

NHV1: Die Solarzelle

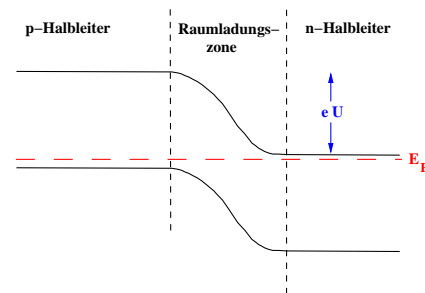
Ziel: Es wird die Strom-Spannungs Charakteristik einer Solarzelle untersucht und die Leerlaufspannung U_0 und der Kurzschlußstrom I_s gemessen.

Stichworte: Akzeptor, Bändermodell, Donator, Fermienergie, Halbleiter, Innenwiderstand, Kurzschlußstrom, Leerlaufspannung, Photoeffekt, p-n-Übergang, Wirkungsgrad

Theoretische Grundlagen

Solarzellen sind *Halbleiterbauelemente*, die durch Lichtabsorption Elektronen-Loch-Paare erzeugen. Durch den Stromfluß wird aus Licht elektrische Energie erzeugt. Eine Solarzelle besteht aus n- und p-leitendem Material, an deren Kontaktfläche durch Diffusion eine Raumladungszone entsteht, wodurch sich ein elektrisches Feld ausbildet, das der Diffusion entgegenwirkt. Diese Kontaktfläche, der sog. *p-n-Übergang*, bestimmt die Charakteristik der Solarzelle.

Halbleiter lassen sich durch das *Bändermodell* beschreiben. Bei Halbleitern ist die Bandlücke zwischen dem Valenzband, dem obersten vollständig besetzten Band, und dem Leitungsband, klein genug, sodaß thermische Elektronen die Bandlücke überwinden und ins Leitungsband wechseln können. Im Valenzband entsteht ein 'Loch', das auch zur Leitung beiträgt. Zur Verbesserung der Leitfähigkeit baut man gezielt Fremdatome in das Halbleitermaterial ein. In Silizium verwendet man häufig Bohr oder Aluminium als *Akzeptoren* für die p-Leitung und Phosphor oder Arsen als *Donatoren* für die n-Leitung. Bringt man p- und n-leitendes



Halbleitermaterial zusammen, dann gibt es am p-n-Übergang keine freien Ladungsträger, da die freien Elektronen des n-Leiters mit den Löchern des p-Leiters rekombinieren. Durch die Diffusion sind die Gebiete in der Nähe des p-n-Überganges positiv (n-Leiter) bzw. negativ (p-Leiter) geladen. Das elektrische Feld, das durch die Ladungstrennung erzeugt wird, führt zu einem Driftstrom in Sperrichtung. Die Solarzelle verhält sich ohne Lichteinstrahlung wie eine Diode, sodaß sich die Strom-Spannungs-Charakteristik durch eine Diodenkennlinie beschreiben läßt.

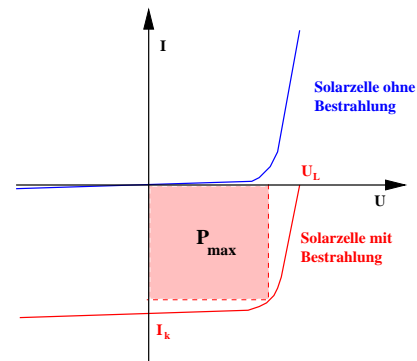
$$I_D = I_0 \left(\exp \left(\frac{e \cdot U}{k T} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

Dabei ist I_0 der Sättigungsstrom und U die Diffusionsspannung. Die Diffusionsspannung hängt dabei im wesentlichen von der Dotierung und der Bandlücke des p-n-Überganges ab.

Fällt Licht auf den p-n-Übergang, werden Elektronen-Loch-Paare erzeugt (Photoeffekt), die durch das Feld in der Raumladungszone getrennt werden. Die *Strom-Spannungs Charakteristik* der Solarzelle setzt sich aus dem Diodenstrom I (ohne Bestrahlung) und dem Photostrom I_{Ph} zusammen.

$$I_{SZ} = I_0 \left(\exp \left(\frac{e \cdot U}{k T} \right) - 1 \right) - I_{Ph} \quad (2)$$

Der Photostrom beschreibt den durch die zusätzlich erzeugten Elektronen-Loch Paare gebildeten Driftstrom. Die Strom-Spannungs Kennlinie (Abbildung rechts) wird dabei durch den *Kurzschlußstrom* I_k , die *Leerlaufspannung* U_L und den *Wirkungsgrad* η charakterisiert. Der Kurzschlußstrom ist, bei kurzgeschlossener Solarzelle ($U=0$), der maximal fließende Strom. Er ist bei konstanter Temperatur proportional zur Intensität des einfallenden Lichtes und der Größe der Solarzelle. Die Spannung, die sich aufbaut, wenn kein Verbraucher angeschlossen ist ($I=0$) wird Leerlaufspannung genannt. Bei konstanter Temperatur nimmt sie logarithmisch mit der Intensität des einfallenden Lichtes zu, bis sie einen Sättigungswert erreicht. Die Leerlaufspannung ist unabhängig von der Größe der Solarzelle. Der Wirkungsgrad $\eta = P_{aus}/P_{ein}$ der Solarzelle, wird durch die eingestrahlte Leistung P_{ein} und der Solarzelle entnommenen Leistung P_{aus} bestimmt. Die maximale Leistung, die die Solarzelle abgeben kann, kann aus dem maximalen Rechteck $U \cdot I$ der gemessenen Strom-Spannung Charakteristik (Abbildung rechts) entnommen werden.



Vorbereitung

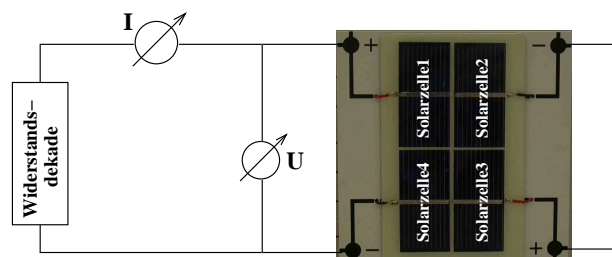
- Worin unterscheidet sich das Spektrum einer Lampe vom Sonnenlicht?
- Informieren Sie sich in der Literatur über den theoretischen Wirkungsgrad einer kristallinen und amorphen Si-Solarzelle. Warum unterscheiden sie sich?

Aufgaben

- Der Kurzschlußstrom und die Leerlaufspannung sollen als Funktion der Beleuchtungsstärke bestimmt werden.
- Die Strom-Spannungs-Kennlinie einer Solarzelle ist für verschiedene Beleuchtungsstärken aufzunehmen.
- Aus den gemessenen Daten soll die abgegebene Leistung und der Wirkungsgrad berechnet werden.

Versuchsaufbau

Eine Schaltskizze des Versuchsaufbaus zum Messen der Strom-Spannungs-Kennlinie ist in der nebenstehenden Abbildung zu sehen. Die über die Solarzelle abfallende Spannung wird mit einem Voltmeter gemessen und der von der Solarzelle erzeugte Strom mit einem Amperemeter gemessen. Die Spannungs- und Strom-Werte werden durch einen variablen Lastwiderstand (hier eine Widerstandsdekade) erzeugt.



Versuchsdurchführung und Auswertung

- Stecken Sie zwei Brückenstecker so auf die Rastersteckplatte, daß vier Solarzellen in Reihe geschaltet sind.
- Schließen Sie den variablen Widerstand, das Amperemeter und das Voltmeter an die Solarzelle an.

Kurzschlußstrom und Leerlaufspannung

Schalten Sie die Halogenlampe ein und achten Sie darauf, daß die Solarzelle homogen ausgeleuchtet wird.

- Brücken Sie die Widerstandsdekade und bestimmen Sie den Kurzschlußstrom in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Lampe und Solarzelle. Beginnen Sie mit dem größten Abstand. Der Kurzschlußstrom sollte nicht größer als $I_K = 100 \text{ mA}$ werden. Entfernen Sie für die weiteren Messungen die Brücke.
- Unterbrechen Sie den Stromkreis und notieren Sie die Leerlaufspannung als Funktion des Abstandes d zwischen Lampe und Solarzelle.
- Tragen Sie jeweils I_K und U_0 gegen die Lichtintensität J auf (siehe Kalibrierungskurve im Anhang). Bestimmen Sie den Proportionalitätsfaktor zwischen I_K und J aus dem Graphen.

U-I- Kennlinie der Solarzelle

Es sollen die Strom-Spannungskennlinien der Solarzelle für verschiedene Beleuchtungsstärken bestimmt werden. Beginnen Sie mit der geringsten Beleuchtungsstärke bzw. dem größten Abstand zwischen Lampe und Solarzelle. Wegen der Erwärmung der Solarzelle durch die Bestrahlung durch die Halogenlampe, sollten die Kennlinien zügig aufgenommen werden.

- Nehmen Sie die Strom-Spannungs-Charakteristik bei eingeschalteter Halogenlampe auf. Wählen Sie den Abstand der Lampe zur Solarzelle so, daß der Kurzschlußstrom ca. 30 mA, 50 mA, 75 mA und 100 mA beträgt. Zum Aufnehmen der Kennlinie variieren Sie die Widerstände an der Widerstandsdekade in einem Bereich von 1Ω bis 250Ω . Achten Sie darauf, daß im Bereich des Stromabfalls genügend Meßpunkte vorhanden sind.
- Stellen Sie die U-I-Kennlinien graphisch dar.
- Bestimmen Sie die maximale Leistung P_{max} die die Solarzelle abgeben kann, indem Sie in die U-I-Kennlinie ein Rechteck maximaler Fläche einzeichnen. Die Fläche $U \cdot I$ ist dann P_{max} .
- Berechnen Sie die abgegebene Leistung P für die gemessenen Daten und tragen Sie diese gegen den Lastwiderstand $R = U/I$ auf, der sich aus den Strom-Spannungspaaren ergibt. Warum kann man nicht den eingestellten Widerstand R verwenden?

- Bestimmen Sie aus der eingestrahnten Leistung $P_{ein} = A \cdot J$ (mit A Fläche der Solarzelle) und der von der Solarzelle abgegebenen Leistung P_{aus} den Wirkungsgrad $\eta = P_{aus}/P_{ein}$ der Solarzelle. Vergleichen Sie die erhaltenen Daten mit Literaturwerte.
- Diskutieren Sie qualitativ anhand der verschiedenen Kennlinien, wie sich I_K , U_0 , Leistung und Wirkungsgrad ändern.

Literatur

- [1] K. Bücke, J. Fricke, *Solarzellen*, Physik in unserer Zeit **21** (1990) S. 237.
- [2] H.J. Eichler, H.-D. Kronfeld, J. Sahm *Das Neue Physikalische Grundpraktikum*, Springer 2006
- [3] D. Geschke *Physikalisches Praktikum* Teubner

Anhang

