Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 100 (2009)
Heft: 7

Artikel: Stocker l'énergie solaire : une solution d'avenir
Autor: Sivula, Kevin / Formal, Florian le / Grätzel, Michael
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856389

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Stocker l'énergie solaire: une solution d'avenir

De l'énergie solaire à l'énergie chimique

Aujourd'hui déjà, l'énergie solaire peut être utilisée pour produire soit de l'électricité, soit de la chaleur, par de multiples systèmes technologiques qui s'améliorent constamment, tant du point de vue du rendement que de leur intégration au sens large. Toutefois, ce type d'énergie ne peut pas être stocké de manière aisée, afin d'être utilisée en absence de rayonnement solaire ou dans des régions ne disposant pas d'une illumination suffisante. Cette importante limitation a poussé les scientifiques à trouver des méthodes alternatives, afin de maîtriser cette source d'énergie renouvelable.

Une nouvelle opportunité d'utilisation de l'énergie solaire se présente au travers de son utilisation pour la conversion directe du rayonnement solaire en énergie chimique, c'est-à-dire sous la forme de «carburants solaires», pouvant être transportés et stockés de manière flexible. Ce processus est déjà mis en œuvre dans la nature: en effet, dans la photosynthèse, les chloroplastes combinent le dioxyde de carbone, l'eau et le rayonnement solaire en vue de produire des carbohydrates (sucres) – qui peuvent être considérés comme des carburants solaires – et de l'oxygène. Toutefois, le rendement énergétique de ce processus naturel est très bas, moins de 1%.

Kevin Sivula, Florian Le Formal, Michael Grätzel, Massimiliano Capezzali, Hans Björn Püttgen

Une approche intéressante consiste néanmoins à utiliser un outil spécialement conçu pour séparer l'eau, H_2O, en molécules d'oxygène et d'hydrogène *(water splitting)*. Ce dernier élément constitue un vecteur énergétique dont les potentialités sont attentivement considérées à court et à long terme. En effet, l'hydrogène peut être utilisé dans des piles à combustible pour produire aussi bien de l'électricité que de la chaleur, mais également en combustion directe, avec un champ d'applications très large, tant stationnaires qu'embarquées. De plus, l'utilisation d'hydrogène ne produit pas de pollution et pourrait donc constituer une alternative à l'utilisation de carburants fossiles dans le futur.

A cause de sa réactivité chimique élevée, l'hydrogène ne se trouve pas sous forme moléculaire dans l'atmosphère ou dans les couches géologiques de la Terre. Il est actuellement principalement produit à partir d'hydrocarbures, de plus petites quantités étant produites par électrolyse de l'eau. Toutefois, un nombre croissant de chercheurs explore la possibilité de produire l'hydrogène par des méthodes photoélectrochimiques (PEC), c'est-à-dire en utilisant l'énergie des rayons solaires pour le produire par le biais de structures d'oxydes semi-conducteurs, en mesure de scinder les molécules d'eau en oxygène et hydrogène. Cette méthode est appelée photoélectrolyse solaire directe.

Au millieu des années 90, trois chercheurs basés en Suisse – les profeseurs Michael Grätzel de l'EPFL, Gion Calzaferri de l'Université de Berne et Jan Augustynski, alors professeur à l'Université de Genève – ont effectué des avancées scientifiques significatives tendant à prouver qu'une telle méthode de production d'hydrogène est effectivement réalisable. Ainsi, des photoanodes constituées d'oxydes semi-conducteurs – tels que l'oxyde de fer ou de titane – plongées dans l'eau et soumises à un rayonnement photonique similaire à celui du Soleil sont effectivement capables de produire de l'hydrogène par brisure des molécules d'eau. Une importante collaboration s'est donc crée entre ces trois institutions dans ce domaine. Celle-ci s'est

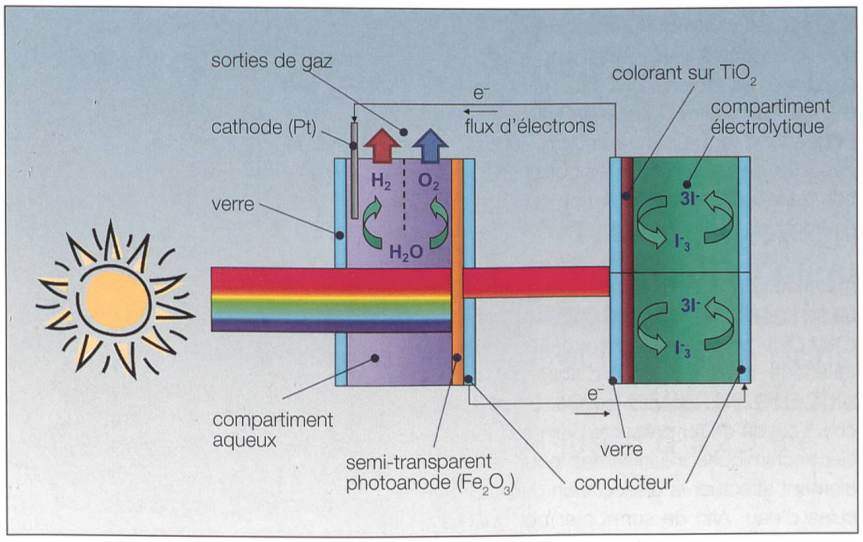


Figure 1 Cellule solaire tandem pour la production d'hydrogène.
Cette cellule est composée d'une cellule photoélectrochimique et d'une cellule à colorant branchées en série. Une partie de la lumière visible (du bleu au vert) est absorbée par l'oxyde de fer, ce qui permet l'oxydation de l'eau en oxygène et la création d'un électron libre. Cet électron est alors transféré vers une cellule à colorant. Cette dernière absorbe la partie rouge de la lumière et permet à cet électron d'atteindre un niveau énergétique suffisant pour réduire l'eau en hydrogène à la cathode de la cellule photoélectrochimique.

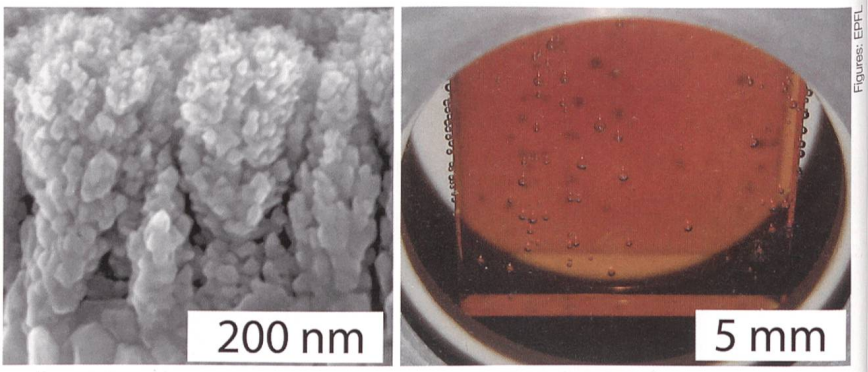
articles spécialisés

concrétisée par des progrès toujours plus importants, en termes d'efficacité d'une part, mais également de stabilité des matériaux semi-conducteurs.

Suite au départ à la retraite de deux des acteurs de ce triangle de compétences, l'Office fédéral de l'énergie a décidé de créer un véritable centre de compétence national dans le domaine de la production d'hydrogène par photoélectrolyse. Ce centre, baptisé PEC House, a ainsi vu le jour officiellement au mois d'octobre 2007, sous la direction scientifique du Laboratoire de photonique et interfaces (LPI) de l'EPFL – dirigé par le Prof. Michael Grätzel – et sous la direction administrative de l'Energy Center de l'EPFL – dirigé par le Prof. Hans Björn Püttgen. L'objectif principal de PEC House est de mener les activités de recherche qui permettront le développement de la technologie PEC, afin de pouvoir produire de l'hydrogène à une échelle adaptée aux futurs besoins énergétiques de la Terre. A cet effet, il faudra être en mesure de développer des matériaux qui soient largement disponibles et qui permettent des efficacités élevées de conversion de l'énergie solaire.

Un appareil dissociant les molécules d'eau (électrolyseur) utilise une différence de potentiel entre deux électrodes (une cathode et une anode) dans une solution aqueuse (électrolyte). La différence de potentiel fournit l'énergie suffisante pour produire de l'oxygène à l'anode et de l'hydrogène à la cathode. Dans le processus de dissociation des molécules d'eau par la technologie PEC, l'une des deux électrodes absorbe le rayonnement solaire qui apporte l'énergie nécessaire à la réaction, remplaçant la différence de potentiel. Les recherches menées jusqu'ici ont permis d'identifier de nombreux matériaux en mesure d'absorber le rayonnement solaire et de casser les molécules d'eau, mais aucun d'entre eux n'offre simultanément une stabilité à long terme contre la corrosion, une capacité de capturer une importante fraction de la lumière solaire et une conversion énergétique avec une efficacité suffisante.

Toutefois, l'oxyde de fer, Fe_2O_3, reste un matériau prometteur, notamment au niveau de sa stabilité et de sa disponibilité. En fait, c'est justement sa couleur rougeâtre caractéristique qui lui permet d'absorber une large portion du spectre solaire. En revanche, l'oxyde de fer présente des propriétés électrochimiques insuffisantes pour véritablement effectuer la dissociation des molécules d'eau. Afin de surmonter cet obstacle, une petite différence de potentiel électrique doit être appliquée à une électrode constituée d'oxyde de fer. Toutefois, comme cette dernière n'absorbe pas tout le spectre solaire, on peut donc transmettre



Figures: EPFL

Figure 2 Production de l'oxyde de fer.
L'image de gauche montre une image réalisée avec un microscope électronique sur laquelle on distingue bien la nanostructure arborescente, qui permet d'obtenir une grande surface pour la dissociation des molécules d'eau. Sur l'image de droite, on voit une photoélectrode en oxyde de fer à la surface de laquelle advient la séparation des molécules d'eau sous illumination solaire, produisant ainsi des petites bulles d'oxygène. L'hydrogène, qui est produit à la cathode, n'est pas visible sur cette image.

le rayonnement sortant de l'électrode semi-transparente jusqu'à une cellule photovoltaïque. Cette dernière, en retour, permet d'obtenir la différence de potentiel qui rend possible la séparation des molécules d'eau à l'aide de l'oxyde de fer. Une telle cellule photovoltaïque peut être une cellule solaire à colorants, dont le concept a été inventé à l'EPFL par Michael Grätzel. La combinaison d'une photoélectrode en oxyde de fer et d'une telle cellule solaire est appelée une cellule tandem et elle est décrite sur la figure 1.

Le développement de cette approche dite tandem s'est inspiré des réactions photochimiques qui ont lieu dans les plantes. Toutefois, contrairement à la photosynthèse, dont l'efficacité ne dépasse pas 1%, les cellules tandem permettent d'atteindre des efficacités de conversion «solaire à hydrogène» théoriques supérieures à 16%. Présentement, les performances en laboratoire sont encore inférieures, notamment à cause des limitations qui subsistent au niveau de l'électrode en oxyde de fer.

Alors que l'oxyde de fer a été étudié par le Laboratoire de photonique et interfaces depuis le début des années 90, c'est seulement en 2006 qu'une découverte dans le procédé d'élaboration de l'oxyde de fer a permis de préparer des cellules tandem en mesure de convertir jusqu'à 3,3% de l'énergie solaire directement en hydrogène. Il a été ainsi découvert qu'une méthode simple et peu onéreuse de déposition de l'oxyde de fer, appelée dépôt chimique en phase vapeur à pression atmosphérique, permettait de produire des structures très fines. Cette structuration au niveau nanométrique *(nanostructuring)* donne naissance à une surface importante d'oxyde de fer, tout en créant un réseau connecté – similaire aux branches et au tronc d'un arbre – qui est capable de conduire le courant d'électrons de manière efficace (voir figure 2).

Les activités actuelles de l'équipe scientifique de PEC House se concentrent sur l'augmentation de la performance de l'oxyde de fer en utilisant, notamment, des nanotechnologies qui permettent de s'approcher du rendement maximal de 16%. Les objectifs quantitatifs sont en adéquation avec ceux fixés par l'Union Européenne, soit une efficacité de conversion solaire à hydrogène à hauteur de 4,5% en 2009 et de 7% en 2011. Parallèlement, les électrodes fabriquées devront avoir une durée de vie de 1000 h au moins, avec moins de 5% de dégradation. De plus, le coût de l'hydrogène produit devra être infé-

Zusammenfassung

Solarenergie: Fotovoltaik, thermische Energie oder ... für die Wasserstoffproduktion?

Schon heute kann Solarenergie genutzt werden, um Strom oder Wärme zu erzeugen, und zwar mit diversen technischen Systemen, die ständig optimiert werden. Sowohl hinsichtlich ihres Ertrags als auch bezüglich ihrer Integration im weitesten Sinne. Dieser Energietyp kann jedoch nicht auf einfache Art und Weise gespeichert werden, um bei mangelnder Sonneneinstrahlung oder in Regionen ohne genügende Sonnenbestrahlung eingesetzt werden zu können. Diese grosse Einschränkung hat die Wissenschaftler dazu bewegt, Alternativen zu suchen, um diese Quelle an erneuerbarer Energie zu nutzen.

rieur à 5 €/kg en 2015. Ces objectifs vont indéniablement permettre de consolider le rôle de l'hydrogène dans la future économie énergétique.

En sus de ces objectifs scientifiques et techniques, PEC House a l'intention de devenir un leader dans le domaine de la production d'hydrogène par des méthodes photoélectrochimiques et, d'autre part, de servir comme plate-forme d'échange, de communication et de réalisation de projets au niveau suisse dans ce domaine, notamment avec les autres hautes écoles et laboratoires nationaux intéressés. Dans ce cadre, l'OFEN a assuré un financement de base sur 4 ans, mais décroissant dans le temps, qui a permis de créer un rythme de fonctionnement satisfaisant et une force de frappe scientifique tout à fait intéressante. De plus, l'équipe de PEC House porte l'accent sur l'information tant dans les milieux scientifiques qu'auprès de l'industrie et du grand public. Cette plate-forme virtuelle a également servi de base à un important projet européen sur les matériaux et les structures nécessaires à la production d'hydrogène par photoélectrolyse solaire. Ce projet, baptisé NanoPEC, réunit 8 partenaires internationaux de grande renommée, dont une importante entreprise pétrochimique, intéressée par cette prometteuse technologie. Ce projet a officiellement débuté en janvier 2009. D'importants financements externes, notamment industriels, seront également levés dans les prochaines années.

Liens

http://pechouse.epfl.ch
http://nanopec.epfl.ch
http://lpi.epfl.ch
http://energycenter.epfl.ch

Informations sur les auteurs

Kevin Sivula est chimiste et collaborateur scientifique auprès du Laboratoire de photonique et interfaces (LPI) de l'EPFL. Il fait partie de l'équipe scientifique de PEC House depuis la fin de l'année 2007, après avoir complété sa thèse de doctorat auprès de la prestigieuse Université de Berkeley (UCB), aux USA.

Florian Le Formal est ingénieur en matériaux et doctorant auprès du LPI depuis 2007, sur des projets PEC House.

Michael Grätzel est professeur ordinaire à l'EPFL et directeur du LPI. Il assume également la direction scientifique de PEC House. Chimiste physique de renommée mondiale et avec plusieurs de milliers de citations à son actif, il est notamment l'inventeur des cellules PV dites à colorant (cellules de Grätzel).

Massimiliano Capezzali est physicien et adjoint du directeur du Energy Center de l'EPFL. Il s'occupe de la gestion administrative et financière de PEC House, ainsi que de plusieurs projets dans d'autres domaines de l'énergie. Il possède un doctorat en physique théorique de l'Université de Neuchâtel, obtenu en 1998.

Hans Björn Püttgen est professeur ordinaire à l'EPFL et directeur de son Energy Center. Il est le directeur administratif et financier du projet PEC House. Il a travaillé pendant près de 30 ans aux USA, notamment en tant que professeur à GeorgiaTech à Atlanta, avant de revenir à l'EPFL, dont il est diplômé en tant qu'ingénieur électricien.

Energy Center, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Chemin de la Raye 10 – En Bassenges, 1024 Ecublens VD

Anzeige

Umspannwerk Crans-près-Céligny (JOF300 und ECF300)
Poste de Crans-près-Céligny (JOF300 et ECF300)

Kapazitiver Spannungswandler
ECF 72...525
Transformateur de tension capacitif

Schweizer Präzision im weltweiten Einsatz für Schutz- und Messzwecke in Stromnetzen bis 525 kV

Précision suisse mondialement appliquée pour la protection et la mesure dans les réseaux électriques jusqu'à 525 kV

PFIFFNER Messwandler AG
PFIFFNER Transformateurs de mesure SA
CH-5042 Hirschthal

PFIFFNER SINCE 1927 true values

Tel. +41 62 739 28 28
Fax +41 62 739 28 10
E-mail sales@pmw.ch
www.pmw.ch