Energie
Programmes nationaux de recherche 70 et 71

Projet

Cellules solaires multi-jonctions

Les cellules solaires tandem fixent de nouvelles normes d'efficacité énergétique

Les cellules solaires tandem fixent de nouvelles normes d'efficacité énergétique

Des chercheurs de l’EPFL et de l'EMPA sont en passe de repousser les limites de la technologie solaire classique. Ils misent sur ce que l'on appelle des cellules tandem, composées de deux cellules solaires empilées l'une sur l'autre et mettant plus efficacement à profit la lumière du soleil.

Avant de devenir un complément idéal pour tous les toits, la cellule solaire tandem issue de la recherche helvétique devra présenter une meilleure résistance aux intempéries. *Source :* Shutterstock

En un coup d'œil

- Les cellules solaires à deux couches actives exploitent plus efficacement la lumière que les cellules monocouches classiques. Par conséquent, ces cellules tandem fournissent plus d'électricité par unité de surface.
- Les chercheurs suisses combinent les cellules en silicium et en couche mince techniquement optimisées avec la technologie toute nouvelle de la pérovskite et atteignent ainsi des rendements records.
- Le gain de rendement des cellules tandem promet des prix plus bas et un potentiel plus élevé pour l'énergie solaire en Suisse.

Produire suffisamment d’énergie solaire pour la transition énergétique constitue un défi, particulièrement dans un petit pays comme la Suisse. Des cellules solaires plus efficaces, donc capables de convertir une plus grande part de la lumière incidente du soleil en électricité, pourraient y contribuer de manière décisive. Il vaut la peine d'investir dans l'efficacité des cellules : leur prix n'a cessé de baisser au cours des dernières années et ne représente aujourd'hui qu'une petite partie des coûts d'une installation photovoltaïque. Un gain d'efficacité se traduit également par un gain de rendement électrique malgré le fait que les coûts ne sont que légèrement supérieurs ou même identiques. Dans ce contexte, les chercheurs de l'EPFL et de l'EMPA développent conjointement la prochaine génération de cellules solaires.

Ils espèrent ainsi contribuer à la persistance de la forte tendance à la hausse du rendement des cellules solaires. Pour atteindre cet objectif, les chercheurs ont non seulement décidé d'améliorer la technologie existante, mais aussi d'innover. En effet, le rendement des cellules solaires courantes est déjà proche de la limite théorique et ne peut être que légèrement augmenté. La raison en est l'utilisation incomplète des photons à haute énergie par les cellules solaires classiques. La quantité d'électricité que ces cellules prélèvent d'un seul photon est fixe, et correspond à l'énergie dont a besoin un photon pour surmonter ce que l'on appelle la bande interdite. Les matériaux à faible bande interdite mettent à profit une grande partie du spectre lumineux, mais l'énergie excédentaire des photons à haute énergie dans le domaine spectral jaune à ultraviolet est perdue. En revanche, les matériaux à large bande interdite ont un meilleur rendement dans ce domaine, mais les photons de la plage rouge et infrarouge sont trop faibles pour surmonter la bande interdite et ne fournissent donc pas d’électricité.

La bande interdite

En physique des solides, la bande interdite est un domaine énergétique qui ne peut être occupé par des électrons. Elle représente une des propriétés matérielles des semi-conducteurs utilisés pour les cellules solaires.

Repenser la cellule solaire

Selon les chercheurs, la solution à ce dilemme réside dans la cellule tandem à deux couches actives : la première, caractérisée par une large bande interdite, absorbe la partie riche en énergie du spectre lumineux, tout en laissant passer la lumière rouge et infrarouge plus faible. Cette lumière résiduelle est captée par la deuxième couche (couche inférieure) à faible bande interdite. Ce principe du tandem permet un rendement d'environ 30 %, ce qui est nettement supérieur à l'efficacité maximale d'environ 25 % atteinte par les cellules monocouches en usage aujourd’hui.

Les scientifiques ont choisi les meilleurs représentants de la génération photovoltaïque actuelle pour construire leur nouvelle cellule tandem : le numéro un en silicium ou la cellule en couche mince en cuivre-indium-gallium-séléniure (également appelé chalcogénure) servent de couche de base. Ces deux types de cellules ont une faible bande interdite et sont donc inefficaces dans le domaine hautement énergétique du spectre lumineux. Pour la deuxième couche de la cellule tandem, les chercheurs ont choisi la pérovskite, un matériau ayant connu un grand succès ces dernières années. Il est peu coûteux, flexible à l’usinage et à même de convertir efficacement des photons de haute énergie grâce à une bande interdite variable.

Alliance difficile

Les éléments du tandem recherché sont déjà sur le marché, mais sous forme de cellules monocouches. Pour leur assemblage, les chercheurs ont donc dû procéder à un certain nombre d'ajustements, tout en évitant de modifier les étapes de production industrielle existantes, car de telles interventions entraînent facilement des coûts supplémentaires.

Cette approche a donné lieu à un problème particulier : la cellule en pérovskite, couche supérieure du tandem, doit être perméable à un certain domaine du spectre lumineux, ce qui fait que l'électrode ne peut pas consister en un revêtement d'or classique. Les chercheurs de l'EMPA ont donc mis au point des matériaux à base d'oxydes métalliques, à la fois électriquement conducteurs et transparents, qui permettent le passage de plus de 80 % de la lumière dans le domaine des ondes longues.

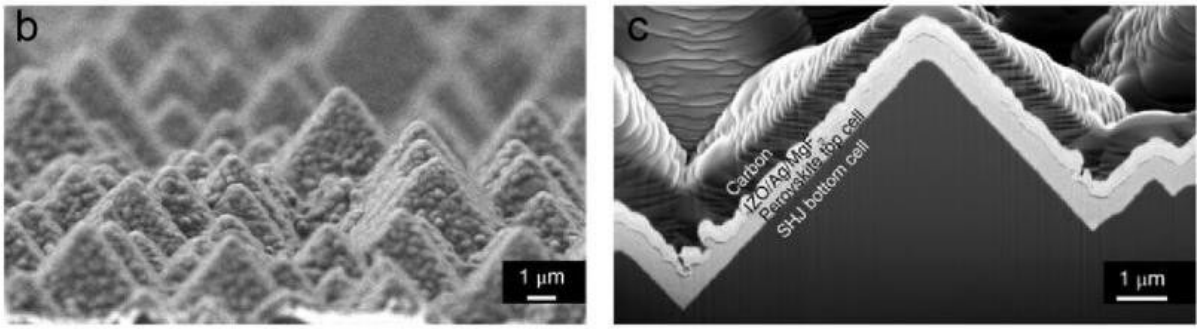
La cellule solaire de la couche inférieure du tandem a, elle aussi, dû être adaptée afin d'atteindre un haut degré d'efficacité. Pour améliorer par exemple le rendement dans le proche infrarouge, les chercheurs de l'EMPA ont modifié la bande interdite de ces cellules en couche mince.

Des records issus de la pépinière technologique suisse

Ce tandem composé d'une cellule solaire en couche mince optimisée surmontée d'une cellule de pérovskite a permis de prouver que les cellules tandem atteignent des rendements plus élevés que les cellules monocouche classiques. Avec un rendement de 22,7 %, la cellule tandem atteint 3,2 points de pourcentage de plus que la plus efficace des deux cellules simples.

Les chercheurs de l'EPFL suivent une voie légèrement différente. Leur tandem silicium-pérovskite est monolithique, donc fabriqué d'un seul bloc. Ce procédé est plus économique et réduit les pertes de lumière utilisable. La production est cependant complexe et le couplage des deux cellules représente un défi important : Tout d'abord, les processus de fabrication des couches supérieure et inférieure doivent être compatibles. Afin d'éviter des températures de traitement trop élevées, par exemple, les chercheurs remplacent le revêtement d'oxyde de titane couramment utilisé dans les cellules de pérovskite par un revêtement d'oxyde d'étain. Ce nouveau procédé de revêtement fonctionne à basse température et optimise simultanément l'efficacité de la cellule.

Le fait que les cellules de silicium produites industriellement ont une structure de surface gravée sous forme de petites pyramides a été un casse-tête particulier pour les chercheurs. Ces pyramides absorbent la lumière mieux qu'une surface lisse, mais du fait qu'elles sont beaucoup plus grandes que l'épaisseur de la cellule de pérovskite, elles ne peuvent être revêtues uniformément par les procédés classiques. Plutôt que de lisser simplement la surface, ce qui dégrade les propriétés optiques, les chercheurs ont mis au point une nouvelle méthode pour appliquer la couche de pérovskite. Ce procédé, ainsi que de nouveaux matériaux pour le couplage des couches, ont permis aux chercheurs de réaliser une percée : leur cellule tandem en silicium-pérovskite atteint un rendement de 25,2 % et a été la première en son genre à franchir le seuil des 25 %. Au cours du développement industriel, l'efficacité a même été augmentée à 28 %.



Tel un manteau neigeux, la cellule en pérovskite s'étend sur le paysage pyramidal de la surface en silicium grâce à un procédé innovant des laboratoires de l'EPFL.

Accroître la production d'énergie solaire grâce à la technologie

Ce succès illustre l’énorme potentiel des cellules solaires tandem. Un usage à grande échelle de ces cellules très efficaces réduirait aussi bien les surfaces nécessaires que, grâce aux faibles coûts de fabrication, les coûts par kilowattheure d'énergie solaire. Pour y parvenir, les cellules tandem doivent cependant être aussi résistantes que les cellules solaires à couche unique. Cet objectif n’est toutefois pas encore atteint, la cellule pérovskite étant beaucoup moins durable que les cellules techniquement optimisées en silicium et à couche mince. Les chercheurs se consacrent actuellement à améliorer la durabilité de la cellule en pérovskite, non seulement en raison de ses excellentes perspectives techniques, mais aussi dans le but de renforcer la position de leader mondial de la Suisse dans le domaine des cellules solaires tandem.

Produkte aus diesem Projekt

- Tailored lead iodide growth for efficient flexible perovskite solar cells and thin-film tandem devices
  Date de publication: 25.09.19
- Tuning the Optoelectronic Properties of ZnO :Al by Addition of Silica for Light Trapping in High-Efficiency Crystalline Si Solar Cells, in Advanced Materials Interfaces
  Date de publication: 25.09.19
- Controlled growth of PbI2 nanoplates for rapid preparation of CH3NH3PbI3 in planar perovskite solar cells
  Date de publication: 25.09.19
- Mechanosynthesis of the hybrid perovskite CH3NH3PbI3 : characterization and the corresponding solar cell efficiency
  Date de publication: 25.09.19
- Highly efficient planar perovskite solar cells through band alignment engineering
  Date de publication: 25.09.19
- Enhanced electronic properties in mesoporous TiO2 via lithium doping for high-efficiency perovskite solar cells
  Date de publication: 25.09.19
- Entropic stabilization of mixed A-cation ABX3 metal halide perovskites for high performance perovskite solar cells, in Energy Environ. Sci.
  Date de publication: 25.09.19
- Perovskite Photovoltaics with Outstanding Performance Produced by Chemical Conversion of Bilayer Mesostructured Lead Halide/TiO2 Films
  Date de publication: 25.09.19
- Room-Temperature Formation of Highly Crystalline Multication Perovskites for Efficient, Low-Cost Solar Cells
  Date de publication: 25.09.19
- Isomer-Pure Bis-PCBM-Assisted Crystal Engineering of Perovskite Solar Cells Showing Excellent Efficiency and Stability
  Date de publication: 25.09.19
- Dopant-free star-shaped hole-transport materials for efficient and stable perovskite solar cells, in Dyes and Pigments
  Date de publication: 25.09.19
- A novel one-step synthesized and dopant-free hole transport material for efficient and stable perovskite solar cells
  Date de publication: 25.09.19
- Incorporation of rubidium cations into perovskite solar cells improves photovoltaic performance
  Date de publication: 25.09.19
- Polymer-templated nucleation and crystal growth of perovskite films for solar cells with efficiency greater than 21 %
  Date de publication: 25.09.19
- Dopant-Free Donor (D)-π-D-π-D Conjugated Hole-Transport Materials for Efficient and Stable Perovskite Solar Cells
  Date de publication: 25.09.19
- A Novel Dopant- Free Triphenylamine Based Molecular « Butterfly » Hole-Transport Material for Highly Efficient and Stable Perovskite Solar Cells
  Date de publication: 25.09.19

- Boosting the Efficiency of Perovskite Solar Cells with CsBr-Modified Mesoporous TiO2 Beads as Electron-Selective Contact
  Date de publication: 25.09.19
- Effect of Cs-Incorporated NiO x on the Performance of Perovskite Solar Cells
  Date de publication: 25.09.19
- Novel p-dopant toward highly efficient and stable perovskite solar cells
  Date de publication: 25.09.19
- Additives, Hole Transporting Materials and Spectroscopic Methods to Characterize the Properties of Perovskite Films
  Date de publication: 25.09.19
- Over 20 % PCE perovskite solar cells with superior stability achieved by novel and low-cost hole-transporting materials
  Date de publication: 25.09.19
- High-efficiency inverted semi-transparent planar perovskite solar cells in substrate configuration
  Date de publication: 25.09.19
- Progress in thin film CIGS photovoltaics - Research and development, manufacturing, and applications
  Date de publication: 25.09.19
- Flexible NIR-transparent perovskite solar cells for all-thin-film tandem photovoltaic devices
  Date de publication: 25.09.19
- Compositionally Graded Absorber for Efficient and Stable Near-Infrared-Transparent Perovskite Solar Cells
  Date de publication: 25.09.19
- A vacuum flash-assisted solution process for high-efficiency large-area perovskite solar cells
  Date de publication: 25.09.19
- Cesium-containing triple cation perovskite solar cells : improved stability, reproducibility and high efficiency
  Date de publication: 25.09.19
- Highly efficient and stable planar perovskite solar cells by solution-processed tin oxide
  Date de publication: 25.09.19
- Enhanced Efficiency and Stability of Perovskite Solar Cells Through Nd-Doping of Mesostructured TiO 2
  Date de publication: 25.09.19
- Ionic Liquid Control Crystal Growth to Enhance Planar Perovskite Solar Cells Efficiency
  Date de publication: 25.09.19
- Not All That Glitters Is Gold : Metal-Migration-Induced Degradation in Perovskite Solar Cells
  Date de publication: 25.09.19
- Perovskite/Perovskite/Silicon Monolithic Triple-Junction Solar Cells with a Fully Textured Design
  Date de publication: 25.09.19
- Improved Optics in Monolithic Perovskite/Silicon Tandem Solar Cells with a Nanocrystalline Silicon Recombination Junction
  Date de publication: 25.09.19
- Complex Refractive Indices of Cesium–Formamidinium-Based Mixed-Halide Perovskites with Optical Band Gaps from 1.5 to 1.8 eV
  Date de publication: 25.09.19
- Perovskite/Silicon Tandem Solar

- Efficient luminescent solar cells based on tailored mixed-cation perovskites
  Date de publication: 25.09.19
- High-Efficiency Perovskite Solar Cells Employing a S,N - Heteropentacene-based D-A Hole-Transport Material
  Date de publication: 25.09.19
- High-Efficiency Polycrystalline Thin Film Tandem Solar Cells
  Date de publication: 25.09.19
- Efficient Monolithic Perovskite/Silicon Tandem Solar Cell With Cell Area> 1 cm2
  Date de publication: 25.09.19
- Low-temperature-processed efficient semi-transparent planar perovskite solar cells for bifacial and tandem applications
  Date de publication: 25.09.19
- The effect of illumination on the formation of metal halide perovskite films
  Date de publication: 25.09.19

Cells : Marriage of Convenience or True Love Story ? - An Overview
Date de publication: 25.09.19

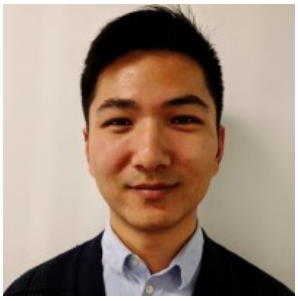
- Fully textured monolithic perovskite/silicon tandem solar cells with 25.2 % power conversion efficiency
  Date de publication: 25.09.19
- Single-graded CIGS with narrow bandgap for tandem solar cells
  Date de publication: 25.09.19
- Impact of interlayer application on band bending for improved electron extraction for efficient flexible perovskite mini-modules
  Date de publication: 25.09.19
- Higher efficiency thanks to perovskite magic crystal : Tandem solar cells are simply better
  Date de publication: 25.09.19

Team & Kontakt

Prof. Dr. Christophe Ballif
Phototovoltaics and Thin Film Electronics Laboratory
EPFL
Rue de la Maladière 71b, CP 526
MC A2 304 (Bâtiment MC)
2002 Neuchâtel 2

+41 21 695 43 36
christophe.ballif@epfl.ch

Christophe Ballif
Projektleiter



Fan Fu

Aïcha Hessler-Wyser

Quentin Jeangros

Björn Niesen

Le contenu de ce site représente l'état des connaissances au 10.05.2019.