



Die Leuchtdiode

Manuel Pfau, WS 22/23

Inhalt

1	Aufbau [2].....	1
2	Funktionsweise [3] [4]	2
2.1	Halbleiterkristall	2
2.2	p-Dotierung.....	2
2.3	n-Dotierung.....	3
2.4	Rekombination	3
3	Experiment [2].....	4

Einstieg: Ob in Deckenleuchten, Taschenlampen oder Autoscheinwerfern, weiße LED-Leuchten begegnen uns im Alltag ständig und sind nichts Außergewöhnliches. Dabei ist weißes LED-Licht keinesfalls eine Selbstverständlichkeit. Von der Entwicklung der ersten LED 1962, die rot leuchtete, dauerte es ganze 33 Jahre, bis auch weißes Licht erzeugt werden konnte. [1]

1 Aufbau [2]

Umschlossen wird der Aufbau der Leuchtdiode (Abb. 1) von einer **Kunststofflinse** (a), die den Strahlungswinkel und die Lichtausbeute beeinflusst. Das Licht wird im **Halbleiterkristall** (c) erzeugt. Dieser befindet sich in einer **Reflektorwanne** (d), die die Lichtausbeute erhöht. Die Reflektorwanne ist mit der **Kathode** (f) verbunden. An der Kathode wird der Minuspol angeschlossen, an der **Anode** (e) der Pluspol. Ein dünner Draht, der sogenannte **Bond-Draht** (b), verbindet die Anode mit dem Halbleiterkristall.

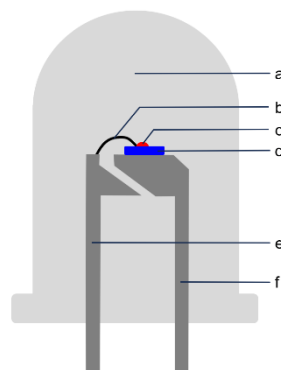


Abb. 1: Aufbau LED

2 Funktionsweise [3] [4]

2.1 Halbleiterkristall

Das Grundgerüst des Halbleiterkristalls besteht aus Atomen eines Elements der **4. Hauptgruppe**, z.B. Siliziumatomen. Diese Atome besitzen vier Valenzelektronen. Um die Oktettregel zu erfüllen, geht jedes Siliziumatom eine Bindung mit vier weiteren Siliziumatomen ein. Bei **Energiezufuhr** können sich Elektronen aus den Bindungen lösen (Abb. 2a). Diese Elektronen sind dann frei. Sie hinterlassen dabei positiv geladene Fehlstellen, sogenannte **Löcher**. Bei angelegter Spannung wandern die **freien Elektronen** zum Pluspol (Abb. 2b). Weitere Elektronen, die sich aus Bindungen lösen, können das Loch besetzen. Das nennt man **Rekombination** (Abb. 2c). Dabei entstehen wieder neue Löcher. Die Löcher wandern dabei zum Minuspol.

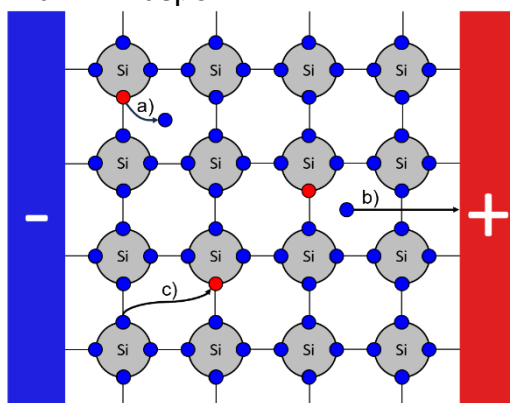


Abb. 2: Grundgerüst Siliziumkristall. a: Lösen des Elektrons & Entstehung Loch. b: freies Elektron wandert zum Pluspol. c: Rekombination von Elektron und Loch

2.2 p-Dotierung

Unter Dotierungen versteht man die Verunreinigung des Halbleiterkristalls mit Fremdatomen. Bei der p-Dotierung werden Fremdatome eines Elements der **3. Hauptgruppe** eingebracht, z.B. Galliumatome. Diese besitzen drei Valenzelektronen, wodurch sie nur drei Bindungen eingehen können. Dadurch entstehen **Fehlstellen** im Gitter. Diese können bei **Energiezufuhr** durch Elektronen aus einer Si-Si-Bindung besetzt werden (Abb. 3a). Dadurch entstehen Galliumanionen, welche die **Oktettregel** erfüllen. Zudem entstehen positiv geladene Löcher. Durch Lösen von Elektronen aus Bindungen und Rekombination wandern die Löcher zum Minuspol (Abb. 3b).

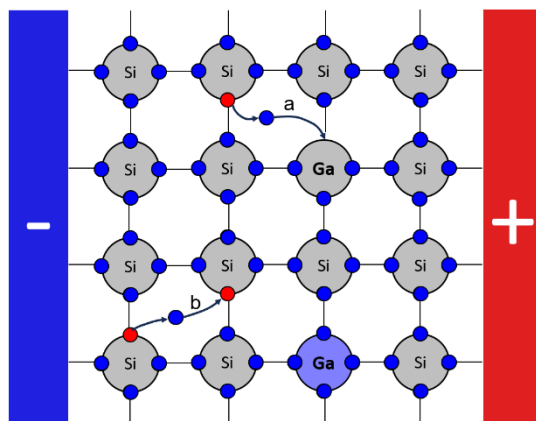


Abb. 3: p-dotierter Siliziumkristall. a: Entstehung Galliumanion und Loch. b: Rekombination von Elektron und Loch

2.3 n-Dotierung

Bei der n-Dotierung wird der Halbleiterkristall mit Fremdatomen eines Elements der **5. Hauptgruppe** verunreinigt, z.B. Arsenatomen. Diese besitzen je fünf Valenzelektronen. Je vier der Valenzelektronen gehen Bindungen mit Siliziumatomen ein. Das fünfte Elektron ist überschüssig und kann daher schon bei sehr **geringer Energiezufuhr** freigesetzt werden (Abb. 4a). Dadurch entstehen Arsenkationen, welche die **Oktettregel** erfüllen. Die entstandenen **freien Elektronen** wandern zum Pluspol (Abb. 4b).

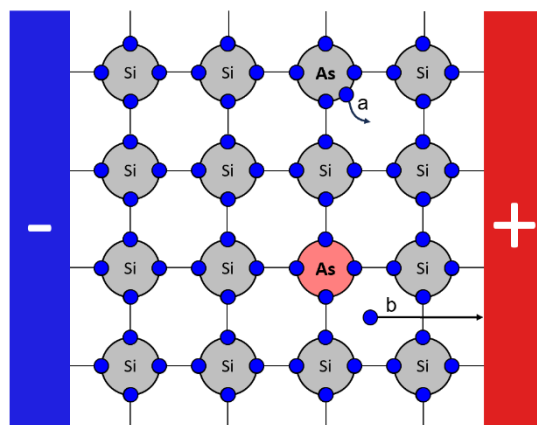


Abb. 4: n-dotierter Siliziumkristall. a: Lösen des Elektrons vom Arsenatom. b: freies Elektron wandert zum Pluspol

2.4 Rekombination

Der Halbleiterkristall in der LED besteht aus einer n-dotierten und einer p-dotierten Schicht. Wenn eine **äußere Spannung** so angelegt wird, dass der Pluspol an der p-dotierten Schicht und der Minuspol an der n-dotierten Schicht liegt, wandern die Löcher der p-Schicht Richtung Minuspol (Abb. 5b) und die freien Elektronen der n-Schicht Richtung Pluspol (Abb. 5a). Dadurch treffen sie im Bereich der **Grenzschicht** aufeinander und rekombinieren (Abb. 5c). Dabei wird **Energie frei**.

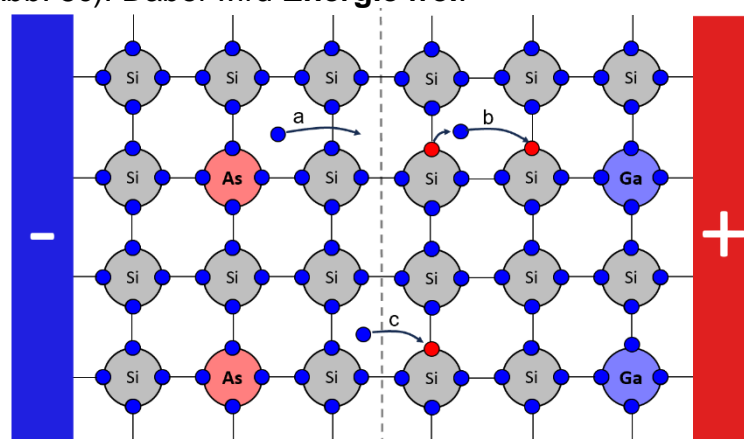


Abb. 4: Grenzschicht n-p-dotierter Siliziumkristall. a: freie Elektronen wandern Richtung Pluspol, b: Löcher wandern Richtung Minuspol c: Rekombination im Bereich der Grenzschicht

Die freigesetzte Energie entspricht im Bändermodell der Energiedifferenz zwischen Leitungs- und Valenzband, also der Bandlücke (Abb. 6). Da bei der LED die Energie in Form von Licht freigesetzt wird, entspricht die Bandlücke also der Energie des Lichts. Bei klei-

nen Bandlücken wird demnach eher energiearmes rotes Licht abgestrahlt, für energiereiches blaues Licht muss die Bandlücke größer sein. Da die Bandlücke materialabhängig ist, ist die Farbe der LED ebenfalls materialabhängig. Daraus folgt, dass jeder Halbleiterkristall nur eine Farbe erzeugen kann. Zur Erzeugung von weißem LED-Licht werden daher drei Halbleiterkristalle benötigt, die jeweils eine der drei Grundfarben (Rot, Grün und Blau) emittieren. Das weiße Licht entsteht dann durch Überlagerung dieser Grundfarben.

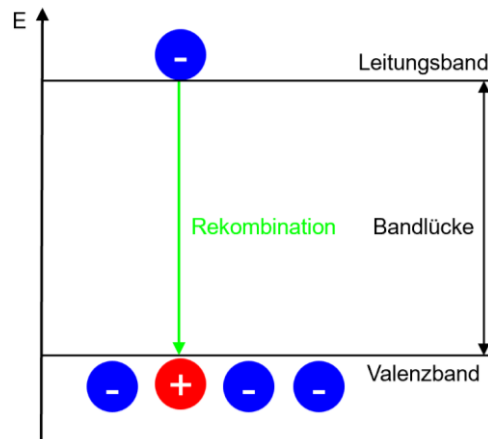


Abb. 5: Rekombination im Bändermodell vereinfacht (ohne Dotierung)

3 Experiment [2]

Durchführung: Ein RGB-LED-Band wird unter ein Mikroskop gelegt. Anschließend werden nacheinander die Grundfarben Rot, Grün und Blau eingeschaltet. Danach wird weißes Licht ausgewählt.

Beobachtung: Unter dem Mikroskop sind drei Halbleiterkristalle erkennbar. Wenn eine der Grundfarben eingestellt wird, leuchtet jeweils nur ein Halbleiterkristall. Wird weißes Licht eingestellt, leuchten alle drei Halbleiterkristalle gleichzeitig (Abb. 7).

Deutung: Das weiße Licht wird durch additive Farbmischung erzeugt, also durch Überlagerung der Grundfarben Rot, Grün und Blau. Unter dem Mikroskop kann man die Grundfarben noch getrennt wahrnehmen, während makroskopisch nur das gemischte weiß erkennbar ist.

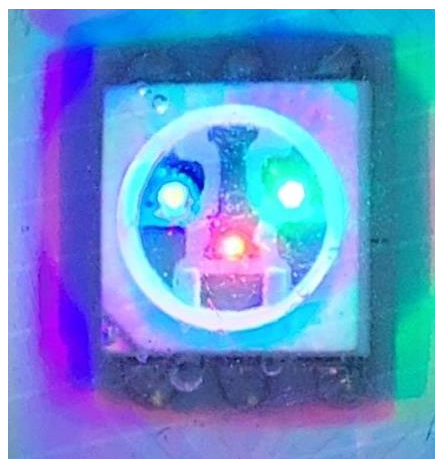


Abb. 6: LED-Band weißes Licht (vergrößert)

Zusammenfassung: In der LED wird das Licht im Halbleiterkristall erzeugt. Dieser besteht aus einer p- und einer n-dotierten Schicht. Die p-Schicht liefert Löcher, während die n-Schicht Elektronen liefert. An der Grenzfläche rekombinieren die Elektronen und die Löcher. Dabei wird Energie in Form von Licht frei. Die Energie und damit die Farbe des Lichts ist abhängig von der Bandlücke und somit vom Material. Daher muss zur Erzeugung von weißem Licht, rotes, grünes und blaues Licht gemischt werden.

Abschluss: *Additive Farbmischung wird natürlich nicht nur zur Erzeugung von weißem Licht verwendet, auch alle anderen Farben können dargestellt werden. Das wird zum Beispiel bei RGB-LED-Bändern genutzt, um fließende Farbwechsel zu ermöglichen und so für eine individuelle Beleuchtung zu sorgen. In der Gaming-Szene sind die bunten Leuchten so im Trend, dass sie es sogar bis in die PCs und Gaming-Stühle geschafft haben.*

Quellen:

1. <https://www.led.de/led-historie> , 01.02.2023.
2. <https://www.conrad.de/de/ratgeber/technik-einfach-erklart/led-leuchtdiode.html> , 01.02.2023.
3. <https://www.halbleiter.org/grundlagen/der-p-n-uebergang/> , 01.02.2023.
4. <https://www.halbleiter.org/grundlagen/dotieren/> , 01.02.2023.