

Sperrstrom

Der *Sperrstrom* I_R wird bei einer Sperrspannung unterhalb der Durchbruchspannung gemessen und hängt stark von der Sperrspannung und der Temperatur der Diode ab. Bei Raumtemperatur erhält man bei Silizium-Kleinsignaldioden $I_R = 0,01 \dots 1 \mu\text{A}$, bei Kleinsignal-Schottky-Dioden und Silizium-Gleichrichterioden für den Ampere-Bereich $I_R = 1 \dots 10 \mu\text{A}$ und bei Schottky-Gleichrichterioden $I_R > 10 \mu\text{A}$; bei einer Temperatur von $T = 150^\circ\text{C}$ sind die Werte um den Faktor $20 \dots 200$ größer:

Maximale Verlustleistung

Die Verlustleistung ist die in der Diode in Wärme umgesetzte Leistung:

$$P_V = U_D I_D$$

Sie entsteht in der Sperrschicht, bei großen Strömen auch in den Bahngebieten, d.h. im Bahnwiderstand R_B . Die Temperatur der Diode erhöht sich bis auf einen Wert, bei dem die Wärme aufgrund des Temperaturgefälles von der Sperrschicht über das Gehäuse an die Umgebung abgeführt werden kann. Im Abschnitt 2.1.6 wird dies am Beispiel eines Bipolartransistors näher beschrieben; die Ergebnisse gelten für die Diode in gleicher Weise, wenn man für P_V die Verlustleistung der Diode einsetzt. In Datenblättern wird die *maximale Verlustleistung* P_{Tot} für den Fall angegeben, dass das Gehäuse der Diode auf einer Temperatur von $T = 25^\circ\text{C}$ gehalten wird; bei höheren Temperaturen ist P_{Tot} geringer.

1.1.6

Thermisches Verhalten

Das thermische Verhalten von Bauteilen ist im Abschnitt 2.1.6 am Beispiel des Bipolartransistors beschrieben; die dort dargestellten Größen und Zusammenhänge gelten für eine Diode in gleicher Weise, wenn für P_V die Verlustleistung der Diode eingesetzt wird.

1.1.7

Temperaturabhängigkeit der Diodenparameter

Die Kennlinie einer Diode ist stark temperaturabhängig; bei expliziter Angabe der Temperaturabhängigkeit gilt für die Silizium-pn-Diode [1.1]

$$I_D(U_D, T) = I_S(T) \left(e^{\frac{U_D}{nU_T(T)}} - 1 \right)$$

mit:

$$U_T(T) = \frac{kT}{q} = 86,142 \frac{\mu\text{V}}{\text{K}} T \approx 26 \text{ mV} \quad T=300\text{K}$$

$$I_S(T) = I_S(T_0) e^{\left(\frac{T}{T_0} - 1\right) \frac{U_G(T)}{nU_T(T)}} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{xT,1}{n}} \quad \text{mit } xT,1 \approx 3 \quad (1.4)$$

Dabei ist $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ VAs/K}$ die Boltzmannkonstante, $q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ die Elementarladung und $U_G = 1,12 \text{ V}$ die Bandabstandsspannung (gap voltage) von Silizium;

die geringe Temperaturabhängigkeit von U_G kann vernachlässigt werden. Die Temperatur T_0 mit dem zugehörigen Strom $I_S(T_0)$ dient als Referenzpunkt; meist wird $T_0 = 300 \text{ K}$ verwendet.

Im Sperrbereich fließt der Sperrstrom $I_R = -I_D \approx I_S$; mit $xT,1 = 3$ folgt für den Temperaturkoeffizienten des Sperrstroms:

$$\frac{1}{I_R} \frac{dI_R}{dT} \approx \frac{1}{I_S} \frac{dI_S}{dT} = \frac{1}{nT} \left(3 + \frac{U_G}{U_T} \right) \checkmark$$

In diesem Bereich gilt für die meisten Dioden $n \approx 2$ und man erhält:

$$\frac{1}{I_R} \frac{dI_R}{dT} \approx \frac{1}{2T} \left(3 + \frac{U_G}{U_T} \right) \stackrel{T=300\text{K}}{\approx} 0,08 \text{ K}^{-1} \quad \text{integrieren}$$

Daraus folgt, dass sich der Sperrstrom bei einer Temperaturerhöhung um 9 K verdoppelt und bei einer Erhöhung um 30 K um den Faktor 10 zunimmt. In der Praxis treten oft geringe Temperaturkoeffizienten auf; Ursache hierfür sind Oberflächen- und Leckströme, die oft größer sind als der Sperrstrom des pn-Übergangs und ein anderes Temperaturverhalten haben.

Durch Differentiation von $I_D(U_D, T)$ erhält man den Temperaturkoeffizienten des Stroms bei konstanter Spannung im Durchlassbereich:

$$\frac{1}{I_D} \frac{dI_D}{dT} \Big|_{U_D=\text{const.}} = \frac{1}{nT} \left(3 + \frac{U_G - U_D}{U_T} \right) \stackrel{T=300\text{K}}{\approx} 0,04 \dots 0,08 \text{ K}^{-1} \quad \checkmark$$

Mit Hilfe des totalen Differentials

$$dI_D = \frac{\partial I_D}{\partial U_D} dU_D + \frac{\partial I_D}{\partial T} dT = 0$$

kann man die Temperaturänderung von U_D bei konstantem Strom bestimmen:

$$\left. \frac{dU_D}{dT} \right|_{I_D=\text{const.}} = \frac{U_D - U_G - 3U_T}{T} \stackrel{T=300\text{K}}{U_D=0,7\text{V}} \approx -1,7 \frac{\text{mV}}{\text{K}} \quad (1.5)$$

Die Durchlassspannung nimmt demnach mit steigender Temperatur ab; eine Zunahme der Temperatur um 60 K führt zu einer Abnahme von U_D um etwa 100 mV . Dieser Effekt wird in integrierten Schaltungen zur Temperaturmessung verwendet.

Diese Ergebnisse gelten auch für Schottky-Dioden, wenn man $xT,1 \approx 2$ einsetzt und die Bandabstandsspannung U_G durch die der Energiedifferenz zwischen den Austrittsenergien der n- und Metallzone entsprechenden Spannung $U_{Mn} = (W_{\text{Metal}} - W_{n\text{-Si}})/q$ ersetzt; es gilt $U_{Mn} \approx 0,7 \dots 0,8 \text{ V}$ [1.1].

1.2

Aufbau einer Diode

Die Herstellung von Dioden erfolgt in einem mehrstufigen Prozess auf einer Halbleiterschicht (wafer), die anschließend durch Sigen in kleine Plättchen (die) aufgeteilt wird. Auf einem Plättchen befindet sich entweder eine einzelne Diode oder eine integrierte Schaltung (integrated circuit, IC) mit mehreren Bauteilen.