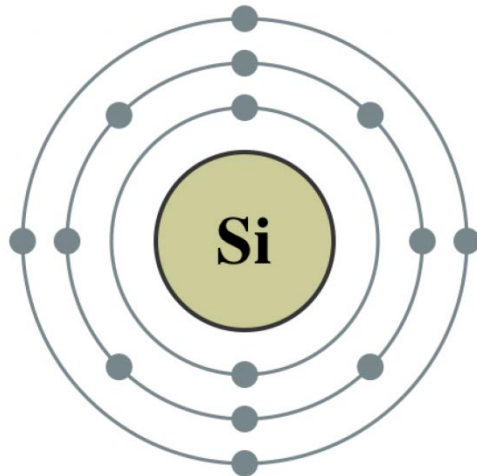


# Crash course om halvledare

Halvledarteknik på 5 minuter ...

# Vad är elektricitet?

Vad är elektricitet?



Grundämnenas elektriska egenskaper avgörs av antalet elektroner i det yttersta skalet - **valenselektronerna!**

Period = 8

group	1	2	13	14	15	16	17	18
1	H							He
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
	19	20	31	32	33	34	35	36

*Skol-modellen av en Kiselatom.*

*Kisel med atomnumret 14 har 14 protoner i kärnan som binds ihop med 14 neutroner. I banor runt kärnan kretsar 14 elektroner. Det innersta skalet är fullt och har 2 elektroner, nästa skal är fullt och har 8 elektroner, det yttersta sk. valensskalet innehåller 4 elektroner ( med plats för ytterligare 4 ).*

# Ledare Halvledare Isolator

- **Ledare** *mindre än halvfullt valensskal*

- **Isolatorer** *fullt valensskal*

Periodic table

period	group 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac															
			58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

- **Halvledare** *halvfullt valensskal*

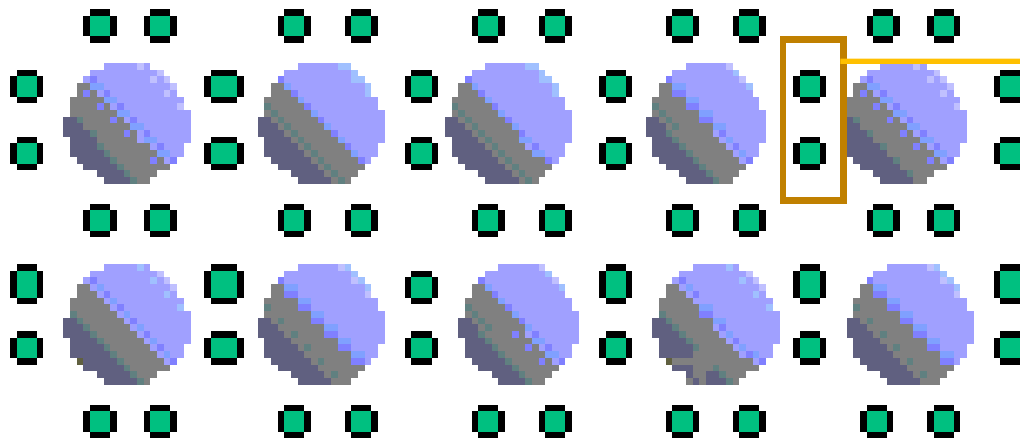
©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

# Kiselkristallen



- Kisel har fyra valenselektroner

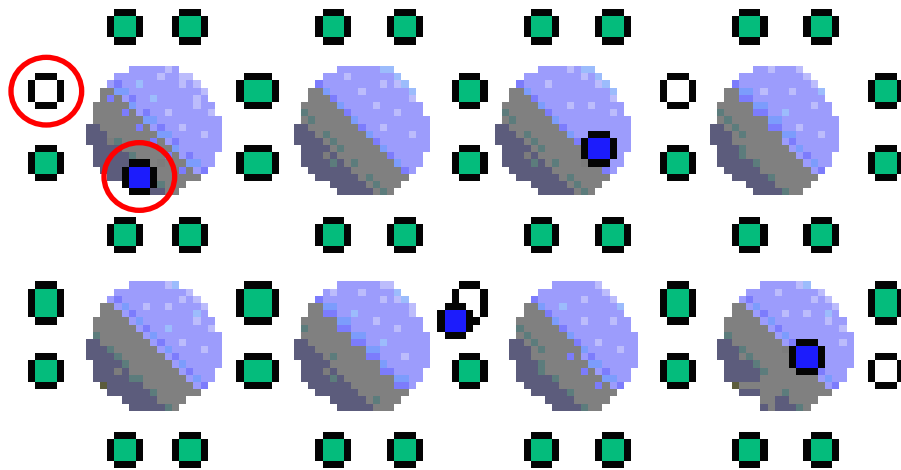
- Ingår kiselatomen i en kristall kan den dela elektroner med fyra grannar – som om den hade 8 elektroner = fullt skal.



Kovalent  
bindning

Kristallen är  
*nästan* en  
isolator.

# Värm kristallen



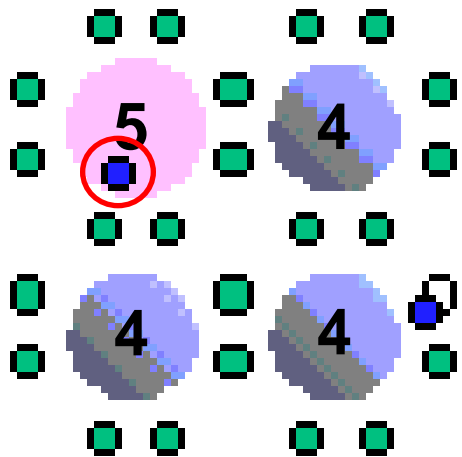
Några negativt laddade elektroner ”skakar loss” och blir ledningselektroner. De tomma platserna blir positivt laddade Hål.

Om en ledningselektron faller ned i ett hål, och ett nytt elektron+hål par bildas någon annanstans, kan det ses om att ett hål har flyttat på sig.

Kristallen blir en **halvledare**, det finns nu både elektronström och hål-ström.

# N-dopa kristallen!

Genom att tillföra kiselkristallen vissa störämnen (doping) kan man **öka** halvledarens ledningsförmåga.

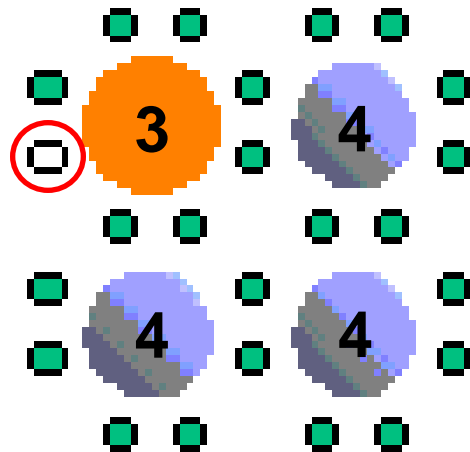


Man kan tillföra **Fosfor** med **5** valenselektroner. På platsen med Fosforatomen finns det då en "extra" elektron som är fri att förflytta sig som ledningselektron.

Detta resulterar i ökad ledningsförmåga på grund av ökad rörlighet hos de *negativa* laddningsbärarna (elektroner). Detta är en **n-typ** halvledare.

# P-dopa kristallen!

Genom att tillföra kiselkristallen vissa störämnen (doping) kan man **öka** halvledarens ledningsförmåga.



Man kan tillföra **Bor** med **3** valenselektroner. På platsen med Boratomen bildas då ett "hål". Hålet kan "flytta sig" genom att valenselektroner faller in i det.

Detta resulterar i ökad ledningsförmåga på grund av ökad rörlighet hos de *positiva* laddningsbärarna (hål). Detta är en **p-typ** halvledare.

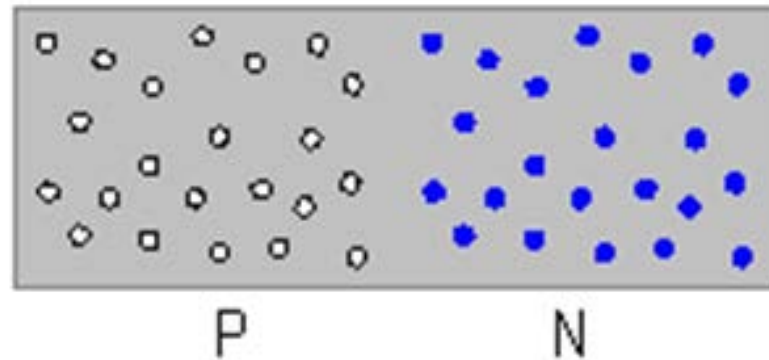
# Akvarium med sektioner



Tar man bort **avskiljaren** så blandar sig fiskarna slumpvis.



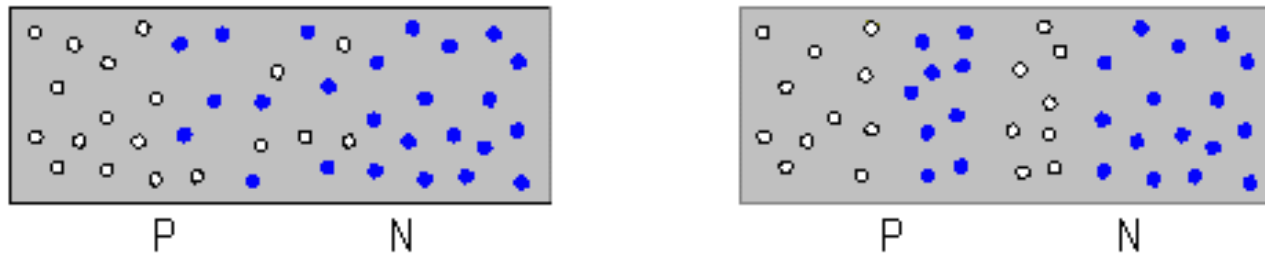
# PN-övergång



P-dopat och N-dopat område intill varandra?  
Vad tror Du händer?

# Laddningsbarriär

## PN-övergångens laddningsbarriär

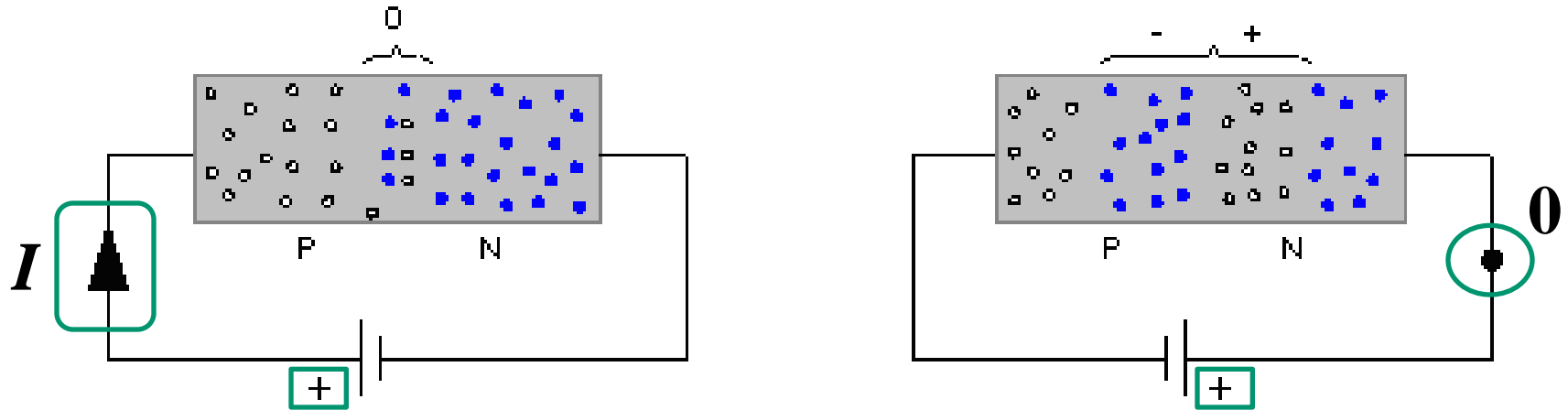


För att utjämna ”skillnaden” strömmar elektroner mot p-halvan och hål mot n-halvan.

Eftersom både hål och elektroner är elektriskt laddade så påverkas de också av nettoladdningen i kristallens atomer, de bromsas därför upp och stannar en bit in på motsatta sidan.

I gränsen mellan områdena bildas en "**laddningsbarriär**", en så kallad **pn-övergång**. (Uppladdad kapacitans).

# PN-övergångens riktningsverkan

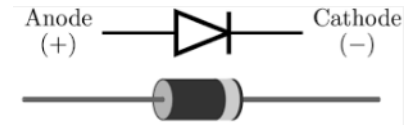


Om man ansluter en spänningskälla med pluspolen till kristallens p-ända och minuspolen till n-ändan kan spänningen *pressa ner* laddningsbarriären så att en ström kan flyta genom kristallen. **ON**

Ansluter man tvärtemot, *förstärks* laddningsbarriären och då kan endast en obetydlig ström passera genom pn-övergången. **OFF**

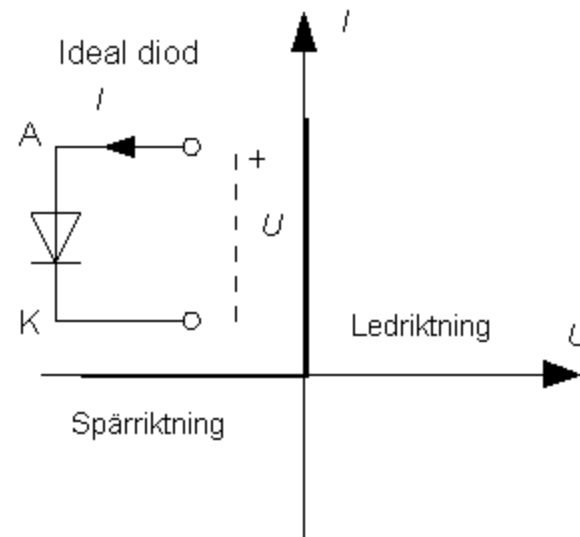
William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)

# ( PN-övergång, Diod )



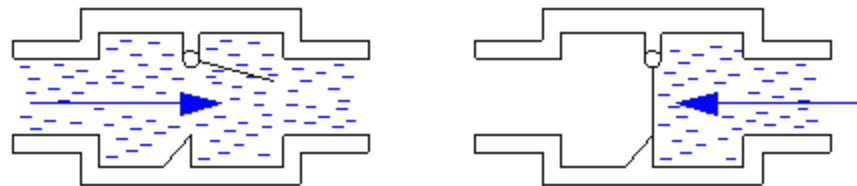
Halvledardiod

Symbol och ventilverkan



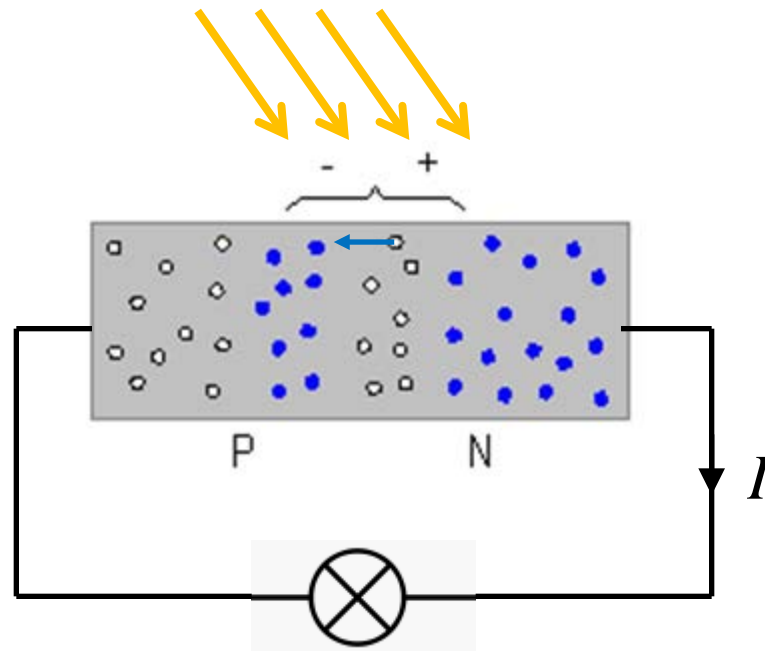
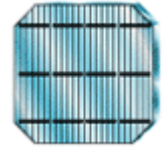
Vätskeanalogi

Backventil



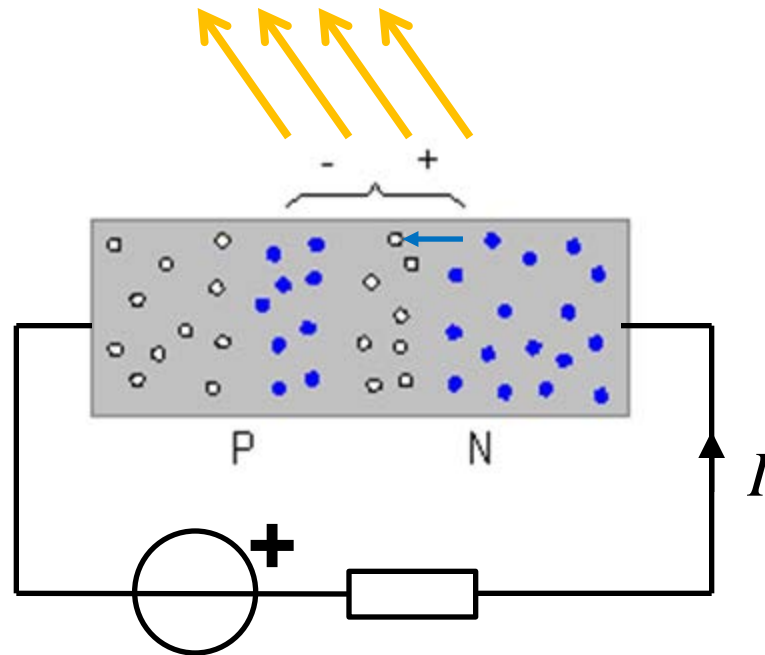
- Halvledardioden är helt enkelt en PN-övergång.

# ( PN-övergång, Solcell )



Den uppladdade kapacitansen i PN-övergången (= spänningskälla) driver en ström i kretsen. Elektronströmmen kommer av de extra ledningselektroner som ljuset skapar.

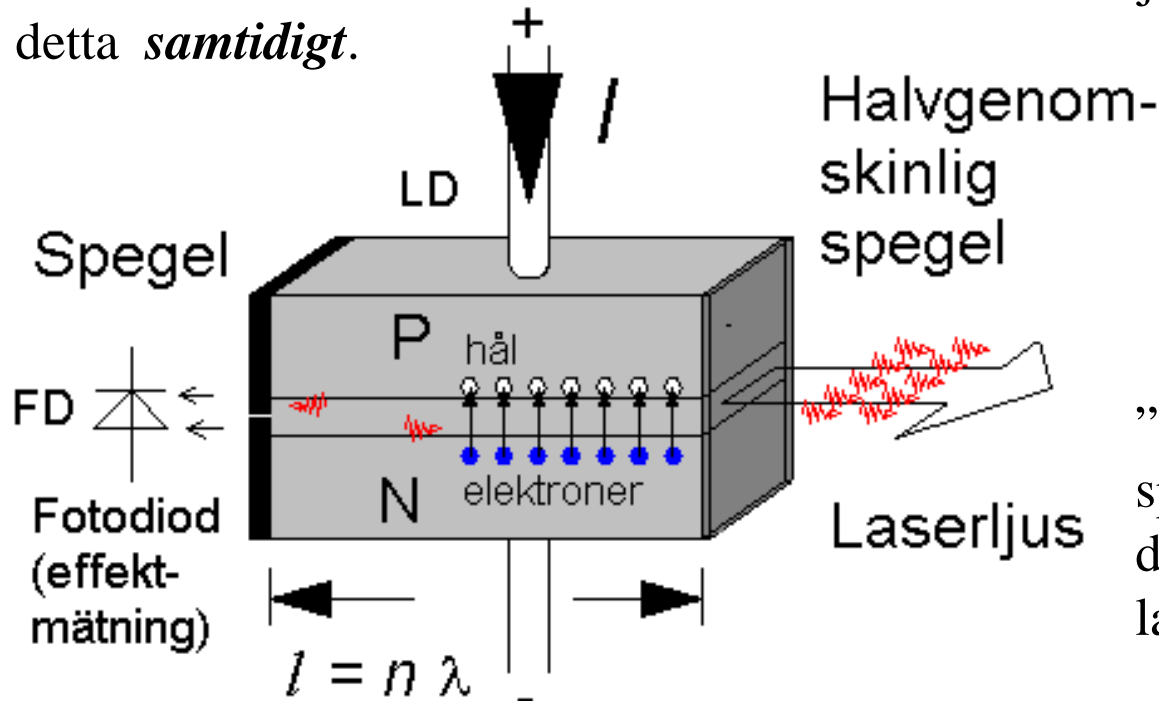
# ( PN-övergång, Lysdiod )



Elektronströmmen från en spänningskälla ger upphov till ljus när elektronerna ”faller ner” i hål. För kisel handlar ljuset om värmestrålning – lysdioderna är i stället gjorda av **galliumarsenid** för att ge synligt ljus.

# ( Diodlasern )

Strömmen genom dioden är hög. Många ledningselektroner som är på väg att "falla ner" i hål hinner stimuleras av en "stående ljusvåg" till att göra detta *samtidigt*.



Resultatet blir en förstärkt ljusstråle där alla fotoner är i fas - Laserljus!

"Halvgenomskinlig" spegel. Här kan större delen av ljusstrålen lämna laserdioden.

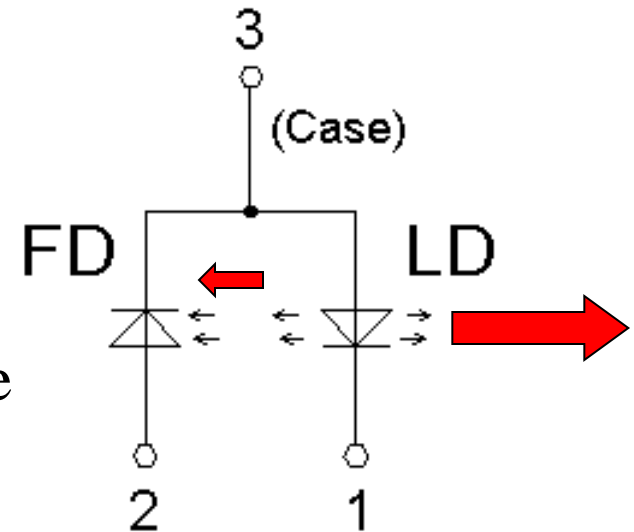
Avståndet mellan "speglarna" är anpassat så att det rymms ett helt antal våglängder av det utsända ljuset. Här blir det en "stående våg" av ljus.



# ( Lasermodul )

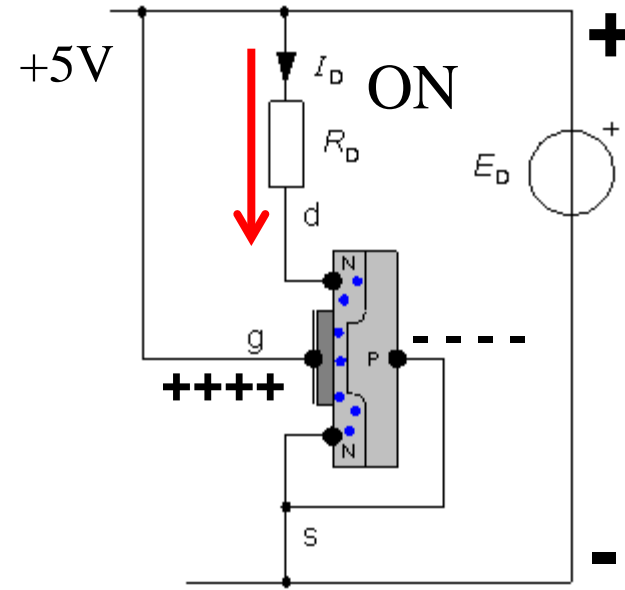
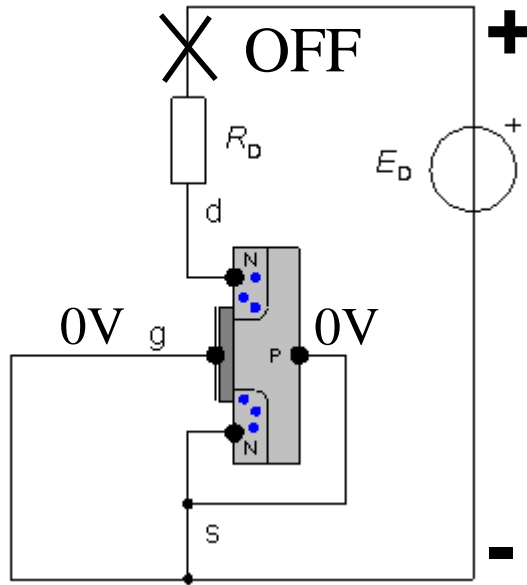


Laserstrålen focuseras med en lens.  
Laserdiodens uteffekt måste regleras.  
En in-byggd fotodiod mäter därför en mindre proportionell del av det utgående laserljuset.

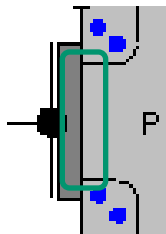


William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)

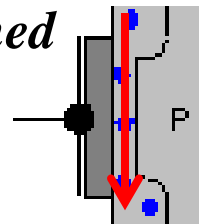
# MOS-transistorn, styrd PN-övergång



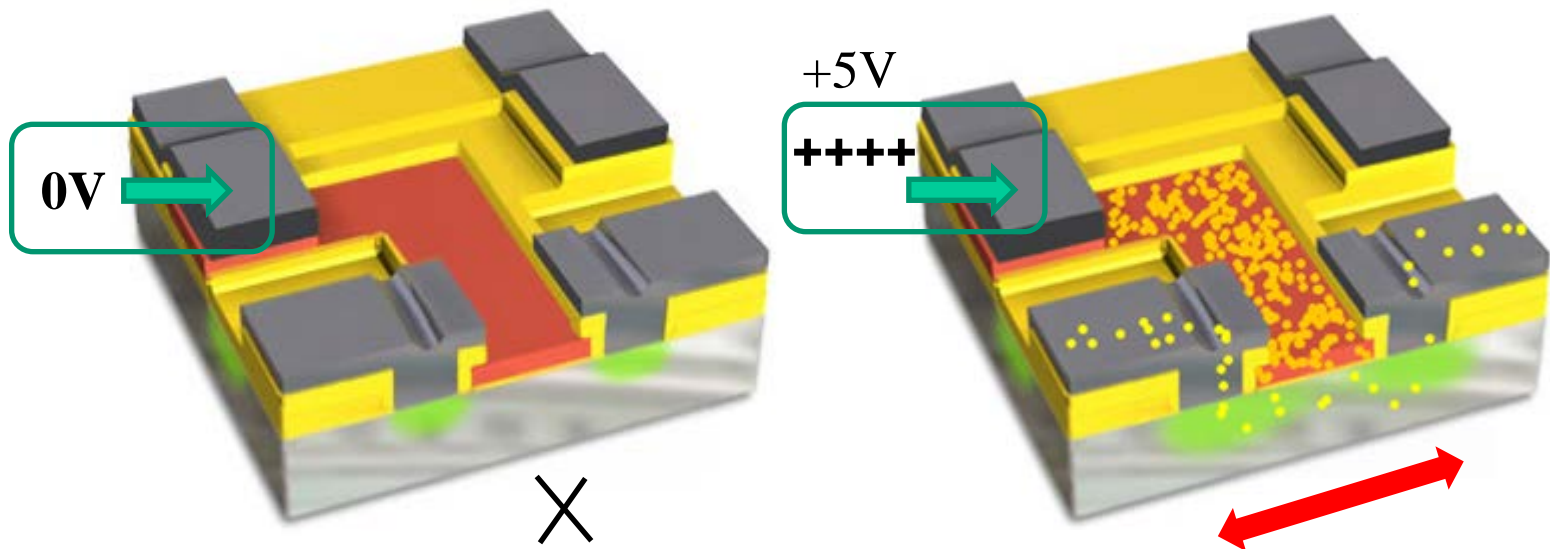
PN-övergångens laddningsbarriär *hindrar* ström genom transistorn.



**g** (gate) laddas upp (som en kondensator). Laddningens elektriska fält *trycker ned* spärrskiktet under gate elektroden. En **kanal** för strömmen *öppnas*.



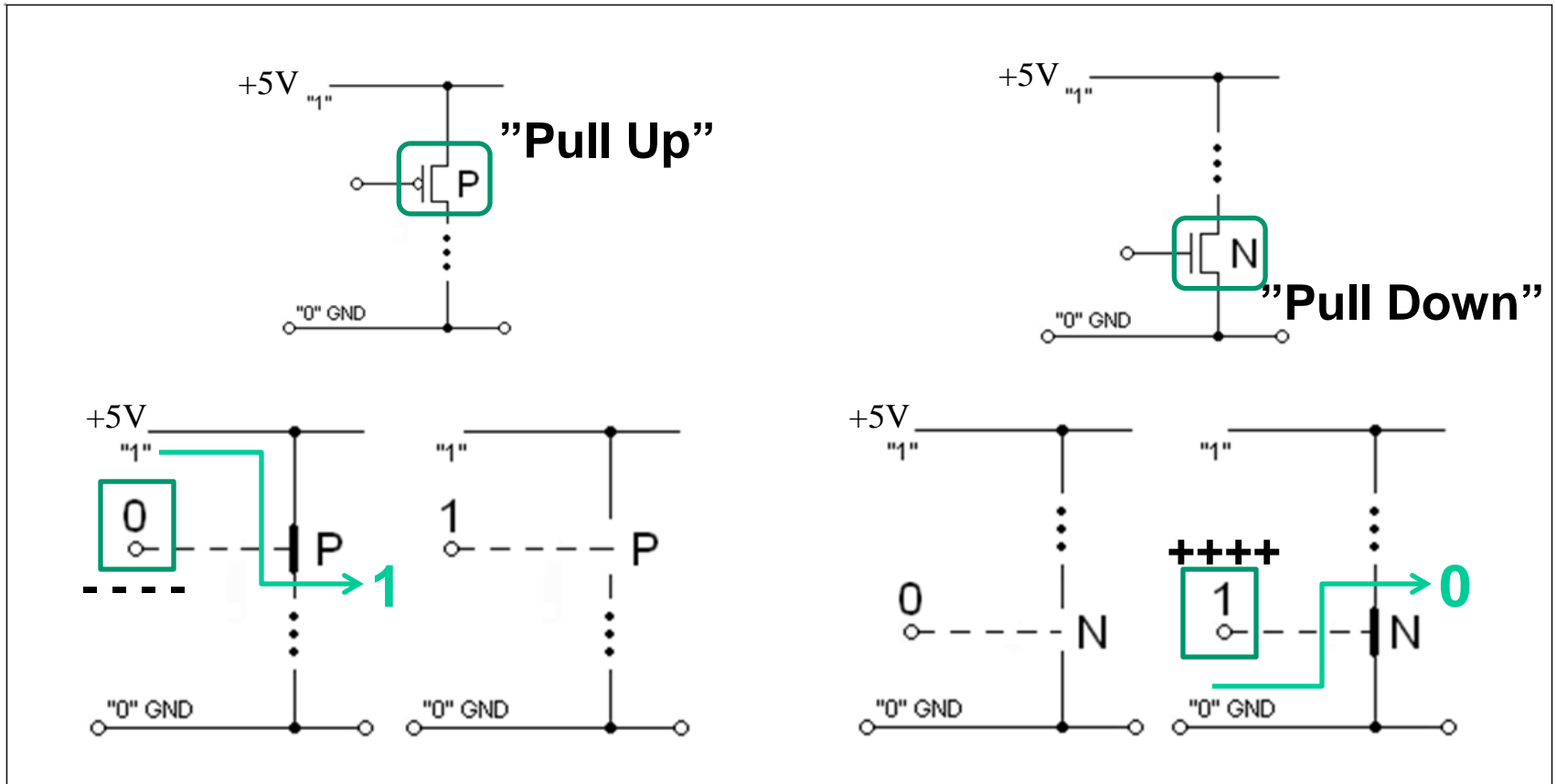
# En MOS-transistor ”on chip”



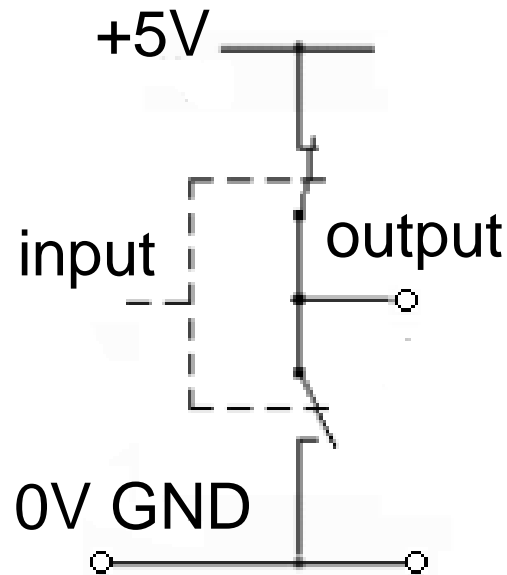
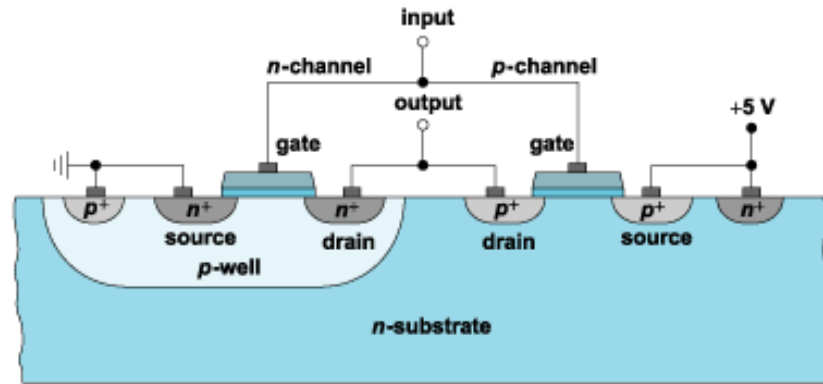
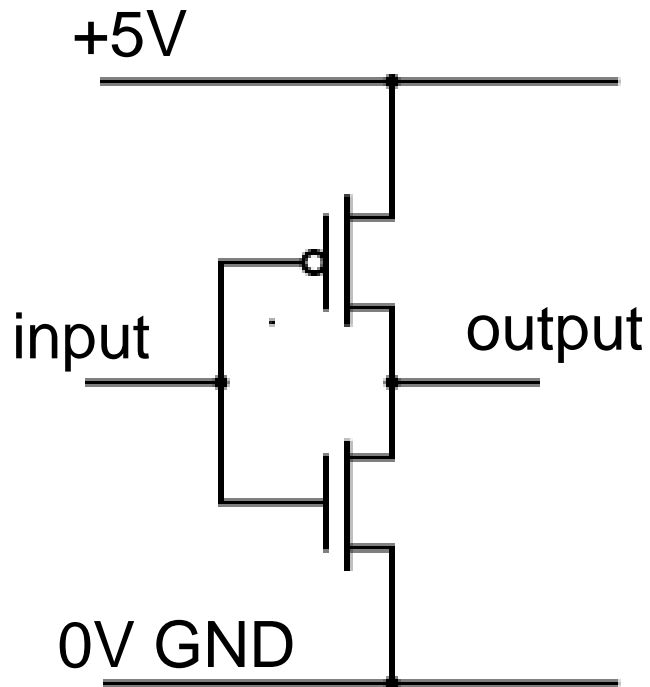
MOS-transistorn steg för steg:

<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/transistor/>

# P och N typ MOS-transistorer

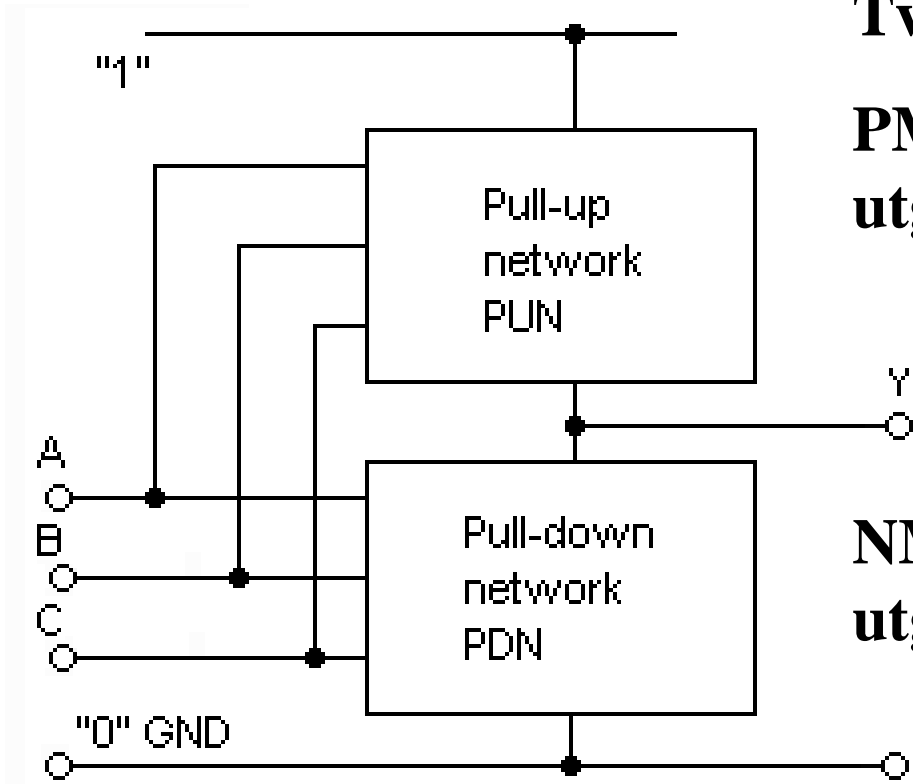


# CMOS inverter



in	out
0V	+5V
+5V	0V

# Strukturen av en CMOS-krets



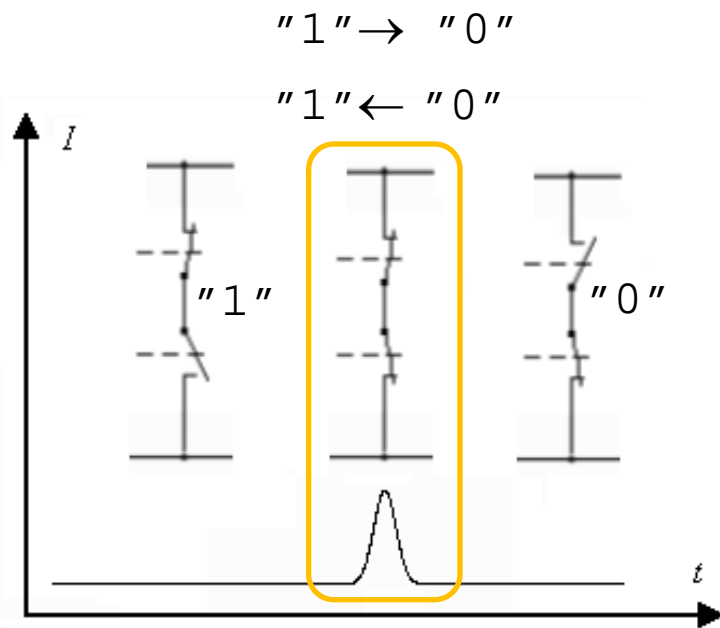
**Två olika nät:**

**PMOS gör kretsens  
utgång "1"**

**NMOS gör kretsens  
utgång "0"**

# CMOS - Dynamisk förlusteffekt !

Klassisk CMOS har *bara* förlusteffekt precis vid *omslaget*.  
Förlusteffekten  $P_F$  blir proportionell mot klockfrekvensen!



$$P_F \propto f_C \cdot V_{DD}^2$$

$P_F$  Power losses

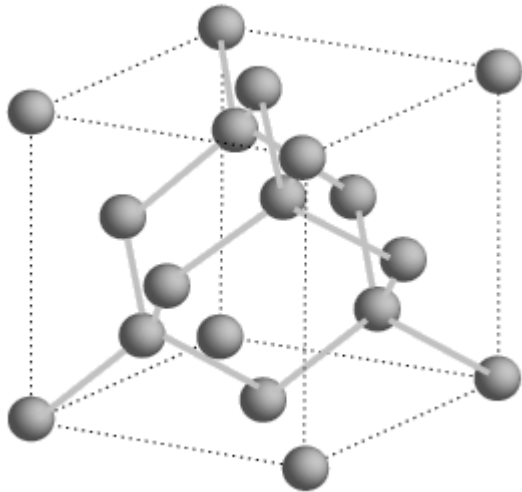
$f_C$  Clockfrequency

$V_{DD}$  Supply Voltage



William Sandqvist [william@kth.se](mailto:william@kth.se)

# Halvledarfysik är komplicerat



- Så här ser till exempel kiselkristallen egentligen ut!

**PN**-övergångarna används numera i många vardagsprodukter.

En varuhusexpedit kan självsäkert råda dig vilken modell av lysdiodslampa Du bör köpa – utan att ha några kunskaper om kvantfysik!

På samma sätt har vi här nöjt oss med **extremt förenklade** resonemang.

# Var finns sveriges närmsta kiselsmedja?

