

Pressemitteilung

Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH

Dr. Antonia Rötger

21.09.2023

<http://idw-online.de/de/news821121>

HZB Helmholtz
Zentrum Berlin

Forschungsergebnisse
Chemie, Energie, Physik / Astronomie, Werkstoffwissenschaften
überregional

Diamantmaterialien als solarbetriebene Elektroden – Spektroskopie zeigt, worauf es ankommt

Es klingt wie Magie: Photoelektroden, die das Treibhausgas CO₂ in Methanol umwandeln oder Stickstoffmoleküle in wertvollen Dünger – und zwar allein mit der Energie des Sonnenlichts. Dass Diamantmaterialien sich dafür eignen, zeigt nun eine Studie aus dem HZB. Durch die Kombination von Röntgen-Spektroskopieverfahren an BESSY II mit weiteren Messmethoden gelang es dem Team um Tristan Petit, erstmals genau zu verfolgen, welche Prozesse an der Oberfläche dieser Materialien durch Licht angeregt werden und worauf es dabei ankommt.

Im Labor produzierte Diamantmaterialien haben auf den ersten Blick wenig mit ihren Namensvettern aus dem Juwelierladen gemeinsam. Sie sind undurchsichtig, dunkel und sehen nach nichts Besonderem aus. Aber das täuscht, denn Diamantmaterialien besitzen sehr besondere Eigenschaften, die sie für eine breite Palette an Anwendungen interessant machen: zum Beispiel in Gehirnimplantaten, Quantensensoren und -computern, und als metallfreie Photoelektroden in einer Elektrolysezelle zur Umwandlung von Energie. Diamantmaterialien bestehen aus Kohlenstoff, können industriell und nachhaltig produziert werden, und sie altern im Gegensatz zu metallbasierten Photoelektroden kaum.

Diamantmaterialien kommen als metallfreie Photoelektroden in Frage, weil sie bei Anregung durch Licht Elektronen in Wasser freisetzen und so chemische Reaktionen ermöglichen, die sonst nur schwer in Gang zu setzen sind. Ein konkretes Beispiel ist die Reduktion von CO₂ zu Methanol: Dabei entsteht aus dem Treibhausgas CO₂ ein wertvoller Brennstoff. Ebenfalls spannend wäre es, mit Hilfe von Diamantmaterialien Stickstoff in Stickstoff-Dünger NH₃ umzuwandeln, wofür dann deutlich weniger Energie als beim Haber-Bosch-Verfahren benötigt würde.

Allerdings oxidieren Diamantmaterialien in Wasser und oxidierte Oberflächen, so nahm man an, geben keine Elektronen mehr ins Wasser ab. Zudem liegen die Bandlücken von Diamant im UV-Bereich (bei 5,5 eV), so dass sichtbares Licht nicht ausreichen sollte, um Elektronen von der Oberfläche anzuregen. Entgegen dieser Erwartung wurde jedoch vor kurzem eine rätselhafte Emission von Elektronen bei der Anregung durch sichtbares Licht beobachtet. Eine Studie aus der Arbeitsgruppe von Dr. Tristan Petit am HZB bringt nun neue Erkenntnisse und gibt Anlass zu Optimismus.

Dr. Arsène Chemin, Postdoc im Team von Petit, untersuchte Proben von Diamantmaterialien, die am Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg hergestellt wurden. Die Proben waren daraufhin optimiert, die CO₂-Reduktionsreaktion zu erleichtern: Um eine gute elektrische Leitfähigkeit zu gewährleisten, waren sie mit Bor dotiert, eine Nanostrukturierung sorgte für eine große Oberfläche, was die Emission von Ladungsträgern erhöht.

Chemin setzte vier röntgenspektroskopische Methoden bei BESSY II ein, um die Oberfläche der Probe und die Energie zu charakterisieren, die zur Anregung bestimmter elektronischer Oberflächenzustände erforderlich ist. Anschließend nutzte er die in einem Speziallabor am HZB gemessene Oberflächen-Photospannung, um zu bestimmen, welche dieser

Zustände angeregt werden und wie sich die Ladungsträger in den Proben verschieben. Ergänzend dazu hat er die Photoemission von Elektronen an Proben in Luft oder in Flüssigkeit gemessen. Durch die Kombination dieser Ergebnisse konnte er erstmals ein umfassendes Bild der Prozesse zeichnen, die nach der Anregung durch Licht an den Oberflächen der Proben ablaufen.

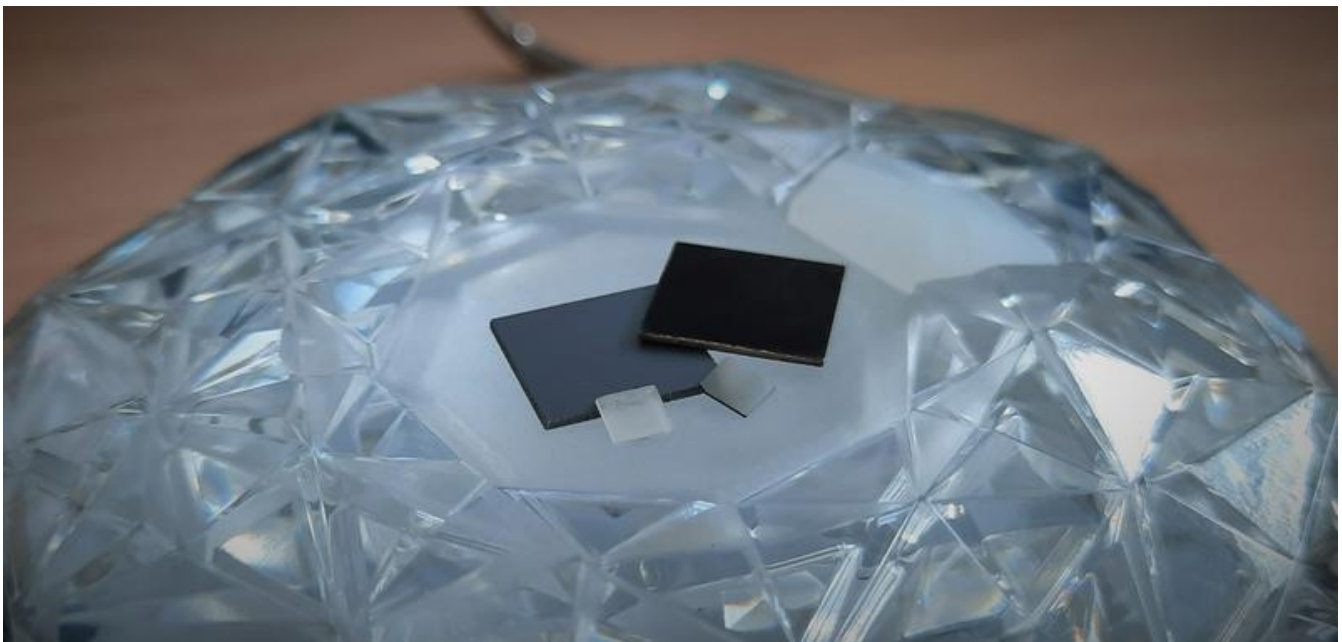
"Überraschenderweise fanden wir fast keinen Unterschied in der Photoemission von Ladungen in Flüssigkeit, unabhängig davon, ob die Proben oxidiert waren oder nicht", sagt Chemin. Dies zeigt, dass Diamantmaterialien gut für den Einsatz in wässrigen Lösungen geeignet sind. Auch die Anregung mit sichtbarem Licht ist möglich: Im Falle der mit Bor dotierten Proben reicht violettes Licht (3,5 eV) aus, um die Elektronen anzuregen.

"Diese Ergebnisse stimmen uns sehr optimistisch", sagt Chemin: "Mit den Diamantmaterialien haben wir eine neue Materialklasse, die weiter erforscht und breit eingesetzt werden kann." Darüber hinaus ist auch die Methodik dieser Studie interessant: Die Kombination von röntgenspektroskopischen Methoden könnte auch bei anderen photoaktiven Halbleitermaterialien zu neuen Durchbrüchen führen, hofft der Physiker.

wissenschaftliche Ansprechpartner:
arsene.chemin@helmholtz-berlin.de

Originalpublikation:

Small Methods (2023): Surface-mediated charge transfer of photogenerated carriers in diamond Arsène Chemin, Igal Levine, Rémi Vaujour, Peter Knittel, Philipp Reinke, Thomas Unold, Karsten Hinrichs, Marin Rusu, Thomas Dittrich, Tristan Petit
<https://doi.org/10.1002/smtd.202300423>



Vier Diamantmaterialien: "Diamantschwarz" aus polykristallinem nanostrukturierten Kohlenstoff (oben rechts), das gleiche Material vor der Nanostrukturierung (oben links), ein Einkristall (unten links) und ein mit Bor dotierter Einkristall (unten rechts).

D