



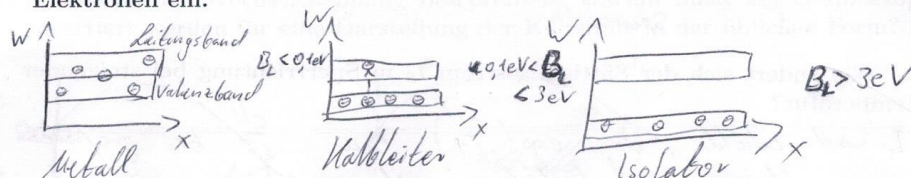
E24 Halbleiterdioden	
Name: <i>Maxim Gilsendegen</i>	Matrikelnummer: <i>3650677</i>
Fachrichtung: <i>Chemie B.Sc.</i>	Versuchsdatum: <i>28.03.2023</i>
Mitarbeiter/in: <i>David Flemming</i>	Gruppennummer: <i>C-004</i>
Assistent/in: <i>Pascal Schmitt</i>	Endtestat:

Dieser Fragebogen muss von jedem Teilnehmer **eigenständig** (keine Gruppenlösung!) handschriftlich beantwortet und vor Beginn des Versuchs abgegeben werden. Die Vorbereitung wird zusätzlich durch einen Test bzw. eine mündliche Prüfung über die physikalischen Grundlagen des Versuchs kontrolliert.
(Version: 16. Oktober 2021)

Versuchsziel und Versuchsmethode:

*Bestimmung der Kennlinien von Silizium- und Germanium-Dioden
Oszilloskopbild für die Zenerdiode erstellen.
Kennlinien für die LEDs wie für die Zenerdiode schreiben und
den Zusammenhang zwischen Spannungsschwelle und Wellenlänge des Lichts.*

1.) Zeichnen Sie das Bändermodell eines Metalles, Halbleiters und Isolators. Tragen Sie typische Bandabstände in eV und die Besetzung der Bänder mit Elektronen ein.



- 2.) Wie groß ist die mittlere thermische Energie von (freien) Elektronen bei Zimmertemperatur und die Energie von sichtbarem Licht in eV?

~~0,025 eV~~
~~1,8 eV~~
 mittlere: 25 meV

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad | \lambda = 400 \text{ nm} - 700 \text{ nm}$$

$$E = 2,95 - 1,81 \text{ eV}$$

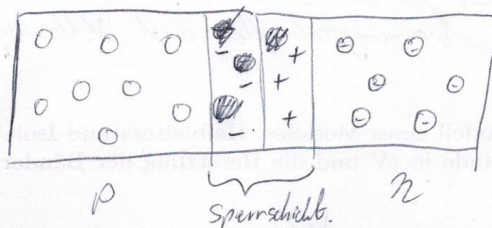
- 3.) Nennen Sie drei Möglichkeiten, die Leitfähigkeit eines reinen Halbleiters zu verbessern.

Temperaturerhöhung, Licht ~~Photon~~ eines Atoms
 „Elektronenabgabe“ durch Dotierung in den Kristall.

- 4.) Nennen Sie jeweils zwei Beispiele für eine Donator- und eine Akzeptor-Dotierung in Silizium und Germanium.

Silizium		Germanium	
Phosphor	Aluminium	Antimon	Kadmium
Arsen	Indium	Bismut	Thallium

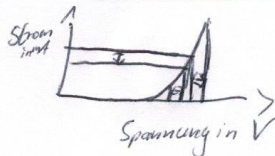
- 5.) Skizzieren Sie das Raumladungsgebiet in einem p-n-Übergang.



- 6.) Wie ändert sich der Sättigungsstrom I_s in Sperrrichtung bei steigender Temperatur?

I_s wird erhöht, da $\exp\left(\frac{eU}{kT}\right)$ bzw. $\frac{eU}{kT}$ bei größerem T immer kleiner wird, trotzdem noch gleich 1 sein muss, mit zunehmender Temperatur steigt in der Diode der Strom.

- 7.) Warum wird bei einer LED nicht die maximale Betriebsspannung, sondern der maximale Betriebsstrom angegeben?



Kleine Abweichungen bei der Betriebsspannung können zu großen Abweichungen bei der Lichtintensität führen, wobei leichte Abweichungen beim Betriebsstrom nicht all zu dramatisch erscheinen.

8.) Machen Sie sich mit den verwendeten Anordnung für Messungen mit Gleich- und Wechselstrom vertraut. Welche Funktion haben die Widerstände in beiden Schaltungen?

Die Widerstände sorgen dafür, die Spannung zu regulieren/ konstant zu halten.

1. Schutz der Komponenten, Teilung der Spannung
2. Schutz der LED & Transistor

Diese Fragestellung ist eine wichtige Aufgabe, die Sie bei der Messung von Wechselstromspannung und -strom zu bewältigen haben. Die Messung von Wechselstromspannung und -strom ist eine wichtige Aufgabe, die Sie bei der Messung von Wechselstromspannung und -strom zu bewältigen haben.

Verständnis und Kenntnis der Messung

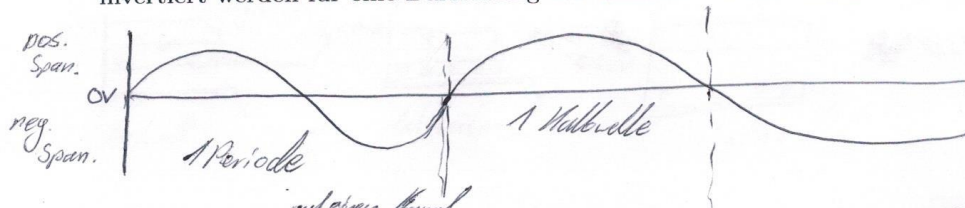
Die Messung von Wechselstromspannung und -strom ist eine wichtige Aufgabe, die Sie bei der Messung von Wechselstromspannung und -strom zu bewältigen haben.

Die Messung von Wechselstromspannung und -strom ist eine wichtige Aufgabe, die Sie bei der Messung von Wechselstromspannung und -strom zu bewältigen haben.

Die Messung von Wechselstromspannung und -strom ist eine wichtige Aufgabe, die Sie bei der Messung von Wechselstromspannung und -strom zu bewältigen haben.

Die Messung von Wechselstromspannung und -strom ist eine wichtige Aufgabe, die Sie bei der Messung von Wechselstromspannung und -strom zu bewältigen haben.

9.) Erklären Sie die Funktionsweise der Wechselstromschaltung nach Abbildung E24-2, indem Sie den Stromfluss für eine positive und eine negative Halbwelle der Wechselspannung beschreiben. Warum muss am Oszilloskop invertiert werden für eine Darstellung der Kennlinie in der üblichen Form?



Dass Oszilloskop muss auf einem Kanal invertiert werden, da die Kennlinie sonst nicht in x/y Verläuft.

E24: Halbleiterdiode

Gruppe: C-004

Verfasser: Maxim Gilsendegen, David Flemming

Studentische Mailadresse: st182513@stud.uni-stuttgart.de, st182571@stud.uni-stuttgart.de

Versuchstag: 28.03.2023

Abgabedatum: 30.03.2023

Assistent: Pascal Schmidt

Inhalt

1. Versuchsziel und Versuchsmethode	6
2. Versuchsablauf	6
2.1 Germanium- und Siliciumdiode	6
2.2 Zenerdiode	6
2.3 LEDs	7
3 Formeln	7
4. Messwerte	8
4.1 Germanium- und Siliciumdiode	8
4.2 LEDs	9
5. Auswertung	9
5.1 Germanium- und Silizium-Diode	9
5.1.1 Grafische Darstellung der Messergebnisse und ermitteln des Sperrstroms I_s	9
5.1.2 Berechnung der verbesserten Leitfähigkeit unter Wärmeeinfluss	10
5.1.3 Ermittlung des Sperrsättigungsstroms	11
5.2 Kennlinie der Zenerdiode	12
5.3 Kennlinien der LEDs	12
6. Fehler	14
7. Zusammenfassung	14
8. Quellen	14
9. Anhang	15

1. Versuchsziel und Versuchsmethode

Über den Versuch sollen die Haupteigenschaften von Halbleiterdioden herausgearbeitet werden. Zuerst werden Silicium- und Germaniumdioden bei Gleichstrom in Stromflussrichtung sowie in Sperrrichtung betrieben. Dadurch werden dann die Durchlasskennlinien erstellt. Zudem wird die Temperaturabhängigkeiten der Dioden festgestellt. Außerdem werden die Kennlinien von Zenerdioden und LEDs mittels eines Oszilloskops bestimmt. Zusätzlich wird die minimale Spannungsschwelle der einzelnen LEDs bestimmt.

2. Versuchsablauf

2.1 Germanium- und Siliciumdiode

Zuerst wird ein Stromkreis entsprechend der Abb.1 aufgebaut, wobei der gestrichelte Teil vorerst ignoriert wird. Anschließend wird für jede Dioden Art in Durchlassrichtung die Spannung bei einem Stromstärkemessbereich von $5\text{ }\mu\text{A}$ bis zu 8 mA gemessen. Anschließend wird die Stromstärke auf $200\text{ }\mu\text{A}$ erhöht und die Spannung der einzelnen Dioden wird vor und nach der Erwärmung per Finger gemessen. Anschließend wird die Polarität umgekehrt und die Sperrkennlinien gemessen.

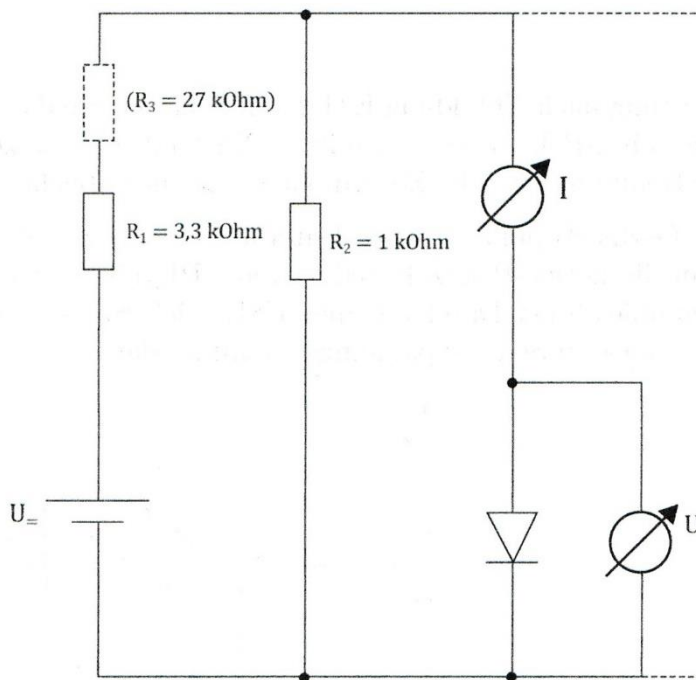


Abb.1 Schaltkreis der Silicium- und Germaniumdiode[1]

2.2 Zenerdiode

Zuerst wurde ein Stromkreis entsprechend der Abb.2 aufgebaut. Danach wurde die Kennlinie der Zenerdiode von einem Oszilloskop bei Wechselstrom gemessen.

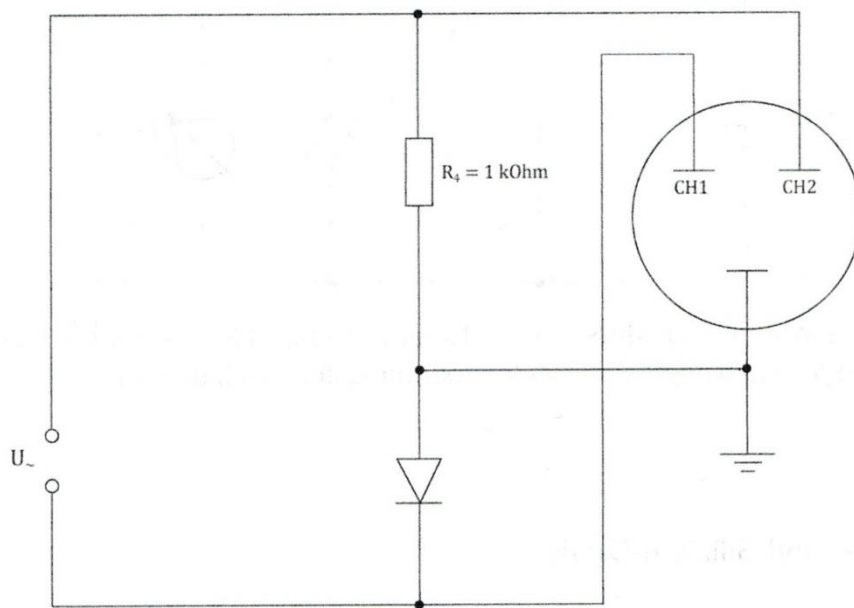


Abb.2 Schaltkreis für Zenerdiode[1]

2.3 LEDs

Der Aufbau entspricht Abb.2 . Analog zu 2.2 wurden die Kennlinien bestimmt. Anschließend wurden die Spannungsschwelle der LEDs bestimmt, welche angibt wann die einzelnen LEDs leuchten.

3 Formeln

Für die Berechnung der Stromstärke I über die Spannung U und der Temperatur T gilt die Shockleysche Gleichung:

$$I = I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

I_s steht dabei für den Speerstrom, e für die Elementarladung und k für die Boltzmannkonstante.

Für $U \geq 0,1 \text{ V}$ gilt näherungsweise folgende Beziehung:

$$I = I_s \cdot \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) \quad (2)$$

Für die Energie E eines Photons gilt:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3)$$

Wobei h für das plancksche Wirkungsquantum steht, c für die Lichtgeschwindigkeit und λ für die Wellenlänge des Lichts.

Die elektrische Leitfähigkeit σ eines Stoffes wird über folgende Formel berechnet:

$$\sigma = \frac{l \cdot I}{A \cdot U} \quad (3)$$

wobei A die Oberfläche des Querschnitts darstellt und l die Länge des Gegenstandes darstellt.

4. Messwerte

4.1 Germanium- und Siliciumdiode

In der nachfolgenden Tabelle sind die Spannung U und die Stromstärke I für die Germanium- und Siliciumdiode in Stromdurchlassrichtung festgehalten.

Tab.1 Messwerte für U und I beider Dioden in Durchlassrichtung

	Germaniumdiode		Siliciumdiode	
Messung	U (mV)	I (μ A)	U (mV)	I (μ A)
1	70,0	4,6	364,0	6,5
2	102,5	13,0	385,0	17,1
3	135,5	36,0	456,0	37,8
4	160,5	70,0	484,0	113,5
5	194,9	166,0	516,0	226,6
6	221,1	300,2	552,0	490,0
7	251,9	570,0	586,0	1000,0
8	296,4	1190,0	621,0	2020,0
9	328,0	2320,0	656,0	4110,0
10	361,0	4040,0	687,0	8000,0
11	409,0	7990,0	-	-

Tab.2 Die Spannung U und die Stromstärke I für die Germanium- und Siliciumdiode in Stromdurchlassrichtung festgehalten wobei die Messwerte vor und nach dem Erwärmen aufgenommen wurden

	Germaniumdiode		Siliciumdiode	
Messung	U (mV)	I (μ A)	U (mV)	I (μ A)
Vor Erwärmen	194,4	180	508,0	200
Nach Erwärmen	184,4	180	501,0	200

Nach der Umpolung ergaben sich für U und I die in Tab.3 festgehaltenen Werte in Sperrichtung.

Tab.3 Messwerte für U und I beider Dioden in Sperrichtung

	Germaniumdiode		Siliciumdiode	
Messung	U (mV)	I (μ A)	U (mV)	I (μ A)
1	529	0,6	441	0,2
2	1015	0,7	1040	0,2
3	1514	0,8	1556	0,3
4	1965	0,8	2032	0,3
5	2515	0,9	2480	0,4
6	2991	1,0	3010	0,4

7	3990	1,2	4020	0,6
8	4920	1,3	4960	0,6
9	6050	1,4	6010	0,7
10	7070	1,5	6990	0,8

4.2 LEDs

Die Spannungsschwelle wurde bei $U_{\text{rot}} = 1,620 \text{ V}$ und für $U_{\text{blau}} = 2,380 \text{ V}$ festgehalten.

5. Auswertung

5.1 Germanium- und Silizium-Diode

5.1.1 Grafische Darstellung der Messergebnisse und ermitteln des Sperrstroms I_s

Anhand der Abbildung 1 lässt sich ein exponentieller Zusammenhang zwischen der Spannung und der

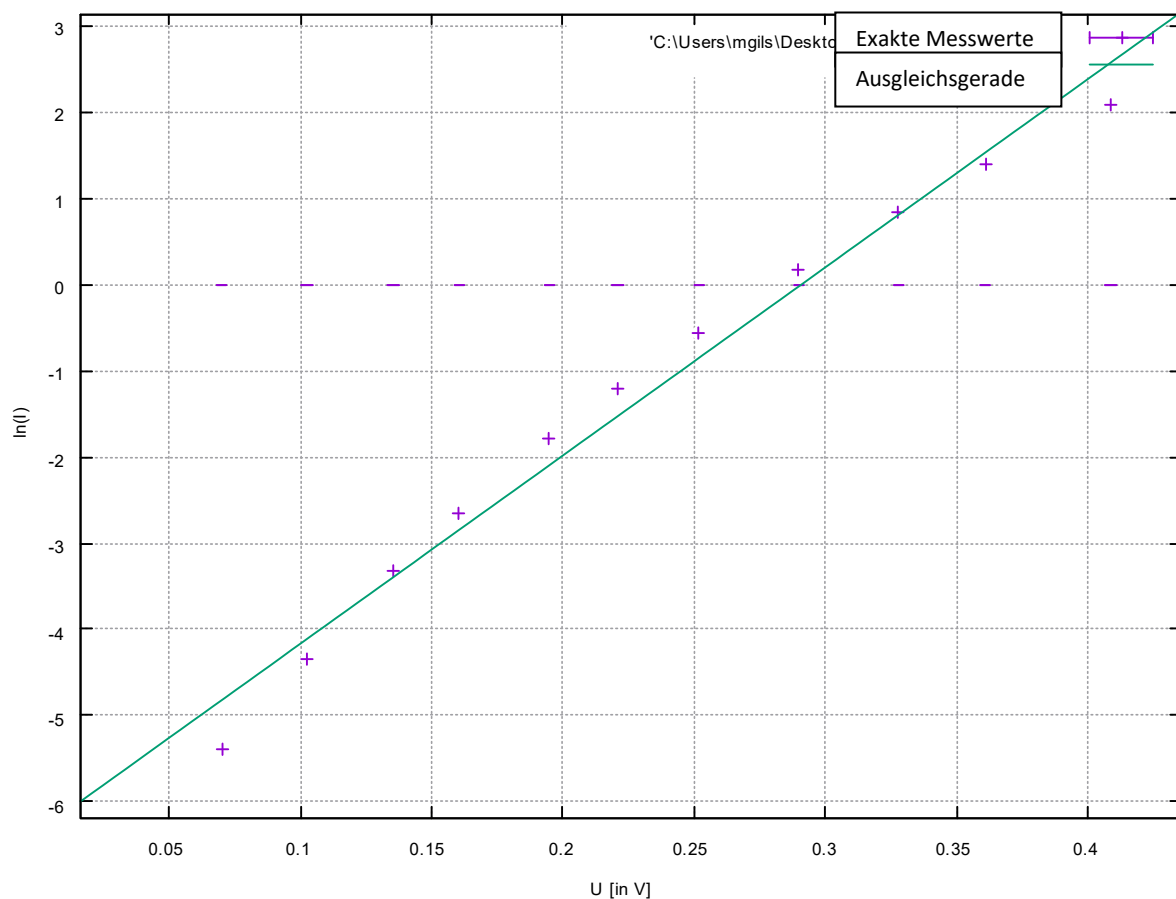


Abbildung 3. Darstellung der Stromstärke (logarithmisch) in Abhängigkeit zur Spannung für die Germanium-Diode, die genauen Messwerte werden als Kreuze dargestellt, der dargestellte Graph zeigt die Ausgleichsgerade.

Stromstärke feststellen, aus diesem Grund wird die y-Achse logarithmisch dargestellt, um einen exponentiellen Zusammenhang aufzuzeigen. Durch die Fitfunktion lässt sich der Wert für $U = 0$ grafisch ermitteln. Dieser beträgt hierbei $\ln(I) = -6.3515$ woraus folgt, dass der Sperrstrom $I_s = 0.0017 \text{ mA}$ ist.

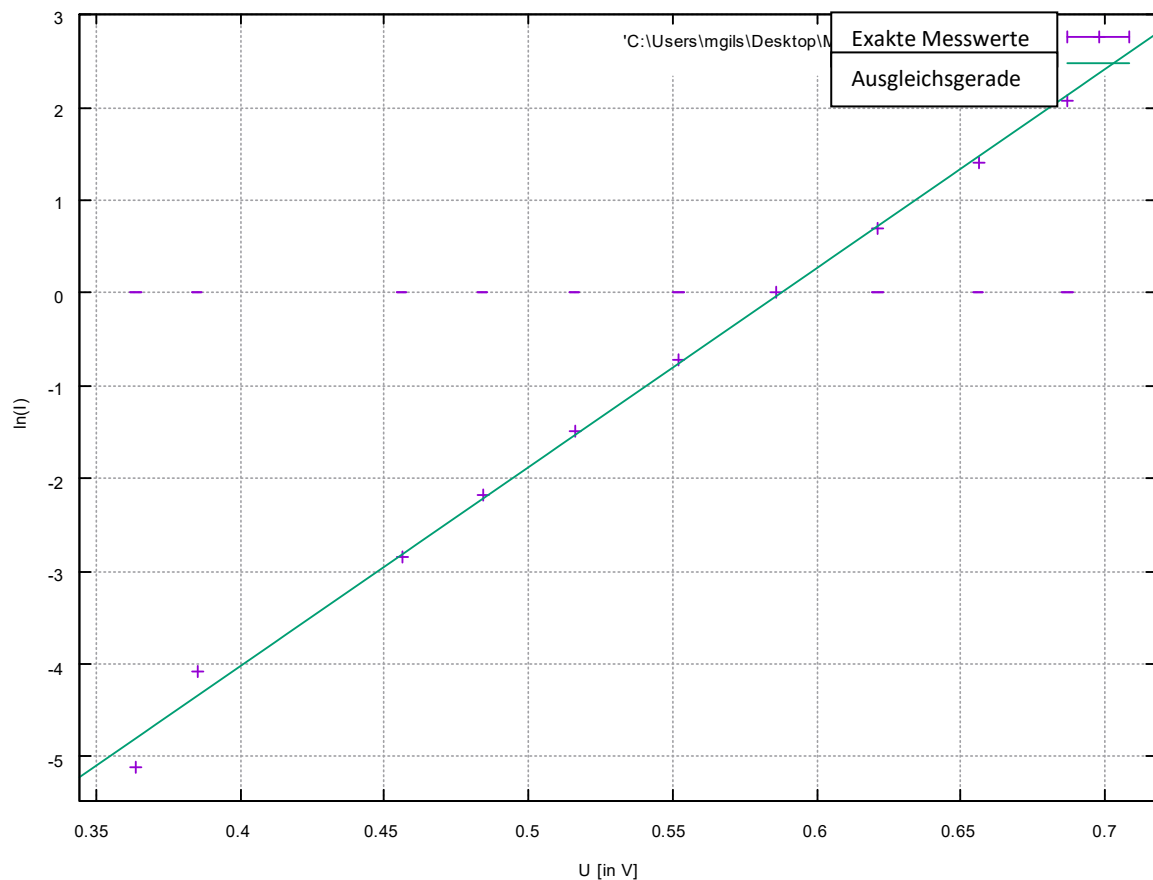


Abbildung 4. Darstellung der Stromstärke (logarithmisch) in Abhängigkeit zur Spannung für die Silizium-Diode, die genauen Messwerte werden als Kreuze dargestellt, der dargestellte Graph zeigt die Ausgleichsgerade.

Für Abbildung 2 lassen sich dieselben Feststellungen wie für Abbildung 1 treffen, für $U = 1$ beträgt aber $I_s = e^{-12.6065} \approx 0.0000034$ mA.

5.1.2 Berechnung der verbesserten Leitfähigkeit unter Wärmeeinfluss

Mit den Werten aus [Tabelle mit Messwerten] kann die prozentuelle Veränderung der Leitfähigkeit D der Germanium- (Ge) und Silizium- (Si) Dioden berechnet werden.

$$D = \frac{U_{\text{Kühl}} - U_{\text{Warm}}}{U_{\text{Kühl}}}$$

$$D_{\text{Ge}} = \frac{U_{\text{KühlGe}} - U_{\text{WarmGe}}}{U_{\text{KühlGe}}} = \frac{194,4 \text{ V} - 184,8 \text{ V}}{194,4 \text{ V}} \approx 0.0494 = 4.94 \%$$

$$D_{\text{Si}} \approx 0.0138 = 1.38 \%$$

Somit kann eine Verbesserung der Leitfähigkeit bei Germanium um 4.94 % und bei Silizium um 1.38% festgestellt werden.

5.1.3 Ermittlung des Sperrsättigungsstroms

Der hervorgehobene Punkt mit Koordinaten ist der Sperrsättigungsstrom $I_s = 0.5634$.

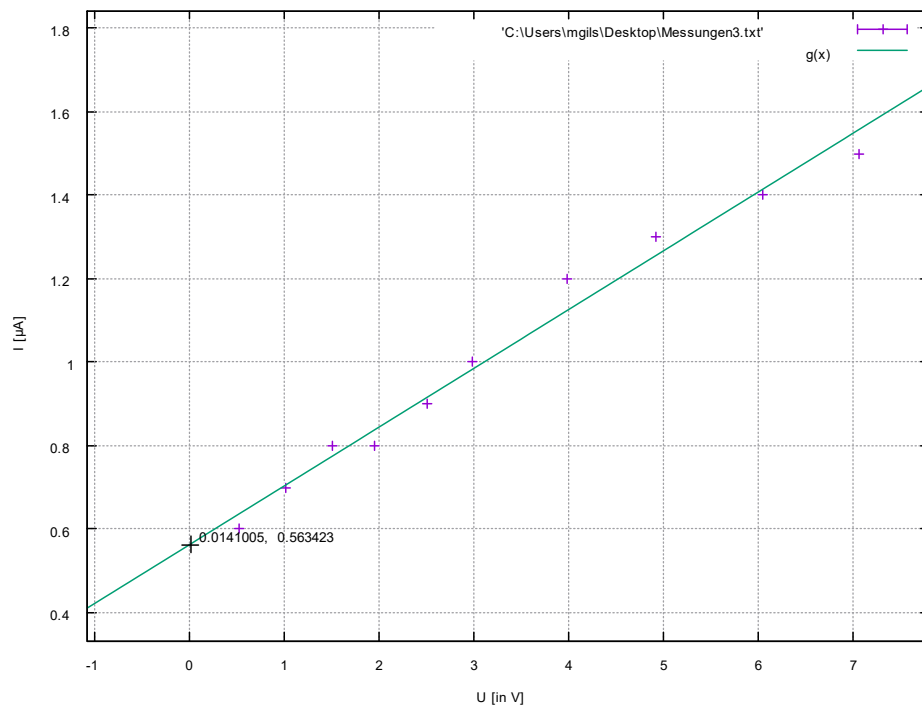


Abbildung 5. Darstellung der Stromstärke in Abhängigkeit zur Spannung für die Germanium-Diode, bei der Messung der Sperrspannung, die genauen Messwerte werden als Kreuze dargestellt, der dargestellte Graph zeigt die Ausgleichsgerade.

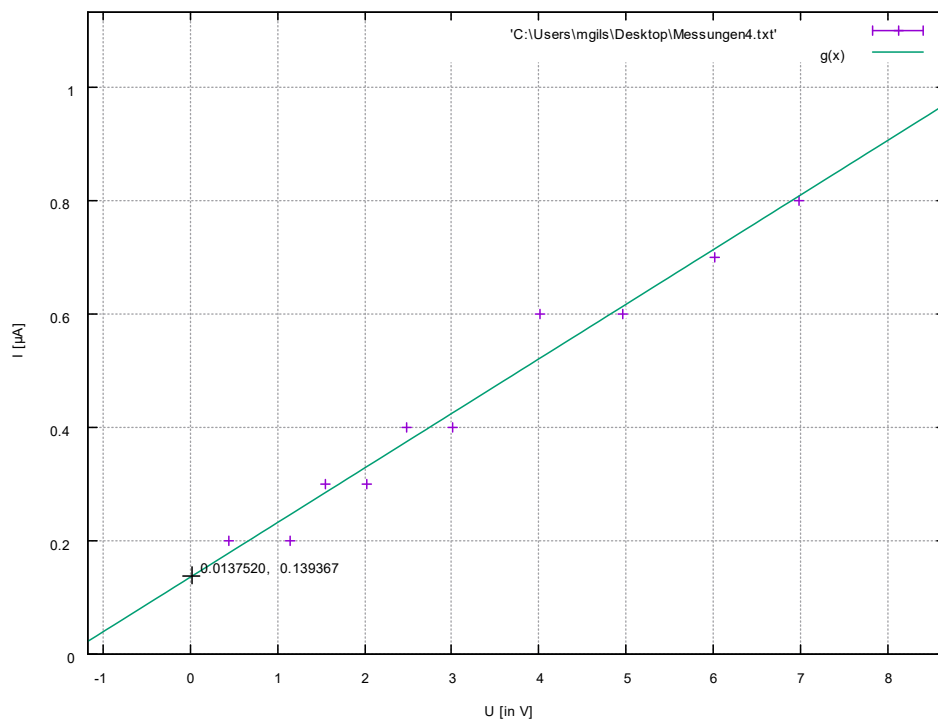


Abbildung 6. Darstellung der Stromstärke in Abhängigkeit zur Spannung für die Silizium-Diode, bei der Messung der Sperrspannung, die genauen Messwerte werden als Kreuze dargestellt, der dargestellte Graph zeigt die Ausgleichsgerade.

Der hervorgehobene Punkt mit Koordinaten ist der Sperrsättigungsstrom $I_s = 0.1394$.

5.2 Kennlinie der Zenerdiode

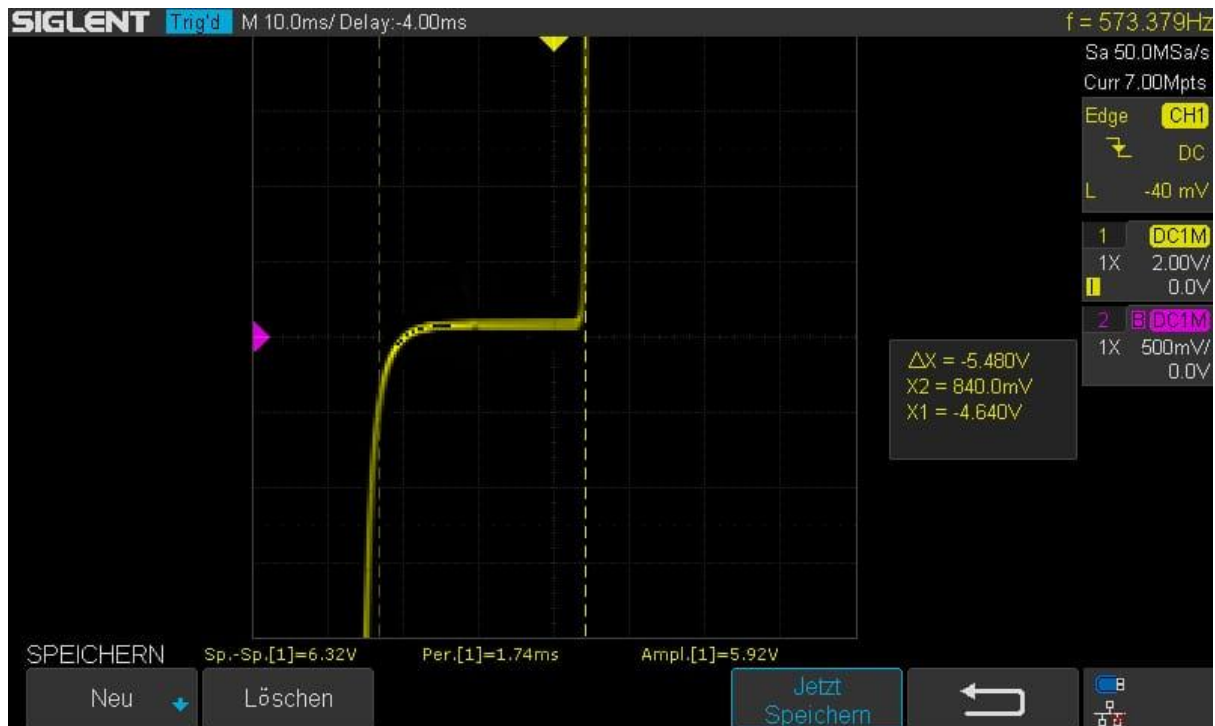


Abbildung 7. Kennlinie der Zenerdiode gezeichnet durch das Oszilloskop.

In Abbildung 7 ist die Kennlinie der Zenerdiode zu erkennen, hierbei ist zu erwähnen, dass diese nach dem Graphen in beide Richtungen den Strom durchlässt, was die Zenerdiode auch ausmacht.

5.3 Kennlinien der LEDs

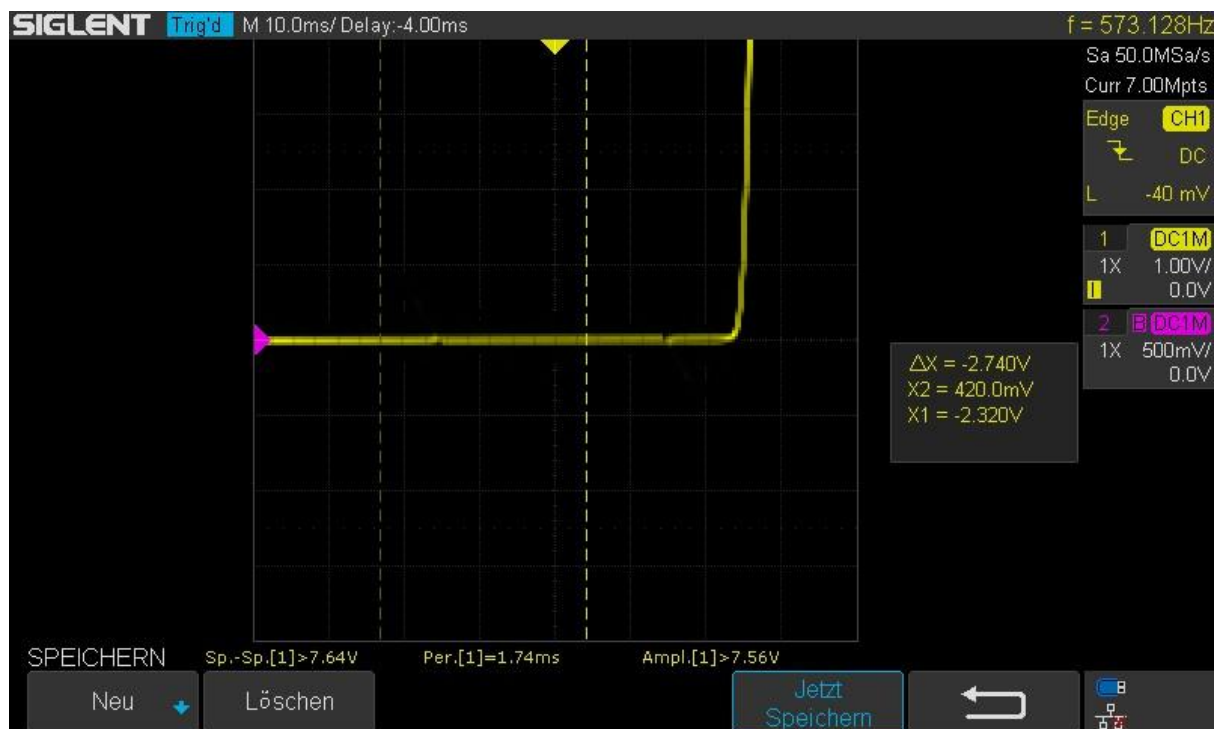


Abbildung 8. Kennlinie der blauen LED gezeichnet durch das Oszilloskop.

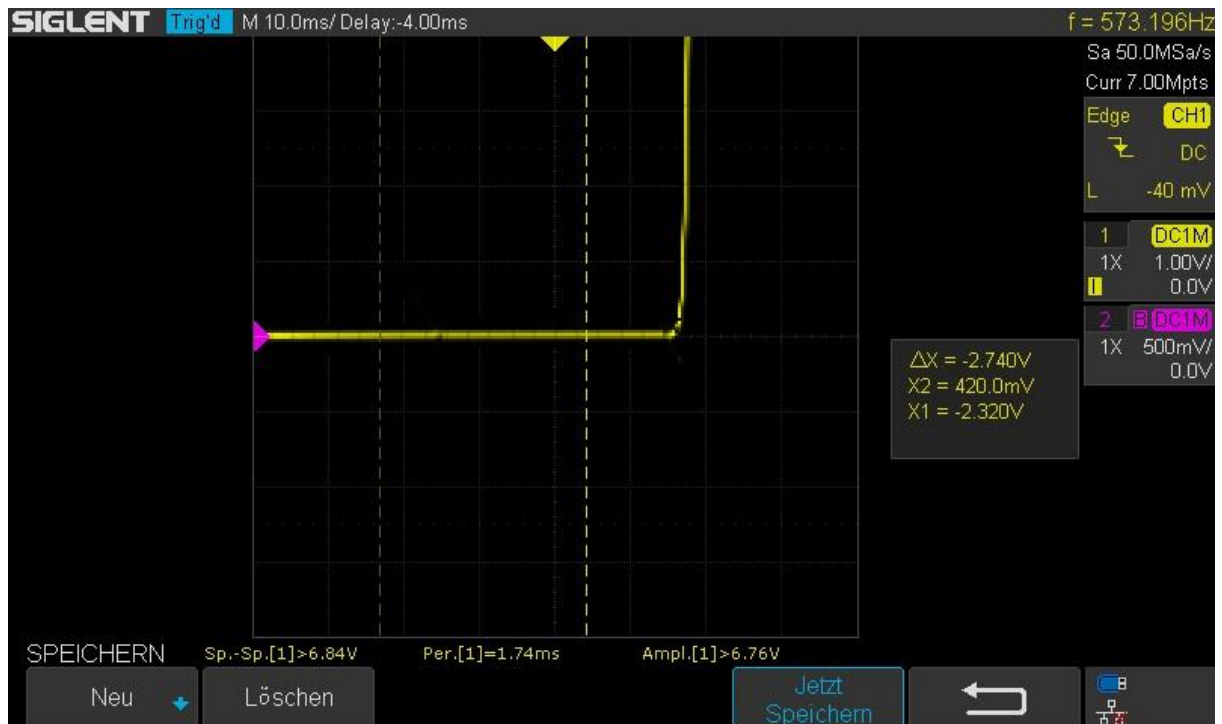


Abbildung 9. Kennlinie der roten LED gezeichnet durch das Oszilloskop.

Anhand von Abbildung 6 und 7 ist zu erkennen, dass die Kennlinie der roten LED früher, also bei geringerer Spannung, als die der blauen LED stark zunimmt. Dieser Unterschied kann auch anhand der ermittelten Werte, ab welcher Spannung die LEDs anfangen zu leuchten, beobachtet werden. $U_{\min,r} = 1.620 \text{ V}$ und $U_{\min,b} = 2.380 \text{ V}$, durch diese Diskrepanz der zwei Werte lässt sich schlussfolgern, dass für kürzere Wellenlängen, also höher energetisches Licht auch größere Spannungen benötigt werden. Der Zusammenhang wird nochmal klarer, wenn man die Formel für die Energie eines Photons betrachtet.

$$E_{\text{Ph}} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Wobei h dem Plank'schen Wirkungsquantum, c der Lichtgeschwindigkeit und λ der Wellenlänge entspricht.

Da $h \cdot c$ konstant ist, kann man $E = \frac{1}{\lambda}$ betrachten, nimmt die Wellenlänge zu, wird E immer kleiner, wird die Wellenlänge jedoch kleiner, wächst E . Die Energie die als sichtbares Licht frei wird, wird für kurzwelliges Licht immer größer, weshalb zu erwarten ist, dass die Spannung, die dafür benötigt wird auch zunehmen muss.

Für blaues Licht (ca. 500nm) gilt:

$$E_{\text{Ph}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3.9756 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Wobei für rotes Licht $E_{\text{Ph}} = 2.8397 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ gilt.

6. Fehler

Bei der Arbeit mit dem Stromgerät bei Gleichstrom wurde festgestellt, dass die Messungen sehr ungenau ausfielen, da andauernde Sprünge von bis zu $\Delta I = 300 \mu\text{A}$ möglich waren, wobei für die Spannung nur Sprünge von bis zu $\Delta U = 0.150 \text{ V}$ beobachtet wurden. Außerdem ist davon auszugehen, dass die Geräte selber bereits einige Ungenauigkeiten haben und die Stromkreise nicht absolut optimal waren, sodass keine Ungenauigkeiten auftreten könnten. Die Messungenauigkeiten können in den Abbildungen 1 bis 4 gut beobachtet werden, vor allem bei geringeren Stromstärken war die Ungenauigkeit des Netzgerätes ein Problem. Durch Ausgleichsgeraden in den Grafiken, konnte jedoch jeweils der lineare Zusammenhang verdeutlicht werden. Bei der Mindestspannung für die LEDs ist auch von einem statistischen Fehler auszugehen, weil nicht ganz perfekt ermittelt werden konnte, welche Spannung genau hier benötigt wurde. Das Ablesen am Oszilloskop ist auch fehlerbelastet gewesen.

7. Zusammenfassung

Anhand von mehreren Messungen konnten für die Germanium- und Siliziumdiode der Sperrstrom und die Sperrsättigungsspannung ermittelt werden. Durch das Oszilloskop konnten die Kennlinien für die Zener- und die blaue und rote Licht-Diode gezeichnet werden. Außerdem konnten Unterschiede bei den Kennlinien von verschiedenfarbigen LEDs experimentell und rechnerisch nachgewiesen werden, vor allem wenn es um den Zusammenhang zwischen Energie des emittierten Lichts und der angesetzten Spannung geht.

8. Quellen

[1] Anleitungstext E24 Halbleiterdiode, 2021

9. Anhang

124 - Halbleitendiode

Messungen

Ge ~~10050~~

V_m	0,409V	70,0mV	102,5mV	135,2mV	160,5mV
I_m	7,99mA	46μA	13,0μA	36,9μA	80,0μA

V_m	194,9mV	221,1mV	251,9mV	290,4mV
I_m	166,0μA	300,2μA	0,57mA	1,19mA

V_m	0,328V	0,361V
I_m	2,32mA	4,00mA

Si:

V_m	0,364V	0,385V	0,456V	0,484V	0,576V	0,582V
I_m	6,5μA	12,1μA	57,8μA	113,3μA	226,6μA	0,49mA

V_m	0,586V	0,621V	0,656V	0,682V
I_m	1,1mA	2,0mA	4,1mA	8,00mA

Erw.

Ge

Si:

Si: 0,2mA	194,4V	0,508V
Ge: 0,18mA	184,8V	0,502V

Sperrspannung:

Ge:	0,5029V	1,015V	1,514V	1,965V
	0,6μA	0,7μA	0,8μA	0,8μA
	2,515V	2,991V	3,89V	4,92V
	0,9μA	0,9μA	1,2μA	1,3μA
6,05V	7,07V			
1,4μA	1,5μA			

S_{15}	0,047V	1.000	1.556	2.032
	0,2mA	0,2	0,3	0,3
	2.480	3.010	4.02	4.96
	0,4	0,4	0,6	0,6
	6.01V	8.99		
	0,7	0,8		

MO:

1620V - R₀E

2380V - Blau

$$E = \frac{R \cdot c}{\lambda} \quad \lambda \rightarrow \infty; E \rightarrow 0$$

Kz. WL \rightarrow hohe E_n

lan. WL \rightarrow geringe E_n

Wider I_0

$$u=0 \rightarrow \ln(I) = -6.35153646$$

$$I = 0,00174406539$$

$$= 0,0017 \text{ mA}$$

$$\ln(I) = \ln(I_s \cdot \exp(\frac{eU}{kT}))$$

$$\ln(I) = \ln(I_s) + \frac{eU}{kT}$$

y-Achsen-
abschnitt.