

## Bau und Test einer Silizium Solarzelle

Die Erschließung regenerativer Energiequellen zur Deckung des Energiebedarfs hat in der vergangenen Zeit zunehmend an Bedeutung gewonnen. Der vorliegende Versuch gibt Ihnen die Möglichkeit, sich mit der Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie mittels einer Silizium-Solarzelle vertraut zu machen. Ausgehend vom Grundmaterial Silizium werden Sie eine Solarzelle herstellen und deren elektrische Eigenschaften bestimmen. Zum Vergleich stehen kommerzielle Zellen zur Verfügung.

### Stichworte für die Vorbereitung:

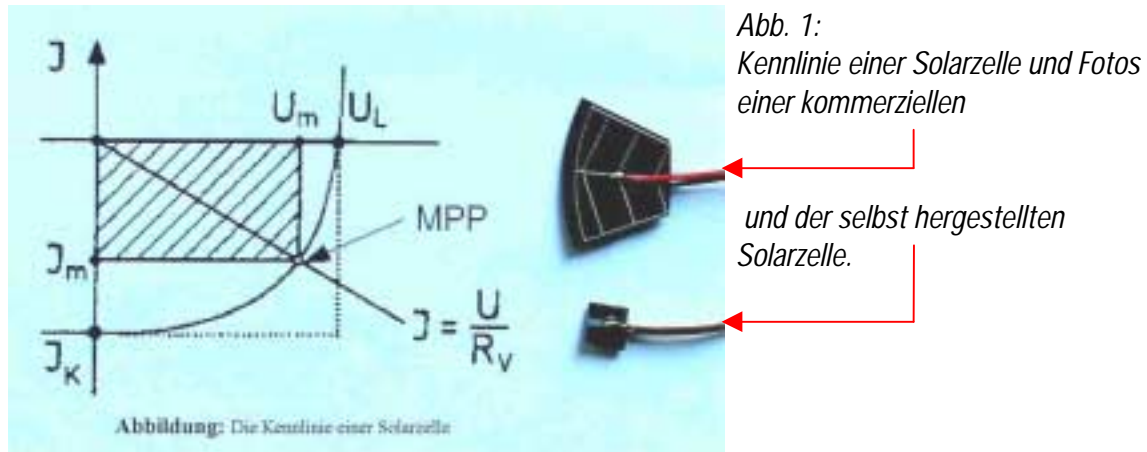
- Sie sollten in der Lage sein, die wesentlichen Charakteristika von Halbleitern und pn-Kontakten zu erläutern. Wie wirkt sich eine Dotierung auf die elektrischen Eigenschaften eines Halbleiters aus?
- Wie funktioniert eine Solarzelle? Wie ist der "Wirkungsgrad" einer Solarzelle definiert und welche Faktoren beeinflussen diesen?
- Machen Sie sich mit den einzelnen Prozessschritten bei der Herstellung der Solarzelle vertraut. Sie sollten über die Gefährlichkeit der verwendeten Chemikalien und über deren sichere Handhabung informiert sein. (siehe Merkblatt: Arbeiten mit Flusssäure)

### Aufgabenstellung:

1. Stellen Sie anhand der folgenden Arbeitsschritte unter Anleitung ihres Betreuers aus einem Stück monokristallinem Silizium (n-Typ) eine Solarzelle her.
2. Bestimmen Sie die folgenden Eigenschaften der eigenen sowie der kommerziellen Solarzelle:
  - Leerlaufspannung
  - Kurzschlussstrom
  - Kennlinie der Diode ohne und mit Beleuchtung

## Auswertung:

Bestimmen Sie aus den aufgenommenen Kennlinien für beide Solarzellen (selbst hergestellte und kommerzielle) den jeweiligen Wirkungsgrad.



Erläuterung zur Kennlinie:  $U_L$  = Leerlaufspannung,  $I_K$  = Kurzschlussstrom

MPP = Maximal Power Point (größte abgegebene Leistung)

## Literatur:

1. Wettling W., Solarzellen – Stand der Technik, Phys. Bl. **53, 12** (1997) 1197-1202
2. Ewe T., Energie, die Alternative, die neuen CIS-Zellen machen Solarstrom erschwinglich. Bild der Wissenschaft **5** (1998) 31-37
3. Tietze U., Schenk, Ch., Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer Verlag (1993)
4. Daruvala D. J. A simple procedure for making silicon cells without specialist equipment. Solar Energy **19** (1977) pp. 313 – 314.

**Wichtig: Beachten Sie die Vorschriften im Umgang mit gefährlichen Stoffen!!**

Flusssäure  
Wasserstoffperoxid  
Salzsäure  
Salpetersäure  
Schwefelsäure  
Aceton  
Tetrachlorkohlenwasserstoff  
Methanol  
Ammoniak

Folgende Schritte sind nacheinander auszuführen:

## REINIGEN DER SI-WAFER

1. **Entfernen von Kohlenwasserstoffen (Hautfett, Polier- und Lösungsmittelreste) und grobem Staub:**

Reinigen im Ultraschallbad (je ca. 1 min, ohne zwischenspülen) in folgenden Lösungsmitteln:

- a) Tetrachlorkohlenstoff
- b) Aceton

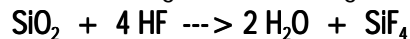
Si-Wafer in destilliertem Wasser spülen und mit Papier trocken tupfen.

2. **Entfernen der oberen Si-Schichten: Bei diesem Schritt soll sehr viel Material entfernt werden (geschätzt: ca. 1 µm). Die polierte Si-Oberfläche ist zwar sehr glatt, aber im angrenzenden Volumen sind durch die Politur der Oberfläche viele Kristallbaufehler entstanden, über die später - an der pn-Schicht "vorbei" - ein Strom fließen kann.**

Starkes Oxidieren und Ätzen in:



Si-Oberfläche sollte vollständig von der Lösung bedeckt sein. Durch die Reaktion:



entsteht u.a.  $\text{SiF}_4$  welches gasförmig ist (erkennbar an den aufsteigenden Blasen).

Beide Stücke nacheinander! (nicht gleichzeitig, um ein Aneinanderhaften zu vermeiden).

Anschließend mehrmaliges Spülen mit destilliertem  $\text{H}_2\text{O}$ .

3. **Entfernen der dünnen Oxidschicht (als Vorbereitung zum anschl. Dotieren):**

**Tauchen des Si-Wafers in reine HF ca 10-20s**

Beim Herausziehen des Si-Wafers sollte die Flusssäure von der Oberfläche abperlen und sie so gut wie trocken zurücklassen. Achtung – auch die Rückseite kontrollieren, eventuelle Säurereste auf einem Tuch abstreifen. Tuch und HF ordnungsgemäß entsorgen!

## Dotieren:

4. **Borpaste / Borpuder aufbringen**

Eine dünne Paste aus Borsäure und warmem destilliertem  $\text{H}_2\text{O}$  herstellen und mit einem sauberen Glasstab sofort nach dem letzten Reinigungsschritt auf eine Fläche der Si-Scheibe auftragen (Borpaste rechtzeitig vorbereiten)

Variation:

Es ist auch möglich eine Si-Scheibe mit Borsäuremehl zu bedecken. Borsäure vorher mit Mörser zu Bormehl verreiben!

(Achtung: Si-Scheibe muss trocken sein!)

5. **Dotierung:**

Die Si-Scheiben auf jeweils einen kleinen Keramikträger legen und diese auf dem vorgewärmten Ofen ( $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ) vortrocknen lassen (ca. 15 bis 30 min.). Danach mit den Keramikträgern in den Ofen legen. Dabei lederne Schutzhandschuhe tragen und Zange verwenden.

Das Bor während einer Zeit von  $35 \pm 5$  min bei  $1000^\circ\text{C}$  eindiffundieren lassen.

6. **Abkühlen:**  
Ofen ausschalten, Klappe öffnen und warten, bis der Ofen dunkelrot geworden ist.  
Die Keramikkörper mit den dotierten Siliziumscheiben aus dem Ofen nehmen und **langsam** an der Luft abkühlen lassen. Die Siliziumscheiben mit einer feinen Pinzette fassen und weiter abkühlen.
7. **Reinigen:**  
n-Typ Seite (nichtdotierte Seite) der Si-Scheibe durch sanfte Politur auf Schleifpapier reinigen.  
Reinigen der Si-Scheibe mit Ultraschall wie unter Punkt 1. beschrieben.
8. **Ätzen:**  
Die Si-Scheibe mit reiner HF (im Plastikbehälter) ätzen (ca. 1,5 min). Es dürfen keine Blasen aufsteigen. Mehrmals mit destilliertem  $H_2O$  spülen und trocken tupfen. HF entsorgen.
9. **Test des pn-Übergangs:**  
Messen Sie die Leerlaufspannung und den Kurzschlussstrom des pn-Übergangs mit und ohne Beleuchtung (qualitativ).

### Elektroden anbringen:

10. **Maskieren:**  
Die dotierte Fläche mit Lack maskieren: Ein etwa 2 mm breiter Streifen bleibt zur Kontaktierung frei. Lackreste auf der Rückseite mit Aceton (Wattestäbchen) entfernen.
11. **Vernickeln:**  
Der 2 mm breite Streifen, sowie die Fläche des n-Bereichs werden in einem speziellen Ni-Bad vernickelt. Ein 100 ml Becherglas zu einem Viertel mit Ni-Lösung füllen,  $NH_4OH$  dazu geben bis die Farbe von grün nach blau umschlägt.  
 $NH_4OH$  dient zur Erhöhung des pH-Wertes und als Indikatorlösung!  
Die Lösung auf  $95^\circ C$  mit Hilfe einer Heizplatte erhitzen, weiter  $NH_4OH$  zugeben, so dass die blaue Färbung erhalten bleibt.  
Die Si-Scheiben in das Bad legen, das Bad gegen Licht mittels einer Blechdose abdecken. Ca. 5 min bei  $95^\circ C$  und vollständiger Dunkelheit halten.
12. **Reinigen:**  
Die vernickelte Si-Scheibe in destilliertem  $H_2O$  mehrmals waschen. Maske mit Lösungsmittel (Aceton) im Ultraschallbad entfernen. Alle Nickelreste von den Rändern mit Schleifpapier entfernen (sonst Kurzschlussgefahr).
13. **Nochmaliger Test des pn-Übergangs gemäß Punkt 9.**
14. **Kontaktieren:**  
An den vernickelten Bereichen (p- und n-Seite) flexible Kabel anlöten.
15. **Test der Solarzelle:**  
Die fertige Solarzelle kann nun auf ihren Wirkungsgrad untersucht werden.