

Perowskit-Solarmodule für eine nachhaltige Energieversorgung

Matthias Quast

Die Photovoltaik (PV)-Industrie wächst seit Jahrzehnten; 2021 lag die globale Produktion von PV-Modulen bei 168 GWp/a. Der weltweite Bedarf an Photovoltaik wird dabei zurzeit fast ausschließlich durch Silicium-Solarzellen aus Ost-Asien gedeckt – die PV-Produktion in der EU macht hingegen weniger als 3 Prozent aus. Dabei sind in den letzten Jahren die Kosten von Silizium-Photovoltaikmodulen stark gesunken. Dies wurde durch die Integration von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen, den schnellen Ausbau an Produktionskapazitäten und die Verlagerung der materialbedingt aufwendigen Produktion nach Asien erreicht. Durch die sich daraus ergebenden Transportwege wird das klimapolitische Ziel der Verringerung des CO₂-Fußabdrucks bei der Energiegewinnung erschwert, weshalb die Entwicklung einer europäischen Produktionskette von zunehmender Bedeutung ist. Gleichzeitig ist es notwendig, den exportorientierten deutschen Maschinen- und Anlagenbau durch innovative Produkte zu stärken.

In den vergangenen fünf Jahren hat das Fraunhofer ISE mit dem PeroTec™-Ansatz eine neue Perspektive der nachhaltigen, lokalen und kostengünstigen PV-Herstellung aufgezeigt. Beim PeroTec™-Ansatz werden die klassischen Herstellungsschritte für Solarmodule umgekehrt. Für Prozesse und Materialeinsatz steht die Reduzierung auf das Glassubstrat im Fokus. Alle notwendigen Elektrodenschichten können über etablierte Druckprozesse auf dem Glassubstrat aufgebracht werden. Die robuste Verkapselung erfolgt durch einen thermischen Fügeprozess basierend auf einem anorganischen Glaslot. Die Entwicklung des Fügeprozesses erfolgt am Fraunhofer IWM. Die Glaslotversiegelung garantiert hierbei eine sehr hohe Dichtigkeit gegenüber Gasen sowie Feuchtigkeit und gewährt letztlich einen sicheren und langen Betrieb.



Großflächige, siebgedruckte Elektroden und Lotbahnen eines PeroTec™-Moduls auf Glas (links) und Befüllung eines PeroTec™-Moduls mit Perowskit-Lösung (rechts). Die Menge von 2 ml ist ausreichend für die Herstellung von 4 Quadratmetern Modulfläche.

Fügeprozess und Herstellung von Leermodulen

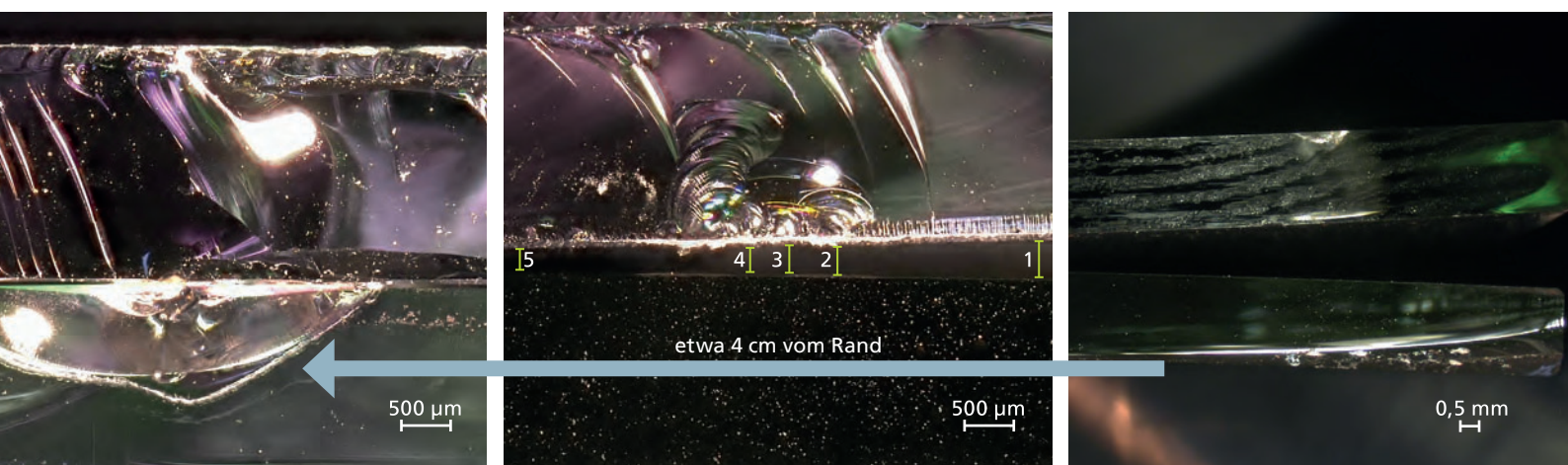
Zur Herstellung wird der bisher bekannte Prozessablauf eines Silizium-PV-Moduls – von der Zelle zum ganzen Modul – umgekehrt: Zuerst wird ein Leermodul gefertigt und anschließend das photoaktive Perowskit-Salz eingebracht, und dann im Inneren des Moduls »in-situ« durch Kristallisation aktiviert.

Das Leermodul besteht aus zwei strukturierten und mehrfach bedruckten und vakuumbeschichteten Flachglasscheiben, die in einem Fügeprozess auf 10 µm Scheibenabstand verbunden werden. Im Anschluss daran erfolgt die »in-situ« PV-Aktivierung des Perowskit-Salzes. Die Abbildung auf Seite 26 zeigt den Schichtaufbau, den Fügeschritt und die Befüllung. Das Fraunhofer IWM konzentriert sich im Rahmen des Projekts »PeroTec« auf die Ausgestaltung und Optimierung des Fügeprozesses. Die Entwicklung des Glaslots übernimmt das Fraunhofer ISC. Die Schichtentwicklung, Strukturierung und Befüllung der am Fraunhofer IWM hergestellten Leermodule erfolgen am Fraunhofer ISE in Freiburg.

Vielversprechende Ergebnisse

Arbeiten am Fraunhofer IWM konzentrieren sich auf die Ausbildung einer sicheren Glas(-lot) zu Glas(-scheiben)-fügung. Dazu werden Fügeversuche im Demonstratorformat (0,8 m × 0,6 m) durchgeführt. Prozessparameter, wie Temperatur, Lotmaterial, Unterdruck, Heiz- und Kühlprofil werden dabei variiert.

In ersten Versuchen konnte gezeigt werden, dass eine Fügung mittels Glaslot funktioniert und mechanischer Belastung standhält. Die hier hergestellten Module müssen jedoch hinsichtlich Spaltbildung und ganzflächiger Verlotung verbessert werden (Abbildung unten). Auf Basis dieser Zwischenergebnisse wurden konkrete Optimierungsmöglichkeiten identifiziert. Zum einen soll durch ein im Zwischenraum angelegtes Vakuum ein gleichmäßiger zusätzlicher Anpressdruck erzeugt werden und zum anderen sollen mithilfe einer neuen Vorrichtung Temperaturunterschiede – insbesondere zwischen oberem und unterem Modul – minimiert werden. Aktuell werden zusammen mit den Projektpartnern neue Versuch(-designs) vorbereitet. Dabei wird auch die Expertise in numerischer Simulation der Gruppe Glasformgebung und -bearbeitung des Fraunhofer IWM auf dem Gebiet der Aufheiz- und Abkühlprozesse hinzugezogen.



Ober- und Unterseite eines gefügten Moduls im Querschnitt. Gut zu erkennen ist das Aufspreizen der Moduloberseite am Rand, während in Richtung Modulmitte ein Spalt durch Fügung mittels Glaslot realisiert wird.