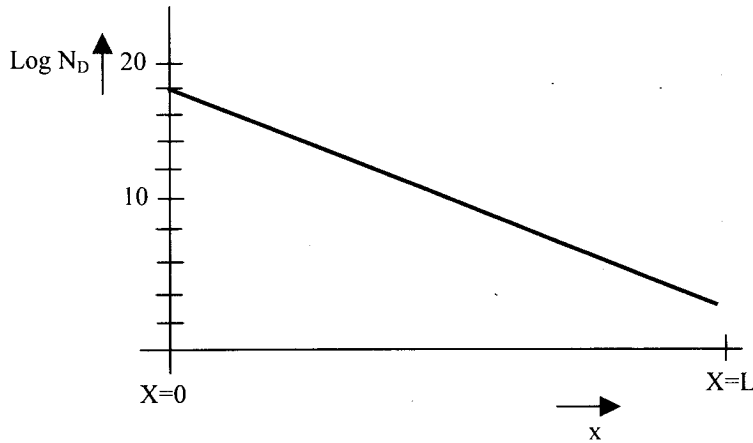


Tentamen Halfgeleiderdevices, 9 januari 2002 (snelle herkansing)

Opgave 1, Halfgeleiderfysica

a) Gegeven is het volgende doteringsprofiel in een blokje silicium met lengte L:



Teken in het zelfde assenstelsel de gaten- en elektronenconcentratie bij kamertemperatuur en bij een (iets) lagere temperatuur dan kamertemperatuur, waarbij aangenomen mag worden (kamer T) dat  $n_i^2 = 10^{20} \text{ cm}^{-6}$ . Verklaar je grafieken.

b) Van het zelfde blokje wordt nu gevraagd de positie van het Fermi niveau te tekenen als functie van  $x$  in een energiebanden plaatje. Bepaal de waarde van  $E_F - E_{Fi}$  op  $x=0$  en  $x=L$ . Hoe zal de positie van het Fermi niveau veranderen als de temperatuur stijgt?

c) Teken nu de ruimteladingsdichtheid (space charge) die mogelijk aanwezig is in het blokje, kwalitatief, als functie van de plaats en verklaar je grafiek.

d) Teken nu de grafiek van het elektrisch veld dat mogelijk aanwezig is in het blokje en verklaar de curve. Bereken ook de grootte van het elektrisch veld op  $x=0$ .

e) Maak een grafiek van de ingebouwde potentiaal die mogelijk aanwezig is en bereken  $V(L) - V(0)$ . Verklaar de grafiek.

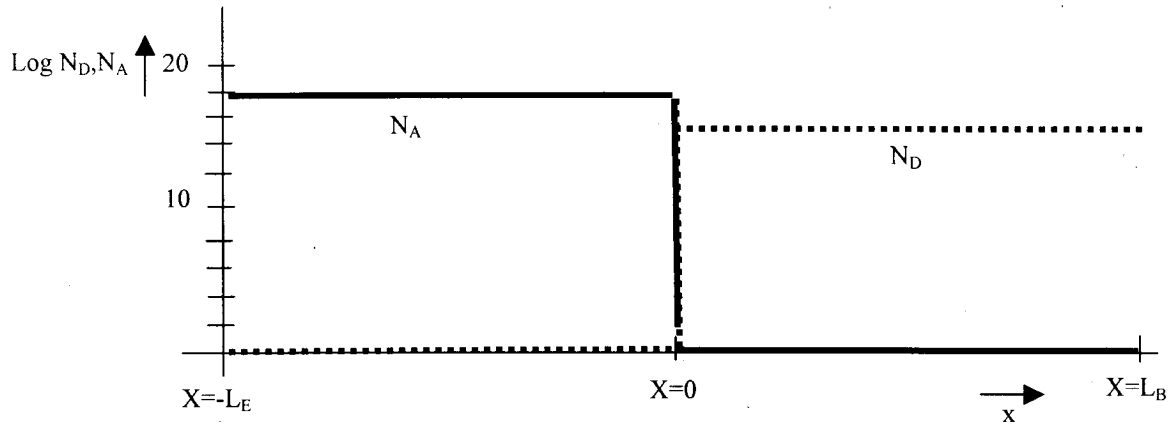
f) Waardoor wordt de levensduur van overmaatladingsdragers (excess carriers) bepaald in een silicium blokje als dit?

Waardering:

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

## Opgave 2, PN-overgang

Gegeven is een lange diode ( $L_E \gg L_n$  en  $L_B \gg L_p$ ), met het volgende doperingsprofiel:



$$N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}; N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3} (n_i^2 = 10^{20} \text{ cm}^{-6})$$

- Schets voor deze diode de ruimteladingsconcentraties, het elektrisch veld en de interne potentiaal als functie van de plaats wanneer de diode in even evenwicht (niet gebiased) is en voor een spersituatie van 1 Volt. En verklaar de veranderingen.
- De capaciteit van een diode is te onderscheiden in een diffusiecapaciteit en een depletiecapaciteit. Welke van deze capaciteiten overheerst in de spertoestand? Verklaar het antwoord. Hoe verandert de capaciteitswaarde van de gesperde diode als we de concentratie  $N_A$  decimeren (door tien delen)?
- Teken zou nauwkeurig mogelijk de curves voor de elektronen- en gatenconcentraties, bij evenwicht en een bij een doorlaatspanning van 0.8 Volt. Verklaar ook de curves.
- Bepaal de grootte van de totale stroomdichtheid en de elektronen- en gatenstroomdichtheid op  $x = -L_E$  en op  $x = L_B$  en verklaar je antwoorden.
- Wanneer we willen streven naar een even grote elektronen- en gatenstroomdichtheid (op de rand van de depletie laag), en we kunnen alleen de diktes van de lagen veranderen, welk gebied moeten we dan dunner maken, het p-gebied of het n-gebied?
- Bereken de grootte van de depletie- en diffusiecapaciteit bij  $V = 0,8$  V. Welke opgeslagen ladingsdichtheid is het grootst, die van de elektronen of gaten?

Waardering:

- 20
- 15
- 15
- 20
- 15
- 15

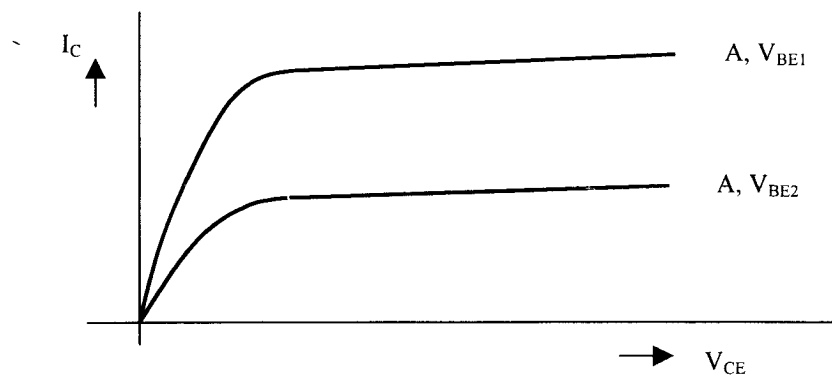
### Opgave 3, Bipolaire Junctie Transistor (BJT)

Gegeven zijn 4 npn transistoren met homogene doteringen in emitter, basis en collector volgens onderstaande tabel

Transistor	$N_{DE} \text{ cm}^{-3}$	$N_{AB} \text{ cm}^{-3}$	$N_{DC} \text{ cm}^{-3}$
A	$10^{18}$	$5 \cdot 10^{17}$	$10^{16}$
B	$10^{19}$	$10^{17}$	$10^{16}$
C	$10^{18}$	$10^{17}$	$5 \cdot 10^{16}$
D	$10^{19}$	$5 \cdot 10^{17}$	$10^{16}$

Veronderstel verder dat alle transistoren dezelfde geometrie hebben en dat materiaal constanten als  $\mu$  en  $\tau$  van alle transistoren gelijk zijn. Materiaal constanten conform formuleblad.  $T = 300\text{K}$ .

- Schets het energiebandenplaatje voor de transistor *B* voor  $V_{BE} = 0 \text{ V}$ ,  $V_{CE} = 0 \text{ V}$  en  $V_{CE} = 3 \text{ V}$  en vervolgens het energiebandenplaatje met voorwaartsbiasing van  $V_{BE} = 480 \text{ mV}$ ,  $V_{CE} = 3 \text{ V}$ .
- Schets de concentratie van de minderheidsladingdragers langs de lengteas (E-B-C) van de transistor *B* zonder aangelegde spanningen en in het geval  $V_{BE} = 480 \text{ mV}$ ,  $V_{CE} = 3 \text{ V}$ . Bereken de concentraties op de grenzen van de ruimteladingsgebieden.



- In de grafiek is de  $I_C$ - $V_{CE}$  karakteristiek geschetst van transistor *A*, voor 2 verschillende waarden van de basis-emitter spanning  $V_{BE}$ . Teken in dezelfde grafiek de  $I_C$ - $V_{CE}$  karakteristieken van transistor *B*, *C* en *D* voor dezelfde basis-emitter spanningen  $V_{BE1}$  en  $V_{BE2}$  en verklaar de verschillen in onderlinge ligging van de curves.
- Bepaal de rangorde van de transistoren op basis van de stroomversterking.
- Schets het Ebers-Moll groot signaal vervangschema van de npn transistor in actieve mode en bepaal welk van de transistoren *A*, *B*, *C* en *D* de grootste  $I_S$  (elektroneninjectie stroom in de basis) zal hebben bij  $V_{BE} = 600 \text{ mV}$ . Verklaar je antwoord.

Beoordeling:

- 10
- 30
- 20
- 20
- 20

#### Opgave 4. MOS Transistor

Gegeven is een nMOS transistor met de volgende specificaties:

$$L=1 \mu\text{m}$$

Dotering in de bulk homogeen  $N_A=10^{16} \text{ cm}^{-3}$  (neem kamertemperatuur aan met  $n_i^2=10^{20} \text{ cm}^{-6}$ )

$$\text{Oxide dikte } 0,08 \mu\text{m}$$

De ingebouwde potentiaal (tussen inversielaag en bulk)  $2\Phi_B = 0,8 \text{ V}$ .

De drempelspanning bij ( $V_{SB} = 0 \text{ V}$ ),  $V_{T0} = 1,0 \text{ V}$ . Neem zonnodig aan dat  $V_{FB}$  (de vlakkeband spanning)  $0 \text{ V}$  is.

- Bij  $V_{SB} = 0 \text{ V}$  wordt de transistor gebiased met  $V_{GB}=3 \text{ V}$ . Geef aan in welke werkingsgebieden de MOST achtereenvolgens werkt wanneer  $V_{DS}$  verandert van  $0,1 \text{ V}$  tot  $5 \text{ V}$ . Bij welke  $V_{DS}$  spanningen vinden de overgangen tussen de werkgebieden plaats?
- Bij  $V_{SB} = 1 \text{ V}$  wordt de transistor nu gebiased met  $V_{DS}=2 \text{ V}$ . Geef nu aan in welke werkingsgebieden de MOST werkt wanneer nu  $V_{GB}$  verandert van  $0 \text{ V}$  tot  $5 \text{ V}$  en geef aan voor welke  $V_{GB}$  de overgang(en) precies plaatsvinden. (V).
- Stel een klein-signaal vervangschema op van de MOS transistor in het verzadigde werkingsgebied, benoem en verklaar (uitdrukkingen opstellen) de voorkomende symbolen en geef hierbij kwalitatief aan welke capacitieve effecten van belang zijn.

Waardering:

- 35
- 30
- 35