

Laser-generierte Iridium-Nanopartikel, abgeschieden auf Bor-dotiertem Silizium als Elektrokatalysatoren für die PEM-Wasser-Elektrolyse

N. Kazamer^a, J. Beverungen^b, M. Underberg^c, U. Rost^d, T. Zo^e, F. J. Wirkert^a, T. Hülser^c, R. Reichenberger^b, J. Roth^d, M. Brodmann^a, S. Barcikowski^b

^a Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen, ^b Universität Duisburg-Essen, ^c Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V., Duisburg ^d ProPuls GmbH, Gelsenkirchen, ^e Zo^e GmbH, Olpe

Hintergrund und Ziel der Arbeit

Eine der vielversprechendsten Möglichkeiten den hohen Bedarf an sauberer und erneuerbarer Energie zu decken, ist die Erzeugung von Wasserstoff durch elektrokatalytische Wasserspaltung [1,2]. Nichtsdestotrotz ist die Produktion von grünem Wasserstoff derzeit vor allem aufgrund der hohen Material- und Stackkosten [3,4] nicht attraktiv für den Einsatz im industriellen Maßstab. Die vorliegende Kooperation zielt darauf ab, dieses Thema zu adressieren, indem die Menge an Iridium durch eine Verbesserung des Elektrodendesigns minimiert wird. Die vorgeschlagene neuartige Anodenarchitektur besteht aus einer geringen Menge eines Edelmetallkatalysators, der auf einem leitfähigen, aber nicht korrosiven Trägermaterial abgeschieden ist.

Materialien und Methoden

Als Substrat wurde eine poröse Transportschicht aus Titan mit einer diffusionsgebundenen mikroporösen Ti-Sinterpulverplatte betrachtet. Das Design bietet eine große spezifische Oberfläche und einen verbesserten Gas- und Wassertransport innerhalb der Struktur der Elektrode. Dotiertes Silizium-Nanopulver wurde durch thermische Zersetzung der gasförmigen Vorläufer Monosilan (SiH_4) und 3 at.-%-Diboran (B_2H_6) in Argon hergestellt. Durch den Einbau des p-Typ-Dotierstoffs Bor mit einer Atomkonzentration von 3 at.-% und höher soll ein entarteter Halbleiter entstehen. Nach der Synthese wurde das Si:B-Material mit Ir-Nanopartikeln dekoriert. Dabei wurden Suspensionsparameter wie das Zetapotenzial, die Partikelgröße oder der pH-Wert berücksichtigt. Die erhaltenen Ir-dekorierten Si:B 3 at.-%-Nanopartikel wurden aus einer vorbereiteten Tinte über einen Ultraschallsprühkopf in einer Schutzatmosphäre auf das Substrat aufgetragen.

Die Phasenzusammensetzung wurde mit einem Diffraktometer (XRD) mit einer Cu-K- α -Strahlungsquelle bestimmt. Die Mikrostruktur der präparierten Elektrode

und die Elementverteilung des Katalysators wurden mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) kombiniert mit Energiedispersions-Röntgenspektroskopie (EDX) analysiert. Das elektrochemische Verhalten wurde mit einer Zelle mit Drei-Elektroden-Konfiguration untersucht. Die Arbeitselektrode wurde durch eine rotierende Scheibenelektrode (RDE) mit einem Glassy-Carbon-Substrat für die Pulveranalyse und eine statische Elektrode, die durch die mit Katalysator beschichtete poröse Transportschicht gebildet wurde, dargestellt. Eine gesättigte Kalomelektrode (SCE) mit einer Luggin-Kapillarität wurde als Referenz und ein Pt-Draht als Gegen-elektrode definiert.

Ergebnisse und Diskussionen

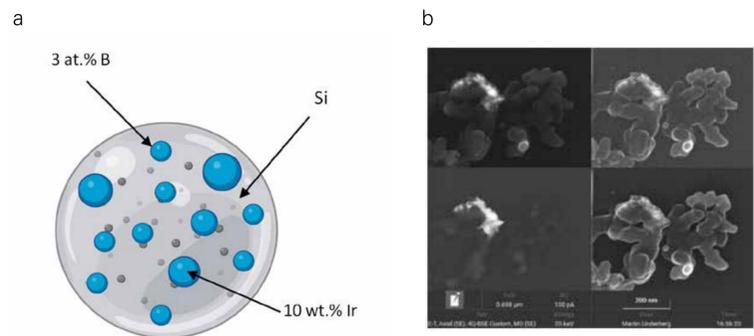


Abb. 1: (a) Idealistisches Bild und (b) REM-Aufnahme des entwickelten Nanokatalysators

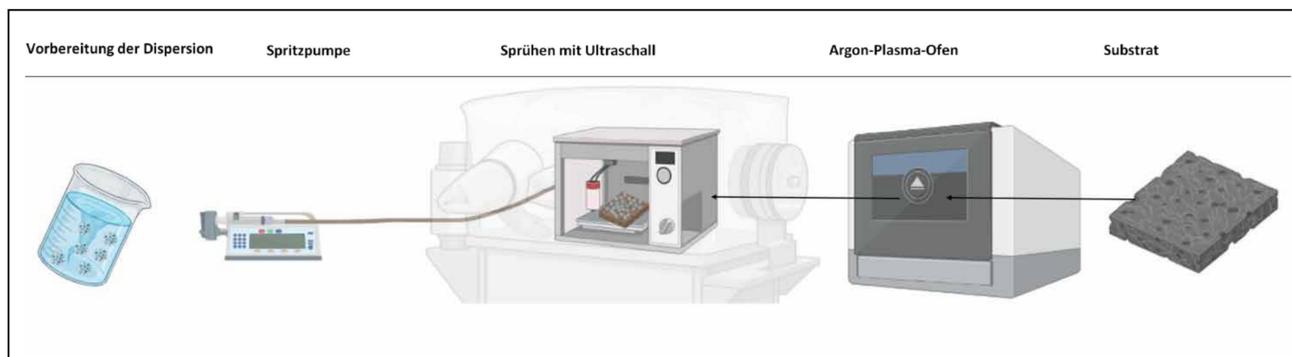


Abb. 2: Elektrodenpräparationskette

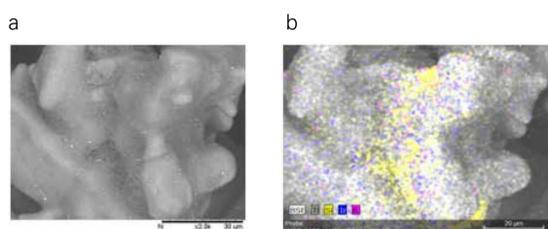


Abb. 3: REM-Aufnahmen des (a) abgeschiedenen Materials auf dem Ti-Substrat und (b) die entsprechenden EDX-Spektren

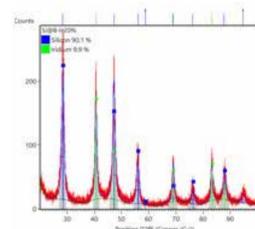


Abb. 4: XRD-Diffraktogramm des entwickelten Si:B-Ir-Nanokatalysators

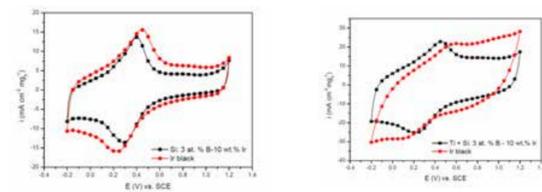


Abb. 5: Zyklische Voltammogramme von (a) dem Katalysatorpulver mit einer RDE bei 1600 U min^{-1} und (b) der Ti+Si:B-Ir-Anode in einer statischen Elektrodenkonfiguration (Tests in einer $\text{pH} \sim 0,3 \text{ N}_2$ entlüfteten $0,5 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ -Lösung bei einer Scanrate von 100 mV s^{-1} , 200 Zyklen)

Zusammenfassung

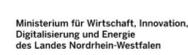
- Innovative Elektrodenkonfigurationen wurden erfolgreich durch Sprühen des entwickelten Si:3 Gew.-% B - 10 Gew.-% Ir-Pulvers auf das Ti-Substrat in einer Ar-geschützten Atmosphäre hergestellt.
- Rietveld-Analysen der XRD-Messungen ergaben einen Ir-Gehalt von 10 Gew.-% im Si:B-Ir-Nanokatalysator.
- Erste elektrochemische Ergebnisse zeigen, dass der entwickelte Si:B-Ir-Katalysator mit 10 Gew.-% Ir eine vergleichbare Sauerstoffentwicklungsreaktionsaktivität im Vergleich zu schwarzem Ir-Referenzmaterial für die Anwendung in Protonenaustauschmembran-Elektrolysetechnologien aufweist.
- Weitere Arbeiten werden durchgeführt, um die elektrische Leitfähigkeit, die Langzeitstabilität und die In-situ-Aktivität der Elektrode in einem Protonenaustauschmembran-Elektrolyseur zu ermitteln.

Quellen

- S. Shiva Kumar, V. Himabindu, Mater. Sci. Energy Technol. 2 (2019) 442–454.
- M.F. Lagadec, A. Grimaud, Nat. Mater. (2020).
- M. Carmo, D.L. Fritz, J. Mergel, D. Stolten, Int. J. of Hydrogen Energ 38 (2013) 4901–4934.
- L. Besra, M. Liu, Progress in Materials Science 52 (2007) 1–61.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Europäischen Union und dem Land Nordrhein-Westfalen für die finanzielle Unterstützung, bei der Leitmarktagentur.NRW für die wissenschaftliche und administrative Projektbegleitung und den Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit. Das Projekt LIKELY (Förderkennz.: EFRE-0801480) wird im Rahmen von "Leitmarkt NeueWerkstoffe. NRW" durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung Fonds für regionale Entwicklung (EFRE. NRW) und der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen gefördert.



Kontakt

Prof. Dr. Michael Brodmann
Tel. +49 209 9596-828
E-Mail: michael.brodmann@w-hs.de

Dr. Norbert Kazamer
Tel. +49 209 9596-5089
E-Mail: norbert.kazamer@w-hs.de

Westfälische Hochschule
Neidenburger Straße 43
45897 Gelsenkirchen
www.w-hs.de