

Brennstoffzelle

Korbinian Baumgartner

Jonas Schambeck

Universität Regensburg

1. Einleitung

Mit immer größer werdender Kritik an fossilen Brennstoffen in Motorbetriebenen Fahrzeugen und Flugzeugen wird die Suche nach einem passenden Ersatz immer bedeutender. Nachdem sich nun auch das Elektroauto aufgrund seines CO₂ Abdrucks große Kritik einholte, ist eine Andere Technologie notwendig. Eine Technologie, die Effizient, umweltschonend und in großen Massen herstellbar ist. Über eine mögliche Alternative soll nun hier berichtet werden, die Brennstoff- und Solarzelle. Ottomotoren haben einen geringen Wirkungsgrad und nutzen den endlichen fossilen Brennstoff Erdöl. Rund 15 % der Erde bestehen aus Wasserstoff, der sich zu seiner elementaren Form auch leicht herstellen lässt. Die Brennstoffzelle scheint also als die optimale Wahl zu sein. Das größte bisherige Problem ist, dass erst Wasserstoff durch Strom hergestellt werden muss, dann kann er nur gefährlich (da Hoch explosiv) gelagert und später nur unter einem weiteren Verlust zu Strom rücktransformiert werden. Für den Ottomotor ist dies wesentlich billiger, da man lediglich Erdöl abbauen und zu Benzin/Disel umwandeln muss. Eine der größten Herausforderungen momentan ist also, die Effizienz der Brennstoffzelle und die Lagerung des Wasserstoffs so weit zu optimieren, dass die Zelle ein würdiger Ersatz zum Ottomotor oder dem Elektroauto werden kann. Die Brennstoffzelle ist umweltfreundlich, in großen Massen zu vermarkten, kommt jedoch auf wesentlich zu hohe Kosten. Zur Optimierung muss nun also Forschung betrieben werden. Eine andere Möglichkeit, jedoch nicht genügend mobil für Fahrzeuge, stellt die Solarzelle da. Hier ist Verschleiß und Nutzen noch sehr teuer im Vergleich zu Atom- und Kohlekraftwerken. Die Solarzellen im handelsüblichen Vertrieb besitzen noch einen Wirkungsgrad von unter 20%. Dies ist deutlich zu wenig, wenn man überlegt, dass im Labor schon Wirkungsgrade von knapp 50% üblich sind. Nach Zwischenfällen wie Fukushima oder Tschernobyl und dem Problem der Endlagerung, wäre es durchaus sinnvoll, in Nachhaltigkeit zu investieren, anstatt in Schadensbegrenzung. Diese Zwischenfälle haben der Atomkraft schon mehrere Billionen Euro Schaden zugeschrieben. Forschung für kostengünstige und effiziente Solarzellen wäre also eine sehr gute Option. Als zukünftige Generation liegt es nun an uns, sich mit diesem Thema einhergehend zu Beschäftigen um Lösungen für die Zukunft zu finden. Hierzu Befassen wir uns im Kommenden mit diesen Beiden Zellen und gehen auf die Wirkungsprinzipien ein. Nachhaltige Energiequellen sind notwendig für das Bestehen unserer Fortschrittlichen Gesellschaft. Hier noch ein Zitat zur Anregung, wie weit die Wirtschaft schön wäre.

"Der hundertprozentige Umstieg auf erneuerbare Energien ist nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch geboten."

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Optische Grundlagen

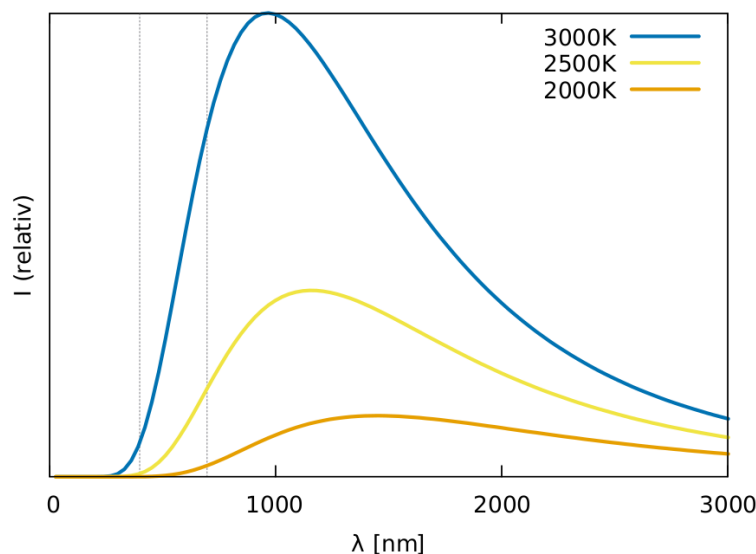
2.1.1. Schwarzer Strahler

Ein schwarzer Strahler ist ein idealisierter Körper, der sämtliche einfallende Strahlung absorbiert. Die aufgenommene Energie wird in Form der temperaturabhängigen Schwarzkörperstrahlung wieder ausgesandt. Die Energiedichte wird durch das Plank'sche Strahlungsgesetz beschrieben:

$$u(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

u: Energiedichte λ : Wellenlänge der abgestrahlten EM-Welle T: Temperatur des schwarzen Strahlers

Dies ergibt ein kontinuierliches Strahlungsspektrum, dessen Intensitätsmaximum bei steigender Temperatur bei schrumpfenden Wellenlängen zu finden ist. Ein Beispiel für näherungsweise schwarze Körper sind Glühlampen. Abbildung 1 zeigt das Spektrum dreier schwarzer Strahler mit sinkenden Temperaturen. Die Lage des Intensitätsmaximums liegt im infraroten Wellenlängenbereich, weshalb Glühlampen ein "warmes" Licht abstrahlen.



Spektrum schwarzer Strahler mit verschiedenen Temperaturen; sichtbarer Wellenlängenbereich markiert

2.1.2. Wien'sches Verschiebungsgesetz

Das Wien'sche Verschiebungsgesetz beschreibt die Lage des Intensitätsmaximums im Strahlungsspektrum des Strahlers. Aus der Extremwertbetrachtung des Plank'schen Strahlungsgesetzes folgt, mit einigen Näherungen, das Wien'sche Verschiebungsgesetz. Somit stellt es eine Näherung des Strahlungsgesetzes dar.

$$\lambda_{\max} = \frac{2897,8 \frac{\mu m}{K}}{T}$$

Für die drei Glühlampen in Abbildung 1 lassen sich aus diesem Gesetz folgende Maxima errechnen:

$$\lambda_{\max}(T = 3000K) = 966\text{nm}$$

$$\lambda_{\max}(T = 2500K) = 1160\text{nm}$$

$$\lambda_{\max}(T = 2000K) = 1450\text{nm}$$

Aus dem Plot lassen sich annähernd diese Werte ablesen.

2.2. Halbleiter

2.2.1. p-n Übergang

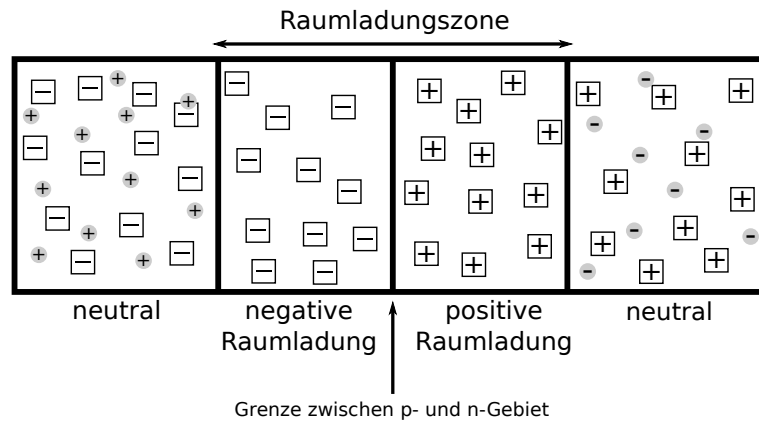
Dotierung: Dotierung ist das gezielte Einbringen von Störstellen bei der Züchtung des Halbleiterkristalls. Besondere technische Relevanz besitzen Störstellen mit einem Bindungselektron mehr oder weniger als das zu ersetzende Wirtsgitteratom. In der Praxis sind Dotierungskonzentrationen von etwa 10^{14} bis 10^{20} cm^{-3} , je nach Substanz, üblich.

Donatoren: Donatoren besitzen ein Bindungselektron *mehr* als das Wirtsgitteratom. Ein Beispiel für das beliebte Silizium ist Phosphor. Silizium besitzt 4 Valenzelektronen, während Phosphor als Teil der 5. Hauptgruppe 5 hat. Dieses fünfte Elektron wird zur chemischen Bindung im Kristallgitter nicht benötigt und kann sich so durch den Halbleiter bewegen. Es unterliegt allerdings trotzdem noch der Coulomb-Anziehung durch die nicht abgesättigte Ladung des Atomkerns.

Akzeptoren: Akzeptoren besitzen ein Bindungselektron *weniger* als das zu ersetzende Wirtsgitteratom. Das fehlende Valenzelektron, das zur Bindung aber nötig ist, wird durch ein Loch ausgeglichen. Somit ist weiterhin Neutralität gewährleistet. Das Loch bewegt sich - wie das Elektron beim Donator - im Coulomb-Feld der gegenüber dem Wirtsgitteratom negativen Kernladung. Ein Beispiel eines Akzeptoren für Silizium ist das 3 wertige Bor.

Isoelektronische Störstellen: In einigen wenigen Fällen sind auch Störstellen durch gleichwertige Fremdatome von Bedeutung. Dies nennt man *isoelektronische* Störstellen. So werden zwar keine zusätzlichen Ladungsträger eingebracht, doch die optischen Eigenschaften können von Interesse sein. Ein Beispiel ist das Stickstoff in GaP-Lumineszenzdiolen, die das intensive grüne Leuchten verantworten.

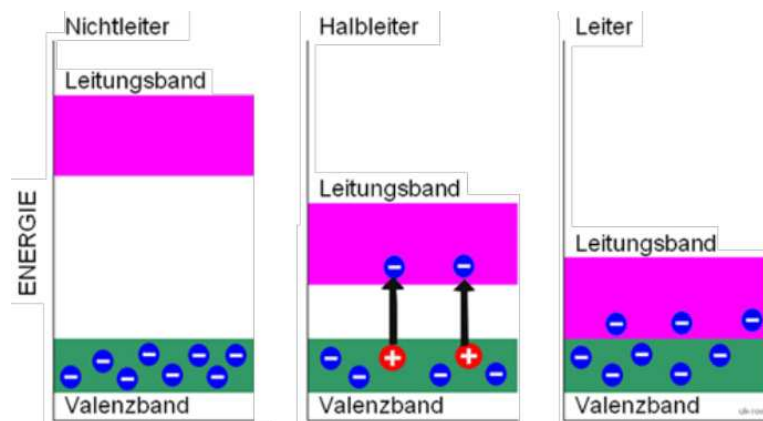
pn-Übergang: Bringt man p- und n-dotierte Halbleiter nun in Kontakt, so entsteht an der Kontaktstelle des dotierten Materials der *pn-Übergang*. Im akzeptordotierten Bereich sind die beweglichen Ladungsträger Löcher (p-Leitung), im donatordotierten Elektronen (n-Leitung). An der Übergangsstelle können beide Sorten rekombinieren, sodass dieses Gebiet keine beweglichen Ladungsträger mehr aufweist. Dieses Gebiet, in welchem nur noch die Raumladung der Störstellenrümpfe vorhanden ist, wird Raumladungszone genannt. Die Änderung der Elektronen- bzw. Löcherkonzentration in dieser Zone führt zu einem Diffusionsstrom in diese Gebiete hinein. Dieser wird durch einen gleich großen, entgegengesetzt gerichteten Feldstrom kompensiert, sodass insgesamt ein Gleichgewicht herrscht. (siehe Skizze 2 auf Seite)



pn-Übergang: *Quadrate:* unbewegliche Rumpfe der Donatoren/Akzeptoren *Kreise:* bewegliche Ladungsträger (Elektronen und Löcher)

2.2.2. Halbleitermaterialien

Die Bandbreite technisch genutzter Halbleitermaterialien ist groß. Je nach Verwendungszweck und Budget kommen viele verschiedene Kristalle zum Einsatz. *Silizium* ist der bekannteste Halbleiter. Die größten Vorteile sind die niedrigen Kosten und die hohe Verfügbarkeit. Für Mikroprozessoren wird Silizium mit Bor (III) und Arsen (V) dotiert. Auch für Solarzellen wird einerseits das kristalline Silizium gerne eingesetzt, andererseits allerdings auch amorphes Silizium (a-Si). Hier bildet sich kein Kristallgitter aus, sondern eine glasartige Struktur. So bleiben manche Si-Bindungen frei und Wasserstoffatome können sich festsetzen. So gibt es auch innerhalb des Gaps noch erlaubte Zustände und es bilden sich keine scharfen Bandkanten aus.



Bänder der verschiedenen Materialklassen

2.2.3. Bestimmung der Gap-Energie

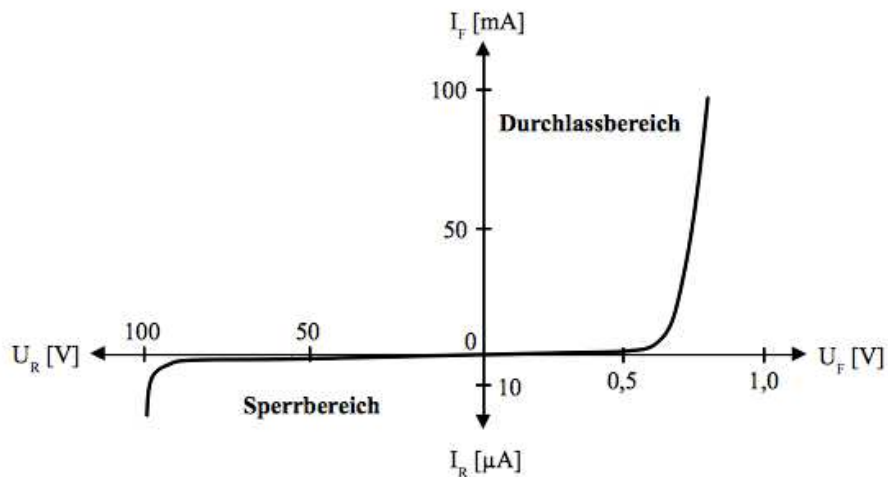
Die Gap-Energie kann gemessen werden, indem man den Widerstand eines hochreinen Halbleiters misst, während man diesen mit Photonen unterschiedlicher Wellenlänge bestrahlt. Ab einer bestimmten materialabhängigen Wellenlänge sinkt der Widerstand sprunghaft. Photonen dieser Wellenlänge haben mindestens die Gap-Energie.

2.2.4. Diffusionslänge

Die Diffusionslänge gibt die durchschnittliche Strecke an, die ein Elektron-Loch-Paar zurücklegt, bevor es rekombiniert.

2.2.5. Gleichrichter

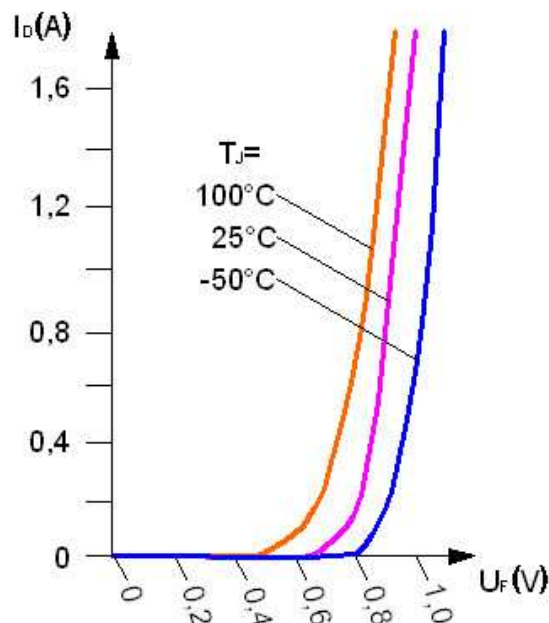
Wird die Diode in Durchlassrichtung gepolt, baut sich die Verarmungszone ab, bis die Diode ab einer kleinen materialabhängigen Grenzspannung sehr gut leitend wird. Siehe hierzu die Kennlinie einer Diode.



I/U-Kennlinie einer Diode

2.2.6. Temperaturabhängigkeit der I/U-Kennlinie

Folgende Abbildung zeigt die Temperaturabhängigkeit der I/U-Kennlinie.



Kennlinie bei verschiedenen Temperaturen