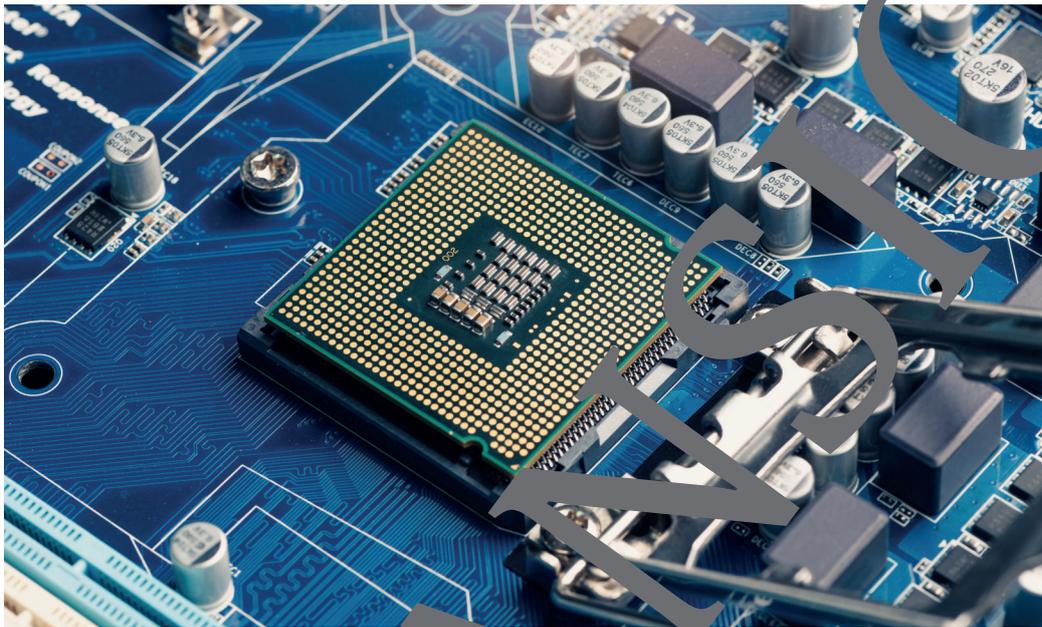


I.D.49

Elektrizitätslehre und Magnetismus

Halbleiterbauelemente – Modelle und Experimente

Alexander Friedrich



© RAABE 2024

© Narumon Bowonkitwanchai/Moment/Getty Images

Im modernen Informationszeitalter kommen Halbleiterbauelemente eine wichtige Bedeutung zu. Egal ob in Smartphones, Tablets oder Monitoren, in allen diesen Geräten findet man diese elektronischen Bauteile. Auch in Photovoltaikanlagen sind sie notwendig zur Erzeugung von elektrischer Energie aus Sonnenlicht. Um dieses breite Spektrum an Einsatzmöglichkeiten abzudecken, gibt es unzählige verschiedene Halbleiterbauelemente. Neben Dioden stellen auch Transistoren ein wichtiges Halbleiterbauelement dar.

KOMPETENZPROFIL

Klassensstufe:

Dauer: 9 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 5)

Kompetenzen:

1. Die Lernenden erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien, 2. Sie bauen Versuchsanordnungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen, 3. Sie erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messwtergebnisse an.

Thematische Bereiche:

Grundlegende Eigenschaften von Halbleiterbauelementen, Dioden-Kennlinien, Aufbau von einfachen elektronischen Schaltungen aus Halbleiterbauelementen

Medien:

Taschenrechner, Tablet, Computer, PowerPoint

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Sv = Schülerversuch

1./2. Stunde

- Thema:** Einstieg: Halbleiterbauelemente
M 1 (Ab) Nichts Halbes, nichts Ganzes? – Halbleiter
Benötigt: Computer, Smartphone, Tablet
M 2 (Ab) Halbleiterdiode – Dotierung im Detail

3./4. Stunde

- Thema:** Spezielle Halbleiterbauelemente
M 3 (Ab) Halbleiterbauelemente – ein Gruppenpuzzle
M 3a (Ab) Gruppe 1 – Die Halbleiterdioden
M 3b (Ab) Gruppe 2 – Transistoren
M 3c (Ab) Gruppe 3 – Zenerdioden, Photodioden und Schottky-Dioden
M 4 (Ab) MOSFET- und JFET-Transistoren
M 5 (Ab) LDR, NTC und PTC – Kennst du die Unterschiede?

5./6. Stunde

- Thema:** Experimentelle Überprüfung der in der Theorie gelernten Theorie
M 6a (Sv) Die U-I-Kennlinie einer LED
M 6b (Sv) Bau eines Schalters
M 6c (Sv) Die Zauberlampe
Benötigt: Bipolartransistoren
 LEDs
 Multimeter
 LDR
 100-Ω-Widerstand
 10k-Ω-Widerstand
 Experimentierkabel
 „Zauberlampe“
 Taschenlampe o. Ä.

7. Stunde

- Thema:** Wiederholungsübungen zu Halbleitern
M 7 (Ab) Halbleiterbauelemente – Begriffe erraten mit Tabuwörtern
M 8 (Ab) Worträtsel zu Halbleiterbauelementen

8. Stunde

Thema: Gruppendiskussion zum Chipmangel

M 9 (Ab) Die Chipherstellung

M 10 (Ab) Der Chipmangel – ein Problem der Zukunft?

9. Stunde

Thema: Abschlussquiz

M 11 (Ab) Single-Choice-Quiz zu Halbleiterbauelementen

Minimalplan

Als Minimalplan kann der Beitrag auf 5 Stunden reduziert werden. Für ein grundlegendes Verständnis sollten jedoch die Materialien **M 1** bis **M 5** behandelt werden, damit es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht wird, einen Einblick in das Themengebiet der Halbleiterbauelemente zu erhalten. Für die Erfüllung des Lehrplans sollten die Lernenden auch die U-I-Linie einer Diode aufnehmen und das dazugehörige Experiment planen. Zudem sollte die Messdaten entsprechend interpretiert werden können und ein Zusammenhang mit der Schaltung einer Diode geschaffen werden.

M 1

Nichts Halbes, nichts Ganzes? – Halbleiter

Was sind eigentlich Halbleiter und warum heißen diese so? Welche Besonderheiten haben diese speziellen Elemente und warum sind sie so wichtig für das moderne Informationszeitalter? Antworten auf diese Fragen finden sich in der folgenden PowerPoint-Datei.



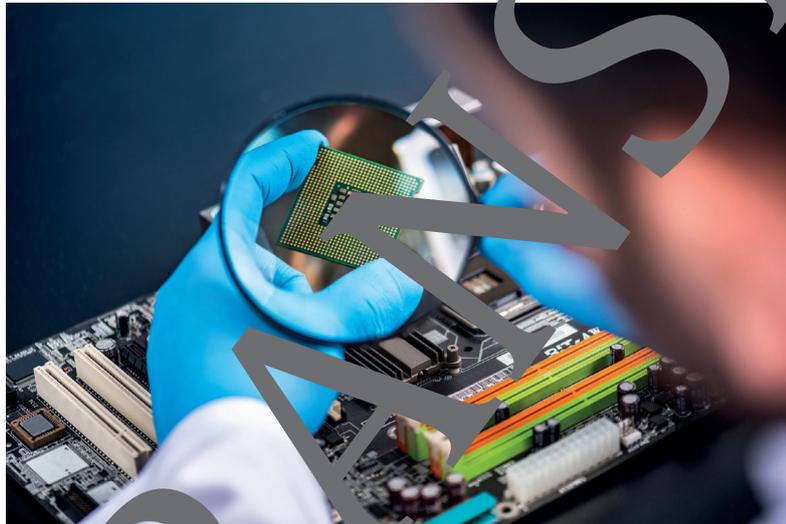
Aufgabe

Informiere dich mithilfe der folgenden interaktiven PowerPoint über Halbleiter. Bearbeite anschließend das dazugehörige Arbeitsblatt.

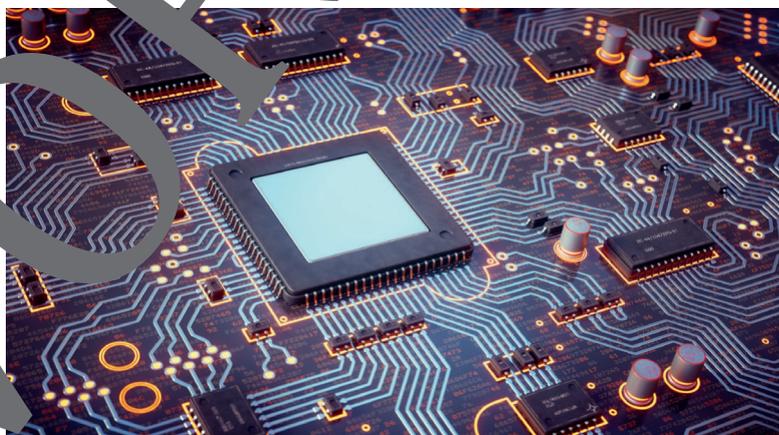
Hinweis

Die PowerPoint-Datei besteht aus gekennzeichneten „Schaltflächen“, wodurch es möglich ist, durch Klicken mit der Maus auf diese, durch die Präsentation zu navigieren. In einigen Stellen der Präsentation reicht ein einfaches Drüberfahren mit der Maus aus, um eine bestimmte Funktion in der PowerPoint durchzuführen.

In der PowerPoint-Datei selbst ist das Überspringen der Folien gesperrt. Das bedeutet, dass du nur durch das Anklicken der verschiedenen Schaltflächen in der Präsentation weiterkommst.



© Sefa C./E+/Getty Images



© matejmo/iStock/Getty Images Plus

Halbleiterdiode – Dotierung im Detail

M 2

Halbleiter können durch zwei unterschiedliche Arten dotiert werden – durch p- und n-Dotierung. Bringt man diese beiden Schichten anschließend zusammen, dann entsteht eine sogenannte Raumladungszone durch einen pn-Übergang. Doch wofür ist dieser pn-Übergang überhaupt wichtig?

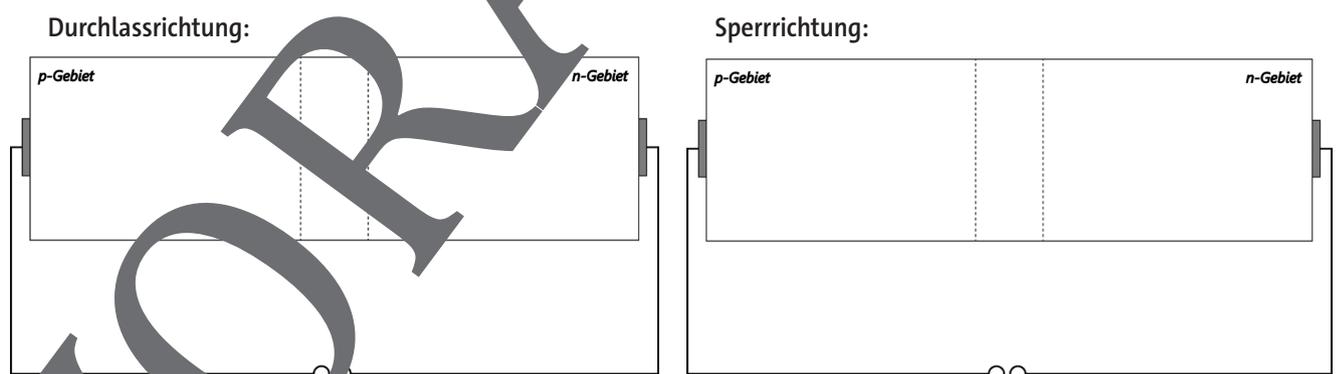
Aufgabe

Nutze <https://raabe.click/phy-halbleiter-1> und schau dir die Animation eines pn-Übergangs von einem Halbleiter an, um die folgenden Fragen zu beantworten.

1. Eine Halbleiterdiode kann sowohl in Sperrrichtung als auch in Durchlassrichtung geschaltet werden.
 - a) **Erkläre**, wann eine Halbleiterdiode in Durchlassrichtung und wann in Sperrrichtung geschaltet ist. **Gehe** dabei auf die p- und n-Schicht einer Diode **ein** und auf die Richtung des Netzgeräts.



- b) **Zeichne** in die unten stehenden Abbildungen einmal den Zustand der Durchlassrichtung und einmal den Zustand der Sperrrichtung. **Markiere** dabei die Bewegungsrichtung der Elektronen bzw. Protonen mit Pfeilen sowie die Richtung des Netzgeräts.



Abbildungen: Alexander Friedrich

M 3a

Gruppe 1 – Die Halbleiterdioden

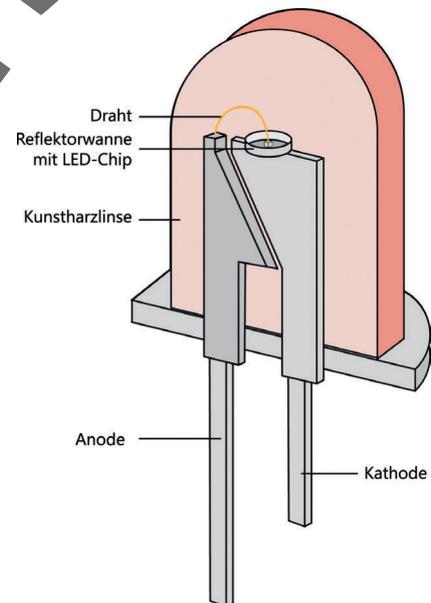
Dioden spielen eine sehr wichtige Rolle in vielen elektrischen Bauplänen. Dabei muss man zunächst zwischen leuchtenden und nicht leuchtenden Dioden unterscheiden. Beide Typen von Dioden besitzen spezielle Eigenschaften.

**Leuchtende Dioden (LED)**

Ein zentrales Bauelement stellt die LED (*light emitting diode*) dar. Im Gegensatz zu normalen Glühlampen, bei denen meist ein Wolframdraht durch Erwärmung zum Glühen gebracht wird, nutzt man bei einer LED den pn-Übergang aus. Jedoch kann eine LED nur Licht einer bestimmten Wellenlänge (monochromatisches Licht) aussenden. Je nach verwendetem Material innerhalb der Diode können unterschiedliche Wellenlängen erzeugt werden (siehe Tabelle).

Halbleitermaterial	Abkürzung	Farbe(n)
Galliumarsenid	GaAs	Rot
Indium-Gallium-Phosphid	InGaP	Gelb
Galliumarsenid-Phosphid	GaAsP	Rot, Orange, Gelb
Indium-Gallium-Nitrid	InGaN	Grün, Blau

Eine LED besitzt dabei grundsätzlich folgenden Aufbau. Wichtig für die Erzeugung von Licht sind die Anode und Kathode. Dabei gilt die Regel, dass die Anode immer länger ist als die Kathode. Man sollte darauf achten, dass man die Diode richtig herum anschließt, da sonst die Gefahr besteht, diese zu zerstören. Der Reflektor besitzt die Funktion, die Lichtabstrahlung zu verbessern. Der LED-Chip ist der wichtige Bestandteil der LED. Dieser besteht meist aus einem Halbleitermaterial und erzeugt monochromatisches Licht über einen pn-Übergang. Dieser ist über einen dünnen Draht mit der Anode verbunden. Darunter befindet sich die sogenannte „Reflektorwanne“. Diese soll den Wirkungsgrad und die Lichtausbeute einer LED verbessern. Um die Kathode der LED befindet sich eine Kunststofflinse, welche das Innere schützen soll.



© Alexander Friedrich

Nicht leuchtende Dioden

Eine nicht leuchtende Diode dient dazu, den Strom in nur eine bestimmte Richtung passieren zu lassen. In die andere Bewegungsrichtung des Stroms gesperrt. Auch hier wird wieder der pn-Übergang ausgenutzt. Dabei wird der Begriff „Diode“ im eigentlichen Sinne nur für Silicium-Dioden genutzt. Nutzt man ein anderes Material, wie beispielsweise Germanium, so nennt man diese „Schottky-Dioden“. Dabei besitzt jedoch jede Diode einen Punkt, bei welchem sie den Strom durchlässt. Die dazugehörige Spannung wird als *Durchlassspannung* bezeichnet. Bei einer Silicium-Diode ist dieser Punkt bei ungefähr 0,6 V. Durch die spezielle U-I-Kennlinie (siehe M 6) kann man sowohl die Durchlassspannung sowie die *Sperrspannung* ablesen. Diese sind meist in dem dazugehörigen Datenblatt der Diode angegeben.

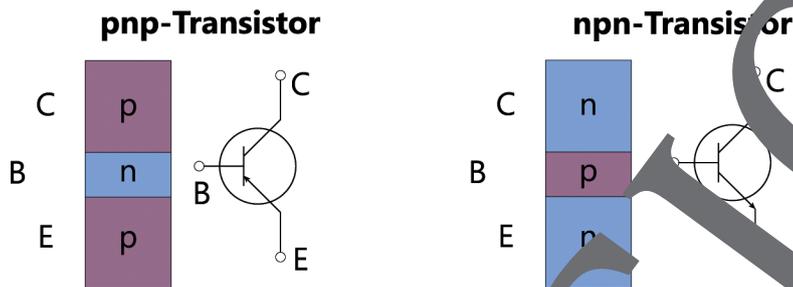
Gruppe 2 – Transistoren

M 3b

Transistoren sind sehr wichtige Bauelemente in der Elektrotechnik. Der erste Transistor war ein sogenannter „bipolarer Transistor“, welcher im Jahre 1948 erfunden wurde.

Bipolare Transistoren

Diese Art von Transistoren besteht aus einer Abfolge von drei dotierten Halbleiterschichten. Diese werden Emittor (E), Basis (B) und Kollektor (C) genannt. Dabei kann sich die Reihenfolge der Dotierung insofern unterscheiden, dass man von einem pnp- oder npn-Transistor sprechen kann. Diese besitzen dann folgendes Aussehen:



Abbildungen: Alexander Friedrich

Hauptsächlich werden Transistoren zur Regelung und Schaltung von elektrischen Strömen und Signalen genutzt. Dabei wird eben kein megaler mechanischer Schalter verwendet, sondern es wird lediglich der elektrische Strom genutzt. An jedem Anschluss eines Transistors wird entweder eine Eingangsspannung U_E oder Ausgangsspannung U_A angelegt. Je nach Schaltung werden dabei immer zwei Anschlüsse für Eingangs- und Ausgangsstrom genutzt. Dadurch ergeben sich verschiedene Schaltungsmöglichkeiten: Emitterschaltung, Kollektorschaltung und Basisschaltung. Doch wie funktioniert ein Transistor? Am Beispiel des npn-Transistors kann das Prinzip gut veranschaulicht werden. Zunächst setzt man den Anschluss des Emittors auf ein Massepotenzial. Dann kann man den Kollektor (C) auf eine positive Spannung U_{CE} legen. Die p-Schicht ist jedoch sehr dünn, wodurch nur ein kleiner Teil der Elektronen angeschlossen wird. Um einen Stromfluss zu erhalten, muss eine weitere positive Spannung angelegt werden. Wie ein entsprechender Stromfluss erzeugt werden kann, erfahrt ihr unter dem folgenden Link. Nutzt für die Beantwortung der Aufgabe auch die nebenstehende Abbildung.

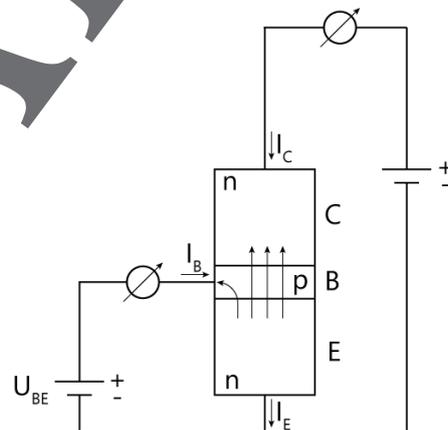


Abbildung: Alexander Friedrich

<https://raabbitslick/phy-halbleiter-2>

Der sehr große Vorteil dieser Schaltung ist, dass eine kleine Änderung des Basisstroms I_B eine bis zu 100-fache Änderung (meist Vergrößerung) des Kollektorstroms I_C nach sich zieht. Somit kann der Stromfluss gesteuert werden.

Merke: Transistor-Effekt

Auf Basis-Emitterspannung U_{BE} folgt ein Strom von Elektronen, welche sich zum Kollektor bewegen. Dadurch kann der Kollektorstrom I_C gesteuert werden.

M 3c

Gruppe 3 – Zenerdioden, Photodioden und Schottky-Dioden

**Zenerdioden**

Diese Art von Diode ist dafür gemacht, dauerhaft in Sperrrichtung und dabei im Bereich der Durchbruchsspannung betrieben zu werden. Möglich wird das durch eine sehr stark dotierte p- und n-Schicht. Dadurch besitzt die Z-Diode eine Durchbruchsspannung im Bereich zwischen 2,4–200 V. Das bietet den großen Vorteil, dass Z-Dioden die Spannung sehr gut begrenzen können. Daher werden diese Bauteile häufig als Überlastschutz eingesetzt.

Photodioden

Photodioden dürfen nicht mit LEDs verwechselt werden. Die Hauptfunktion von solchen Dioden ist die Umwandlung von eingestrahltm Licht in elektrischen Strom. Dabei wird das Prinzip des Photoeffekts ausgenutzt. Als pn-Material werden typische Halbleiterbauelemente wie Silizium, Germanium oder auch Legierungen wie Indiumgalliumarsenid genutzt. Trifft nun Licht mit ausreichender Energie auf das Material, so werden durch den photoelektrischen Effekt Elektronen aus dem Metall herausgelöst. Dadurch werden erneut Elektronen-Loch-Paare erzeugt, wodurch ein Strom erzeugt wird.

Schottky-Dioden

Die Besonderheit bei Schottky-Dioden ist, dass diese Bauelemente statt eines pn-Übergangs einen Metall-Halbleiter-Übergang besitzen. Diese Dioden sind darin optimiert, einen niedrigen Spannungsabfall in Durchlassrichtung zu erzeugen. Daher ist die Durchlassspannung sehr niedrig, etwa bei 0,3 V. Sie kommen jedoch auch dann zum Einsatz, wenn ein schnelles Umschalten innerhalb einer elektronischen Schaltung notwendig ist.

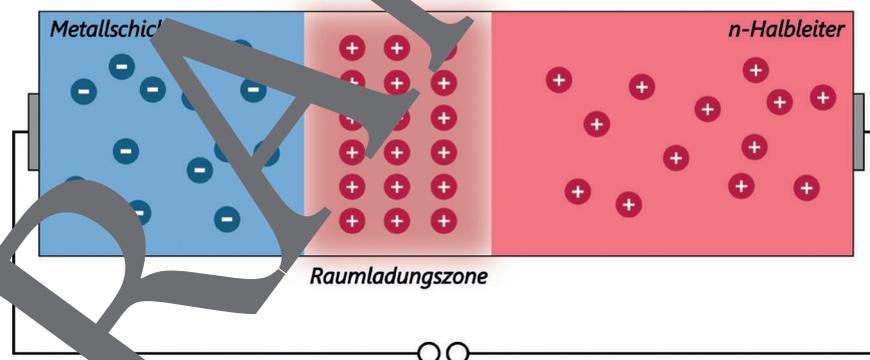


Abbildung: Alexander Friedrich

Dieser Kontakt zwischen Metall und Halbleiter wird daher als *Schottky-Kontakt* bezeichnet. Das Halbleitermaterial stellt häufig lediglich ein n-dotiertes Halbleitermaterial dar.

In der oberen Abbildung kann man erkennen, dass Elektronen in der n-Schicht (z.B. von Germanium) die Eigenschaft besitzen, dass diese eher in die Metallschicht diffundieren. Das hat zur Folge, dass in der n-Schicht ein deutlicher Mangel an Elektronen vorhanden ist. Zudem entsteht zwischen Metallschicht und Halbleiterschicht eine positive Raumladungszone. Dadurch entsteht zwischen der Metallschicht und der Raumladungszone ein elektrisches Feld, welches bewirkt, dass keine Elektronen mehr diffundieren können.

M 4

MOSFET- und JFET-Transistoren



Neben den einfachen bipolaren Transistoren gibt es noch weitere sehr wichtige Arten von Transistoren. Diese sind bekannt als Feldeffekttransistoren (FET). Der bekannteste FET ist dabei der Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET). Daneben gibt es noch eine weitere wichtige Gruppe von FETs: die Sperrschicht-Transistoren (JFET). Diese Gruppe von Transistoren ist in der Halbleitertechnik von großer Bedeutung.

MOSFET

Grundsätzlich ist ein Feldeffekttransistor ein Halbleiterbauelement mit drei Anschlüssen, ähnlich wie bei dem Bipolartransistor. Diese besitzen jedoch bei FET folgende Bezeichnung: *Source* (*S*), *Gate* (*G*) und *Drain* (*D*). Dabei besitzen FETs neben einer dotierten p-Schicht auch zwei dotierte n-Schichten.

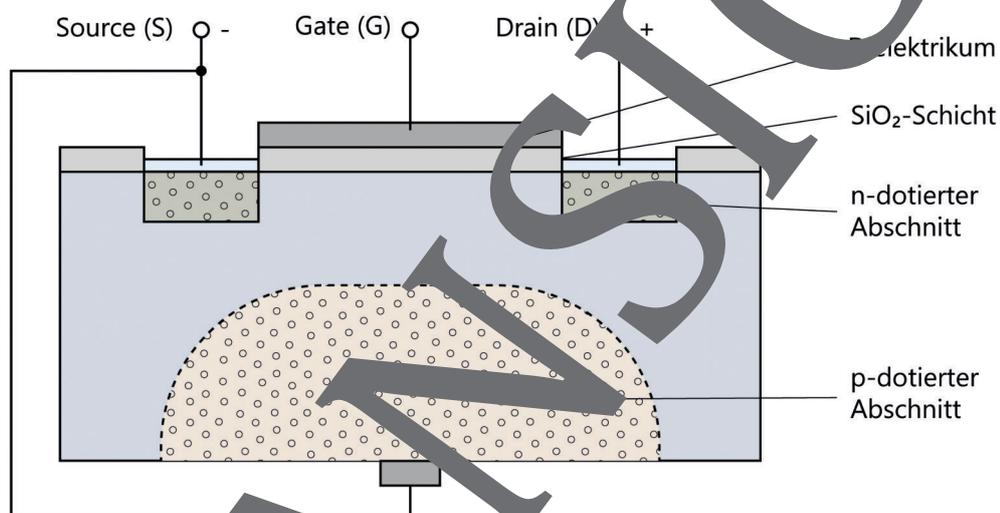


Abbildung: Alexander Friedrich

Die Besonderheit dabei ist jedoch, dass die n-Schichten in die p-Schichten hineinragen (siehe Abbildung). Dabei besitzt eine n-Schicht den Anschluss *Source*, die andere *Drain*.

Dazwischen befindet sich eine Schicht aufgedampftes Siliciumdioxid (SiO_2). Oberhalb dieser Schicht liegt ein Dielektrikum mit dem *Gate*-Anschluss. Beachtet werden muss nun, dass FETs bzw. MOSFETs nicht Stromgesteuert, sondern spannungsgesteuert sind. Wird nun eine Spannung zwischen *Source* und *Drain* angelegt, so kann zunächst keine Spannung gemessen werden, da der Kanal gesperrt ist. Wenn nun zwischen dem p-dotierten Material bzw. *Source* und dem *Gate* eine Spannung angelegt werden. Das führt dazu, dass sich Elektronen aus dem p-Material an der aufgedampften Schicht sammeln und somit zwischen den beiden n-Schichten. Dadurch stehen zwischen diesen beiden n-dotierten Bereichen ausreichend Elektronen zur Verfügung, wodurch diese sich vom *Drain*- zum *Source*-Anschluss bewegen. Je größer nun die Spannung zwischen *Gate* und *Source* wird, umso tiefer reicht der Kanal in die p-Schicht hinein. Durch kleine Spannungsänderungen zwischen diesen beiden Anschlüssen, kann eine „Verstärkung“ des Stroms erreicht werden. Einsatzgebiet finden MOSFETs insbesondere bei sehr hohen Spannungen. Diese sogenannten „Leistungs-MOSFETs“ werden dabei in Schaltreglern und bei hohen Schaltfrequenzen eingesetzt.

Bau eines Schalters

M 6b

Eine sehr beeindruckende Funktion des Transistors ist, dass dieser als Schalter eingesetzt werden kann.

Versuch 2:

In diesem Versuch wird die Funktion eines Transistors untersucht. Dazu kann die folgende Schaltung genutzt werden. **Baue diese auf** und **notiere** dir deine Beobachtung, wenn der LDR verdunkelt wird. **Gib** anschließend eine Begründung für deine Beobachtung.

Hinweis: Der verbaute LDR wirkt durch den Transistor invers (umgekehrt).

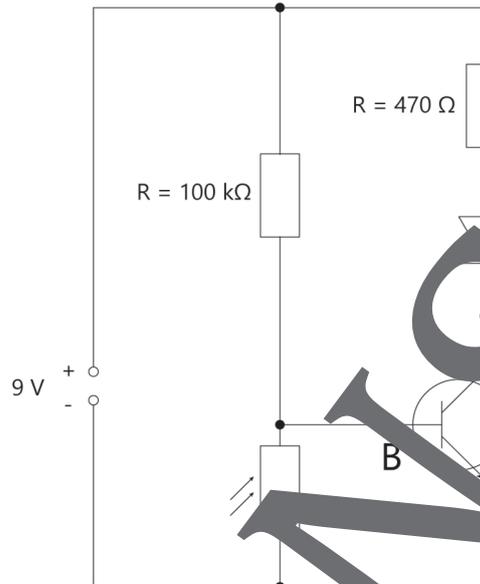


Abbildung: Alexander Friedrich

Beobachtung:

Begründung:

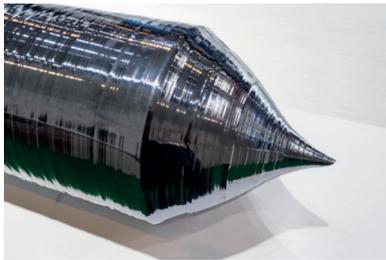
Die Chipherstellung

M 9

Computerchips sind eines der wichtigsten Bauelemente im modernen Informationszeitalter. Ohne diese Halbleiter gäbe es weder Handys noch Fernseher noch Computer. Doch wie werden diese Chips eigentlich hergestellt und warum sind diese für die technischen Geräte so wichtig?

Reines Silicium

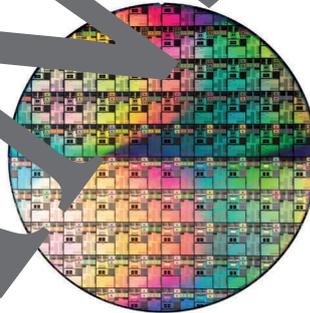
Das häufigste Element, welches zum Bau von Computerchips genutzt wird, ist ein Siliciumkristall. Für die Herstellung muss reines Silicium genutzt werden. Silicium kommt aber nur als Siliciumdioxid vor, beispielsweise in Sand. Daher stellt Sand bzw. Quarz einen sehr wichtigen Rohstoff für die Chipherstellung dar. Das reine Silicium wird durch ein spezielles Schmelzverfahren gewonnen, wobei ausgenutzt wird, dass die verschiedenen vermischten Elemente unterschiedliche Schmelztemperaturen besitzen. Diese können voneinander abgetrennt werden.



© Liyao Xie/Moment/Gettyimages

Der Herstellungsprozess

Nachdem ein reiner Siliciumkristall vorliegt, wird hieraus nun der Computerchip hergestellt. Dabei besteht der Herstellungsprozess aus sehr vielen Einzelschritten. Zunächst wird der Kristall mithilfe eines Lasers in sehr dünne Scheiben geschnitten. Eine solche Scheibe, welche man auch als *Wafer* bezeichnet, kann dabei eine Dicke von gerade mal 100 μm haben. Anschließend werden diese Scheiben durch viele verschiedene Reinigungsprozesse gereinigt und auf mögliche Kratzer kontrolliert. Nach dem Reinigen wird die Oberfläche mit Siliciumdioxid bedampft. Hierdurch befindet sich auf dem Chip eine Art „Eisdecke“. Danach startet ein Prozess, welcher als *photografische Bearbeitung* bezeichnet wird. Hierbei werden durch UV-Licht oder Röntgenlicht die integrierten Schaltungen auf die Oberfläche eingegraben.



© Liyao Xie/Moment/Gettyimages

Nach der fotografischen Bearbeitung muss der Chip noch aufbereitet werden. An den belichteten Stellen des Fotolacks kann dieser nun durch Ätzen und Erwärmen entfernt werden. Dadurch wird auch die darunter befindliche SiO_2 -Schicht entfernt. Anschließend kommt es zum Prozess der Dotierung. Auf die Stellen des freien Siliciums werden Fremdatome aufgedampft, wodurch entsprechende n- und p-dotierte Schichten entstehen.

Dadurch entstehen nun unzählige verschiedene integrierte Schaltungen bzw. Chipkerne vor. Diese werden nun herausgeschnitten und anschließend getestet. Diesen Prozess bezeichnet man als *Dicing*.

M 10

Der Chipmangel – ein Problem der Zukunft?

Computerchips werden für fast alle wichtigen technischen Systeme benötigt. Doch die meisten Chips werden in China und Taiwan hergestellt. Seit Jahren besteht daher schon ein deutlicher Mangel an Computerchips, da die Nachfrage deutlich in die Höhe gestiegen ist. Kann dies zu einem Problem für Deutschland und Europa werden?

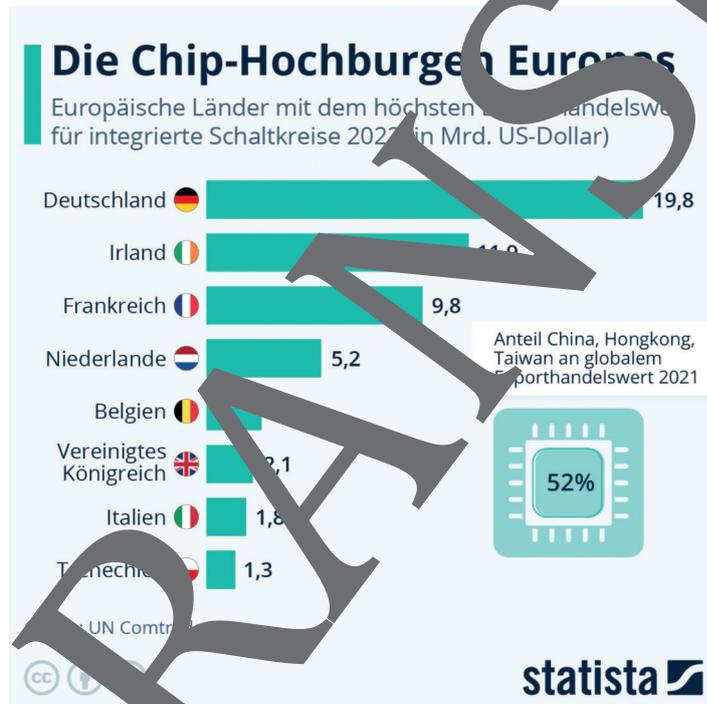
Aufgabe

Führt innerhalb einer Gruppe mithilfe der unten stehenden Informationen und Quellen eine Diskussion über den Chipmangel und dessen Folgen für die Industrie und Gesellschaft in Deutschland.

Geht dabei auf folgende Punkte ein:

- Die Chipproduktion in Deutschland und Europa im Vergleich mit Asien
- Probleme für die Autoindustrie

Quelle 1: Grafik mit den Exporthandelswerten für europäische Länder im Vergleich mit asiatischen Ländern: <https://raabe.click/phy-halbleiter-3>



Quelle 2: Der Anteil der Elektroautos soll stark ansteigen, insbesondere im Hinblick auf das Verbrennerverbot im Jahr 2035. <https://raabe.click/phy-halbleiter-4>

Quelle 3: Die EU will bis 2030 15 Mrd. Euro aus öffentlichen und privaten Geldern in die Chipproduktion in Europa investieren. <https://raabe.click/phy-halbleiter-5>

Single-Choice-Quiz zu Halbleiterbauelementen

M 11

Aufgabe

Markiere die jeweils richtige Antwort!



- Welches der folgenden Bauelemente ist ein typisches Halbleiterbauelement?

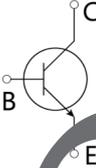
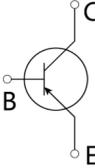
 - NTC
 - GTC
 - NFET
- Was versteht man unter dem Begriff „Dotierung“?

 - Einbau eines Fremdatoms in eine sonst „reine“ Atomstruktur
 - Wegnahme von Atomen aus einer bestehenden Atomstruktur
 - Veränderung der Atomstruktur durch Lichteinstrahlung
- Welche drei Anschlüsse besitzt ein MOSFET?

 - Drain, Source, Gate
 - Kollektor, Emitter, Basis
 - Emitter, Drain, Source
- Bei welchem Halbleiterbauelement spielt der photoelektrische Effekt eine wichtige Rolle?

 - Zenerdiode
 - Photodiode
 - LED
- Welches der folgenden Elemente eignet sich als gutes Halbleitermaterial?

 - Galliumarsenid
 - Zink
 - Lithium
- Welches der folgenden Schaltzeichen zeigt einen pnp-Transistor?

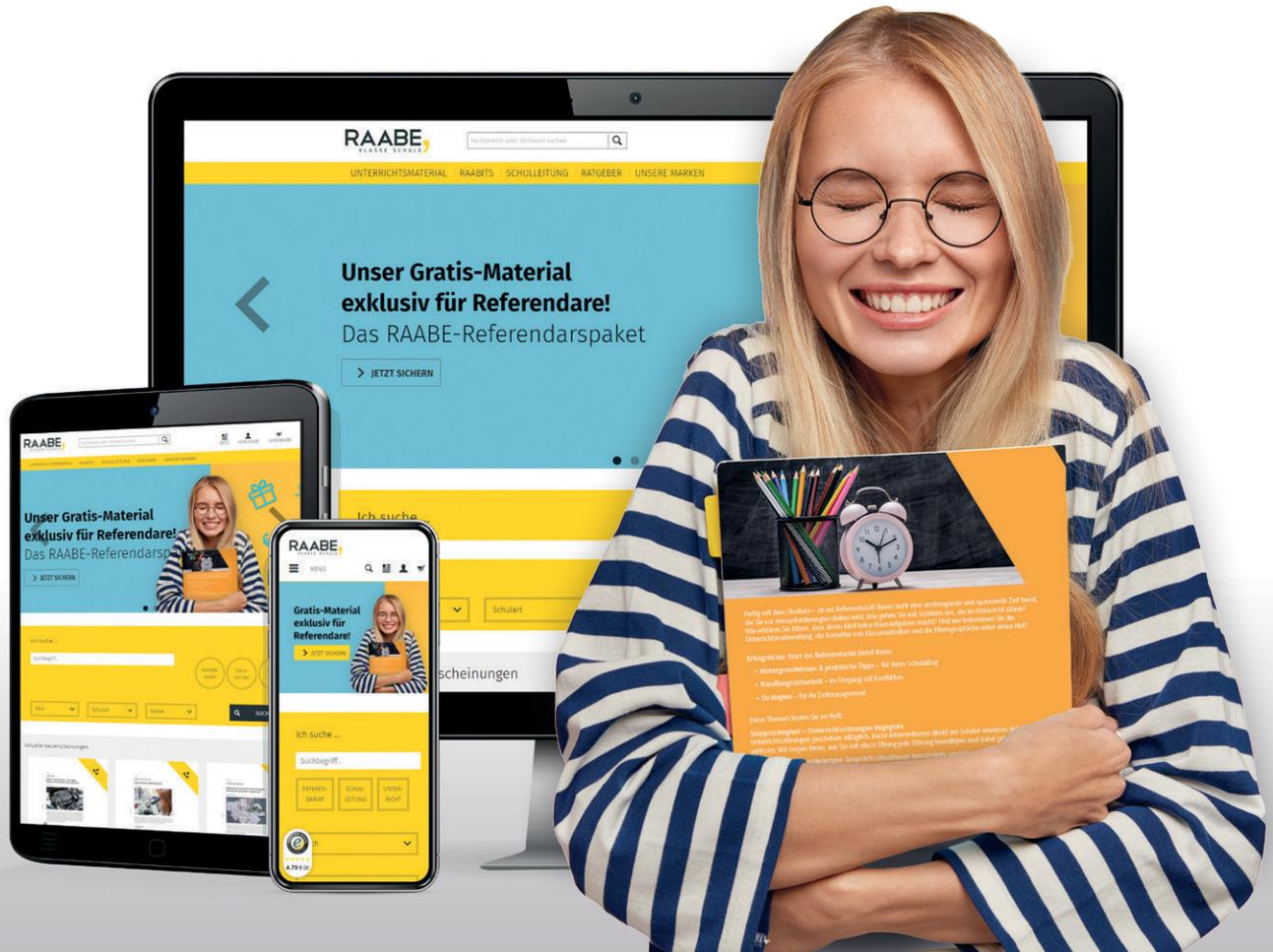
 - 
 - 
 - 
- Wie bezeichnet man den Raum zwischen einem p- und einem n-Leiter?

 - Trennungszone
 - Raumladungszone
 - Ladenerbe
- Welches der folgenden Elemente bietet sich für eine n-Dotierung an?

 - Bor
 - Bor
 - Phosphor

Sie wollen mehr für Ihr Fach?

Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



✓ **Über 5.000 Unterrichtseinheiten**
sofort zum Download verfügbar

✓ **Webinare und Videos**
für Ihre fachliche und
persönliche Weiterbildung

✓ **Attraktive Vergünstigungen**
für Referendar:innen
mit bis zu 15% Rabatt

✓ **Käuferschutz**
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:
www.raabe.de