思考题

有四块硅样品，其掺杂情况分别是：

甲. 本征　　乙. 含硼和磷各$1\times10^{17}\,cm^{-3}$

丙. 含磷$1\times10^{15}\,cm^{-3}$　　丁. 含磷$1\times10^{17}\,cm^{-3}$。

室温下，这些样品的电子迁移率由高到低是(　)，电导率由高到低是(　)。

A. 丁甲乙丙　　B. 甲丙丁乙　　C. 乙甲丁丙　　D. 丁丙甲乙

思考题

To calculate the drift current density for a given electric field strength in a semiconductor device. Consider a GaAs sample at $T = 300$ K with doping concentrations of $N_A = 0$ and $N_D = 10^{16}$ cm^{-3}. Assume complete ionization and assume electron and hole mobility are 8500 and 400 cm^2/V·s, respectively. Calculate the drift current density if the applied electric field strength is $E = 10$ V/cm.

计算已知电场强度下的漂移电流密度。$T = 300$ K时，GaAs的掺杂浓度分别为$N_A = 0$ 和 $N_D = 10^{16}$ cm^{-3}。电子和空穴的迁移率分别为8500 cm^2/V·s 和 400 cm^2/V·s。 若外加电场强度为$E = 10$ V/cm，求漂移电流密度。 已知$n_i = 1.8\times10^6$ cm^{-3}。

思考题

Solution:

Since $N_D >> n_i$, $N_A = 0$

Then：

$$\begin{cases} n_0 \approx N_D = 10^{16}\ (\mathrm{cm}^{-3}) \\ p_0 = \dfrac{n_i^2}{n_0} = \dfrac{(1.8\times10^6)^2}{10^{16}} = 3.24\times10^{-4}\ (\mathrm{cm}^{-3}) \end{cases}$$

思考题

$$\therefore J_d = nq\mu_n E + pq\mu_p E$$

$$\approx nq\mu_n E$$

$$= (10^{16})(1.6 \times 10^{-19})(8500)(10)$$

$$= 136\ (\mathrm{A/cm^2})$$

由此可知，非本征半导体中，漂移电流密度基本取决于多子，在半导体上加较小的电场就能获得很大的漂移电流密度

思考题

证明当电子浓度和空穴浓度为某定值时，材料电导率最小，并推导该最小电导率的表达式。

证明：$\sigma = nq\mu_n + pq\mu_p = nq\mu_n + \left(\frac{{n_i}^2}{n}\right) \cdot q\mu_p$

$$令\ \frac{d\sigma}{dn} = q\mu_n - \frac{{n_i}^2}{n^2} q\mu_p = 0$$

$$\Longrightarrow n = n_i\sqrt{\mu_p/\mu_n}\text{时有极值}$$

$$又\quad \frac{d\sigma^2}{d^2n} = \frac{2{n_i}^2}{n^3} q\mu_p > 0\text{，故为极小值}$$

$$所以\quad \sigma_{\min} = 2n_i q\sqrt{\mu_p\mu_n}$$

思考题

分别计算掺有下列杂质的Si在室温下的载流子浓度，并查图得到迁移率，然后再计算电导率：

（1）$2\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$的B；

（2）$2\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$的B＋$3\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$的P。

解: (1) 在室温下$N_A = 2\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3} > 10n_i$

杂质全电离，故 $p_0 = N_A = 2\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$

所以 $n_0 = n_i^2 / p_0$

$$= (1.5\times10^{10})^2 / 2\times10^{15}$$

$$= 1.125\times10^{5}\ (\mathrm{cm}^{-3})$$

思考题

- 由 $N_i = N_A = 2\times 10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$
- 查图得到 $\mu_p = 440\ \mathrm{cm}^2/\mathrm{V}\cdot\mathrm{s}$

$$\sigma = nq\mu_n + pq\mu_p$$

$$\approx pq\mu_p$$

$$= (2\times 10^{15}\times 10^{6})\times(1.6\times 10^{-19})\times(440\times 10^{-4})$$

$$= 14.08\ (\Omega^{-1}\cdot\mathrm{m}^{-1})$$

思考题

分别计算掺有下列杂质的Si在室温下的载流子浓度，并查图得到迁移率，然后再计算电导率：

（1）$2\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$的B；

（2）$2\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$的B + $3\times10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$的P。

思考题

(2) 在室温下 $N_D{}^* = N_D - N_A = 1 \times 10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3} > 10 n_i$

故 $n_0 = N_D{}^* = 1 \times 10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$

所以 $p_0 = n_i^2 / n_0$

$= (1.5 \times 10^{10})^2 / 10^{15}$

$= 2.25 \times 10^5\ (\mathrm{cm}^{-3})$

思考题

- 由 $N_i = N_A + N_D = 5 \times 10^{15}\ \mathrm{cm}^{-3}$
- 查图得到 $\begin{cases} \mu_p \approx 420\ \mathrm{cm}^2/\mathrm{V \cdot s} \\ \mu_n \approx 1800\ \mathrm{cm}^2/\mathrm{V \cdot s} \end{cases}$

$$\therefore \sigma = nq\mu_n + pq\mu_p$$

$$\approx nq\mu_n$$

$$= (10^{15} \times 10^6) \times (1.6 \times 10^{-19}) \times (1800 \times 10^{-4})$$

$$= 28.8\ (\Omega^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-1})$$

思考题

Given 1 ohm·cm as a “typical” value of n-type silicon resistivity, and 100 A/cm^2 as a typical current density encountered in an operating silicon device, calculate typical values of electric field and electron drift velocity (T = 300 K). Taking 10^3 $cm^2/V\cdot s$ as the value of electron mobility.

思考题

Solution:

From ohm's law we have

$$J = \sigma E = \frac{1}{\rho} E$$

$$\Rightarrow E = \rho J = 1 \times 100 = 100\ (\mathrm{V/cm})$$

Taking $10^3\ \mathrm{cm^2/V \cdot s}$ as the value of electron mobility, then we have:

$$\begin{aligned} v_d &= \mu E \\ &= (10^3\ \mathrm{cm^2/V \cdot s})(100\ \mathrm{V/cm}) \\ &= 10^5\ \mathrm{cm/s} \end{aligned}$$