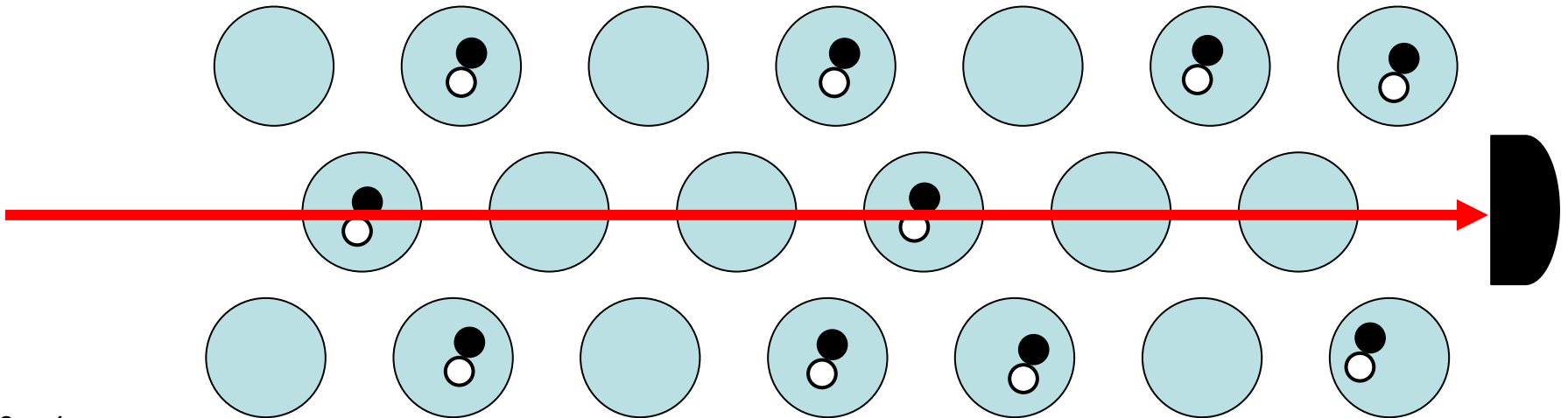
Kan absorberes af et elektron-hul par.

Fremtidens solceller

Hvordan detekterer man multi-exciton generation?

Først: Detektion af excitoner generelt:

Absorptionen proportional med antal elektron-hul par: $A = 10\alpha$

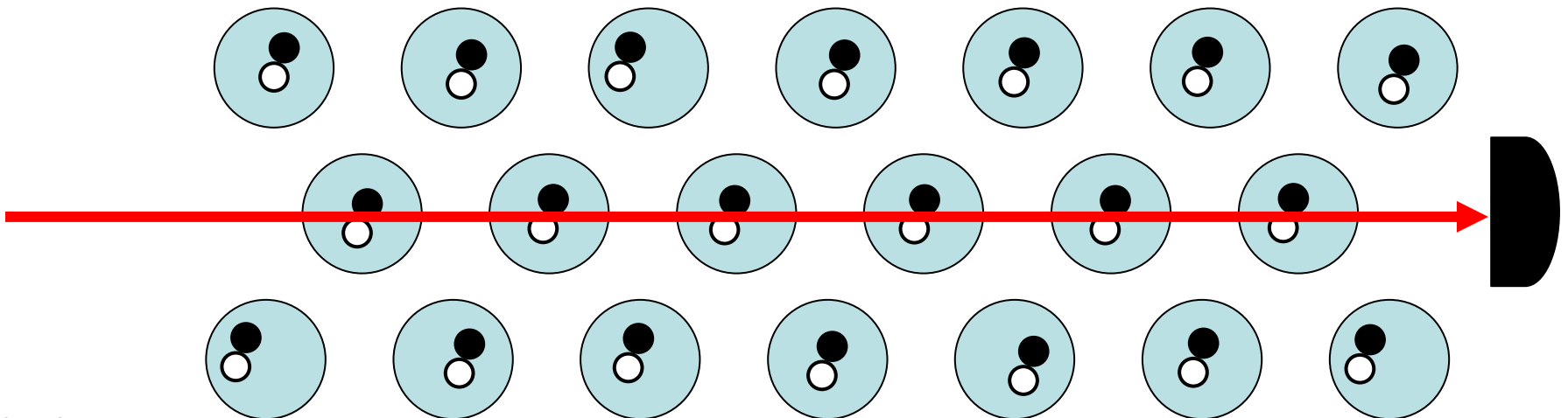


Fremtidens solceller

Hvordan detekterer man multi-exciton generation?

Først: Detektion af excitoner generelt:

Absorptionen proportional med antal elektron-hul par: $A = 20\alpha$



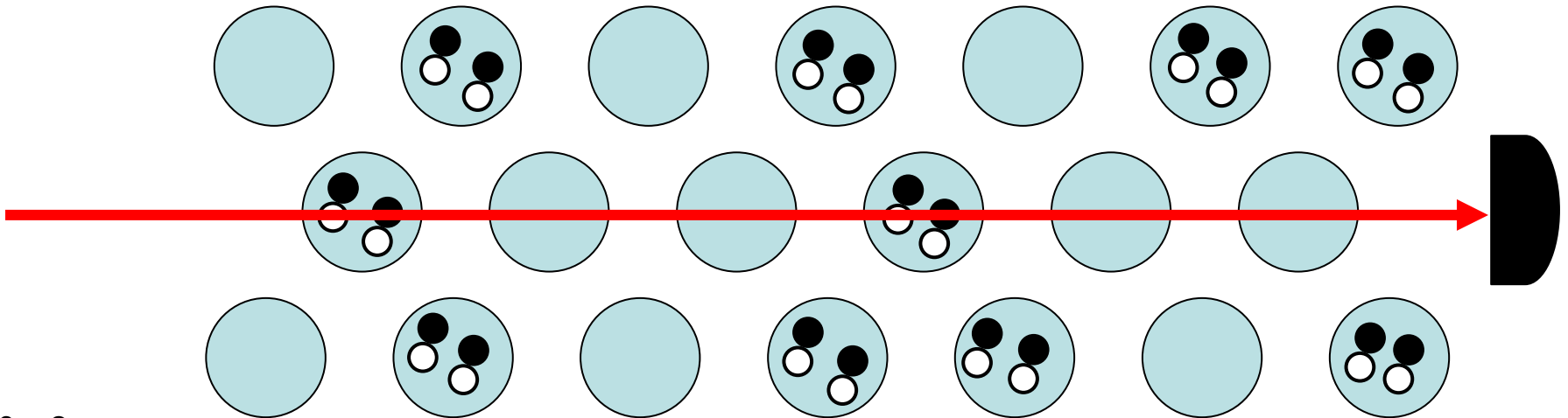
Fremtidens solceller

Hvordan detekterer man multi-exciton generation?

Først: Detektion af excitoner generelt:

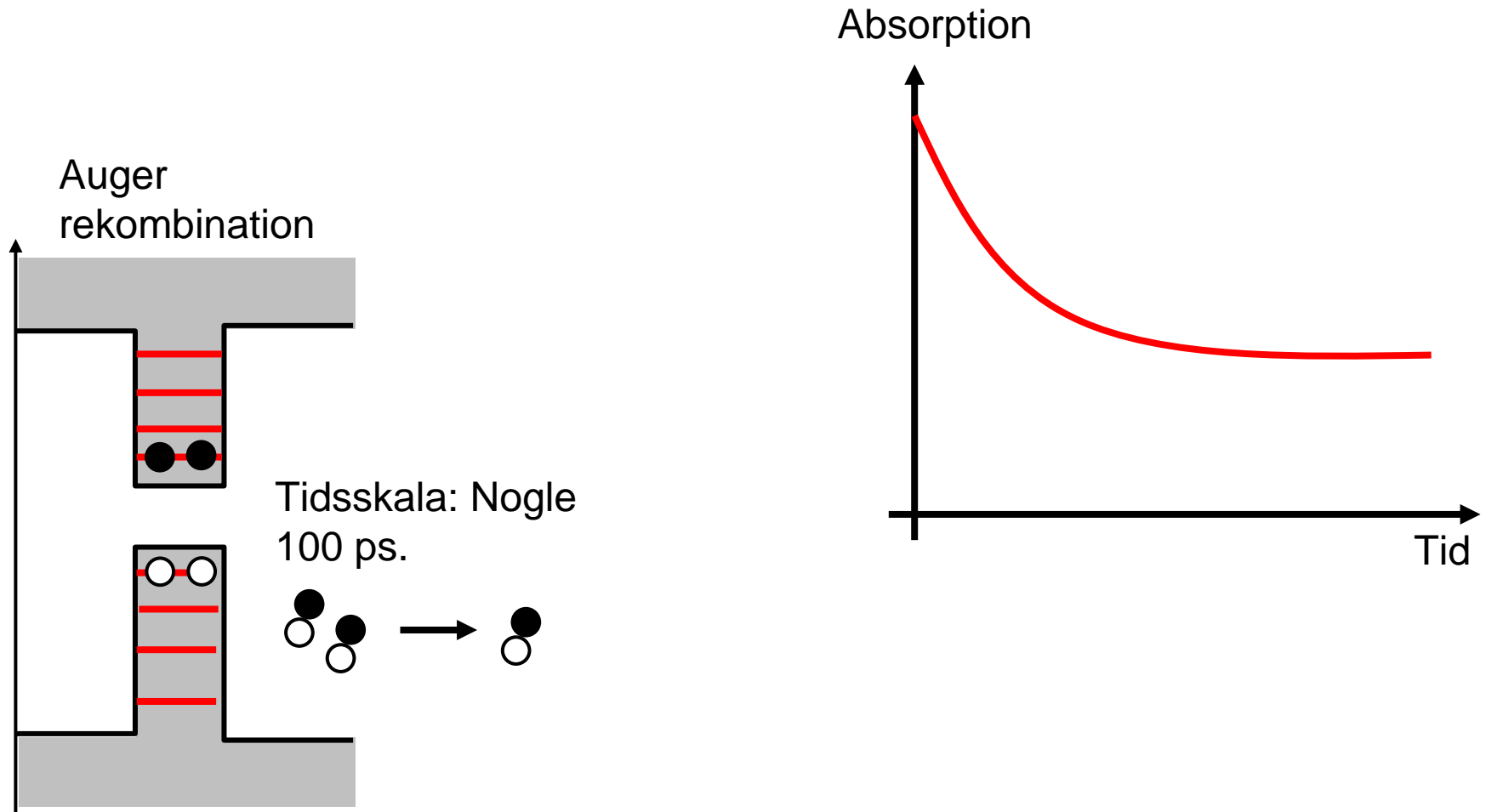
Absorptionen proportional med antal elektron-hul par: $A = 20\alpha$

Hvordan ser vi forskel?



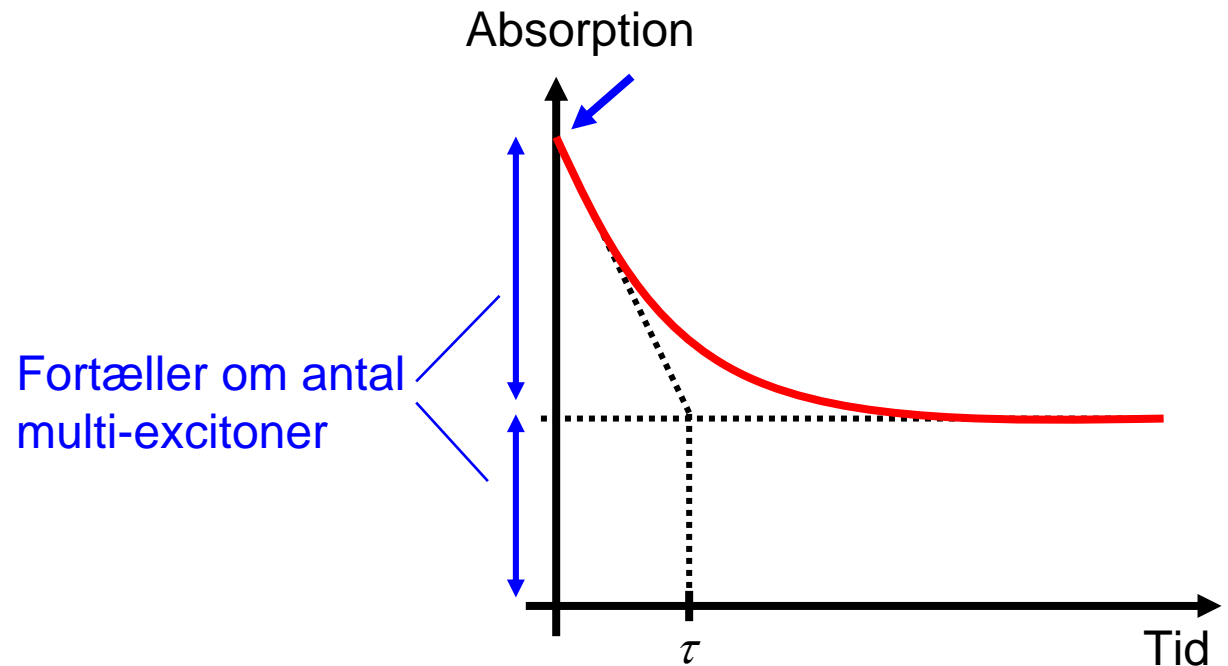
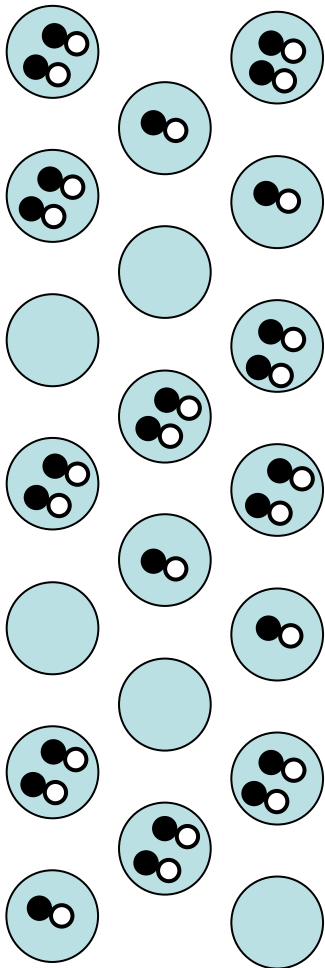
Fremtidens solceller

Hvordan detekterer man multi-exciton generation?

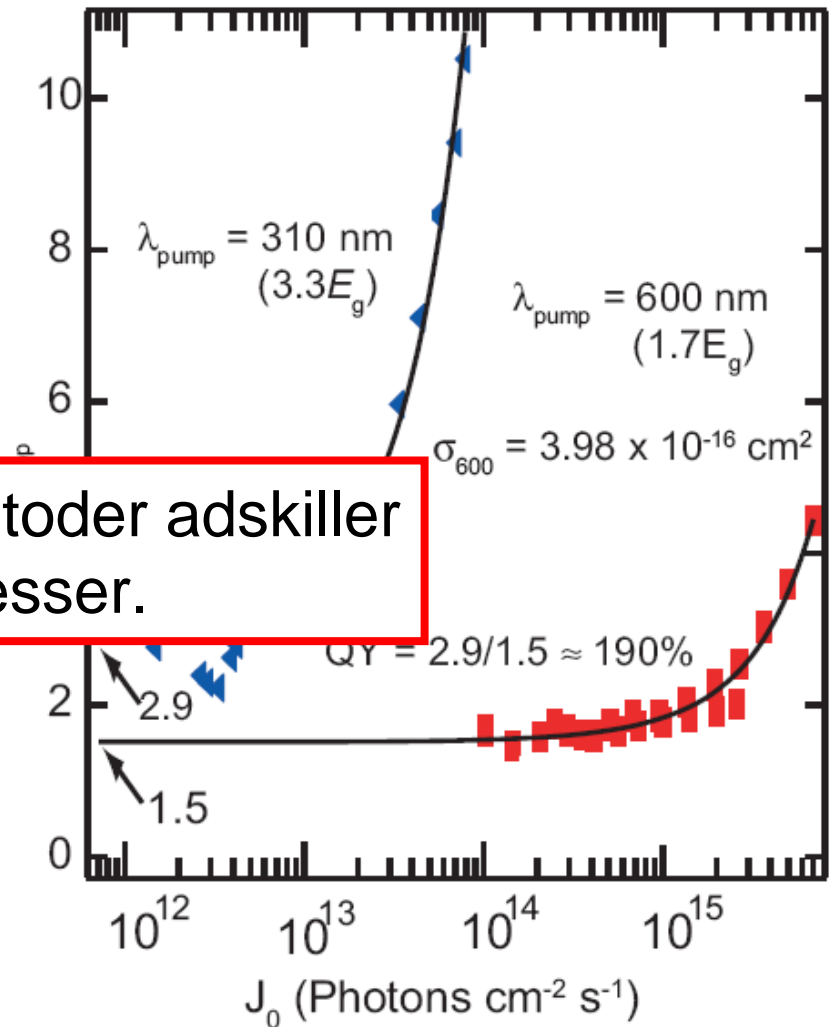
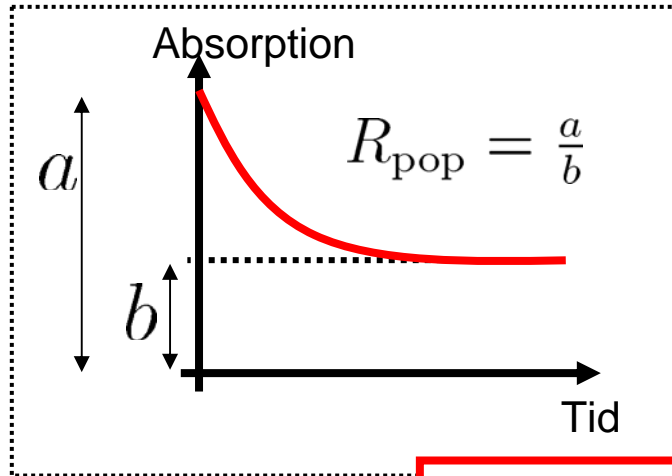


Fremtidens solceller

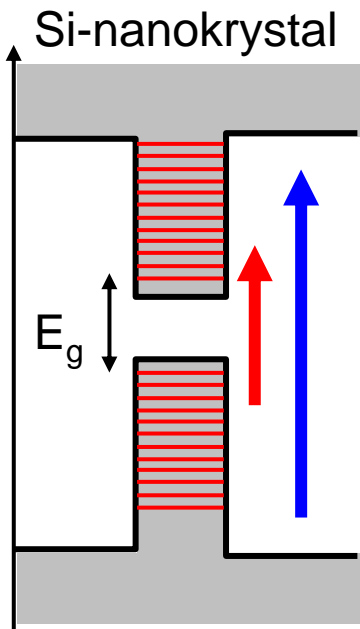
Hvordan detekterer man multi-exciton generation?



Fremtidens solceller



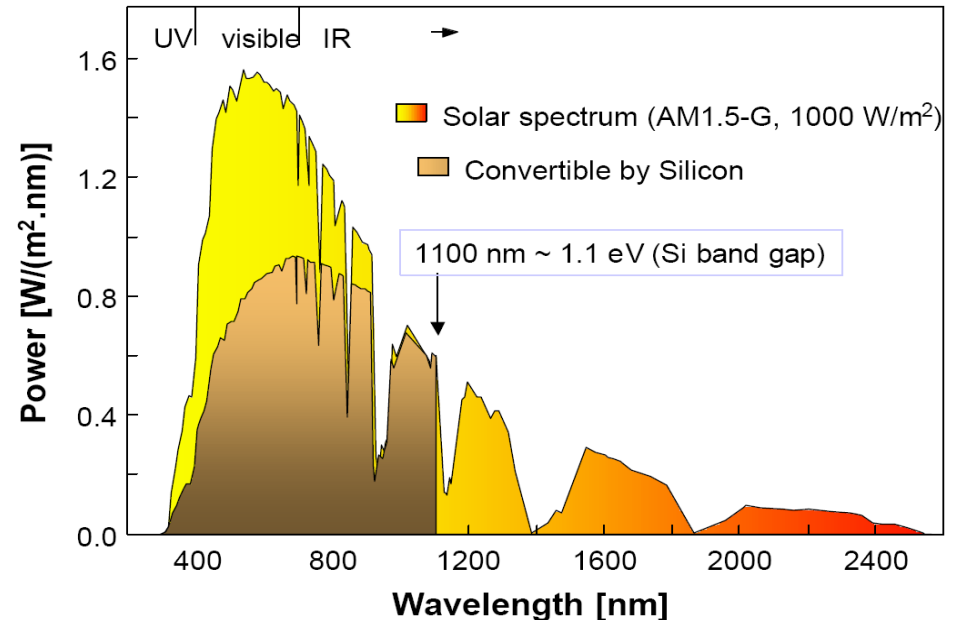
Tids-opløste metoder adskiller forskellige processer.



Fremtidens solceller

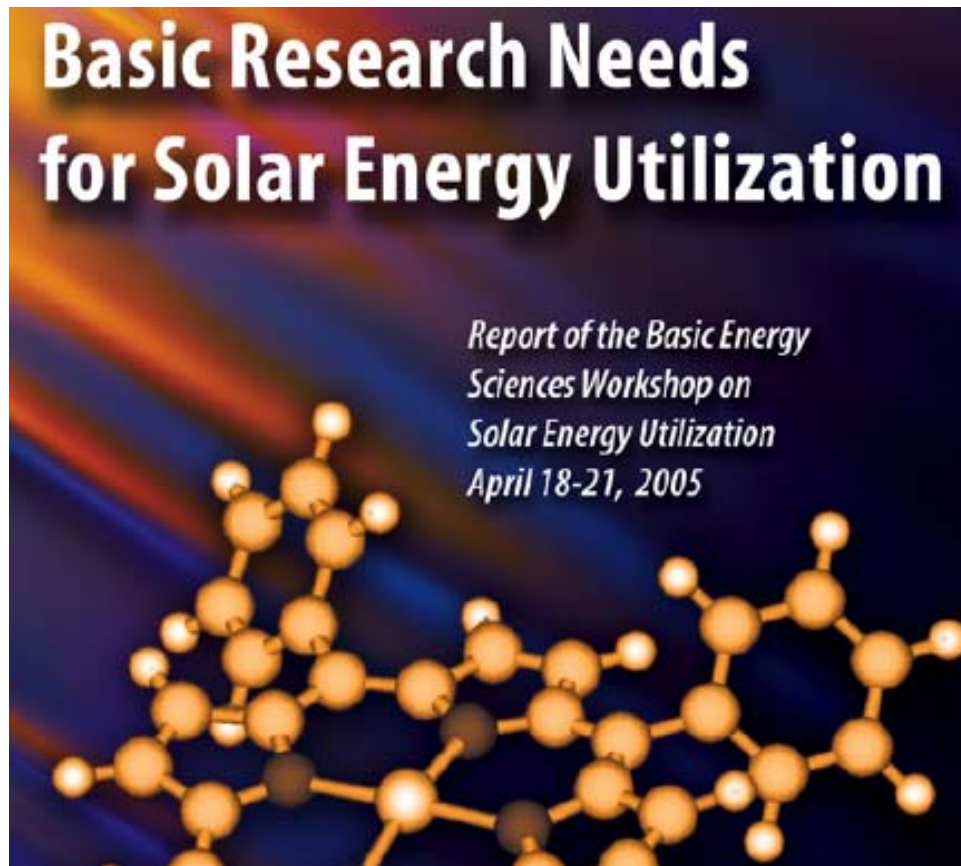
Status på multipel-exciton generation:

- 1) Langt de fleste eksperimenter foregår i væsker.
- 2) Multi-excitoner henfalder på nogle 100 ps.
- 3) Stor udfordring at omdanne ladningerne til brugbar strøm.
- 4) Måske findes bedre materialer.



Fremtidens solceller

Hvorfor er solceller så vigtige?



http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU_rpt.pdf

Fremtidens solceller

Verdens energiforbrug:

2005: 13 TW = 114.000.000.000.000 kWh per år.

2050: 30 TW

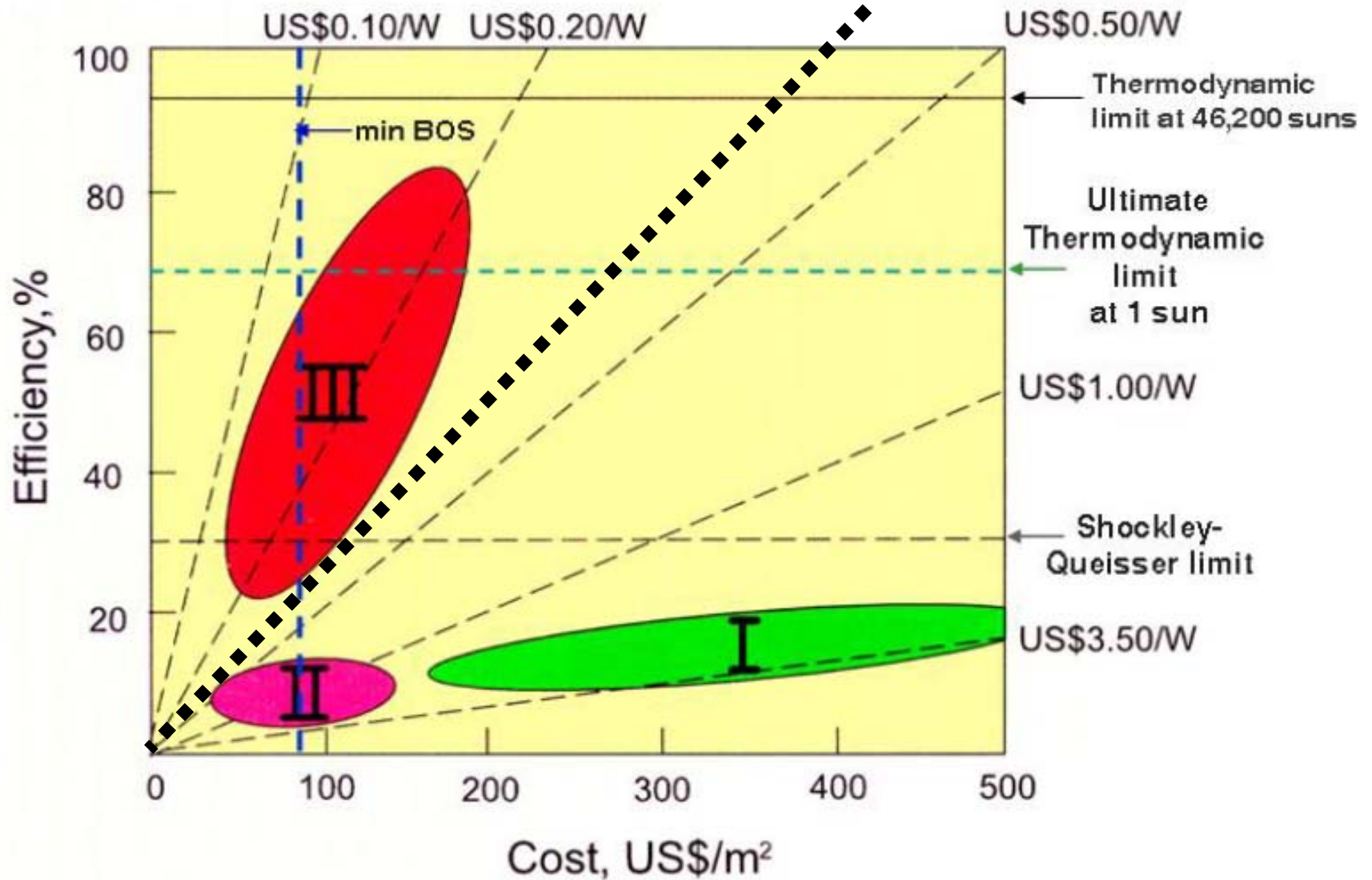
2100: 46 TW

Total-effekt fra Solen: **120.000 TW**

Sol-celler er dyre: **0.30 USD/kWh**

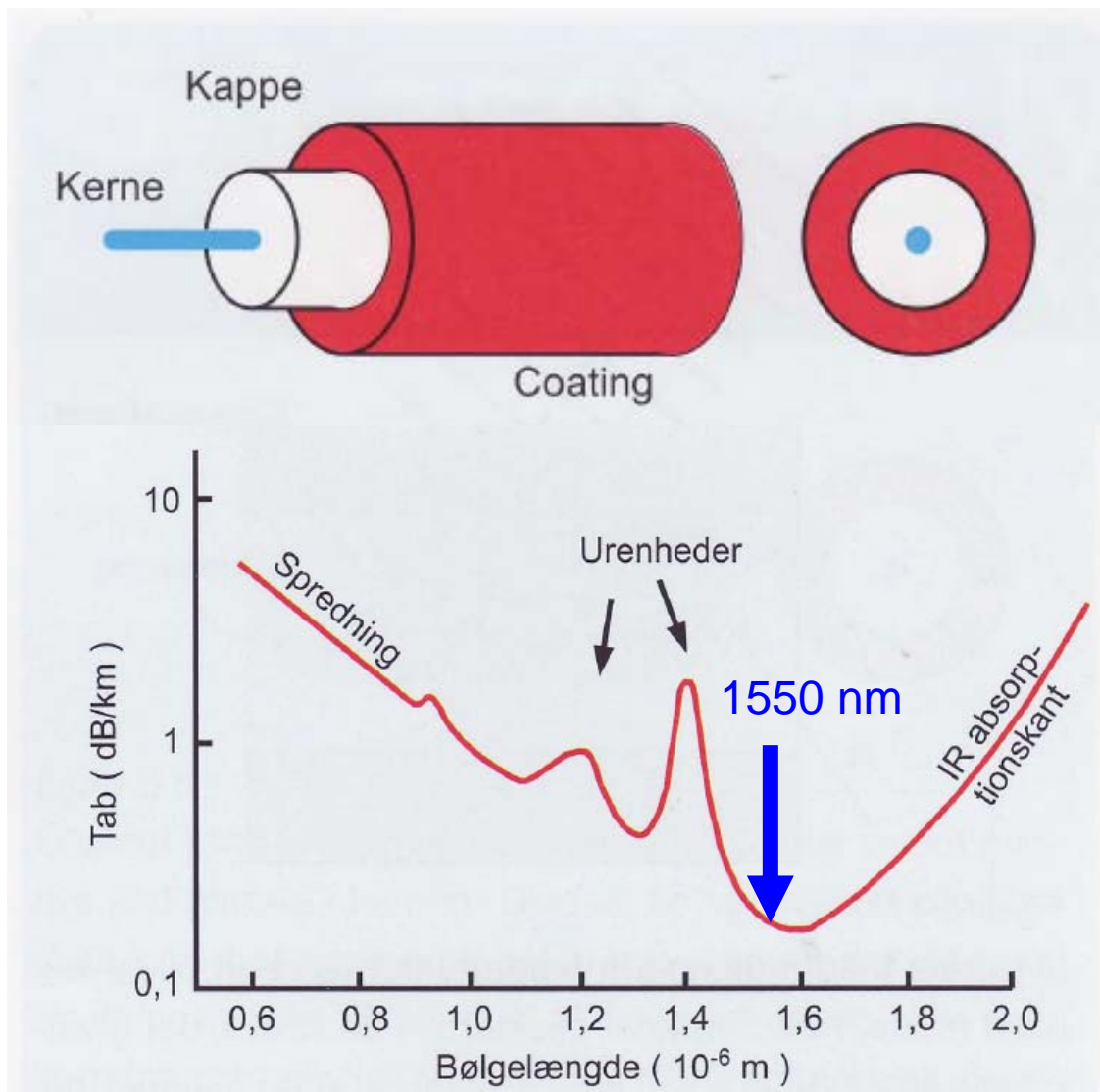
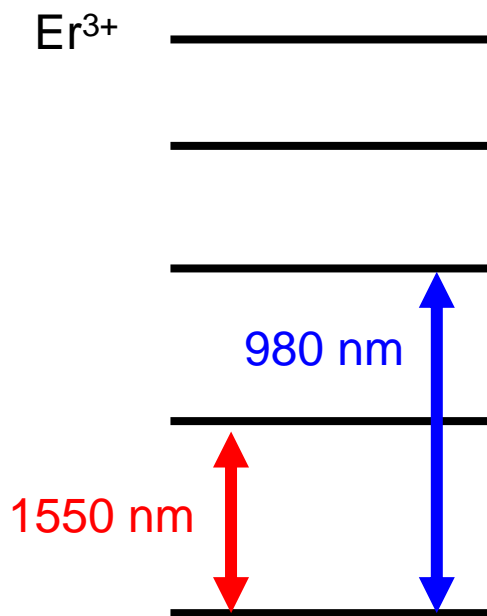
Fossilt brændstof er billigt: **0.02 USD/kWh**

Fremtidens solceller



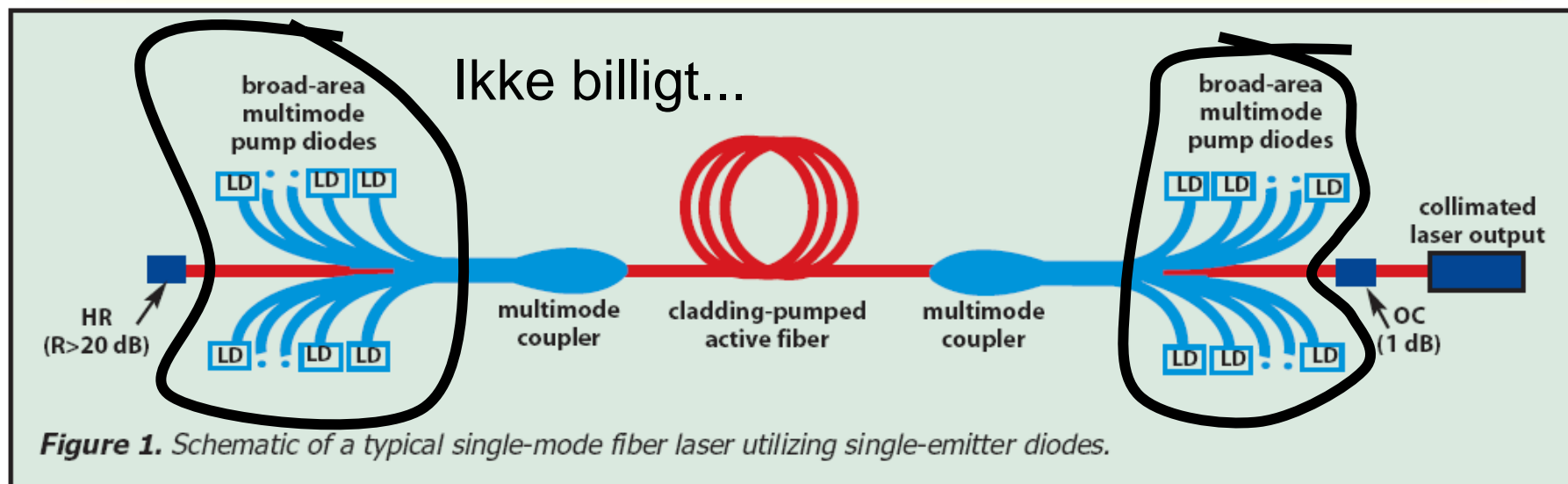
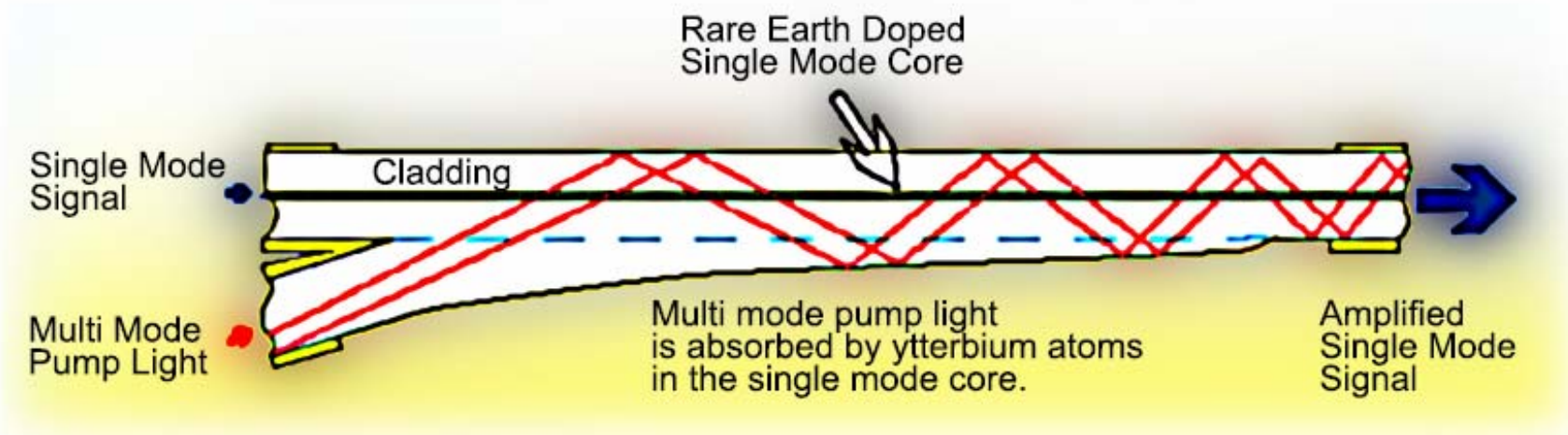
Sjældne jordarter

Optiske fibre:

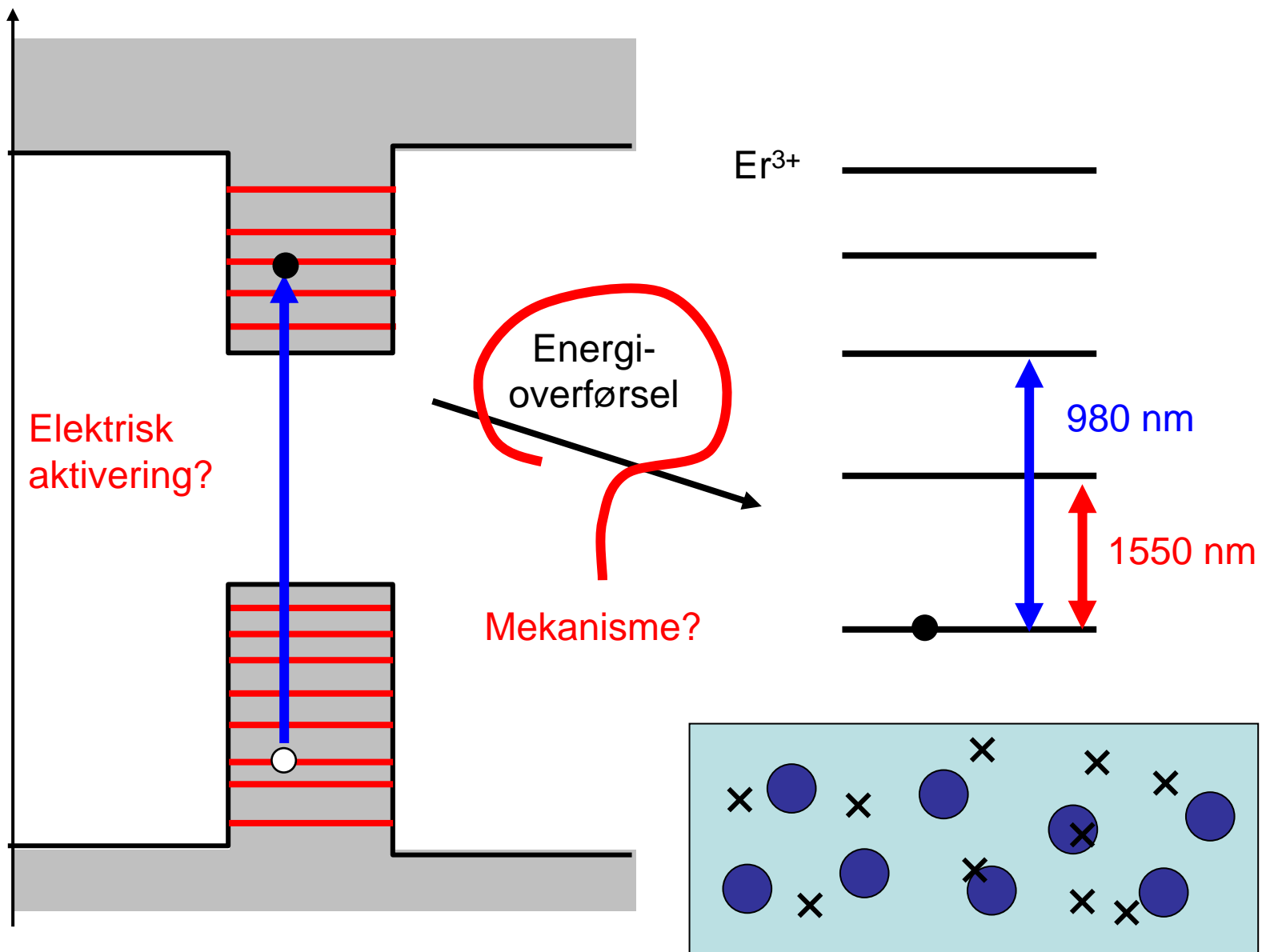


Sjældne jordarter

Eksempel på fiberlaser:



Sjældne jordarter



Opsummering

- Nano-struktureret silicium kan lyse.
- Nanokrystaller er en slags “kunstige atomer” – spændende fysik.
- Nanokrystaller kan potentielt ændre solcellers egenskaber.
- Nanokrystaller kan assistere lysudsendelse fra erbium.

Silicium har fået en mere direkte rolle inden for optik.