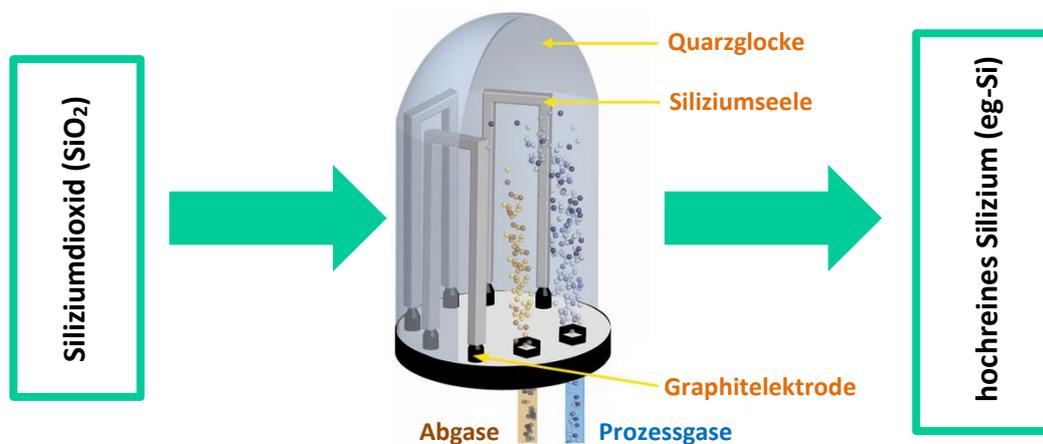


Übungsblatt 4 – Herstellung von Siliziumsolarzellen

Aufgabe 1: Siliziumherstellung

Dank ihrer vergleichsweise langen Entwicklung und Optimierung zeigen die Herstellungsverfahren für Siliziumsolarzellen im Vergleich zu anderen Technologien heute eine deutliche bessere Beherrschbarkeit und damit höhere Reproduzierbarkeit. Folgende Abbildung veranschaulicht die Herstellung von hochreinem Silizium für die Photovoltaik- und Halbleiterindustrie mit Hilfe des Siemens-Verfahrens.



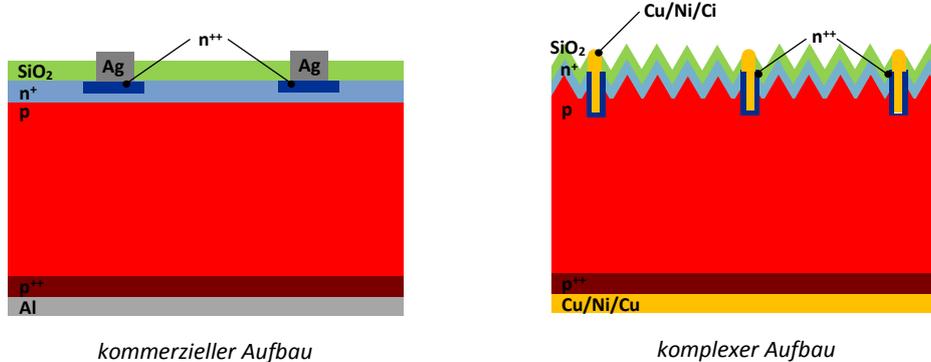
- Diskutieren Sie die Herstellung von hochreinem Silizium ausgehend vom industriell geförderten Siliziumdioxid (SiO₂). Nehmen Sie dabei insbesondere Stellung zu den unterschiedlichen Reinheitsgraden von Silizium und erörtern Sie wie dieser für die Anwendung in Solarzellen erhöht werden kann.
- Neben dem klassischen Siemens-Verfahren wird ein weiteres Verfahren zur Herstellung von polykristallinem Rohsilizium eingesetzt - das sogenannte Wirbelbettverfahren. Wie funktioniert dieses Verfahren und welche Vor- und Nachteile weist es gegenüber dem klassischen Herstellungsprozess auf?
- Das so gewonnene Rohmaterial weist Körner im µm-Bereich auf und kann daher weder zur Herstellung monokristalliner noch polykristalliner Solarzellen direkt verwendet werden. Welche Verfahren eignen sich für die Umwandlung in grobkristallineres bzw. monokristallines Silizium?
- Trotz komplexer Reinigungsschritte ist das Rohmaterial vor der Wafer-Herstellung oft nicht komplett frei von Fremdatomen (Chrom, Eisen, Natrium etc.). Für die Defektkonzentration c_{Kristall} im über das Czochralski-Verfahren hergestellten Kristall lässt sich schreiben:

$$c_{\text{Kristall}} = k_0 c_{\text{Schmelze}} (1 - z)^{k_0 - 1}$$

Darin ist c_{Schmelze} die anfängliche Defektkonzentration in der Schmelze, z der Anteil an erstarrter Schmelze und k_0 ein dimensionsloser und materialabhängiger Segregationsfaktor, der die Einlagerung von Defektatomen aus der Schmelze in den Kristall beschreibt. Zeichnen Sie die Defektdichte für verschiedene k_0 -Werte zwischen 10^{-2} und 10^1 in Abhängigkeit von z . Was muss ausgehend von diesem Diagramm für unerwünschte Fremdatome und erwünschte Dotieratome gelten?

Aufgabe 2: Herstellung einer Siliziumsolarzelle

Auf dem letzten Übungsblatt haben Sie den klassischen Aufbau einer Siliziumsolarzelle sowie die Funktion der diversen Schichten kennengelernt. Hier sollen Sie sich nun genauer mit der praktischen Herstellung solcher Zellen befassen. Abgebildet sehen Sie hier nochmals den Querschnitt der kommerziellen Zelle sowie eines komplexeren Systems mit vergrabenen Kontakten und einer Strukturierung der Oberfläche zur Verbesserung des Lichteinfalls in die Zelle.



- Diskutieren Sie Schritt für Schritt die Prozesse und Methoden, die zur Herstellung dieser beiden Systeme notwendig sind.
- Je nach Komplexität der Produktion werden bei der Herstellung von Siliziumsolarzellen unterschiedlich große Mengen an Energie benötigt. Für die Herstellung einer monokristallinen Solarzelle fallen pro Zellfläche beispielsweise rund 5.000 MJ/m², für eine polykristalline Zelle 3.500 MJ/m² und für das kostengünstigere String-Ribbon-Verfahren etwa 2.500 MJ/m². Berechnen Sie wie lange die einzelnen Technologien im Einsatz sein müssten, um den Herstellungsbedarf zu amortisieren. Gehen Sie von einem jährlichen Einstrahlpotential von 1.000 kWh/m² sowie Wirkungsgraden von 20 % für die monokristalline, 16 % für die polykristalline und 14 % für die String-Ribbon-Zelle aus.
- Für praktische Anwendungen werden die einzelnen Solarzellen per Reihen- und Parallelschaltung zu Modulen zusammengefasst. Welche weiteren Schritte sind bei der Herstellung von der Zelle hin zum fertigen Modul nötig?
- Welche besonderen Anforderungen werden an die Verkapselung und insbesondere an das auf der Frontseite angebrachte Glas gestellt?
- Siliziumsolarzellen besitzen mit einer typischen Einsatzdauer von 20 Jahren nur eine endliche Lebensdauer. Was ist für die endliche Lebensdauer verantwortlich, d.h. welche Fehler und Risiken treten mit der Zeit im System auf?

Bemerkungen:

- Die Übungsblätter werden jeweils eine Woche vor der Übung in der Vorlesung verteilt. Alternativ können die Aufgaben auch von der Internetseite des ZSW oder im ILIAS-Portal bezogen werden.
→ Link: www.zsw-bw.de/infoportal/vorlesungen.html
→ Link: <https://ilias.studium.kit.edu/>
- Die schriftliche Abschlussklausur findet am 14. September 2016 zwischen 11:00 Uhr und 13:00 Uhr im Hörsaal am Fasanengarten (Gebäude 50.35) statt. Die Prüfungsanmeldung im QUISPOS und Campus Management wird in den kommenden Tagen freigeschaltet.