

Herstellung und Analyse von Membran-Elektroden-Einheiten für PEM-Wasser-Elektrolyseure auf Basis von lasererzeugten Iridiumoxid-Nanopartikeln als Elektrokatalysator für die Sauerstoffentwicklungsreaktion

Autoren: Norbert Kazamer¹, Sven Reichenberger², Mathias Spree³, Ulrich Rost^{1,4}, Meike Tack², Tejas Bopardikar⁵, Florian Wirkert¹, Haujin Salih¹, Leonard Böhm¹, Maximilian Cieluch¹, Jeffrey Roth^{1,4}, Tom Zoz⁵, Tim Hülser³, Stephan Barcikowski², Michael Brodmann¹
¹ Westfälische Hochschule, Westfälisches Energieinstitut; ² Universität Duisburg-Essen, Technische Chemie I; ³ Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA); ⁴ ProPuls GmbH; ⁵ ZOZ GmbH

Ziel der Arbeit

Entwicklung und Charakterisierung einer neuartigen Si-Nanostruktur für die Verwendung als Ir-Trägermaterial. Um ein elektrisch leitfähiges Trägermaterial zu synthetisieren, wurde Si mit B dotiert. Anschließend wurde diese Katalysatorsupportstruktur mittels Laserapplikation mit Ir-Nanopartikeln dekoriert. Die Charakterisierung der Ir/Si:B-Katalysatoren soll vorgestellt und mit Referenzergebnissen (Ir ohne Trägermaterial) verglichen und diskutiert werden.

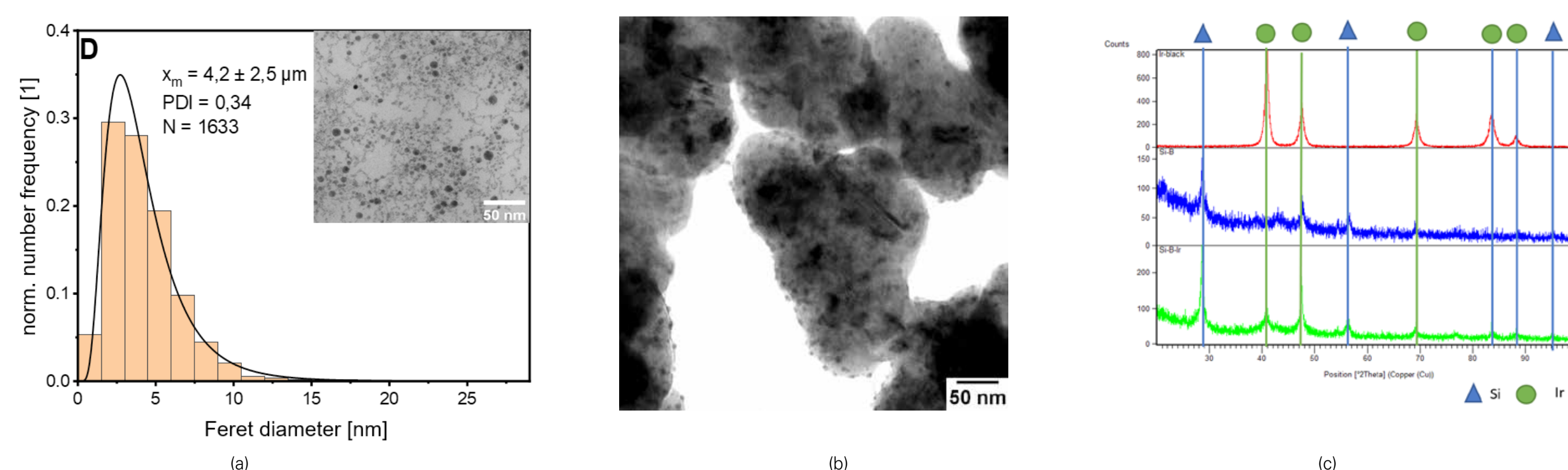


Abb. 1: Mikroskopische Aufnahmen der (a) lasergenerierten IrO_x-Nanopartikel und ihre Partikelgrößenverteilung, der (b) daraus synthetisierten Si:B-Ir-Elektrokatalysatoren und (c) XRD-Messungen der entwickelten Pulver im Vergleich zu einem reinen metallischen Ir-Referenzmaterial

Ergebnisse

Es wurde eine erfolgreiche Synthese kolloidaler 4 nm großer Katalysatornanopartikel erzielt (Abbildung 1(a)). Beispielhafte Transmissionselektronen-Mikroskopie(TEM)-Untersuchungen in Abbildung 1(a) und Abbildung 1(b) bestätigen die Nanostruktur der Iridium- bzw. Si:B-Ir-Katalysatoren. Die Röntgendiffraktions(XRD)-Messungen (Abbildung 1 (c)) zeigen die Struktur von Si und Ir. B wird nicht beobachtet, da es in das Si-Gitter eingebaut ist. Die XRD-Messungen bestätigen die erfolgreiche Si-Synthese für die Trägerstruktur und deren Dekoration mit Ir-Nanopartikeln, ohne dass sich eine legierte Phase gebildet hat. Plasma-Atomemissionsspektroskopie-Tests bestätigten die chemische Zusammensetzung der Si:B-Ir-Nanopulver, wobei durchschnittlich 86 Gew.-% Si, 4,6 Gew.-% B und 8,5 Gew.-% Ir analysiert wurden, was nahe an den durch die Synthese angestrebten Sollwerten liegt.

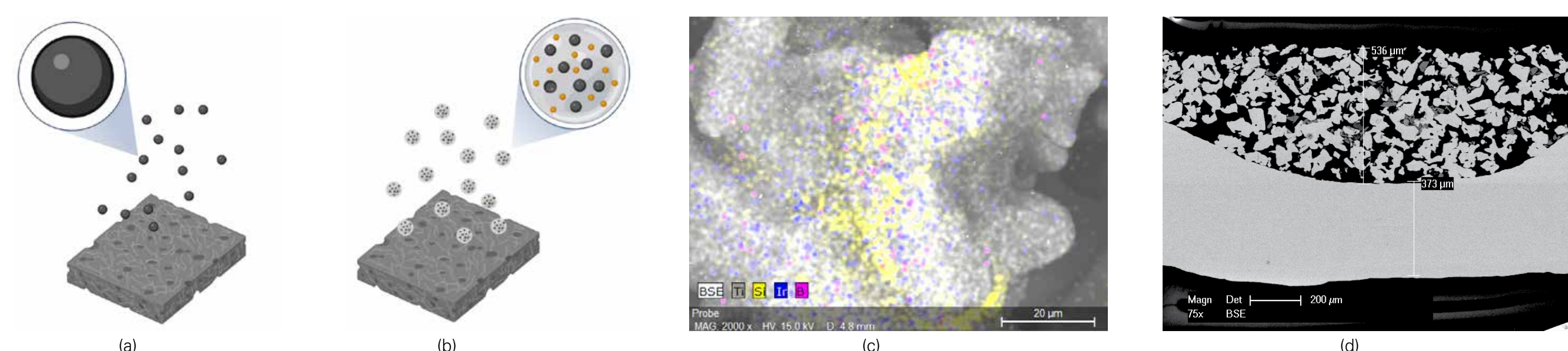


Abb. 2: Idealistische Ansicht der (a) IrO_x- und (b) Si:B-Ir-Nanopartikelabscheidung auf dem Substrat und der Nanopartikel-beschichteten Ti PTL in (c) Overview und (d) Querschnittsansicht

Die mikroskopischen Aufnahmen aus Abbildung 2(b) zeigen die Verteilung des Ir-Nanokatalysators auf dem Ti-Substrat (Querschnittsansicht in Abbildung 2(d)), diese weisen auf eine qualitativ hochwertige katalytische Schicht hin. Die Tendenz zur Bildung von Si:B-Agglomeraten wurde ebenfalls beobachtet. Diese ist entscheidend, da die Verbindung der Si-basierten Agglomerate einen elektrisch leitfähigen Pfad zur Kontaktierung der aktiven Zentren der Elektrode ermöglicht. Elektrochemische Messungen der auf Ti aufgesprühten Nanopartikel (Abbildung 3(a)) zeigen eine vielversprechende elektrokatalytische Aktivität für die OER. Darüber hinaus zeigen die der elektrischen Leitfähigkeit (Abbildung 3(b)) der mit Si:B-Ir gesprühten Elektroden ähnliche Werte im Vergleich zum Referenzmaterial Ir black, was entscheidend für eine erfolgreiche in-situ-Anwendung der neuartigen Elektrodenstruktur ist.

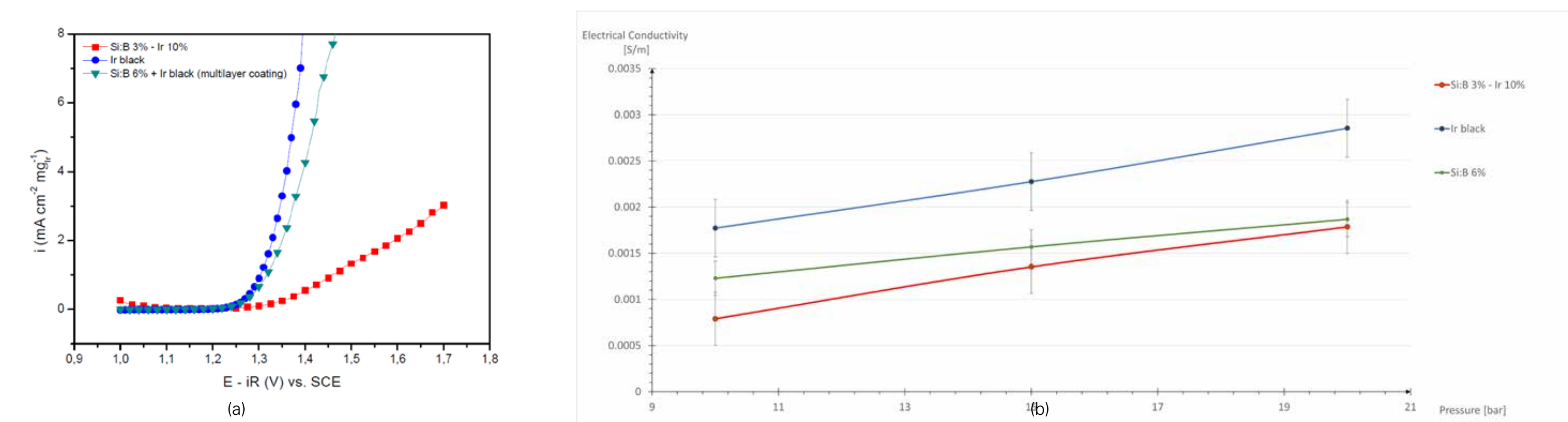


Abb. 3: (a) Potentiodynamische Messung von 1 cm² Ti-Proben, die bei Raumtemperatur in 0.5M H₂SO₄ wurden (pH = 0.3), E_{step} 5 mV s⁻¹, Scangeschwindigkeit 5 mV s⁻¹ und (b) through plane elektrische Leitfähigkeit Messungen auf 2 cm² Proben bei 80°C

Schlussfolgerungen

Die gesamte Prozesskette der Katalysatorsynthese und -verarbeitung ist ein vielversprechender Ansatz, um Elektrokatalysatoren für eine umweltfreundliche und kostengünstige Energieumwandlung zu qualifizieren. Durch die Nutzung einer Si:B-Trägerstruktur wird der Einsatz des hochpreisigen Ir-Katalysators minimiert, wobei das Katalysatorsystem weiterhin vielversprechende Leistungen zeigt. Weitere Arbeiten werden durchgeführt, um die Leistung der synthetisierten Nanopartikel durch in-situ-Tests der präparierten Elektroden in einem hydraulisch verpressten PEMWE-Testsystem zu validieren.

Förderung durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE.NRW) (EFRE-0801480) und die Landesregierung NRW. Weiterer Dank geht an Herrn Prof. Kurumlu, Herrn Prof. Schlüter und Herrn Stromberg für die Nutzung der Laborinfrastruktur für einen Teil der Untersuchungen.