

Photoeffekt, Photodiode und Solarzelle



Ausarbeitung von Michael Krüger

Inhaltsverzeichnis:

1. Geschichte
2. Photoeffekt
3. Photodiode
4. Solarzelle
5. Quellen

Geschichte:

Zur Einführung in die Solarzelle zuerst ein kleiner Überblick über die Entdeckung und Entwicklung des Photoeffektes bzw. der Solarzelle.

1836 wurde der Photoeffekt durch Becquerel entdeckt, der ihn jedoch nicht wirklich erklären konnte. Im Jahr 1891 wurde dann das erste Patent für eine Solaranlage beantragt von einem aus Baltimore stammenden Mann namens Clarence Kemp. Seine Entwicklung war jedoch ein Wärmekollektor für Warmwasser und keine Photovoltaikanlage.

Erst 13 Jahre später hatte der deutsche Physiker Phillip Lenard die ersten Erklärungen für den Photoeffekt, ihm fehlten jedoch noch Erkenntnisse über die verschiedenen Metalle, bei denen es einen Photoeffekt gibt und auch warum es diesen gibt. Er erhielt dann 1905 den Physiknobelpreis.

Einstein erhielt 1921 für seine Arbeit zur Photovoltaik den Physiknobelpreis, er hatte viele Phänomene erklären können.

Mitte des 20. Jahrhunderts wurde dann der pn-Übergang durch William Shockley, Walther H. Brattain und John Bardeen entdeckt.

Wenige Jahre später dann (1954) gab es dann die ersten Solarzellen in den Laboratorien der amerikanischen Firma Bell, die kurze Zeit später auch auf Satteliten getestet wurden. Satteliten haben den Vorteil, dass keine störende Erdatmosphäre oder Wolkendecke zwischen Sonne und Solarzelle ist und dass es im Weltall natürlich keinen Tag-Nacht-Rhythmus gibt.

Die Industrie versuchte seit dieser Zeit den Wirkungsgrad zu steigern und man erhält heute Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 17%. Im Labor jedoch kommt man näher an den theoretisch höchsten Wirkungsgrad heran und kann Zellen herstellen, die bis zu 30% Wirkungsgrad haben.

2. Der Photoeffekt

Hier noch mal eine kleine Wiederholung des Photoeffektes, wie er in der Physik Vorlesung auch schon kurz angeschnitten wurde.

Grundsätzlich ist der Photoeffekt eine Zusammenfassung von verschiedenen Effekten, nämlich des äußeren, inneren und photovoltaischen Effektes.

Zum äußeren Photoeffekt ist zu sagen, dass er 1887 von Heinrich Hertz und Wilhelm Hallwachs beobachtet wurde. Sie kamen zu der Erkenntnis, dass manche unoxidierten Metalle im aufgeladenen Zustand Elektronen abgeben, wenn ihre Oberfläche durch Licht bestrahlt wird. Die kinetische Energie dieser Elektronen hängt von der Wellenlänge und nicht von der Lichtstärke des Lichtes ab.

Erklärungen wurden dann im Photonenmodell des Lichtes zusammengefasst, was besagt, dass herausgeschlagene Elektronen eine Ladungstrennung erzeugen (Spannung).

Der innere photoelektrische Effekt wurde in Festkörpern beobachtet, bei denen die Elektronen im nicht leitendem Valenzband sind und somit eine schwache elektrische Leitung der Metalle verursachen.

Photonen haben dann die Elektronen in das energetisch höher gelegene Leitungsband und die Leitungseigenschaften verbesserten sich bei zunehmender Beleuchtung.

Jetzt ein paar Worte zu dem Effekt, der uns hier am meisten interessiert, dem photovoltaischen Effekt. Er basiert auf dem inneren photoelektrischen Effekt.

An einem zusätzlichen pn-Übergang findet Ladungstrennung statt, die eine abgreifbare Spannung an den beiden Polen einer Solarzelle bewirkt.

Somit gelingt der Schritt Solarenergie in elektrische Energie umzuwandeln.

3. Die Photodiode:

Zuerst gebe ich einen kleinen Überblick über die Funktion der Photodiode.

Sie ist ein Halbleiter, der, wie auch schon die Z-Diode, in Sperrrichtung betrieben wird und durch Lichteinfall auf den pn-Übergang die Sperrschicht abbaut und somit der Widerstand sinkt. Dieser Effekt basiert auf dem inneren Photoeffekt.

Die Stromstärke steigt dabei (fast) linear mit der Beleuchtungsstärke.

Aufgebaut ist eine Photodiode aus dotiertem Germanium oder Silber. Diese Schicht ist sehr dünn und wird von Licht durchschienen. Meist werden sie in lichtdurchlässigen Gehäusen mit kleiner Öffnung und eventuell einer Linse zur Bündelung gefertigt.

Die lichtempfindliche Schicht einer Photodiode ist ca. 1 mm² groß.

Photodioden haben einen geringen Dunkelstrom, haben jedoch eine geringe Strombelastung gegenüber einem Widerstand. Somit kann man zum Beispiel Relais nicht direkt ansteuern. Die Verlustleistung einer Photodiode beträgt zwischen 20 und 100 mW, sie haben eine geringe Temperaturabhängigkeit, die sie für viele Einsatzgebiete prädestiniert. Man kann Wechselvorgänge von bis zu 100 kHz mit einer Photodiode wahrnehmen.

Zur Anwendung kommen Photodioden zum Beispiel in Infrarotfernbedienungen, Lichtschranken (in Verbindung mit LEDs) und zur Lichtmessung.



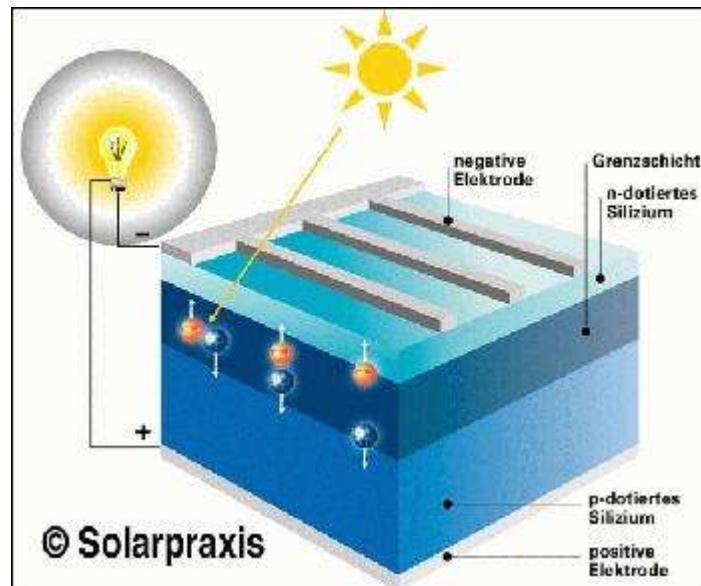
Photodioden verschiedener Bauformen

4. Die Solarzelle:

Aufgebaut sind Solarzellen wie Halbleiterdioden und bestehen zu 95% aus Silizium (zweithäufigstes Element auf der Erde).

Die p-Schicht liegt an der Oberfläche und ist sehr dünn so dass Sonnenlicht bis in den pn-Übergang gelangt.

Elektronen werden aus dem Halbleitermaterial herausgelöst und wandern im elektrischen Feld der Grenzschicht in die n-Schicht. So entsteht eine Spannungsquelle durch Ladungstrennung.



Schematischer Aufbau einer Solarzelle

Bei ausreichendem Lichteinfall kann ein Strom von ca. 20mA fließen, ohne dass die Spannung von etwa 0,5V einbricht.

Lichtenergie wird also unter Nutzung des photovoltaischen Effektes in Gleichstrom umgewandelt.

Zur Einspeisung in das öffentliche Stromnetz muss dieser Gleichstrom dann wechselgerichtet werden.

Die abgreifbare Spannung ist vom Halbleitermaterial abhängig, was bei Silizium dann ca. 0,5V sind. Die Beleuchtungsstärke beeinflusst nur gering die Klemmspannung und die Stromstärke steigt mit zunehmender Beleuchtung. Man erhält ca. 2A bei 100cm² großer Siliziumzelle und maximaler Bestrahlung von 1000W/m². Die Leistung ist leider temperaturabhängig, so dass man darauf achten sollte die Solarzellen möglichst kühl zu halten!



Solarzellenfertigung

Es gibt verschiedene Zelltypen auf die ich jetzt näher eingehen möchte. Man unterscheidet monokristallines, polykristallines und amorphes Silizium.

Monokristallines Silizium ist ein hochreiner Einkristall, welcher in Scheiben geschnitten wird. Dieser Zelltyp hat einen hohen Wirkungsgrad, ist jedoch sehr teuer, wegen der aufwendigen Herstellung.

Kostengünstiger ist hingegen polykristallines Silizium, bei dessen Herstellung einfach flüssiges Silizium in Blöcke gegossen und anschließend in Scheiben zerschnitten wird. Es entstehen so Defekte an den Rändern, die einen geringeren Wirkungsgrad verursachen.

Wenn man Silizium auf Glas oder anderes Substratmaterial dampft erhält man Dünnschichtzellen, die auch amorphe Zellen genannt werden.

Mit Schichtdicken von weniger als $1\mu\text{m}$ senkt man die Produktionskosten, weil viel weniger Material verbraucht wird.

Die so erhaltenen Zellen haben einen geringen Wirkungsgrad, können jedoch im Kleinleistungsbereich, das heißt Uhren oder Taschenrechner, eingesetzt werden.

In der industriellen Anwendung werden höhere Spannungen bzw. Leistungen bereitgestellt indem einzelne Zellen zu größeren Einheiten zusammengeschaltet werden. Typische Nennleistungen sind zwischen 10 und 100 Watt. Man muss jedoch aufpassen, welcher Wert angegeben ist, denn als maximale Leistung wird meist die im Weltraum maximale Sonnenbestrahlung genutzt und dann die Leerlaufspannung mit dem Kurzschlussstrom multipliziert! Dass diese Bedingungen auf der Erde nicht möglich sind muss ich hier nicht weiter erklären, schon allein die Leistungsberechnung ist irrsinnig!

Man erhält natürliche Grenzen beim Wirkungsgrad, denn ein bestimmter Anteil der Strahlungsenergie kann nicht genutzt werden, da die Photonen nicht energetisch genug sind. Auch Photonen mit „zuviel“ Energie können nicht vollständig absorbiert werden, so erwärmt sich das Panel und die Leistung geht zurück. Hinzu kommen optische Verluste, wie zum Beispiel Abschattung durch die Kontakte oder Reflexionen der einfallenden Strahlung an der Zelloberfläche.

Weitere Verluste sind dann noch elektrische Widerstände im Halbleiter und in den Anschlussleitungen, Materialverunreinigungen oder Kristalldefekte.

Leider können nicht alle Verluste optimiert werden und so kann man einen theoretisch höchsten Wirkungsgrad von ca. 30% errechnen. Optimierungsmöglichkeiten gibt es trotzdem, denn man

kann zum Beispiel die Oberflächenstrukturierung zur Vermeidung von Reflexionen anpassen, Tandem- oder Stapelzellen bauen, Konzentratorzellen, die mittels Linsen mit gebündeltem Licht beleuchtet werden, bauen oder die so genannte Grätzel-Zelle weiterentwickeln, bei der eine Absorptionserhöhung durch elektrochemische Flüssigkeiten stattfindet.

5. Quellen:

Aufgrund der kurzen Bearbeitungszeit konnte ich mich nur auf das Medium Internet stützen, aber man findet ja bekanntlich alles im Netz!