

Optionen zur Realisierung von Si-Solarzellen mit Effizienzen über 26%

J. Krügener¹, F. Haase², R. Peibst^{1,2}, R. Brendel^{2,*}, H.-J. Osten^{1,*}

¹Institut für Materialien und Bauelemente der Elektronik, Leibniz Universität Hannover, Schneiderberg 32, 30167 Hannover

²Institut für Solarenergieforschung Hameln, Am Ohrberg 1, 31860 Emmerthal

*Laboratorium für Nano- und Quantenengineering, Schneiderberg 39, 30167 Hannover, Germany

Einleitung

Der Wirkungsgrad von Solarzellen wird, angesichts des immer größer werdenden Anteils der BOS (balance of system)-Kosten an einem PV-System, zum entscheidenden Faktor für eine weitere Reduktion der PV-Stromgestehungskosten. In dem „26+“-Projekt sollen „Leuchtturmeffizienzen“ von über 26% erreicht werden. Ein Wirkungsgrad von 26% galt vor wenigen Jahren noch als nahezu unerreichbar. Vor kurzem ermöglichten passivierende Kontakte in Kombination mit einem Rückkontaktlayout die bis jetzt höchsten Siliziumsolarzellenwirkungsgrade von bis zu 26,6%. Der theoretische Wert liegt noch deutlich darüber. Wir verfolgen den Ansatz, passivierende Kontakte aus polykristallinem Silizium auf Oxid (POLO) anstatt amorphes Silizium zu verwenden, da die POLO-Kontakte temperaturstabiler und somit mit einer konventionellen Siedruckmetallisierung vereinbar sind.

Ergebnisse

Die 4 cm² großen Solarzellen werden auf 100 mm großen Wafern prozessiert (siehe Abbildung 1). Hierbei wird die komplette im LNQE vorhandene Si-Prozesslinie von der Oxidation, über die Schichtabscheidung und Ionenimplantation bis hin zur Fotolithografie genutzt. Insbesondere letztere eignet sich hervorragend für die Definition von besonders schmalen und dennoch gleichmäßigen Kontaktstrukturen, wie sie für das angestrebte Zellkonzept vorteilhaft sind. Abbildung 2 zeigt schematisch den Querschnitt dieses ausschließlich rückseitigen Zellkonzeptes. Ausgangsmaterial sind 290 µm dicke p-Typ Wafer mit einem spezifischen Widerstand von 1,3 Ωcm. Auf die Rückseite dieser Wafer werden nun die passivierenden POLO-Kontakte, bestehend aus einem 2,1 nm dünnem Siliziumdioxid auf dem sich dotiertes polykristallines Silizium befindet, hergestellt. Für die Aktivierung der exzellenten elektrischen Eigenschaften ist zusätzlich eine thermische Nachbehandlung nötig, bei der ein Teil der Dotierstoffe aus dem Polysilizium in das Substrat eingetrieben wird. Für diesen Prozessschritt ist die Dotierstoffkonzentration im Polysilizium von essentieller Bedeutung. Ionenimplantation ermöglicht die gezielte Einstellung der Dotierstoffkonzentration.

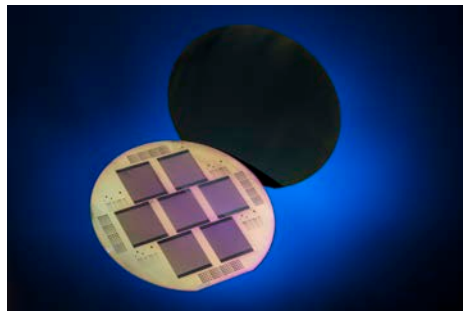


Abbildung 1 – Foto eines prozessierten 100 mm-Wafers mit 7 rückseitig kontaktierten Solarzellen.

Nach der Ionenimplantation der n⁺- und p⁺-Bereiche im Polysilizium, müssen diese elektrisch voneinander getrennt werden. Der Grund hierfür sind die schlechten elektrischen Eigenschaften dieser Übergänge. Die Ätzmaske für diesen Schritt wird mit Hilfe der Fotolithografie definiert. Bei der nasschemischen Kontakt-trennung wird zudem die Vorderseite der Wafer alkalisch texturiert – es entstehen die in Abbildung 2 angedeuteten Pyramidenstümpfe auf der Vorderseite. Die entstehenden Gräben zwischen den n⁺- und p⁺-Bereichen und die texturierte Vorderseite der Solarzellen werden mit AlO_x passiviert. Zudem wird eine SiN_y/SiO₂-Schicht auf der Vorderseite abgeschieden, um die Reflexionsverluste zu reduzieren und eine SiO₂ Schicht wird auf der Rückseite aufgebracht, um die interne Reflexion zu erhöhen. Für die Kontaktierung werden die dielektrischen Schichten auf der Rückseite lokal entfernt und Aluminium aufgedampft.

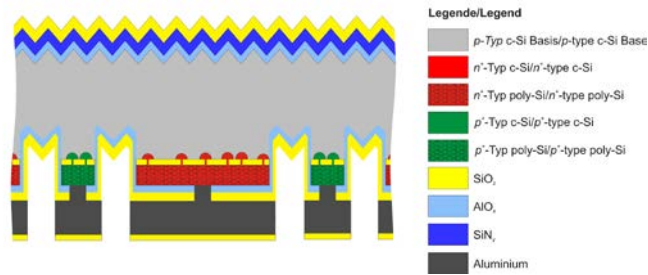


Abbildung 2 – Schematischer Querschnitt der verwendeten Zellstruktur. Die elektrischen Kontakte befinden sich ausschließlich auf der Rückseite der Zellen.

Nach der Kontaktpräparation, werden die fertigen Solarzellen elektrisch charakterisiert. Der bisherige Rekordwirkungsgrad beträgt 25,0 % bei einer offenen Klemmspannung von 723 mV. Diese hohe Spannung wird durch die Reduktion der Rekombination aufgrund der passivierenden POLO-Kontakte erreicht. Neben den elektrischen Messungen an den fertigen Solarzellen, wurden noch zusätzlich Messungen an Zellvorläufern durchgeführt. Aus diesen ortaufgelösten Lebensdauermessungen lässt sich sogar ein implizierter Wirkungsgrad von bis zu 26,2 % vor der Kontaktöffnung ermitteln. Die Reduktion auf 25,0 % nach Kontaktöffnung und Metallisierung wird unter anderem durch eine Degradation der Ladungsträgerlebensdauer unterhalb der AlO_x passivierten Bereiche verursacht. Letztere scheinen durch den Öffnungs- und Metallisierungsprozess geschädigt zu werden. Die Mechanismen dieser Reduktion werden gerade untersucht. Des Weiteren weichen die implizierten Kenndaten von den gemessenen Kenndaten der fertigen Zelle voneinander ab. Bei der Messung der Kenndaten wird im Gegensatz zur Messung der implizierten Kenndaten der Bereich um die Zellen herum abgedeckt. Damit werden in diesem Bereich keine Ladungsträger erzeugt und stellt damit eine Senke für die Ladungsträger im beleuchteten Zellbereich dar. Da dieser Bereich nach Fertigstellung der Solarzellen eine hohe Rekombination aufgrund der schlechten Oberflächenpassivierung hat, werden die Spannung und der Füllfaktor stark reduziert.

Ausblick

Aus numerischen Simulationen der verwendeten Zellstruktur geht hervor, dass die im Rahmen des Projektes hergestellten Solarzellen ein Wirkungsgradpotential von bis zu 26,8 % besitzen. Dies zeigt zusammen mit den implizierten Kenndaten, dass nach einer weitergehenden Optimierung der Metallisierung und der Fingergeometrie Zellwirkungsgrad oberhalb von 26 % auf einer Rückkontaktsolarzelle möglich sind.