

# Protokoll Praktikum EBau Diode

Johann BECKER

Valentin EDER

Marc OSTNER

29. Mai 2025

Date Performed:

30. Mai 2025

Instructor:

Prof. Dr. Alexandru Negut

## A Einführung

Die Vorbereitung ist im Anhang zu finden.

## B Versuchsdurchführung

### B.1 Statische Messungen

#### B.1.1 Sperrschichtkapazität

U/V	0	0.5	1	2	3	4	5	7.5	10	12.5	15	20	25	30
C/F	1 m	2 $\mu$	3 p	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Tabelle 1: Sperrschichtkapazität C/F bei Spannung U/V.

#### B.1.2 Sperrstrom

Absolut höchster Strom bei Diode  $\rightarrow$  Kurzschluss.

$$U = R \cdot I \quad \Leftrightarrow \quad I = \frac{U}{R}$$

$$R_{Vor} = \frac{30 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 3 \text{ k}\Omega$$

Die Messung muss Stromrichtig erfolgen, da durch die Sperrpolung der Diode sehr kleine Ströme zu erwarten sind. Für hohe Spannungen ist es nicht essenziell die Spannung auf den Millivolt genau einzustellen. Auch bei 0,5 V ist der erwartete Strom im Verhältnis zur Spannung sehr gering. Das Picoampermeter wird am niederohmigen Knoten geschaltet, um den sehr kleinen Sperrstrom möglichst genau messen zu können. Dabei ist zu beachten, dass der Spannungsabfall über das Messgerät vernachlässigbar klein bleibt, damit die Messung nicht verfälscht wird.

U/V	0,5	5	30
I/A	1m	2μ	3p

Tabelle 2: AA136 Sperrströme bei Spannungen.

U/V	0,5	5	30
I/A	1m	2μ	3p

Tabelle 3: 1N4002 Sperrströme bei Spannungen.

### B.1.3 Vorwärtsstrom 1N4002

$U_R/V$	0	0.5	1	2	3	4	5	7.5
$I/A$	15 n	30 n	80 n	150 n	300 n	800 n	1.5 μ	3 μ
$U_R/V$	10	12.5	15	20	25	30	2	
$I/A$	8μ	15μ	30μ	80μ	150μ	300μ	800μ	

Tabelle 4: Sperrschichtstrom  $I/A$  in Abhängigkeit von der Spannung  $U_R/V$ .

## B.2 Dynamische Aufnahme von Kennlinien

### B.2.1 Durchlaßkennlinien 1N4002 und AA136

$$I_F = \frac{U_Z}{0,1 \cdot 10}$$

$$I_F U_{Gen} = x \text{ max. } 100 \text{ mA}$$

### B.2.2 Vergleich der Kennlinien

### B.2.3 Z-Dioden

## B.3 Dynamisches Verhalten der Siliziumdiode (1N4002)

### B.3.1 Bestimmung von Speicher- und Abfallzeit

### B.3.2 Bestimmung der Einschaltzeiten

$$U_{pp} = 20V \quad f_{gen} = 100 \text{ Hz} \quad \text{Funktion: Squarewave}$$

### B.3.3 Einfluß der Schaltzeiten auf die maximale Betriebsfrequenz

### B.3.4 Dynamische Bestimmung des Bahnwiderstands

$$\Delta I_D \approx \Delta U_{gen}/R \quad R_B \approx \frac{\Delta U_D}{\Delta U_{gen}/R}$$

## C Auswertung

### C.1 Sperrschichtkapazität, Diffusionsspannung und Dotierstoffdichte

$$C_S = \frac{C_{S0}}{(1 + \frac{U}{U_D})^M} \quad f(U) = \frac{1}{C_S^{\frac{1}{M}}}$$

Stufenfaktor von x ist ein indiz für einen linearen pn-Übergang.

$$C_{S0} = 0 \text{ pF} \quad \epsilon_{r_{si}} = 11,7 \quad A_{RLZ} = 2,5 \text{ mm}^2$$

$$N_A \gg N_D \rightarrow \text{abrupter pn-Übergang}$$

$$\rightarrow C_{S0} = \sqrt{\frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot e N_D \cdot N_A}{2 \cdot (N_D + N_A) \cdot U_D}} \cdot A_{RLZ}$$

$$\leftrightarrow N_D = \frac{C_S^2 \cdot 2 \cdot (U_D - U)}{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A_{RLZ}^2}$$

### C.2 Vergleich verschiedener Dioden

Für Vergleich in Übersichtsdarstellung siehe B.2.2 Grafik.

$$\left. \begin{array}{l} W_g = h \cdot f \\ \lambda = \frac{c}{f} \end{array} \right\} \quad \lambda = \frac{c \cdot h}{W_g} \cdot e \leftrightarrow W_g = \frac{c \cdot h}{\lambda \cdot e}$$

Daraus folgt  $\lambda = x$ .

$$\left. \begin{array}{l} I|_{U>3U_T} = I_S \cdot e^{U/U_T} \leftrightarrow U = U_T \cdot \ln\left(\frac{I}{I_S}\right) \\ I_{S_{lang}} = q A n_i^2 \left( \frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) \\ n_i^2 = \sqrt{N_C N_V} \cdot \exp\left(-\frac{W_g}{2kT}\right) \end{array} \right\} \quad I_S \propto n_i^2 \propto \exp\left(-\frac{W_g}{2kT}\right)$$

Desto kleiner  $I_S$  bzw. desto größer  $W_g$ , umso größer muss  $U$  sein, um einen Strom  $I$  zu halten.

### C.3 Schaltdioden

#### C.3.1 Kennlinienparameter

Für graphische Darstellung für  $U_F$  und  $R_B$  siehe B.2.1.

$U_{Z5 \text{ mA}}$  wird bei B.2.3 grafisch Bestimmt.

#### C.3.2 Bahnwiderstand

$R_{B1N4002B3.4} = 0 \text{ m}\Omega$   $R_{B1N4002B3.1} = 0 \text{ m}\Omega \rightarrow$  Ergebnisse liegen im Rahmen der Messgenauigkeit.

	$U_{\text{Datenblatt}}$	$U_{\text{Gemessen}}$
1N4002	a	b
AA136	c	d

### C.3.3 Ideale Kennlinie

Für zeichnerisch dargestellte Idealkennlinie siehe B.2.1.

### C.3.4 Sperrsättigungsstrom und Emissionskoeffizient 1N4002

$$m = \frac{\Delta U_F}{25,8 \text{ meV} \cdot \ln(I_{F2}/I_{F1})} \rightarrow m = 99,99$$

Verlauf Durchlaßkennlinien siehe B2.1.

Zudem sind Temperaturabhängigkeiten sowie Messgenauigkeiten und Verunreinigungen mögliche Ursachen.

$I_{SGrafisch} = 00,0 < I_{SB1.2}$ . Diese Abweichung lässt sich auf thermischer Generation zurückzuführen. Für größere  $U_R$  weitet sich die RLZ aus, wodurch thermische Generation einen größeren Einfluss hat.

$$I_F = I_S(e^{U/25,8 \text{ meV}} - 1)$$

In der gemessenen Kennlinie werden reale Parameter wie Leitungswiderstand, nichtideales Verhalten des Halbleiters sowie Temperaturabhängigkeiten abgebildet. Der Emissionskoeffizient passt dabei die Idealkennlinie etwas an die gemessene an. Trotzdem besteht noch eine nähere Übereinstimmung mit der idealen Kennlinie.

### C.3.5 Schaltverhalten

Symbol	Wert
Anstiegszeit $t_r$	_____
Einschaltzeit $t_{in}$	_____
Speicherzeit $t_s$	_____
Abfallzeit $t_f$	_____
Rückerholzeit $t_{rr}$	_____

Zu erwarten wäre eine Funktion ähnlich  $y = \hat{u} \sin(x)$  für  $y < 0 \rightarrow 0$ .

Bei hohen Frequenzen können Dioden den Strom nicht mehr ideal gleichrichten, da ihre Schaltzeiten begrenzt sind. Besonders durch die Speicherzeit fließt nach dem Umschalten kurzzeitig ein Rückstrom. Auch die Rückerholzeit führt zu negativen Stromimpulsen beim Sperren. Dadurch entstehen bei höheren Frequenzen Verzerrungen im Stromverlauf, da die Diode nicht mehr rechtzeitig schalten kann.

## D Sample Calculation

$$\begin{aligned}\text{Mass of magnesium metal} &= 8,59 \text{ g} - 7,28 \text{ g} \\ &= 1,31 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mass of magnesium oxide} &= 9,46 \text{ g} - 7,28 \text{ g} \\ &= 2,18 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Mass of oxygen} &= 2,18 \text{ g} - 1,31 \text{ g} \\ &= 0,87 \text{ g}\end{aligned}$$

Because of this reaction, the required ratio is the atomic weight of magnesium: 16,00 g of oxygen as experimental mass of Mg: experimental mass of oxygen or  $\frac{x}{1.31} = \frac{16}{0.87}$  from which,  $M_{\text{Mg}} = 16.00 \times \frac{1.31}{0.87} = 24.1 = 24 \text{ g/mol}$  (to two significant figures).

## E Results and Conclusions

The atomic weight of magnesium is concluded to be 24 g/mol, as determined by the stoichiometry of its chemical combination with oxygen. This result is in agreement with the accepted value.



Abbildung 1: Figure caption.

## F Discussion of Experimental Uncertainty

The accepted value (periodic table) is 24,3 g/mol (**Smith:2022qr**). The percentage discrepancy between the accepted value and the result obtained here is 1.3%. Because only a single measurement was made, it is not possible to calculate an estimated standard deviation (see **Smith:2021jd**).

The most obvious source of experimental uncertainty is the limited precision of the balance. Other potential sources of experimental uncertainty are: the reaction might not be complete; if not enough time was allowed for total oxidation, less than complete oxidation of the magnesium might have, in part, reacted with nitrogen in the air (incorrect reaction); the magnesium oxide might have absorbed water from the air, and thus weigh "too much." Because the result obtained

is close to the accepted value it is possible that some of these experimental uncertainties have fortuitously cancelled one another.

## G Answers to Definitions

- The *atomic weight of an element* is the relative weight of one of its atoms compared to C-12 with a weight of 12.0000000. . . , hydrogen with a weight of 1.008, to oxygen with a weight of 16.00. Atomic weight is also the average weight of all the atoms of that element as they occur in nature.
- The *units of atomic weight* are two-fold, with an identical numerical value. They are g/mole of atoms (or just g/mol) or amu/atom.
- Percentage discrepancy* between an accepted (literature) value and an experimental value is:

$$\frac{\text{experimental result} - \text{accepted result}}{\text{accepted result}}$$

## H Formelzeichen

Symbol	Bedeutung
$C_s$	Sperrschichtkapazität
$I_c$	Fluß- oder Vorwärtstrom
$I_a$	Sperrstrom- oder Rückwärtstrom
$I_s$	Sperrsättigungsstrom
$M$	Stufenfaktor (grading coefficient)
$m$	Emissionskoeffizient
$N_a$	Akzeptordichte
$N_0$	Donatordichte
$R_a$	Bahnwiderstand
$t_0$	Injektionszeit
$t_1$	Anstiegszeit (Risetime)
$t_1$	Sperrverzögerungszeit (Reverse Recovery Time)
$t_s$	Speicherzeit
$U_0$	Diffusionsspannung
$U_c$	Fluß- oder Vorwärtsspannung
$U_s$	Sperr- oder Rückwärtsspannung
$U_{s\_5mk}$	Durchbruchspannung an der Z-Diode bei $I_2 = 5\text{mA}$