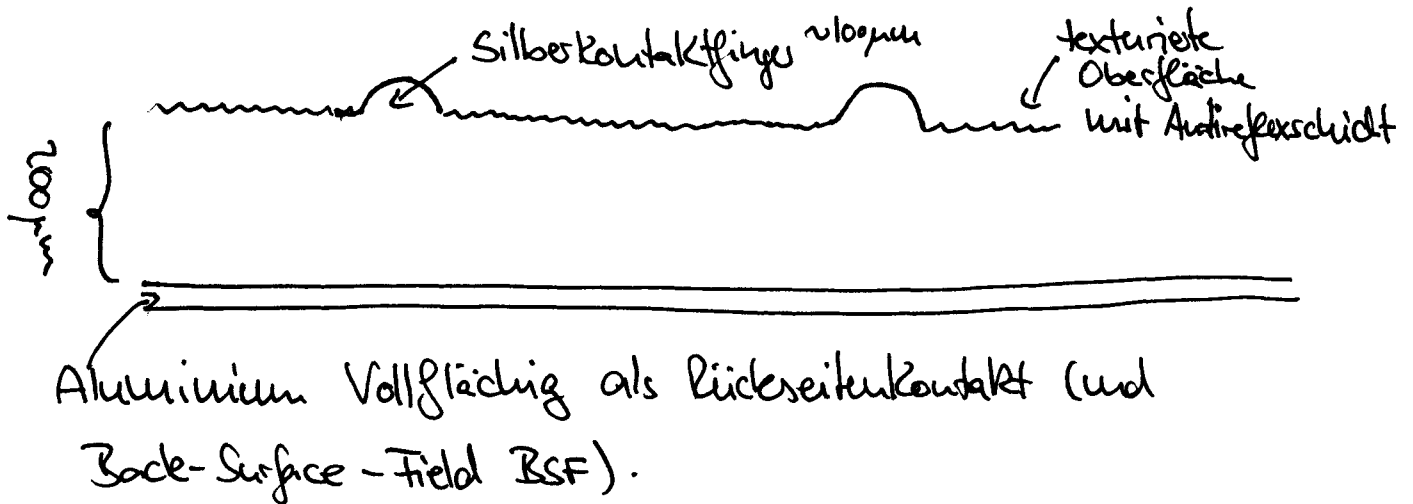


3.5 Fortschrittliche Konzepte zur kristallinen Zelle

In der Powerpointpräsentation haben wir den Produktionsprozess einer kristallinen Solarzelle besprochen. Schematisch sieht diese ja wie folgt aus:



Es gibt nun mehrere Wege, dieses Konzept zu verbessern, um die Effizienz der Zelle zu steigern. Gerade hocheffiziente Zellen besitzen einen "Mehrwert", da Montagekosten pro Watt und Fläche pro Watt damit geringer sind. Wir werden vier dieser Wege kurz diskutieren:

3.5.1. Das selektive Emittor

Das Grundprinzip des selektiven Emittors ist seit langem bekannt: man dotiert die Bereiche unter den Kontaktleitbahnen aus Silber auf der Vorderseite der Zelle stärker als die zwischen den Kontaktfingern.

Für einen homogenen, also nicht-selektiven Emittor findet man folgende Abhängigkeiten von der Stärke der Dotierung:

Vorteil niedrige Dotierung:

- Weniger Auger Rekombination, somit ein
- kleineres "dead layer" an der Oberfläche der Zelle, in dem die kurzwellige Photonen absorbiert werden und die Rekombination die e^- -Loch paare wieder zunichte macht.

Vorteil hoher Dotierung

- Die Tunnelbarriere zwischen Siliziumemitter und Silberkontakt sinkt und damit der Serienwiderstand
- Die starke Dotierung wirkt ähnlich wie das Alu auf der Rückseite wie ein BSF: der Dotierungsgradient sorgt dafür, daß Löcher nicht bis zum Fingers gelangen, sondern reflektiert werden

Das selektive Emittieren ist nun eine Kombination aus beiden Vorteilen:

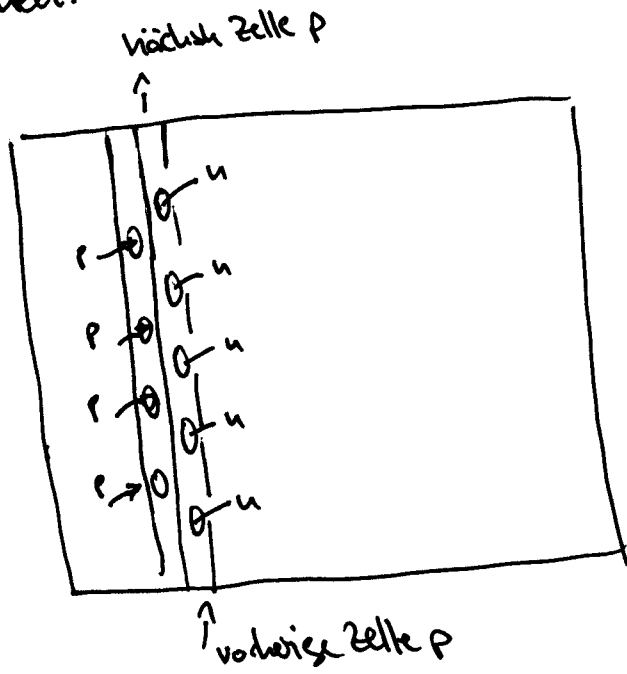
- In der optisch aktiven Zone wählt man einen schwach dotierten Emittierer $\sim 90 \text{ } \Omega\text{cm}$ (z.B.)
- Im Bereich der Silberkontakte dagegen einen leitfähigeren, stärker dotierten, z.B. $\sim 40 \text{ } \Omega\text{cm}$.

3.5.2. Metal Wrap Through (MWT) Zellen

Die beiden "Busbars", die den Strom der Zelle sammeln schaffen ca. $2 \cdot \frac{2 \mu\text{m}}{156 \mu\text{m}} \approx \frac{4}{160} \approx \frac{1}{40}$ der Zelle ab. Die MWT Zelle beseitigt die Busbars, in dem sie die Zelle entlang der Fingers "durchlöchert" $\approx 30-100$ Löcher pro Zelle [mittels Laser] und den Elektronen (und den Strom) auf die Rückseite führt. Dort müssen natürlich \ominus und \oplus lokal mit einem Laser getrennt werden.

Während die Zelle prozesstechnisch nahe am "Standard" ist, liegt der eigentliche Vorteil (und business-Nachteil) im Modul: die Zelle selbst verliert nämlich durch unerwünschte Nebeneffekte wie z.B. Licht vermehrte "Kurzschlüsse" (R_p klein) praktisch so viel an η wie sie durch den Wegfall der Busbars zulegt. Bei der Modulschaltung ergeben sich aber Vorteile, die $\Delta \eta \approx 0.5\%$ absolut für das Modul ausmachen. Nachteil: Jedes MWT Design ist anders und kein

Modulhersteller will extra eine Produktionslinie mit Spezialmaschinen für nur einen Zelltypen aufbauen.



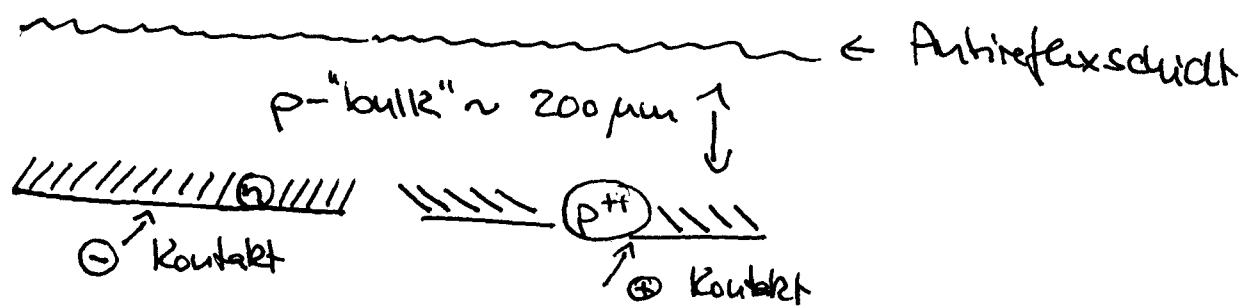
← eine von vielen Möglichkeiten

3.5.3 Emmitter Wrap Through (EWT)

Man kann MWI auf die Spitze treiben und auch noch die Fingur selbst auf der Vorderseite eliminieren: ~ 1mm Abstand wird ein Laserschneidloch zur Rückseite gebohrt. ~~Die Verschattung~~

3.5.4 Rückseitenzellen: Integrated Back Contact (IBC)

Anstatt wie bei EWT und NWT Löcher zu bohren, um den Emittor von der Vorderseite auf die Rückseite zu bringen, kann man natürlich auch gleich den Emittor ausschließlich auf die Rückseite aufbringen:



Dabei wechseln sich Emittorbereiche mit \ominus Kontakten mit den \oplus Kontakten ab. Die 23% Zellen von Sunpower werden so hergestellt. Dabei sind verhältnismäßig aufwendige Produktionsschritte notwendig, das ~~Ergebnis~~ Ergebnis ist allerdings hervorragend. Der Trend - rein technologisch - geht in die übrigen asymptotisch zur Zeit mittelfristig Richtung IBC.

3.6. Dünnschichtzellen

Insbesondere durch den hohen Siliziumpreis des letzten Jahre wurden sogenannte Dünnschichtmodule sehr attraktiv: Sie bestehen aus wenigen μm "dicken" Schichten aus direkten Halbleitern oder amorphem Silizium, welches ebenfalls in der Lage ist, in wenigen μm einen Großteil der einfallenden Strahlung zu absorbieren.

Die Schichten werden für gewöhnlich aufgedampft. Es gibt dabei 3 "große" Spieler:

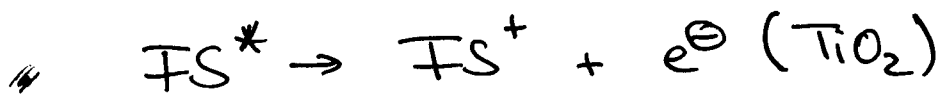
- CdTe "First Solar"
- amorphes Silizium: "Applied Materials"
- CIGS (Kupfer-Indium-Gallium-Schwefel)
CIGS_xSe_y Selten z.B. Würth Solar

Siehe auch Folien zur Dünnschichtzelle

3.7. Farbstoffzellen

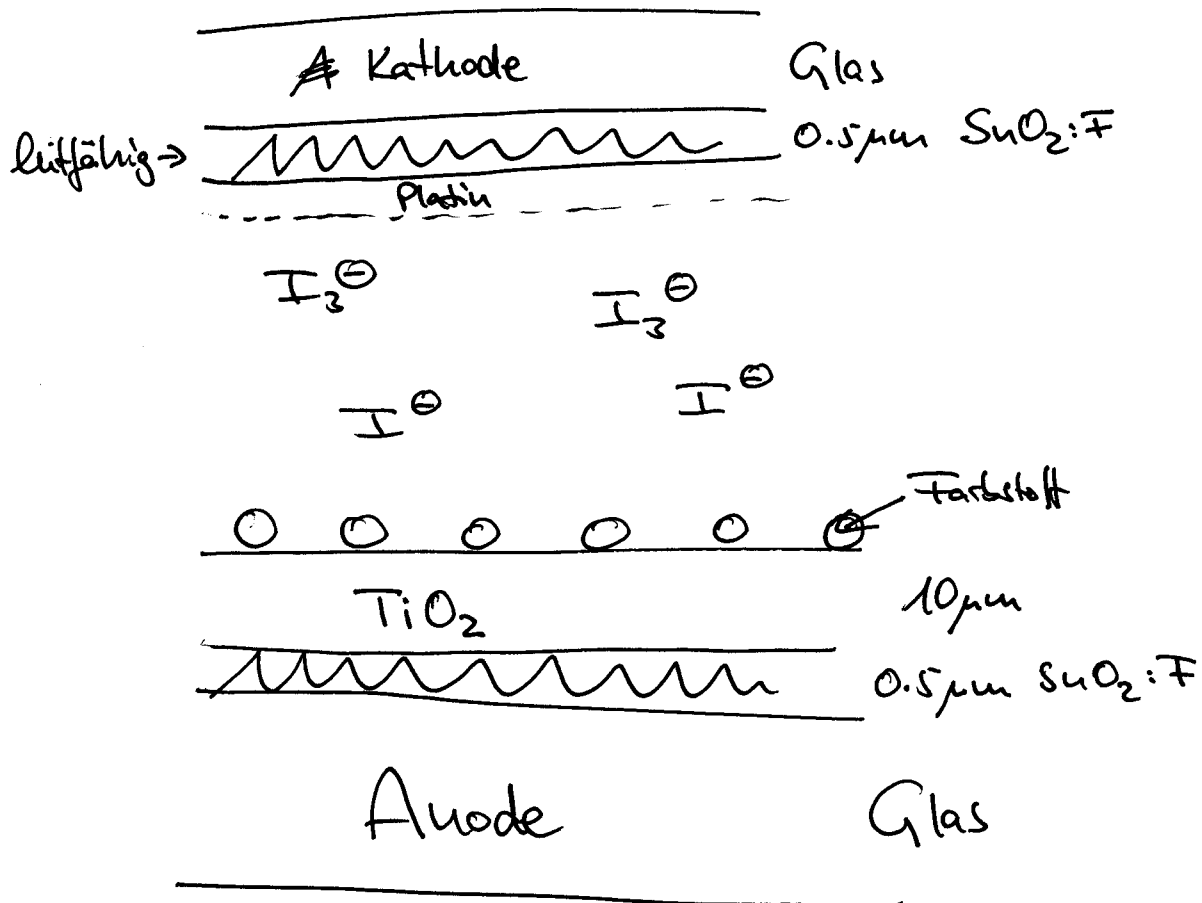
Im Grunde handelt es sich um Photosynthese im technischen Bereich:

- Farbstoff (z.B. Brombeerextrakt) lagert auf TiO_2 -Schicht ($E_g = 3.2\text{eV}$)
- γ fällt durch TiO_2 Schicht (transparent) auf Farbstoff (FS)



- e^- bewegen sich im TiO_2 zur Anode
- $\text{FS}^+ + \text{I}^- \rightarrow \text{FS} + \text{I}$
- $2\text{I} + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$
- I_3^- wird an der Kathode wieder zu 3I^- und sorgt so für den e^- transport in der Zelle

Schematischer Aufbau (siehe auch Folie in der Vorlesung):



TiO_2 ist sehr porös aufgebracht, damit

- Licht gut gestreut wird
- Elektrolyt gut an Film rankommt