



1 Die Kombination verschiedener Materialien erlaubt vielfältige Gestaltungsvarianten bei Photovoltaik-Modulen. © Fraunhofer ISE

2 Farbige PV-Module mit hochtransparenten MorphoColor-Glasbeschichtungen für die Integration in Gebäude. © Fraunhofer ISE

MATERIALINNOVATION FÜR DIE PHOTOVOLTAIK

Chancen und Herausforderungen

Die Photovoltaik (PV) erlaubt die emissionsfreie, risiko- und geräuschlose Bereitstellung von Energie. Alle Szenarien für künftige Energiesysteme zeigen auf, dass die PV neben der Windkraft die wichtigste Säule der zukünftigen Energieversorgung in Deutschland und weltweit sein wird. Während die gesellschaftliche Akzeptanz und die wirtschaftlich-praktischen Potenziale für einen weiteren Ausbau von Wasserkraft und Biomasse begrenzt sind, bietet die PV neben Freiflächenanlagen durch die Integration in bereits bestehende Strukturen ein enormes Entwicklungspotenzial. So können durch eine PV-Integration in z. B. die Hüllen von Gebäuden und Fahrzeugen riesige Flächen für die Solarstromerzeugung erschlossen werden – hinzukommen weitere Flächen durch die PV-Integration über Agrarflächen, die Integration in Fahrwege und auf Wasserflächen. Für alle Anwendun-

gen sind Solarzellen mit besonders hohen Wirkungsgraden notwendig.

Mit den wachsenden Produktionskapazitäten für PV-Module wird das Recycling immer wichtiger. Das Schließen von Materialkreisläufen bietet Chancen zur Etablierung einer PV-Produktion in Europa und zur Reduzierung von Importabhängigkeiten.

Stand der Forschung und Technik

Die bislang erfolgten PV-Installationen beruhen nahezu ausschließlich auf Modulen mit standardisierten Abmessungen. Mehr als 90 Prozent der weltweit installierten Solarzellen wurden dabei aus kristallinem Silicium hergestellt.

Der Wirkungsgrad von kommerziellen waferbasierten PV-Modulen aus Produktionsanlagen der jüngsten Generation konnte in den letzten Jahren im Mittel auf ca. 18 Prozent gesteigert werden.

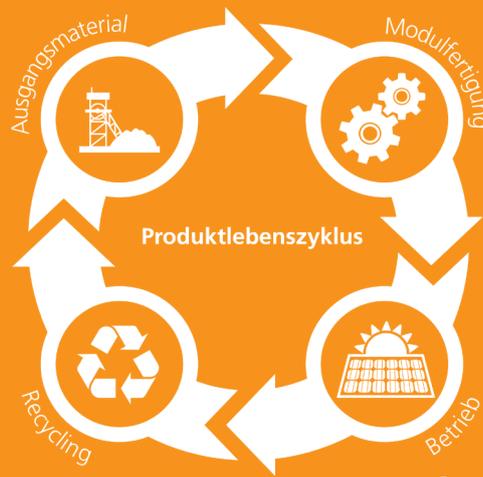
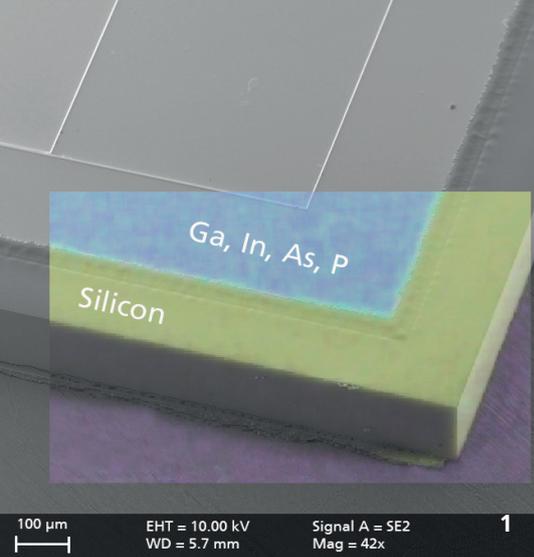
Für Freiflächenanlagen wurden in Deutsch-

land damit bereits Stromgestehungskosten von unter 5 €cent/kWh erreicht. Deutschlands Vorreiterrolle in der FuE der PV hat ganz wesentlich zu dieser Entwicklung beigetragen.

Materialwissenschaftlicher FuE-Bedarf

Für weitere Kostensenkungen, zur Ermöglichung von Recyclingkonzepten und für die Integration der PV in bestehende Strukturen sind Materialinnovationen der technologische Schlüssel. Der Wettbewerb unterschiedlicher Technologieansätze ist dabei ein wesentlicher Treiber. Da eine abschließende Bewertung der unterschiedlichen Ansätze im Hinblick auf langfristige Entwicklungen derzeit noch nicht möglich ist, sollte die breitgefächerte Förderung verschiedener Technologien beibehalten werden.

Die Förderung der folgenden Materialinnovationen ist zu priorisieren:



1 Elektronenmikroskopaufnahme einer GaInP/GaAs/Si-Tandemsolarzelle. Die blau hervorgehobenen III-V-Schichten machen nur etwa ein bis zwei Hundertstel der Solarzellendicke aus, erlauben es aber, den Wirkungsgrad um ein Drittel zu erhöhen.

© Fraunhofer ISE

2 Produktlebenszyklus © Fraunhofer ISE

Silicium-Solarzellen und -module:

- FuE-Bedarf besteht zur Verbesserung des Silicium-Ausgangsmaterials und für ein besseres Verständnis materialspezifischer Degradationsphänomene. Dadurch kann der Wirkungsgrad gesteigert und die Gebrauchsdauer in der Anwendung erhöht werden.
- Die Erhöhung der Materialeffizienz ist eine der wichtigsten Stellschrauben zur Reduktion der Kosten von Silicium-Modulen. Zu verfolgende technologische Ansätze beziehen sich neben einer Reduktion der Waferdicke auch auf die Verringerung von Materialverlusten beim Wafersägen und auf den Einsatz von kerfless-Verfahren zur Herstellung von Wafern.
- Neben dem Siliciumwafer selbst ist die Metallisierung einer der größeren Kostenfaktoren. Eine effizientere Nutzung des verwendeten Silbers und Aluminiums in Metallisierungspasten ist möglich. Vorhandenes Blei muss substituiert werden. Ein vollständiger Ersatz des Silbers durch kostengünstigere Materialien wie Kupfer ist zu entwickeln.
- Oberflächenbeschichtungen sind wichtig, um die optischen und elektrischen Eigenschaften weiter zu optimieren. Neue Beschichtungsmaterialien müssen entwickelt werden, um das volle Wirkungsgradpotenzial heben zu können.
- Auf Modulebene ist die Entwicklung alterungsbeständiger und nicht brennbarer Lamine notwendig, um die Langzeitstabilität zu erhöhen und verschärften Brandschutzanforderungen Rechnung zu tragen. Zudem werden Materialien benötigt, die eine Auftrennung der Modulkomponenten während des Recyclingprozesses

ermöglichen und damit zur Schließung von Materialkreisläufen beitragen.

- Durch die Entwicklung von Anti-Soiling-Beschichtungen können Verschmutzungen von PV-Modulen verringert werden. Besonders vielversprechend sind dabei Materialentwicklungen von partikelbasierten Beschichtungen.

Integration von Photovoltaik:

- Die gestalterischen Möglichkeiten bei der Integration in Fahrzeuge und Bauwerke werden durch transparente, durch spektral selektive und durch schaltbare Schichten ermöglicht. Materialinnovationen sind besonders zur Verringerung des Anteils kritischer Elemente und zur Erhöhung der Beständigkeit notwendig.
- Durch Materialentwicklungen für das elektrisch leitfähige bleifreie Kleben werden innovative Zellverbindungen ermöglicht.
- Korrosionsbeständige Low-emissivity-Schichten mit hoher Transmission im PV-Spektralbereich werden für Hybrid-Kollektoren benötigt und erhöhen die Verbreitung dieser kombinierten PV-Solarthermie-Module.

Alternative Materialkonzepte:

- Bei Perowskit-Solarzellen ist die FuE zur Reduktion oder idealerweise Substitution des aktuell verwendeten Bleis essenziell. Zudem sind Materialinnovationen zur Erhöhung der Langzeitstabilität notwendig.
- Für die Konkurrenzfähigkeit von besonders effizienten Mehrfachsolarzellen auf III/V-Halbleiterbasis sind Innovationen im Bereich kostengünstiger Abscheidung der Verbindungshalbleiter entscheidend.
- Die Organische PV erlaubt die

Verwendung flexibler Substrate. Durch die Weiterentwicklung der organischen Absorbermaterialien kann der Wirkungsgrad auch bei hoher visueller Transmission und die Langzeitstabilität weiter gesteigert werden.

- Tandemsolarzellen erlauben durch die Kombination von Solarzellen mit unterschiedlichem Absorptionsverhalten eine deutliche Erhöhung des Wirkungsgrads. Besonders vielversprechend ist hierbei die Kombination von Solarzellen auf der Basis von kristallinem Silicium mit III-V-Halbleitern und Perowskiten. Hierzu müssen diese Halbleitermaterialien in Hinblick auf ihre elektronische Bandlücke, Gitterkonstante, Stabilität, Materialqualität etc. weiterentwickelt werden.
- Für alle neuen Zellkonzepte ist die Entwicklung von geeigneten Oberflächen- und Zwischenschichten von zentraler Bedeutung. Neue Materialien und geeignete Abscheideverfahren sind zu entwickeln.

Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS

Bartningstraße 47
64289 Darmstadt

Kontakt

Dr. phil. nat. Ursula Eul

Telefon +49 6151 705-262

info-verbund-materials@lbf.fraunhofer.de

www.materials.fraunhofer.de