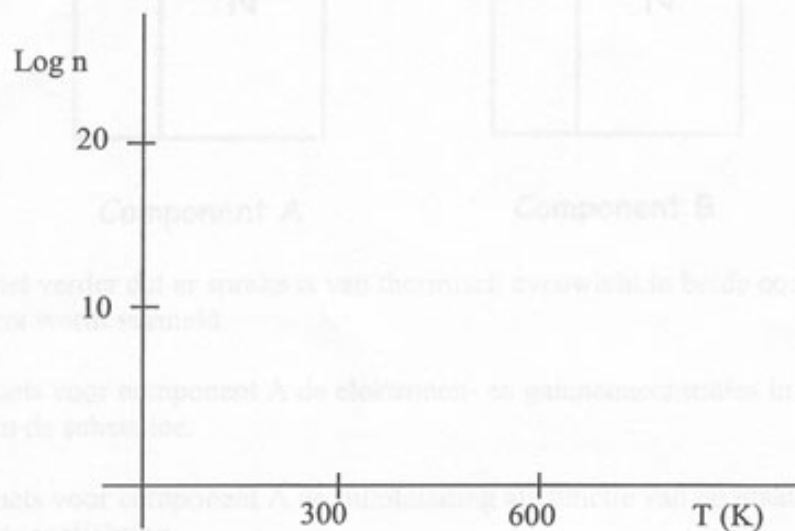


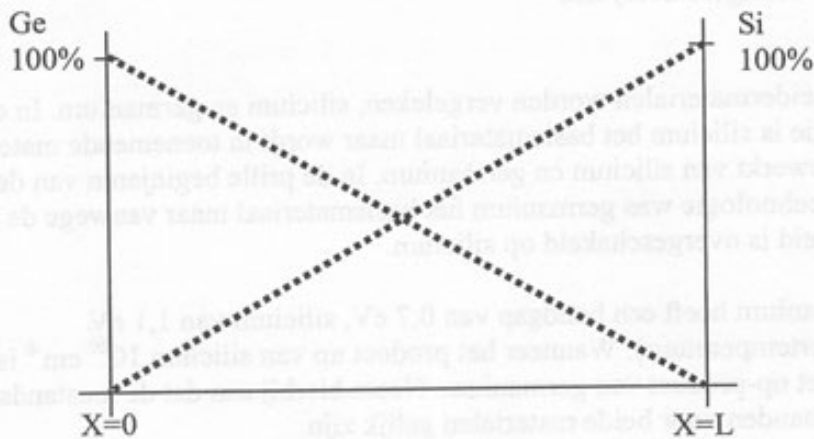
Vraagstuk 1 Halfgeleiderfysica

Twee halfgeleidermaterialen worden vergeleken, silicium en germanium. In de moderne IC-technologie is silicium het basismateriaal maar wordt in toenemende mate met legeringen gewerkt van silicium en germanium. In de prille beginjaren van de halfgeleider technologie was germanium het basismateriaal maar vanwege de slechte oxideerbaarheid is overgeschakeld op silicium.

- Germanium heeft een bandgap van 0,7 eV, silicium van 1,1 eV (kamertemperatuur). Wanneer het product np van silicium 10^{20} cm^{-6} is, bereken dan het np -product van germanium. Neem hierbij aan dat de toestandsdichtheden in de banden voor beide materialen gelijk zijn.
- Een blokje germanium en een blokje silicium worden beide homogeen gedoteerd met fosfor tot een niveau van 10^{18} cm^{-3} . Schets in één grafiek het verloop van de elektronenconcentratie als functie van temperatuur voor beide materialen en verklaar de vorm van de curven en de onderlinge ligging. Gebruik een assenstelsel zoals hieronder aangegeven.



- In moderne bipolaire technologieën wordt soms een gemengde laag van silicium en germanium gegroeid. In onderstaande grafiek is langs 1 dimensie de samenstelling van een stukje halfgeleider geschetst; op $x=0$ geheel bestaand uit germanium en $x=L$ geheel uit silicium en daartussen gelijkmatig van samenstelling veranderend. Het materiaal is homogeen gedoteerd met 10^{18} cm^{-3} fosfor.



Schets van dit materiaal een bandenplaatje en de elektronen en gaten concentratie als functie van positie en verklaar de curven. Zal de relatieve positie van het Fermiverniveau op $x=0$ en $x=L$ tov de geleidingsband aan beide kanten verschillen? Waarom?

- d) Zal er in dit materiaal een ingebouwd elektrisch veld en ingebouwde potentiaal bestaan? Waarom?

Waardering:

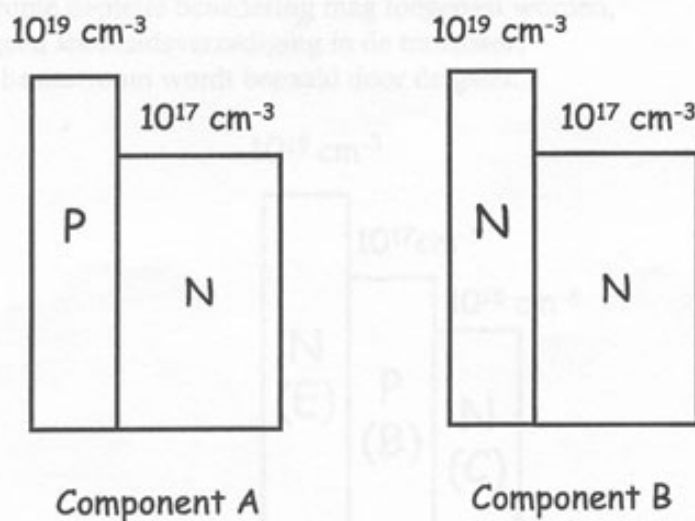
- a) 20
- b) 30
- c) 35
- d) 15

Vraagstuk 2 pn-overgang

De doping profielen van twee één-dimensionale (1D) Silicium componenten zijn weergegeven in de figuur beneden. Beide componenten hebben aan de uiteinden een metaalcontact.

Gemakshalve worden er verschillende aannames verondersteld:

1. de componenten opereren bij kamertemperatuur ($T=300\text{K}$),
2. de doping concentratie heeft geen invloed op parameters zoals de mobiliteit en verboden band (bandgap),
3. de metaalcontacten van de componenten zijn ohms,
4. en de abrupte depletie benadering mag toegepast worden.



Veronderstel verder dat er sprake is van thermisch evenwicht in beide componenten, tenzij anders wordt vermeld.

- a) Schets voor component A de elektronen- en gatenconcentraties in een figuur en licht de schets toe.
- b) Schets voor component A de ruimtelading als functie van de plaats en geef een korte toelichting.
- c) Schets ook het ingebouwde elektrische veld en de potentiaal voor component A en verklaar.
- d) Schets een bandendiagram en bereken het verschil tussen de intrinsieke Fermi niveaus aan beide uiteinden van component A.
- e) Schets voor component B de elektronen- en gatenconcentraties in een figuur en licht de schets toe.

- f) Er wordt nu een extern aangelegde spanning op de aansluitingen van beide componenten gezet, die gevarieerd wordt van -1V tot 1V. Licht kwalitatief toe wat de belangrijke verschillen zijn in gedrag van de stromen van beide componenten als functie van de externe spanning. Schets hierbij zonnodig de stroomkarakteristieken.

Waardering:

- a) 20
- b) 10
- c) 15
- d) 20
- e) 15
- f) 20

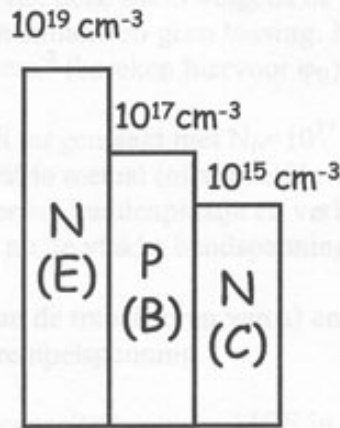


Vraagstuk 3 Bipolaire transistor

Het doping profiel van een één-dimensionale Silicium bipolaire transistor wordt in het plaatje beneden weergegeven. De dimensies van deze transistor zijn zodanig dat er slechts recombinatie aan de contacten is en dat alle gedoteerde lagen een quasi-neutraal gebied hebben.

Gemakshalve worden er verschillende aannames verondersteld:

1. de transistor opereert bij kamertemperatuur ($T=300\text{K}$),
2. de doping concentratie heeft geen invloed op parameters zoals de mobiliteit en verboden band (bandgap),
3. de metaalcontacten aan de uiteinden van het device zijn ohms,
4. de abrupte depletie benadering mag toegepast worden,
5. er is geen snelheidsverzadiging in de transistor,
6. en de basisstroom wordt bepaald door de gaten.



- a) Schets een bandendiagram voor de bipolaire transistor bij thermisch evenwicht. Verklaar.

Veronderstel nu de volgende dimensies voor de transistor:

L_E (μm)	L_B (μm)	L_C (μm)
0.2	0.3	2.0

waar L_E , L_B and L_C de totale (chemische) emitter, basis en collector lengte representeren.

- b) Veronderstel een basis-emitter spanning van $V_{BE}=0.5\text{V}$ en collector-basis spanning van $V_{CB}=0\text{V}$. Bereken de collector- en basisstroomdichtheid. Bepaal de stroomversterking.

- c) Veronderstel nu dat in de basis-collector depletielaag de electronensnelheid instantaan verzadigt ($v=v_{th}=10^7$ cm/s) onafhankelijk van het elektrische veld (aanname 5 mag dus genegeerd worden).

We kunnen dan afleiden dat voor de collector stroomdichtheid geldt dat

$$J_C = \left(\frac{1}{1 + \frac{D_n}{v_{th} L_{NB}}} \right) \cdot \frac{q D_n n_i^2}{N_B L_{NB}} \cdot \exp\left(\frac{V_{BE}}{u_T}\right),$$

waarin N_B is de basisdoping en L_{NB} de

neutrale basislengte.

Bereken nu J_C voor dezelfde transistor gegeven de zelfde spanningen als bij b).

- d) Stel nu dat $L_{NB}=20$ nm. Bereken nu J_C in geval van snelheidsverzadiging en zonder snelheidsverzadiging. Leg uit wanneer snelheidsverzadiging belangrijk wordt.

Waardering:

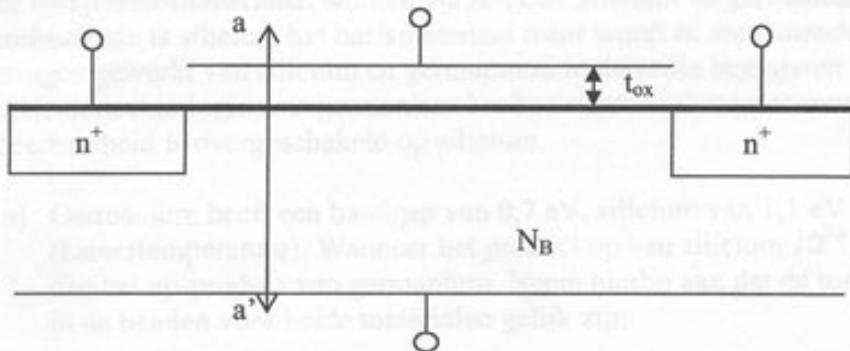
- a) 20
b) 35
c) 15
d) 30



L_n (nm)	L_p (nm)	L_c (nm)
0.2	0.3	1.0

Vraagstuk 4: MOS transistor

Gegeven is een nMOS transistor volgens onderstaande schets.



- Schets het bandenplaatje van deze MOS volgens de lijn aa'. Ga daarbij uit van een initiële vlakke banden situatie en geen biasing. Neem aan dat N_B homogeen is met een waarde van 10^{16} cm^{-3} (bereken hiervoor ϕ_B).
- Een identieke MOS wordt nu gemaakt met $N_B=10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Er is weer geen biasing en de gate blijft van hetzelfde metaal (ofwel zelfde werkwilte en dus positie Fermi-niveau). Schets weer het bandenplaatje en verklaar het verschil met a) (noot: bereken weer ϕ_B). Wat is nu de vlakke bandspanning?
- De drempelspanningen van de transistoren van a) en b) zullen verschillen. Bereken het verschil in drempelspanning.
- Waarom is de gate-drain capaciteit van een MOS in verzadiging kleiner dan die van een MOS gebiased in het lineaire gebied?

Waardering:

- 25
- 35
- 25
- 15