

Towards Lowering Carbon Emissions: Scientists establish a new record in the efficiency of photoelectrochemical water splitting for Green Hydrogen

Due to its high energy-density, hydrogen is an excellent energy carrier that is increasingly considered critical for reducing global GHG emissions, especially in hard-to-electrify sectors of the economy such as high temperature industrial processes as well as trucking, shipping and aviation.

Unfortunately, over 95% of hydrogen produced today comes from steam methane reforming, which involves the combustion of fossil fuels and the release of CO₂. With the hydrogen market positioned to grow from \$130Bi in 2020 to \$219Bi in 2030, the race is on to find efficient and scalable ways to produce hydrogen without generating CO₂, what is known as Green Hydrogen.

Currently hydrogen produced from electrolyzers powered by renewable energy costs about \$5/kg, and experts agree that the cost will need to fall to somewhere below \$2/kg for Green Hydrogen to begin to compete with “dirty” steam methane reforming. Luckily, there are many promising advances in clean Solar-to-Hydrogen processes, known as photoelectrolysis. Recent advances in solar cell technology have produced Solar-to-Hydrogen efficiencies of 20% with tandem silicon and perovskite solar cells. The estimated cost per kilogram is greater than \$4, but researchers speculate that future versions of this approach may get near the \$2/kg mark.

A potentially more cost-effective water-splitting method involves Earth-abundant cuprous oxide (Cu₂O), which has been studied for years as a promising candidate for the simple, efficient, low-cost, non-toxic, stable, and scalable photoelectrochemical (PEC) production of Green Hydrogen. However, until now the reaction efficiencies achieved in the lab with this p-type semiconductor material have been well below the threshold needed to reach a suitable Solar-to-Hydrogen efficiency, estimated at 10% for this method. It is in this context that the record demonstrated at the University of Zurich represents a major breakthrough.

In the experiment, ammonia solution etching was carried out on thermally-oxidized cuprous oxide in photocathode devices for water splitting. The etched devices showed increased photoelectrochemical (PEC) performance as well as improved reproducibility. An applied bias photon-to-current efficiency (ABPE) of 3.6% at 0.56 V was obtained which represents a new record for Cu₂O based photocathode systems. Importantly, researchers used different types of electrochemical measurements as well as X-ray, photoelectron and transmission electron microscopy to identify the factors that determined the heightened performance, pointing the way to further improvements with Cu₂O towards practical water splitting cells.

“The previously reported ABPE for this material was 3.18%. The chemical etching procedure allowed us to raise that by over 13%”, said lead researcher Wenzhe Niu.

The research is part of the collaboration between PERA Complexity (Processes for Evolutionary Complexity Research & Applications) and the University of Zurich. It was carried out by the Department of Chemistry of the University of Zurich with supervision and sponsorship from PERA Complexity, and with support from the Scientific Center for Optical and Electron Microscopy (ScopeM), ETH Zürich.

Press Release: Green Hydrogen Breakthrough – May 2, 2022
Comunicado de prensa: Avance del hidrógeno verde – 2 de Mayo de 2022

PERA co-founder and research supervisor Dr. Al M. Cruz is enthusiastic about the findings. “These results establish a pathway to improve the efficiency of Cu_2O for low-cost Green Hydrogen production in the near future. Our goal now is to show a Solar-to-Hydrogen efficiency of over 10%, which should put this approach in line to achieve a cost/kg of less than \$2 over the next few years. That would be quite a breakthrough for making Green Hydrogen competitive and lowering carbon emissions.”

Prof. David Tilley, group leader at UZH’s chemistry department concludes: “Our research achieved a new record for Cu_2O for hydrogen generation from water in terms of a thermodynamically-based metric. Moving forward, it could lead to record solar-to-hydrogen efficiencies for Cu_2O -based water splitting cells.”

The article was published in *Energy & Environmental Science*, a journal of the Royal Society of Chemistry. –the world’s top journal for Environmental Science, Chemical Engineering, and Energy and Fuels.

Link to the article: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ee/d1ee03696c>

Hacia la reducción de las emisiones de carbono: científicos establecen un nuevo récord en la eficiencia de la división fotoelectroquímica del agua para el hidrógeno verde

Debido a su alta densidad energética, el hidrógeno es un excelente portador de energía que se considera cada vez más crítico para reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero, especialmente en sectores de la economía difíciles de electrificar, como los procesos industriales de alta temperatura, el transporte por camión, el transporte marítimo y la aviación.

Desgraciadamente, más del 95% del hidrógeno que se produce hoy en día procede del reformado de metano al vapor, que implica la combustión de combustibles fósiles y la liberación de CO₂. Dado que el mercado del hidrógeno está previsto que crezca de 130.000 millones de dólares en 2020 a 219.000 millones de dólares en 2030, se ha iniciado la carrera para encontrar formas eficientes y escalables de producir hidrógeno sin generar CO₂, lo que se conoce como hidrógeno verde.

En la actualidad, el hidrógeno producido a partir de electrolizadores alimentados por energía renovable cuesta unos 5 dólares/kg, y los expertos coinciden en que el costo tendrá que bajar a algún punto por debajo de los 2 dólares/kg para que el hidrógeno verde empiece a competir con el reformado de metano a vapor "sucio". Por suerte, hay muchos avances prometedores en los procesos limpios de conversión de energía solar en hidrógeno, conocidos como fotoelectrólisis. Los recientes avances en la tecnología de células solares han producido eficiencias de conversión de energía solar en hidrógeno del 20% con células solares de silicio en tándem y de perovskita. El costo estimado por kilogramo es superior a 4 dólares, pero los investigadores especulan que las futuras versiones de este método podrían acercarse a la marca de 2 dólares/kg.

Un método de separación de agua potencialmente más rentable es el del óxido cuproso (Cu₂O), que se ha estudiado durante años como un candidato prometedor para la producción fotoelectroquímica (PEC, sigla en inglés) sencilla, eficiente, de bajo coste, estable y escalable de hidrógeno verde. Sin embargo, hasta ahora las eficiencias de reacción logradas en el laboratorio con este material semiconductor tipo p han estado muy por debajo del umbral necesario para alcanzar una eficiencia adecuada de solar a hidrógeno, estimada en un 10% para este método. En este contexto, el récord demostrado por los investigadores de la Universidad de Zúrich representa un gran avance.

En el experimento se llevó a cabo el grabado con solución de amoníaco del óxido cuproso oxidado térmicamente en dispositivos de fotocátodo para la división del agua. Los dispositivos grabados mostraron un mayor rendimiento fotoelectroquímico (PEC), así como una mayor reproducibilidad. Se obtuvo una eficiencia de fotones a corriente aplicada (ABPE) del 3,6% a 0,56 V, lo que representa un nuevo récord para los sistemas de fotocátodos basados en Cu₂O. Es importante destacar que los investigadores utilizaron diferentes tipos de mediciones electroquímicas, como rayos X, fotoelectrónica y microscopía electrónica de transmisión para identificar los factores que determinaron el mayor rendimiento, señalando el camino hacia nuevas mejoras con el Cu₂O y creando una ruta de optimización hacia células de separación de moléculas de agua (water splitting cells) de forma práctica y viable.

Press Release: Green Hydrogen Breakthrough – May 2, 2022
Comunicado de prensa: Avance del hidrógeno verde – 2 de Mayo de 2022

"El ABPE comunicado anteriormente para este material era del 3,18%. El procedimiento de grabado químico nos ha permitido aumentarlo en más de un 13%", afirma el investigador principal, Wenzhe Niu.

La investigación es parte de la colaboración entre PERA Complexity (Processes for Evolutionary Complexity Research & Applications) y la Universidad de Zúrich (UZH). Fue llevada a cabo por el Departamento de Química de la UZH bajo la supervisión y el patrocinio de PERA Complexity, y contó con el apoyo del Centro Científico de Microscopía Óptica y Electrónica (ScopeM) de la ETH Zürich.

El co-fundador de PERA y supervisor de la investigación, Dr. Al M. Cruz, está entusiasmado con los resultados. "Estos resultados establecen una vía para mejorar la eficiencia del Cu₂O para la producción de hidrógeno verde de bajo coste en un futuro próximo. Nuestro objetivo ahora es mostrar una eficiencia de la energía solar al hidrógeno de más del 10%, lo que debería poner este enfoque en línea para lograr un coste/kg de menos de 2 dólares en los próximos años. Eso sería un gran avance para hacer que el hidrógeno verde sea competitivo y reducir las emisiones de carbono".

El profesor David Tilley, jefe de grupo del departamento de química de la UZH, concluye: "Nuestra investigación ha logrado un nuevo récord de Cu₂O para la generación de hidrógeno a partir del agua en términos de una métrica basada en la termodinámica. De cara al futuro, podría dar lugar a una eficiencia récord de conversión de energía solar a hidrógeno para las células de división de agua basadas en Cu₂O".

El artículo se publicó en *Energy & Environmental Science*, una revista de la *Royal Society of Chemistry* -la revista más importante del mundo en materia de Ciencias Ambientales, Ingeniería Química y Energía y Combustibles.

Enlace al artículo: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2022/ee/d1ee03696c>