

Fremtidens lyskilder

Paul Michael Petersen, Carsten Dam-Hansen, Birgitte Thestrup, Bjarne Sass og Henrik Pedersen

Afdelingen for Optik og Plasmaforskning

Forskningscenter Risø, DTU

4000 Roskilde

E-mail: paul.michael.petersen@risoe.dk

“Energi og Miljø 07”, 27-28 februar 2007, Korsør

Indhold:

- Fremtidsperspektiver for diodelys
- Glødelampen og hulrumsstråling
- Fysiske principper for LED-lysudsendelse
- Dannelse af hvidlys ved blanding af farvede LED
- Spektral karakterisering og farvegengivelse for LED
- Mikrooptik og holografisk optik til diodelyskilder
- Potentialitet for energibesparelser

Fremtidsperspektiver for diodelyskilder



Diodebelysning har de seneste år gennemgået en afgørende udvikling og anses af mange for at være fremtidens lysteknologi.

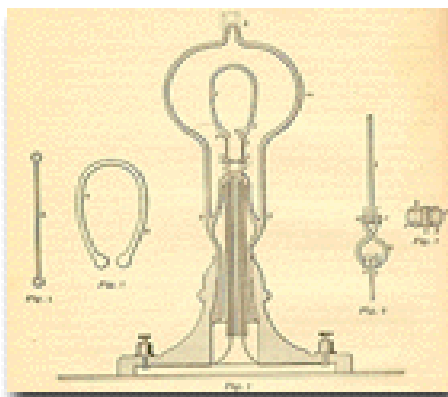
Lysudbyttet pr. W for diodelys fordobles hvert 3. år.

Dioder forventes indenfor en overskuelig tidshorisont at blive mere energieffektive end de mest effektive kendte lyskilder i dag.

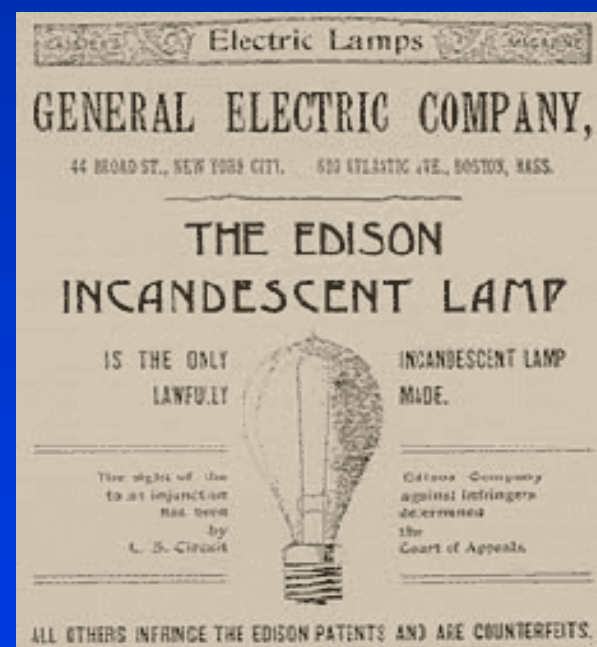
De bedste dioder vi har i dag en energieffektivitet på 60-110 Lumen/W (lysmængde pr. W), mens glødepærer ligger på 8-12 Lumen/W. De mest effektive lyskilder i dag ligger på omkring 125 Lumen/W.

Udover energibesparelsen rummer lysdioder en række brugsmæssige fordele - blandt andet meget lang levetid - op til 100.000 timer (sparer udgifter til udskiftning af lyskilder), stor robusthed overfor rystelser og stød, lille varmeafgivelse, og ingen ultraviolet og infrarød stråling.

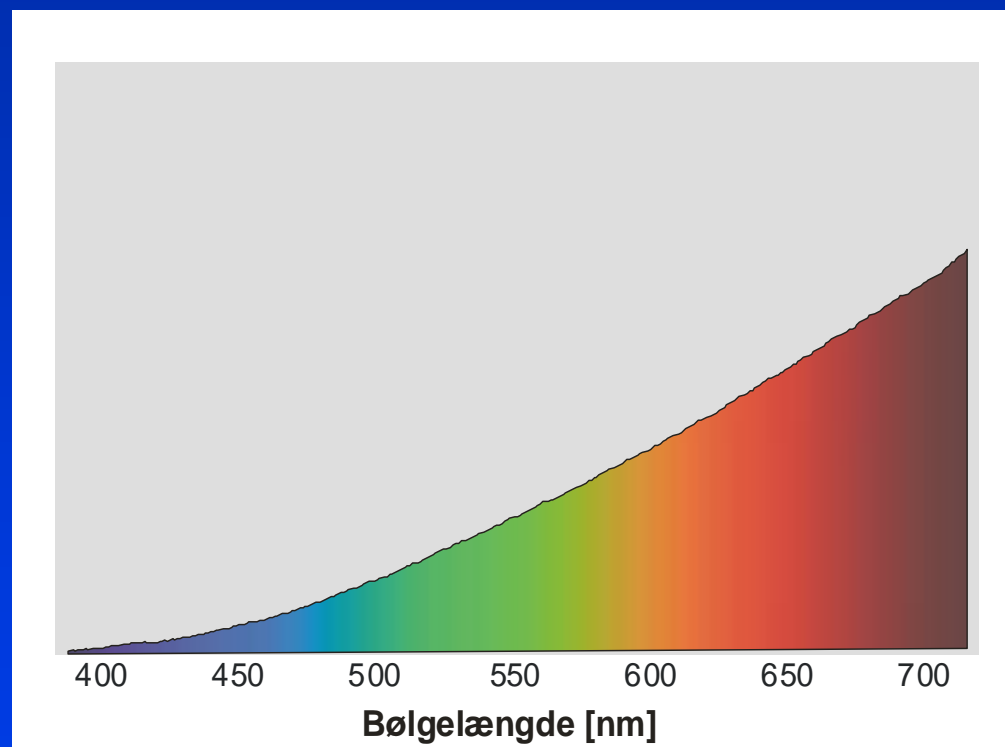
Glødelampen (Edison 1879)



A drawing of an early light bulb design by Edison. Edison tried numerous different materials and designs before he was successful in developing a practical incandescent bulb.

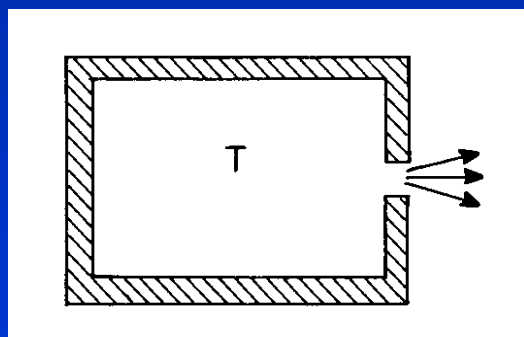


Glødelampen (farveindhold)



Hulrumsstråling (blackbody radiation)

(Plancks strålingslov 1900)

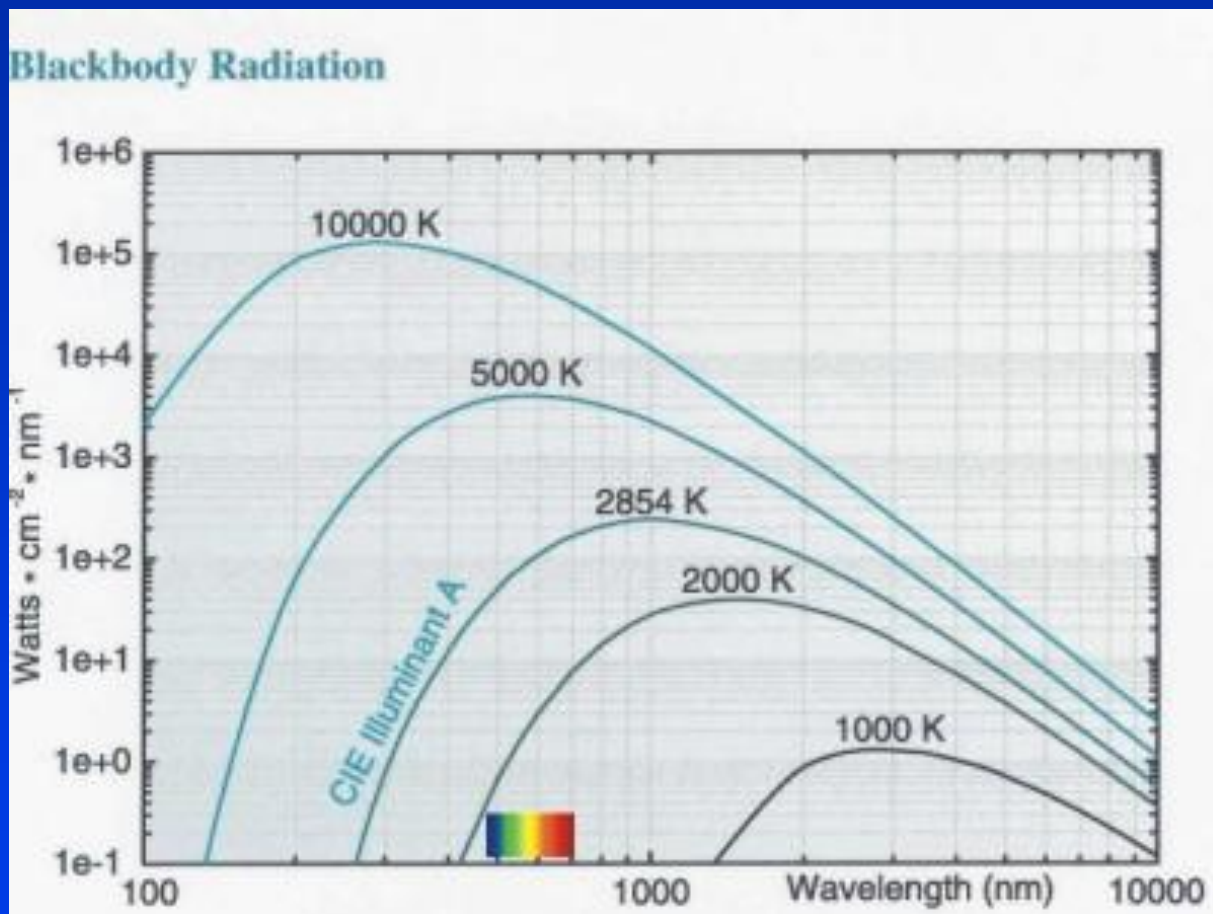


Et legeme med en given temperatur T vil udsende elektromagnetisk stråling.

Årsagen er at ladningsbærere (især elektroner) i legemet har termiske bevægelser med accelerationer som giver anledning til elektromagnetisk stråling.

Årsagen til at legemet skal være absolut sort er at refleksioner elimineres, og strålingen skyldes herved udelukkende legemets temperatur.

Hulrumsstrålingens spektrale fordeling



Farvetemperatur

Farvetemperaturen bestemmes ved at sammenligne farveindtrykket fra lyskilden med farveindtrykket fra et opvarmet sort legeme. Når lyskilden og det sorte legemes farver er ens, registreres det sorte legemes temperatur i kelvin, og lyskilden siges at have den pågældende farvetemperatur.



Stearinlys har en farvetemperatur på 1500 K

Solopgang/solnedgang (2400-3200 K)



Farvetemperaturer

- 1500 K Stearinlys
- 2680 K 40 W glødelampe
- 2850 K 100 W glødelampe
- 3200 K Solopgang/solnedgang
- 3200 K Halogen lampe
- 3400 K 1 time fra ” dusk/dawn”
- 4500-5000 K Xenon lampe
- 5300-5800 K solens spektrum
- 5500-5600 K Electronisk blitz
- 5800-6500 K Daglys
- 6300-7200 K Daglys (overskyet)
- 14000-50000 K Blå himmel

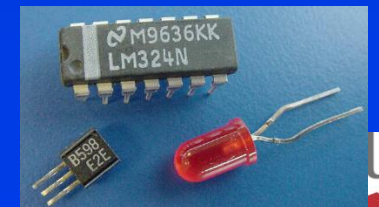
Lysemitterende dioder (LED)



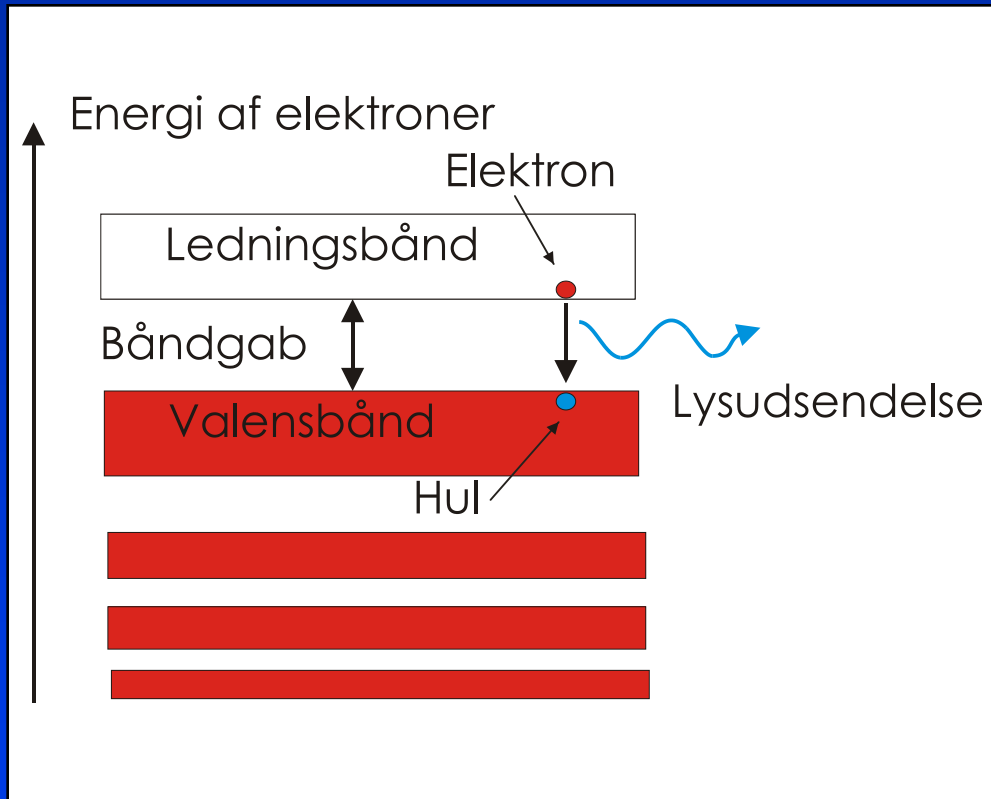
Lysemitterende dioder eller Light Emitting Diodes (LED) fremstilles af halvledermaterialer som sammensættes i en pn-overgang. LED udsender synligt eller infrarødt lys, når der løber en strøm igennem den.

Det er rekombinationer af ladningsbærere i diodens pn-overgang, der resulterer i lysudsendelse. Lysets farve bestemmes af materialesammensætningen.

Halvlederteknologien er kendt fra computerindustrien (Silicon Valley) og solcelleindustrien



Lysudsendelse fra halvledere

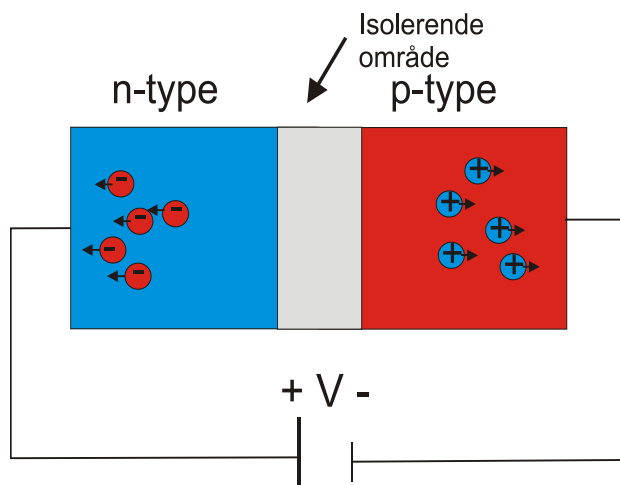
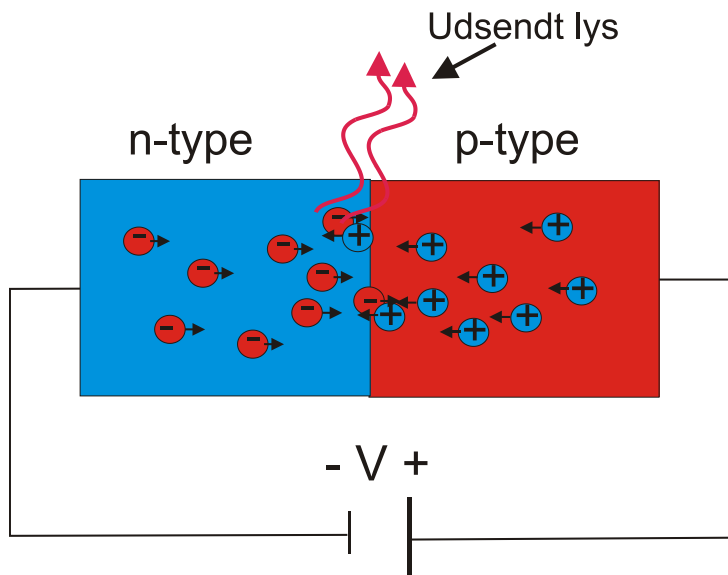


I halvlederkrystaller samler de enkelte atomers elektrontilstande sig i energibånd med et stort antal elektrontilstande i hvert bånd.

Elektroner som exciteres til ledningsbåndet efterlader en fri plads (hul) i valensbåndet. Når elektronen henfalder i sin oprindelige plads udsendes lys. Man siger, at elektronen rekombinerer.

Lysets farve afhænger af materiales båndgab. Dvs. forskellige halvledermaterialer udsender forskellige farver lys.

Lysudsendelse i en pn-overgang

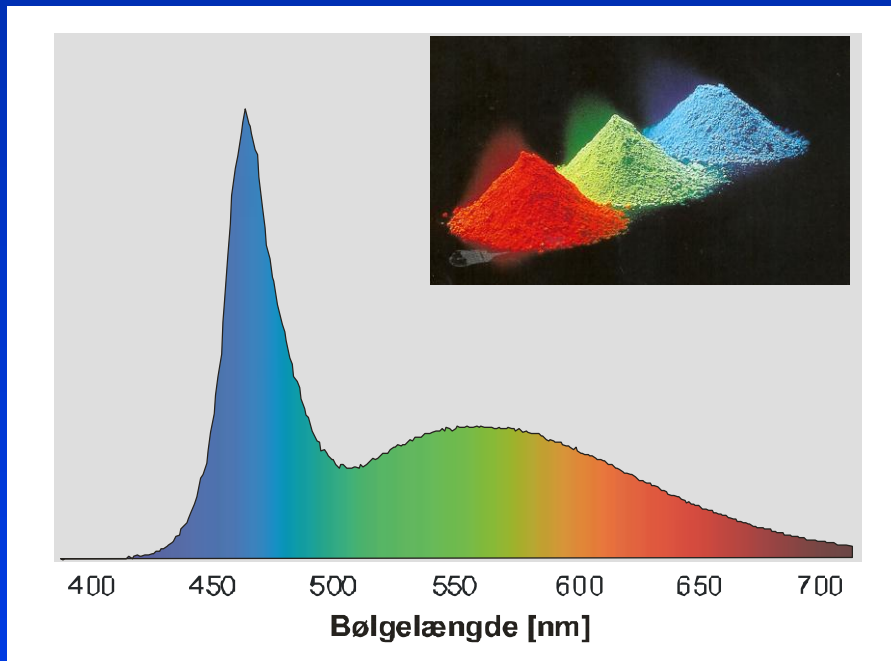


En diode der påtrykkes en spænding i lederetningen udsender lys når ladningsbærere rekombinerer i diodens pn-overgang.

Hvis dioden påtrykkes en spænding i den modsatte retning vil der opstå et ladningsfrit isolerende lag i pn-overgangen og dioden vil ikke kunne lede en strøm.

Lysdioder med dagens teknologi

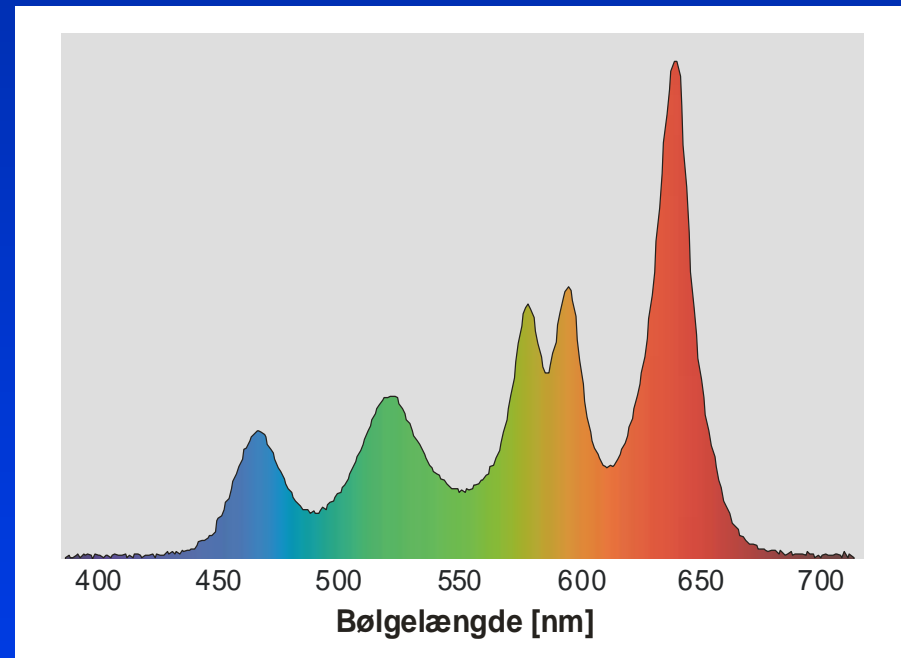
Konventionelle hvide LED



Blå lysdioder med
fosforescerence stof

RGB -teknologi

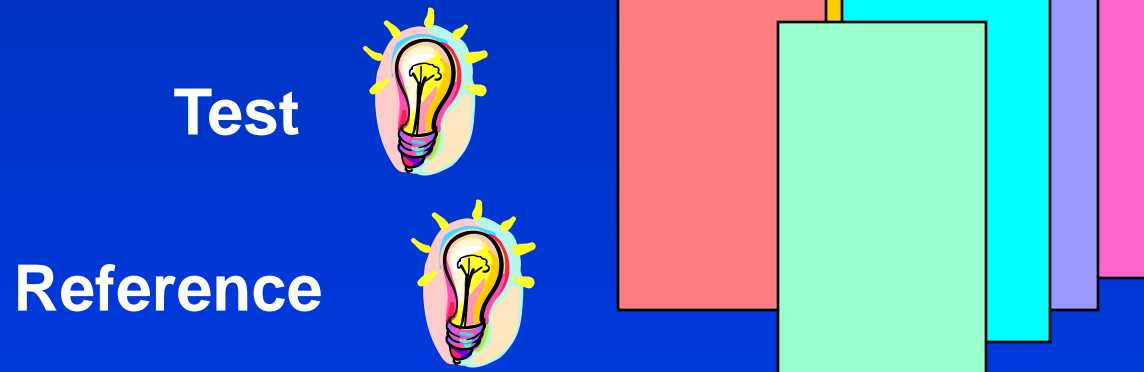
Spektraldesign og høj lyskvalitet



Kontinuert spektrum. Højt Ra-indeks
> 90 og høj energieffektivitet. Vi kan
selv designe lysets farvetoning

Farvegengivelse, Ra-indeks

- Farvegengivelsen af en hvid lyskilde er den effekt lyskilden har på farvefremtoningen af objekter sammenlignet med farvefremtoningen under en reference lyskilde
- 8 (+6) standard farver, test objekter



CIE 13.3-1995 angiver metode til måling og specificering af Ra-indeks

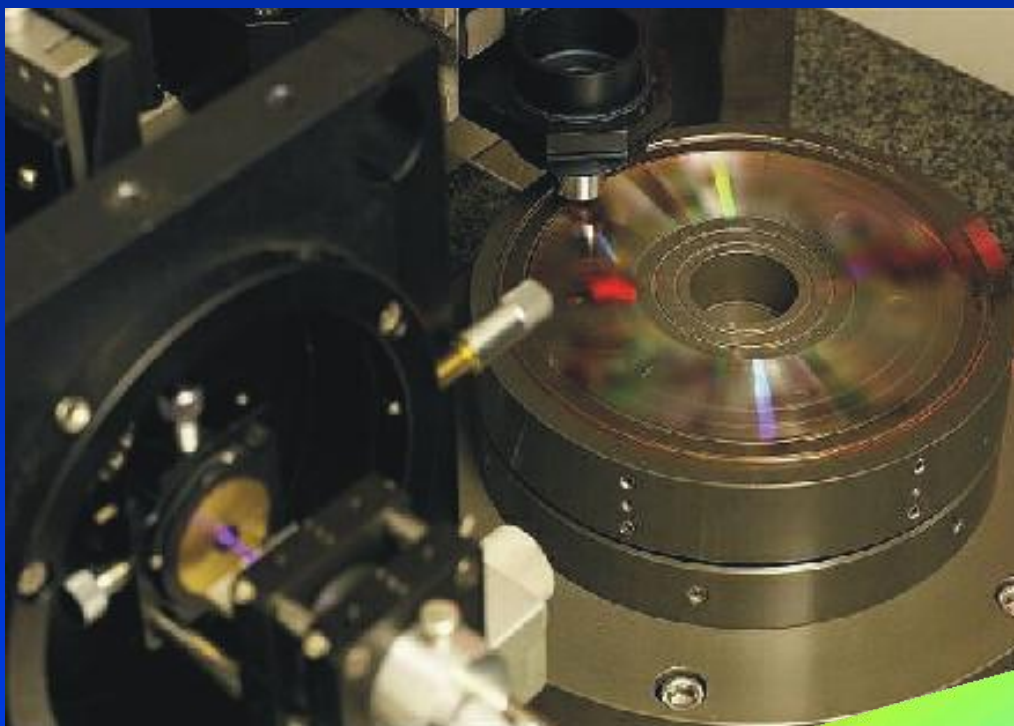
Farvegengivelse, Ra-indeks

- Måling af Ra-indeks er baseret på målt spektralfordeling af test lyskilden
- Reference lyskilde spektralfordeling beregnes idet den skal have samme korrelerede farvertemperatur ($< 15 \text{ MK}^{-1}$)
 - CCT $> 5000 \text{ K}$: fase af dagslys
 - CCT $< 5000 \text{ K}$: hulrumsstråler
- Hvis spektralfordelingen af test og reference lyskilde er identiske
haves at $R_a = 100$

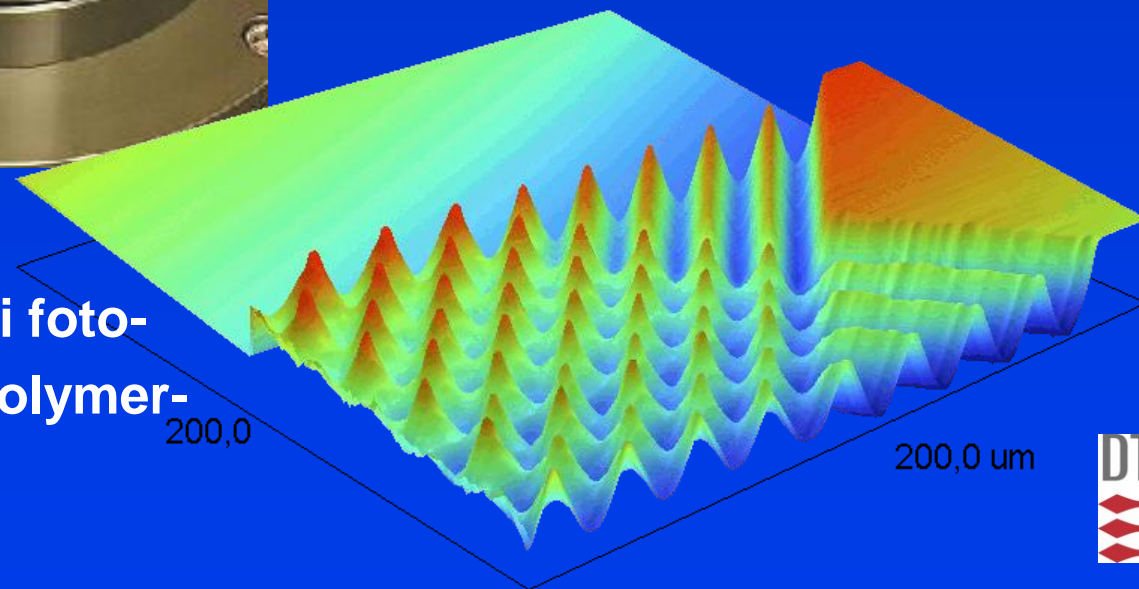
$i = 1, \dots, 8$

i	Test object color	CRI
1	Light greyish red	92,4
2	Dark greyish yellow	99,1
3	Strong yellow green	89,5
4	Moderate yellowish green	82,3
5	Light bluish green	92,3
6	Light blue	92,8
7	Light violet	94,4
8	Light reddish purple	90,9
9	Strong red	71,8
10	Strong yellow	95,7
11	Strong green	71,0
12	Strong blue	93,6
13	Light yellowish pink	92,4
14	Moderate olive green	91,5

Risøs nanoplotter- en facilitet til direkte laserskrivning af 2D og 3D mikrostrukturer



- Computer genererede hologrammer
- Diffraktionsgitre
- Diffraktive linser og linsearrays
- Refraktive mikrolinser og linsearrays



Originalstrukturer fremstilles i fotoresist og massefremstilles i polymermaterialer ved replikering.

Spektralt design af LED "glødepære" lyskilde

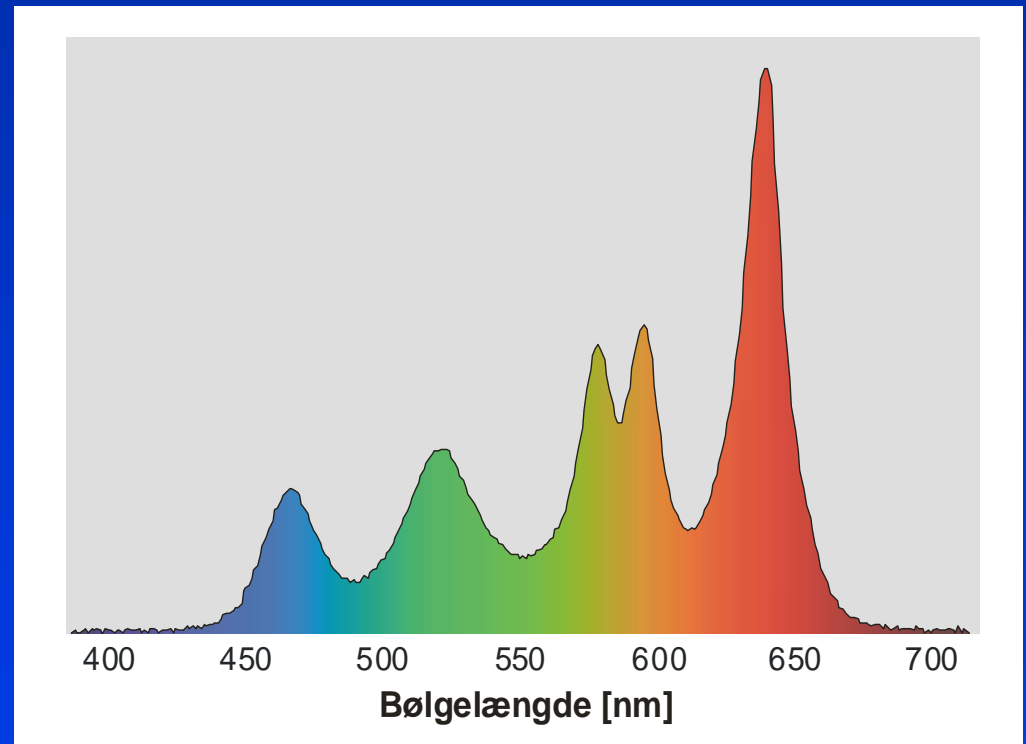
Risø specialdesignet LED-pære:



Farvetemperatur 2815 K

Ra værdi = 91

Lyskilden bruger 1,1 W



Computerstyret LED lyskilde

Glødepæreindstilling

Farvetemperatur

2800 - 2920 K

Energieffektivitet

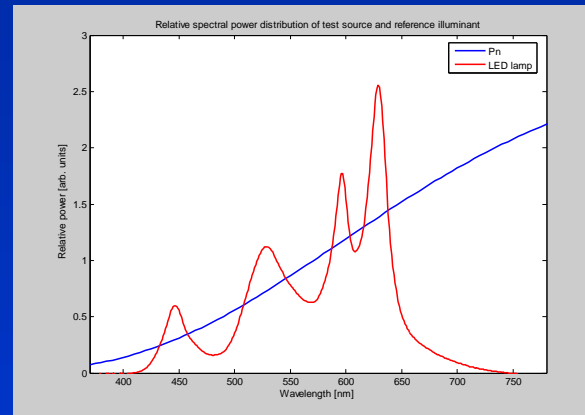
27 - 30 lm/W

(Glødepærer (6-12 lm/W))

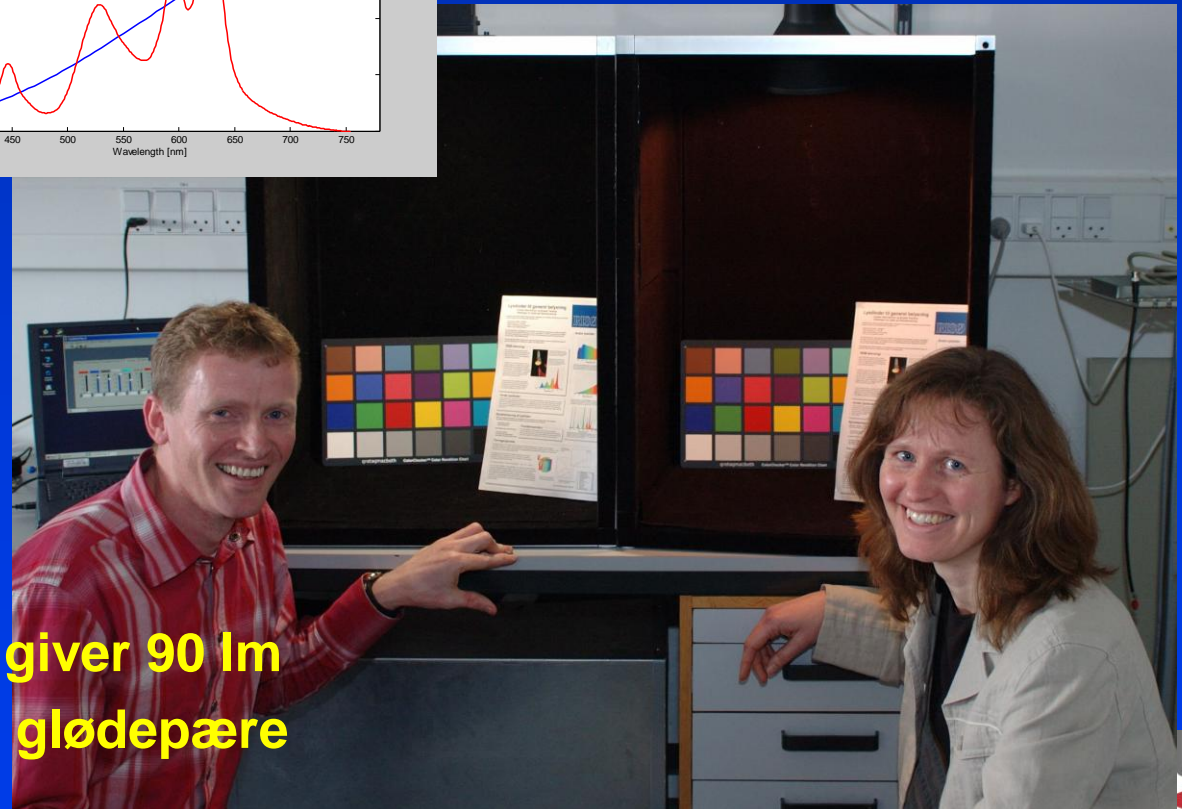
Farvegengivelse

$R_a = 80 - 90$

**3 W LED lyskilde giver 90 lm
kan erstatte 15 W glødepære**



Sammenligning med glødepære eller sparepære i referenceboks



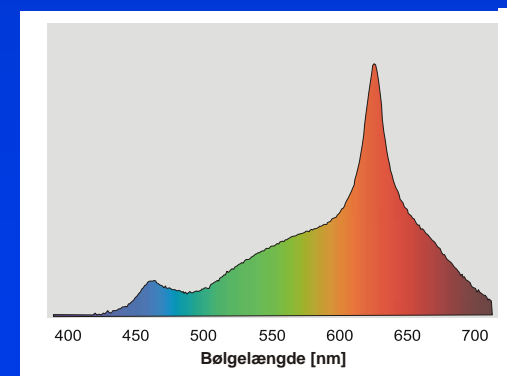
LED-belysning på Rosenborg



CCT = 2960 K
Ra = 90



CCT = 2200 K
Ra = 95



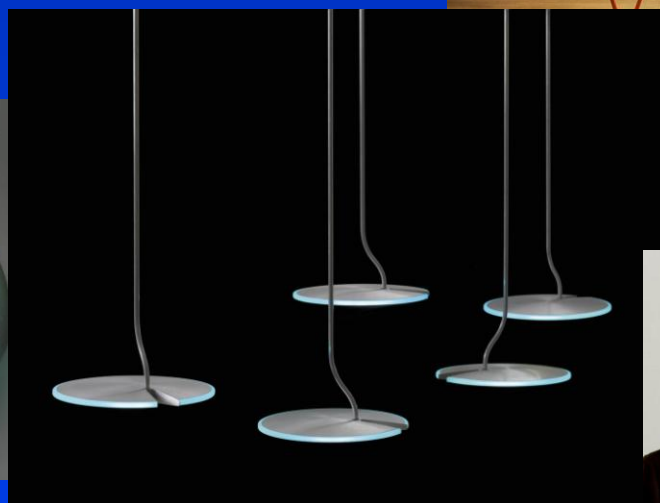
Udvikling af nye LED-lamper



Christian Flindt



Morten Lyhne



Jacob Rudbeck,
Jesper Olsen og
Christian Bjørn



Hans Falleboe

Elbesparelspotentialiet med dagens teknologi

RGB-teknologien er baseret på røde, gule, gulgrønne, grønne og blå dioder. Disse dioder er i dag kommercielt tilgængelig med energieffektiviteter på 53 Lm/W, (røde), 35 Lm/W (gule), 3-8 Lm/W (gulgrønne) , 30 Lm/W (grønne) og 10 Lm/W (blå).

Hvis RGB teknologien skal erstatte glødepærer skal indholdet af rødt lys være kraftigst og et forsigtigt skøn er, at energieffektiviteten af hvidt diodelys baseret på RGB teknologien er 30 Lumen/Watt.

Glødelys ligger på 6-12 Lumen/Watt, halogenlys på 12-20 Lumen/Watt, sparepærer på 50-60 Lm/W og lysstofrør på 70-100 Lm/W.

Elbesparelspotentialiet med dagens teknologi

I danske privatboliger anslås elforbruget til belysning at udgøre ca. 1.500 mio. kWh årligt

Hvidt diodelys med RGB teknologien er i dag i gennemsnit en faktor 2 mere effektivt end gløde- og halogenlys. Det tekniske besparelspotentiale i danske privatboliger er dermed ca. 600 mio. kWh ved erstatning af gløde- og halogenlys med diodelys.

I praksis kan de nye RGB diodelyskilder på kort sigt "kun" erstatte små gløde- og halogenpærer. Det skønnes derfor, at besparelspotentialiet på kort sigt er 200 mio. kWh ved udskiftning af små gløde- og halogenpærer i privatboliger. Men dertil kommer besparelspotentialiet i erhvervslivet og det offentlige, samt ikke mindst i udlandet.

Udover energieffektiviteten er fordelene ved diodelys:

- Lang levetid giver lave udgifter til udskiftning og lavt ressourceforbrug til fremstilling af lyskilderne.
- Miljømæssigt bedre end glødepærer ud fra en livscyklus vurdering.
- Ingen brug af kviksølv - i modsætning til sparepærer og lysstofrør.
- Mulighed for regulering af farvetemperatur, lysstrøm og spektralfordeling.
- Mulighed for at specialdesigner lyskilder med de egenskaber kunderne ønsker.
- Mulighed for at lave lyskilder med specifik farvegengivelse med deraf følgende energibesparelse.
- Mindre varmeafgivelse som betyder at forretninger med mange lyskilder ikke behøver at bruge energi på at blive afkølet.

Konklusion

Det skønnes, at besparelspotentialet i privatboliger på kort sigt er 200 mio. kWh ved udskiftning af små gløde- og halogenpærer i privatboliger.

På længere sigt er besparelspotentialet langt større i takt med at diodernes effektivitet øges og diodelyskilderne forbedres. Diodelys forventes af mange på lang sigt at ville udkonkurrere næsten alle andre lysteknologier .