CCD-kameraet
Et redskap for astronomer

Jan Myrheim

Institutt for fysikk
NTNU

10. februar 2010

Kungl. Vetenskapsakademien har beslutat utdela Nobelpriset i fysik 2009 med ena hälften till

Charles K. Kao

Standard Telecommunication Laboratories, Harlow, Storbritannien och Chinese University of Hong Kong

“för banbrytande insatser angående ljustransmission i fibrer för optisk kommunikation”

och med den andra hälften gemensamt till

Willard S. Boyle och George E. Smith

Bell Laboratories, Murray Hill, NJ, USA

“för uppfinningen av en avbildande halvledarkrets – CCD-detektorn”

Ljusets mästare

Nobelpriset i fysik utdelas i år för forskargärningar som kommit att genomsyra hela vår tillvaro. De har skapat nya villkor för vårt dagliga liv och har gett vetenskapen helt nya verktyg att arbeta med.

Charles K. Kao gjorde år 1966 en upptäckt som ledde till ett genombrott inom fiberoptiken. Han räknade noga ut vad som krävs för att optiska fibrer av glas ska kunna leda ljus långa sträckor. Med renare glas i fibern skulle ljussignalerna kunna färdas hundra kilometer utan att helt försvinna, jämfört med bara det tiotal meter som dåtidens fibrer förmådde transportera. Kao lyckades få andra forskare att dela hans vision av fiberoptikens framtid och fyra år senare, 1970, såg en första ultraren fiber dagens ljus.

Idag utgör optiska fibrer själva blodomloppet i vårt kommunikationssamhälle. Utan glasfiber inget bredband, inget Internet. I tunna trådar av glas flödar ljusstrålar som bär nästan all telefoni och datatrafik kors och tvärs över världen.

Om vi i dag sträcker ut alla de glasfibrer som lindar in jordgloben får vi en över en miljard kilometer lång tråd – över 25 000 varv runt jorden.

En stor del av trafiken utgörs numera av digitala bilder där den första framgångsrika tekniken var en bildsensor, en CCD (charge-coupled device). Den uppfanns 1969 av Willard S. Boyle och George E. Smith. CCD-tekniken bygger på fotoelektrisk effekt, teoretiskt förklarad av Albert Einstein vilket gav honom 1921 års Nobelpris. Effekten innebär att ljus omvandlas till elektriska signaler. Utmaningen med konstruktionen av en brett användbar bildsensor var att kunna samla ihop och avläsa ljussignalerna i väldigt många bildpunkter, pixlar, på kort tid. Det löste Boyle och Smith i en handvändning 1969.

CCD är digitalkamerans elektroniska öga. Med den revolutionerades all fotografering när ljus får göra direkt avtryck på elektroniken istället för på film. Den digitala formen underlättar behandling och spridning av bilderna. CCD har också fått en mängd medicinska tillämpningar, bl.a. där kroppen avbildas inifrån både för diagnostik, som endoskopi, och för kirurgiska ingrepp.

Den digitala fototekniken har blivit ett verktyg inom många forskningsfält där CCD öppnat för nya möjligheter att se och studera det tidigare osedda. Den har avslöjat väl dolda hemligheter i de mest avlägsna hörn av kosmos liksom i oceanernas djup.

Et lynkurs i atomfysikk

Helium, neon, argon, krypton, xenon og radon er *edelgasser*.

De har «magiske» atomnummer: 2, 10, 18, 36, 54 og 86.

Atomer med 2, 10, 18, . . . elektroner er spesielt stabile, derfor er de edelgasser som deltar lite aktivt i kjemiske reaksjoner.

Silicium, som interesserer oss spesielt her, har atomnummer 14, altså 4 elektroner mer enn edelgassen neon.

I en siliciumkrystall fyller de 4 elektronene pr. atom akkurat opp et «bånd» av energinivåer.

Halvledere

Metaller (gull, sølv, kobber, aluminium, . . .)
er gode ledere for elektrisk strøm.

Elektrisk strøm er elektrisk ladning som beveger seg.

I et metall er det rikelig av elektroner som kan bevege seg fritt.
Elektronene bærer negativ elektrisk ladning.

I en isolator (glass, plast, . . .) er ingen elektroner frie så de kan transportere ladning.

Silicium er en halvleder: i en siliciumkrystall (ved romtemperatur) finnes det bare noen få frie elektroner.

Doping, type n

Vi kan gjøre en halvleder til en leder ved å dope den.

Hvis vi erstatter noen siliciumatomer i en siliciumkrystall med fosfor, får vi en n-halvleder, med fritt bevegelige elektroner.

Fosfor har atomnummer 15, fosforatomet har ett elektron mer enn siliciumatomet.

Det ene elektronet pr. fosforatom passer ikke inn i krystallstrukturen, det blir «hjemløst» og kan bevege seg fritt.

Fordi elektronet har negativ ladning, kalles dette en n-halvleder.

Doping, type p

Hvis vi i stedet erstatter noen siliciumatomer i krystallen med bor, får vi en p-halvleder, med fritt bevegelige hull.

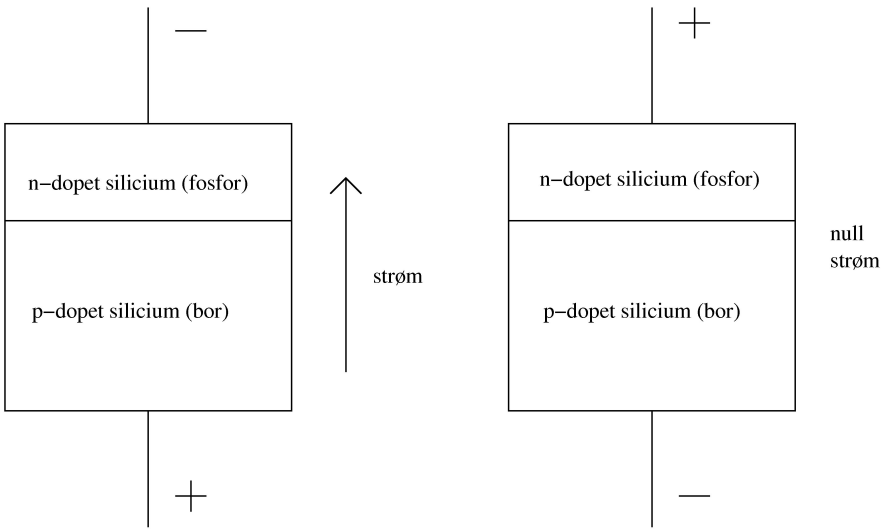
Bor har atomnummer 5, altså 3 elektroner mer enn edelgassen helium.

I krystallstrukturen til silicium blir det et underskudd på ett elektron for hvert bor-atom.

At det mangler et elektron, med negativ ladning, er det samme som å si at det er et hull tilstede, som har positiv ladning.

Hullet kan bevege seg fritt og transportere ladning.

Prinsippet for en pn-diode



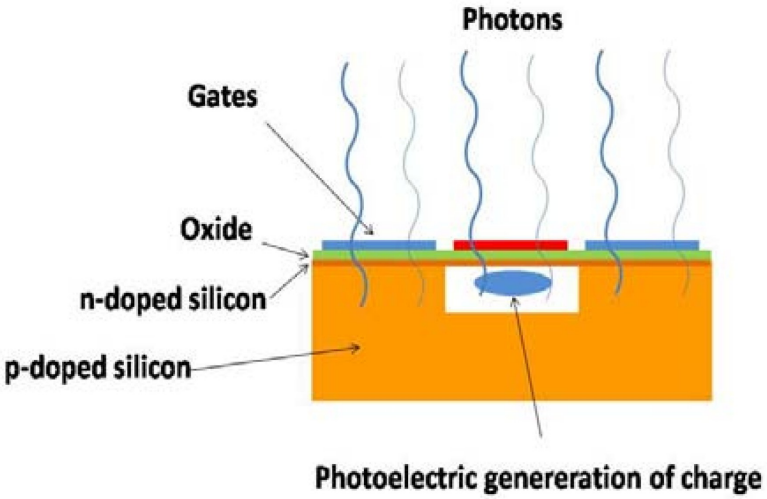
En diode leder strøm bare i en retning.

Men en pn-diode kan lede strøm i «feil retning» hvis vi lyser på den.

Et foton kan slå løs et elektron, da oppstår det samtidig et hull. Elektronet havner på n-siden og hullet havner på p-siden av grenseflaten.

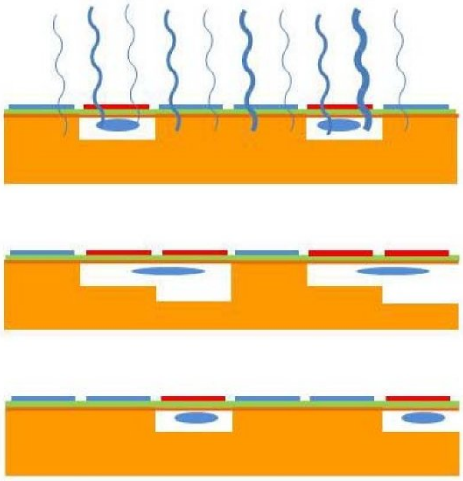
På den måten kan pn-dioden omforme lys til elektriske signaler.

En CCD-pixel



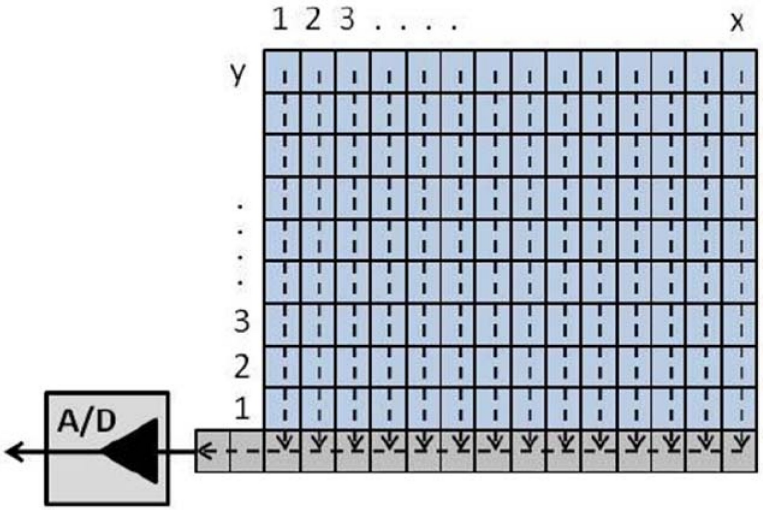
Elektroden i midten (rød) er positiv.
Elektrodene på siden (blå) er negative.

Hvordan en pixelrekke flyttes

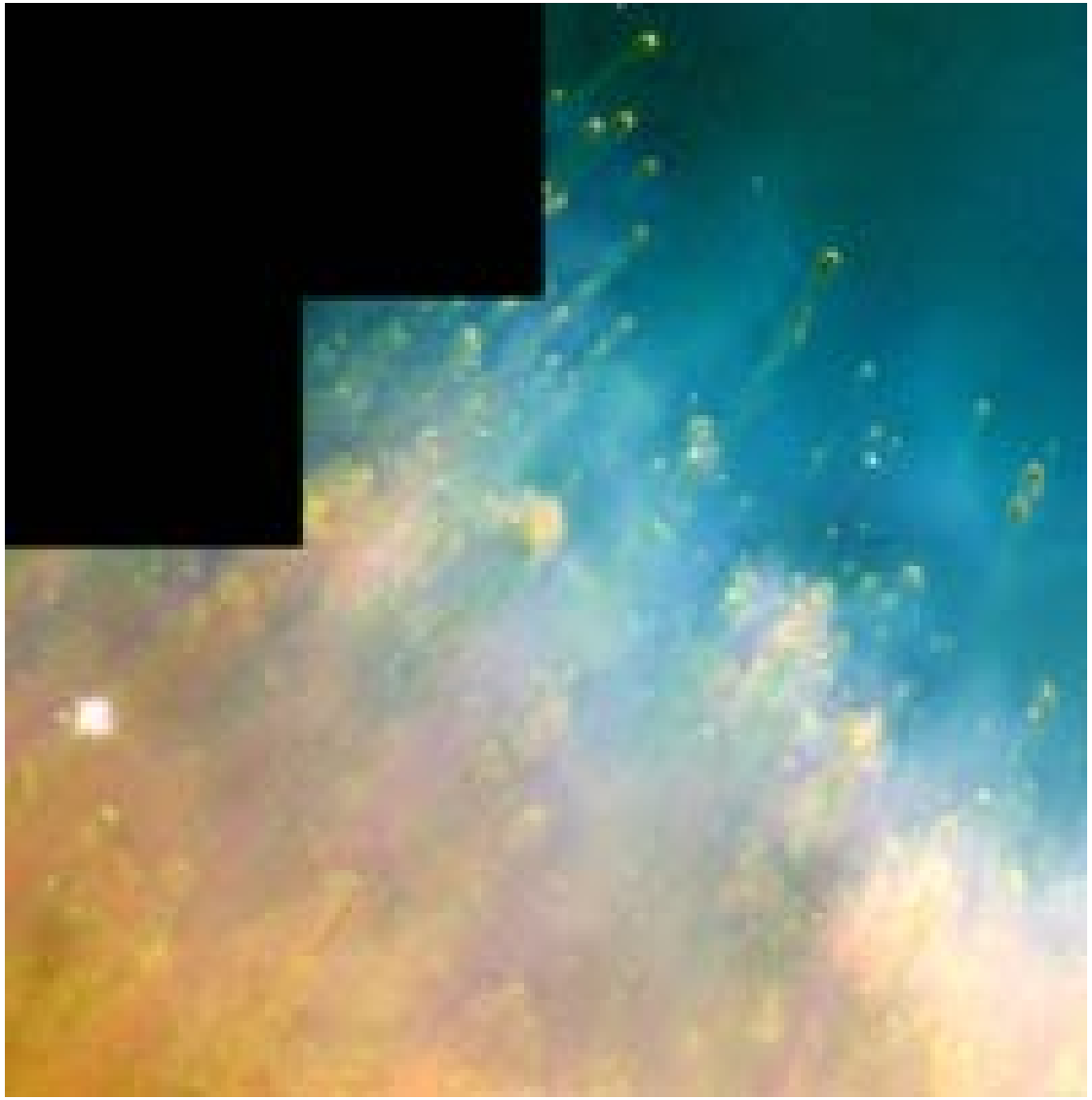


I løpet av to trinn flyttes hele pixelrekken 1/3 pixel mot høyre.

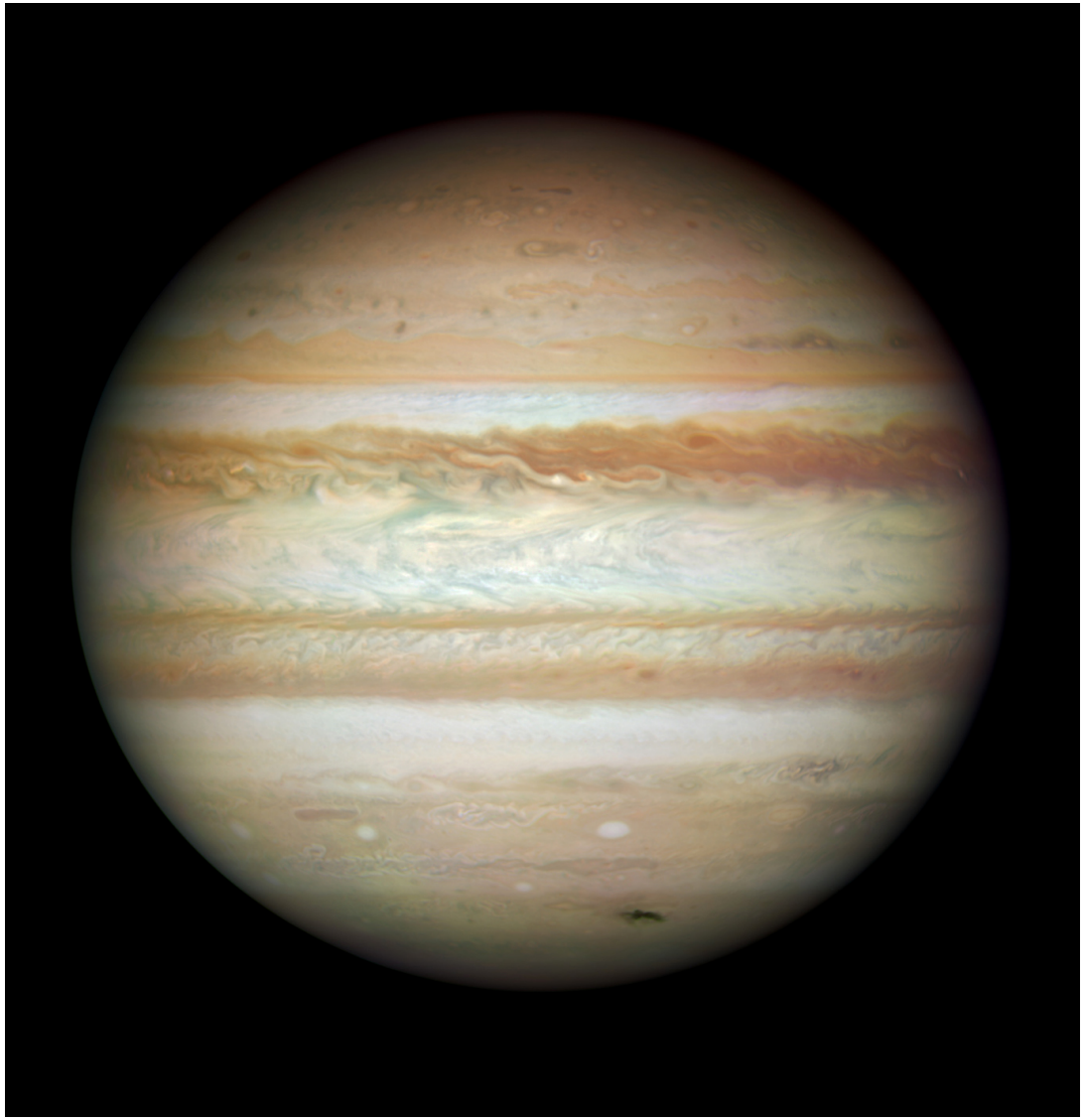
Hvordan hele bildet leses ut



Hele bildet flyttes nedover, en rad om gangen.
Den nederste raden flyttes mot venstre, en pixel om gangen.
Pixlene leses ut en og en fra nederste venstre hjørne.



WFPC2-kameraet til Hubble-teleskopet hadde fire CCD-brikker,
hver med 800×800 pixler.
Den ene brikken var halvparten så stor som de andre tre.



Jupiter, fotografert med WFC3-kameraet installert i Hubble-teleskopet i 2009.