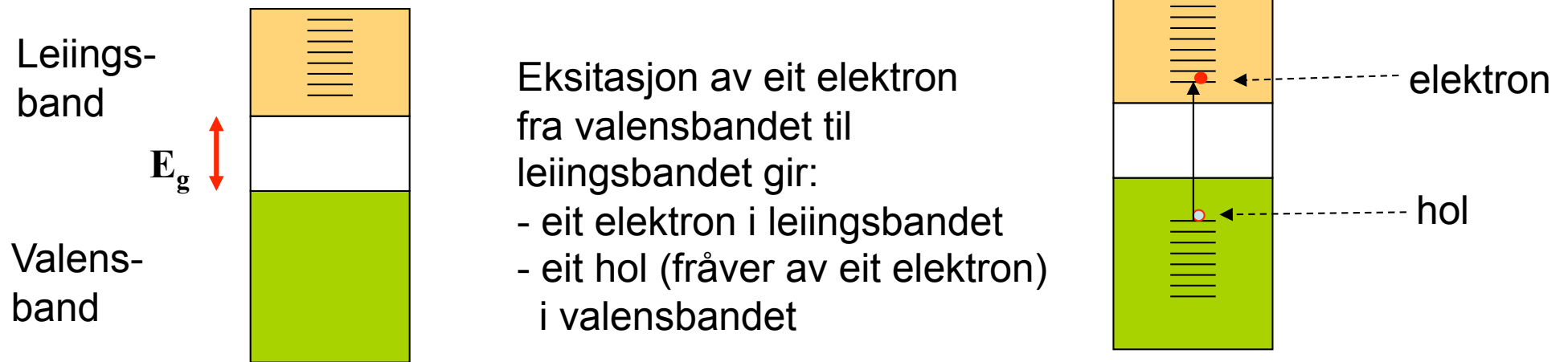


Meir om halvleiarar. Halvleiarteknologi

YF 42.6, 42.7

(Halvleiarar vart introduserte i fila “Energiband i krystallar”, som denne fila er eit framhald av.)

Hol



- Like mange hol i valensbandet som elektron i leiingsbandet
- Kan beskrive eit band sitt bidrag til elektrisk straum enten vha. dei fylte tilstandene (elektron) eller dei tomme (hol)
- Sidan det er mange færre hol enn elektron i valensbandet, vel vi å beskrive valensbandet vha. hol
- For leiingsbandet er det omvendt: mange færre elektron, så vel å beskrive leiingsbandet vha. elektron
- Bidrag til elektrisk straum kjem både frå elektron i leiingsbandet og hol i valensbandet
- Hol oppfører seg som ein positiv ladning

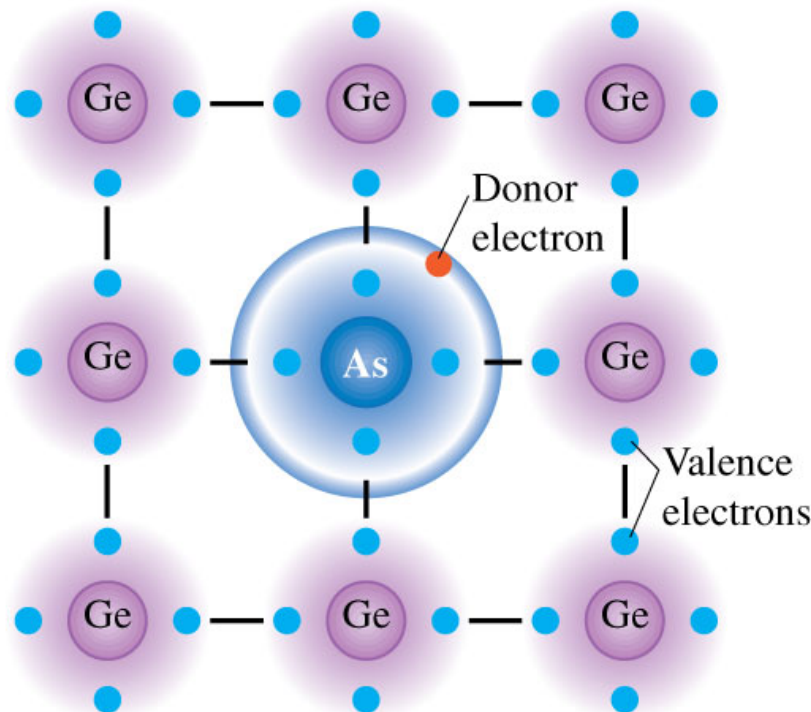
Intrinsiske vs. ekstrinsiske (“dopa”) halvleiarar

- Så langt har vi diskutert **intrinsiske** halvleiarar:
Er “reine” material, har like mange elektron i leiingsbandet som hol i valensbandet
- **Ekstrinsikk** halvleiar: halvleiar “dopa” med framandatom. Avhengig av om framandatoma har fleire eller færre valenselektron enn atoma i vertsmaterialet, kallast slike dopa halvleiarar **n-type** eller **p-type**.
- Dopinga endrar dei elektriske eigenskapane. Gjer det mogeleg å lage svært nyttige elektroniske komponentar basert på kombinasjonar av ekstrinsiske halvleiarar.

n-type ekstrinsikk halvleiar

Eks: Germanium (Ge, $Z = 32$, 4 valenselektron) dopa med små mengder arsenikk (As, $Z = 33$, 5 valenselektron).

(a) A donor (*n*-type) impurity atom has a fifth valence electron that does not participate in the covalent bonding and is very loosely bound.



© 2012 Pearson Education, Inc.

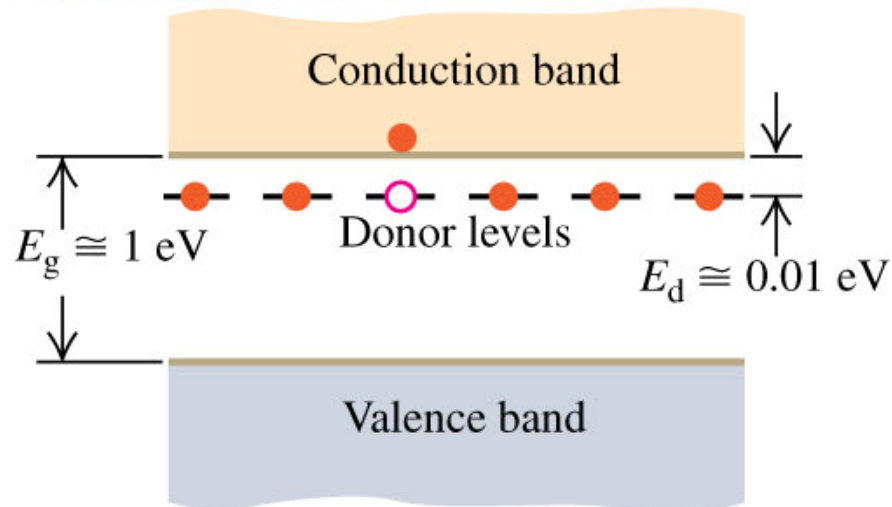
Kun 4 av As sine 5 valenselektron trengst for å danne bindingar. Det femte valenselektronet er difor veldig svakt bunde til As-atomet. Det trengst veldig lite energi for å frigjere det slik at det kan bevege seg fritt.

Set ein på eit elektrisk felt kan det da bidra til elektrisk straum.

As- atomet kallast ein donor fordi det donerer eitt elektron til systemet.

Energivået til det femte valenselektronet kallast eit donornivå og ligg i bandgapet, like under (ca. 0.01 eV) botnen av leiingsbandet.

(b) Energy-band diagram for an *n*-type semiconductor at a low temperature. One donor electron has been excited from the donor levels into the conduction band.



© 2012 Pearson Education, Inc.

Denne energiforskjellen er liten nok til at ved romtemperatur er det relativt lett å eksitere elektronet fra donornivået til leiingsbandet. Der er mange andre ledige tilstander nær i energi slik at elektronet kan bidra til å leie straum.

Konduktiviteten er primært bestemt av **elektrona** i **leiingsbandet** som kjem av **dopinga**, fordi det er mange fleire av desse enn elektrona som er eksitert fra valensbandet.

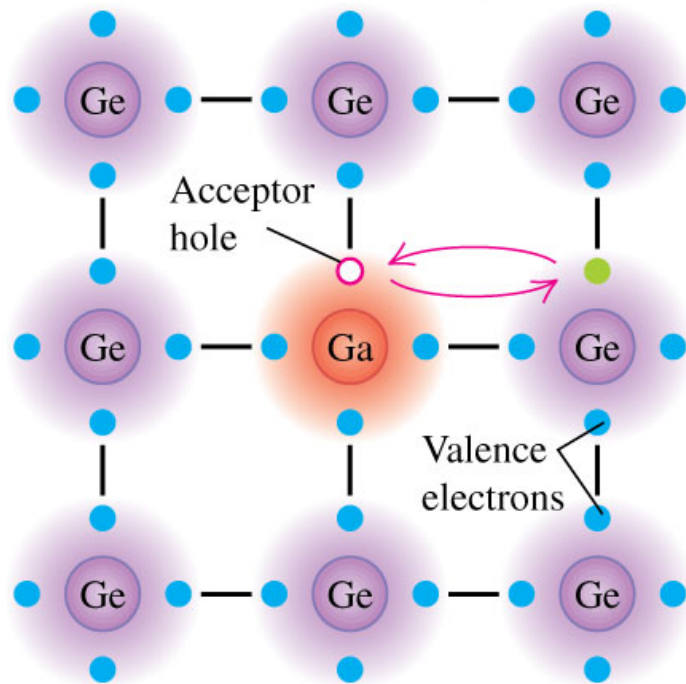
Mange fleire elektron i leiingsbandet enn hol i valensbandet, så elektron i leiingsbandet er majoritetsberarane av straum.

Denne typen ekstrinsikk halvleiar kallast n-type fordi majoritetsberarane er negativt lada.

p-type ekstrinsikk halvleiar

Eks.: Germanium dopa med små mengder gallium (Ga, $Z = 31$, 3 valenselektron)

(a) An acceptor (*p*-type) impurity atom has only three valence electrons, so it can borrow an electron from a neighboring atom. The resulting hole is free to move about the crystal.

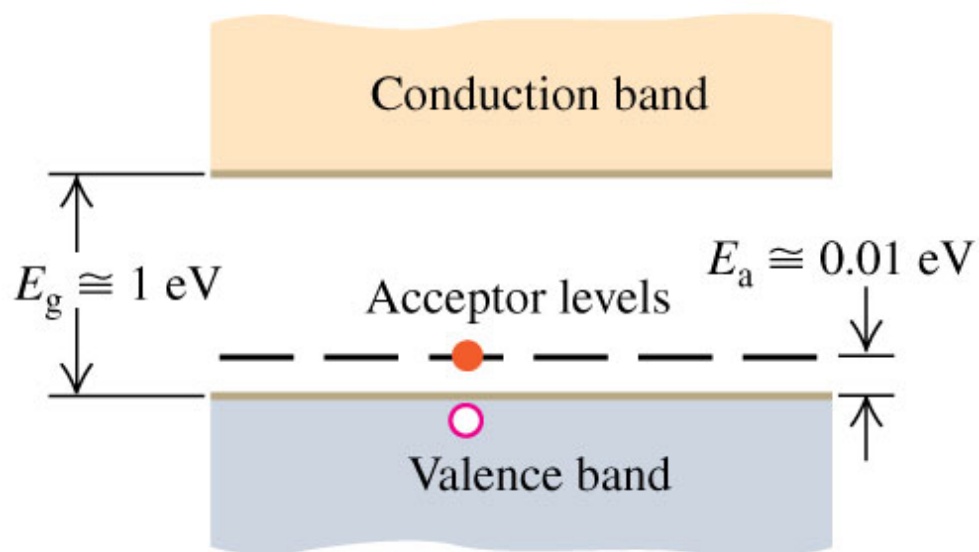


© 2012 Pearson Education, Inc.

Ga treng da eitt ekstra elektron for å danne bindingar med 4 Ge-naboar. Kan få dette ved å "stele" eit elektron fra eit Ge-atom, som da får eit hol (fråver av elektron) som kan bevege seg fritt.

Ga-atomet aksepterer eit elektron og kallast difor ein akseptor.

(b) Energy-band diagram for a *p*-type semiconductor at a low temperature. One acceptor level has accepted an electron from the valence band, leaving a hole behind.



© 2012 Pearson Education, Inc.

Gir energinivå (“akseptornivå”) i gapet like over valensbandet. Nivået er i utgangspunktet tomt, men blir fylt når elektronet fra eit Ge-atom (elektron i valensbandet) hoppar inn i det (skjer lett ved romtemperatur sidan energiforskjellen er kun ca. 0.01 eV).

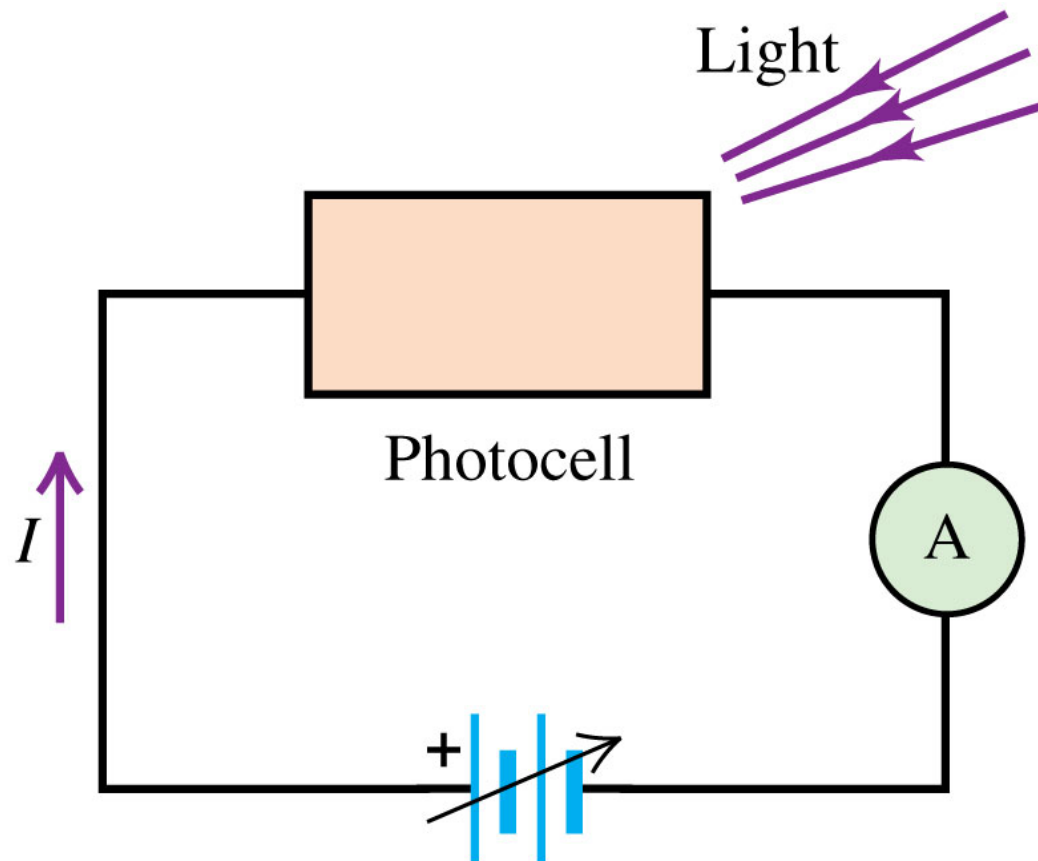
Gir eit hol i valensbandet, som da kan bidra til elektrisk straum.

Konduktiviteten er primært bestemt av **hola** i **valensbandet** som kjem av **dopinga**.

Mange fleire hol i valensbandet enn elektron i leiingsbandet, så hol er majoritetsberarane av straum.

Denne typen ekstrinsikk halvleiar kallast *p*-type fordi majoritetsberarane er positivt lada.

Fotocelle

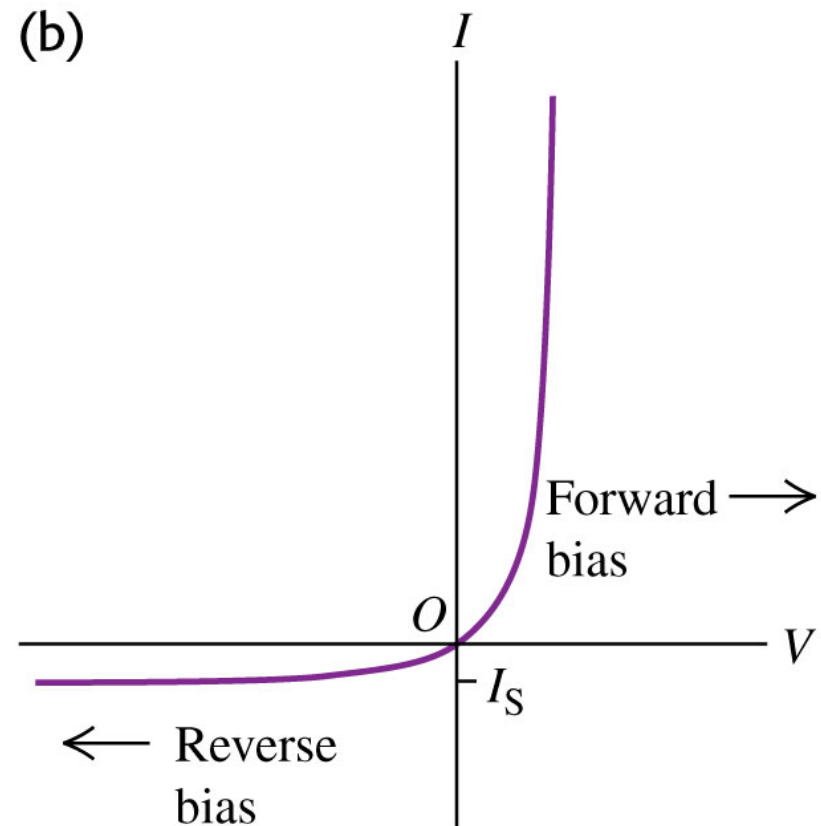
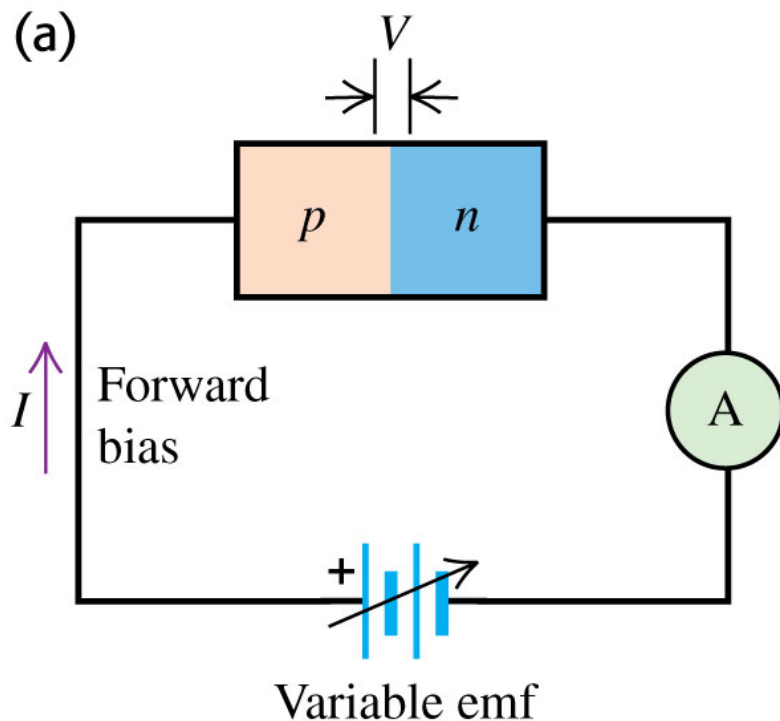


© 2012 Pearson Education, Inc.

- intrinsikk halvleiar
- basert på at konduktiviteten aukar når ein induserer eksitasjon av elektron fra valensband til leiingsband, gir elektron-hol par som kan bidra til straum.
- eksitasjonen blir her indusert av foton (lys) med $hf > E_{\text{gap}}$ (dvs. bølgjelengda må vere lita nok).
- straumen er proporsjonal med intensiteten i lyset.
- brukt som lysdetektor/lysmålar.

pn-overgang

- består av ein bit som er p-type halvleiar kopla til ein bit som er n-type
- elektrisk straum mykje større i ein retning enn i den andre: diode
- kvalitativ forklaring: når batteriet er slik at + er kopla til p og - er kopla til n (forward bias) vil straum gå fra p til n gjennom pn-overgangen. Mykje straum sidan det er mange hol i p-regionen og mange elektron i n-regionen. Omvendt kopling (reverse bias) gir lite straum fordi det er få hol i n-regionen og få elektron i p-regionen.



Lysemitterende diode (LED)

- pn-overgang som sender ut lys
- forward bias: hol går frå p-region til overgangsregionen, det same gjer elektron i n-regionen. I overgangsregionen kan elektronet "dette ned" i holet (rekombinasjon) med energien frigjort som lys (foton) med frekvensen approksimativt gitt ved bandgapet.
- energieffektive lyskjelder
- brukt i billys, trafikklys, elektroniske display.

Fotovoltaisk effekt

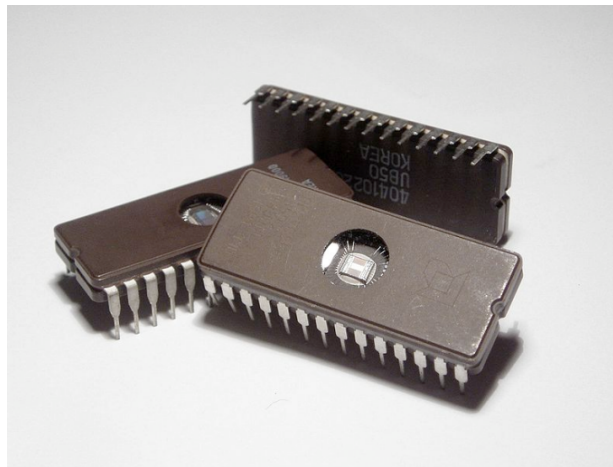
- pn-overgang, "lysdiode i revers"
- foton med energi større enn bandgapet kjem utanfrå, blir absorbert, kreerer elektron-hol par som kan bidra til straum og drive ytre krets
- kallast ofte solcelle
- bruksområde: solenergi-teknologi, digitale kamera

Meir avanserte elektroniske komponentar basert på halvleiarfysikk

- **Transistorar:** pnp og npn-strukturar, brukt som **forsterkarar** og **brytarar** for elektroniske signal.

Video: www.youtube.com/watch?v=IcrBqCFLHIY

- **Integrerte kretsar** (microchips): inneheld eit stort # transistorar ($\sim 10^6$ pr. Mm^2)



- Halvleiarsteknologi er grunnlaget for elektronikkrevolusjonen