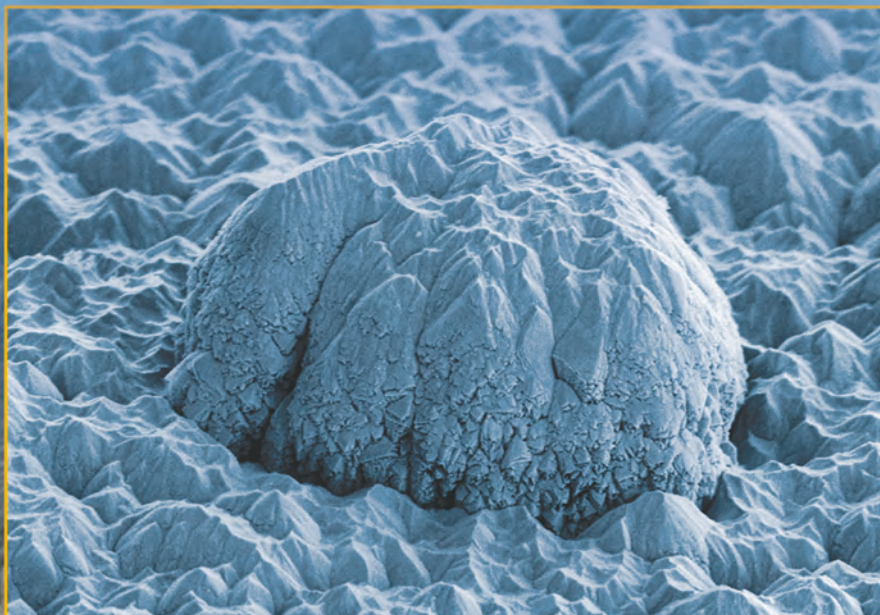




Entwicklung und Herstellung von metallgestützten Festelektrolyt-Brennstoffzellen mit Hilfe des Hohlkathoden-Gasflusssputterns

Markus Haydn

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Werkstoffsynthese und Herstellungsverfahren (IEK-1)

Entwicklung und Herstellung von metallgestützten Festelektrolyt-Brennstoffzellen mit Hilfe des Hohlkathoden-Gasflusssputterns

Markus Haydn

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 180

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-89336-886-0

Inhaltsangabe

1. Einleitung	1
2. Motivation	3
3. Grundlagen	5
3.1. Die Brennstoffzelle	5
3.1.1. Allgemeine Eigenschaften von Brennstoffzellen	5
3.1.2. Die Festoxidelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC)	7
3.1.3. Bauformen für stationäre bzw. mobile Anwendungen	9
3.1.4. Anforderungen an den SOFC-Elektrolyten	10
3.1.5. Herstellung keramischer Bauteile und Schichten	14
3.2. Elektrolytherstellung aus der Gasphase	15
3.2.1. Allgemeine Eigenschaften von Plasmen	15
3.2.2. DC-Hohlkathodenentladung	18
3.2.3. Der GFS-Prozess	20
3.2.4. Wachstum einer Sputter-Schicht	22
4. Experimentelle Arbeiten	25
4.1. Verwendete Untersuchungsmethoden	25
4.1.1. Lichtmikroskopie	25
4.1.2. Rasterelektronenmikroskopie (REM)	26
4.1.3. Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)	27
4.1.4. Röntgendiffraktometrie (XRD)	27
4.1.5. Leckratenbestimmung (Druckanstiegsmethode)	28
4.1.6. Ethanoltröpfentest	29

4.1.7.	Galvanische Schichtfehlercharakterisierung	31
4.1.8.	Porositätsbestimmung	33
4.1.9.	Optische 3-D-Vermessung	33
4.1.10.	Langmuir-Sonden-Messung	33
4.1.11.	Optische Emissions Spektroskopie (OES)	35
4.2.	Aufbau und Herstellungsrouten der MSC	36
4.2.1.	Das poröse Metallsubstrat	36
4.2.2.	Die Metallsubstrat-getragene Zelle (MSC)	38
4.3.	Elektrolytenwicklung im Labormaßstab	42
4.3.1.	Aufbau der Entwicklungsanlage	42
4.3.2.	Beschichtungsablauf und Parameterwahl	45
4.3.3.	Einfluss des Untergrunds auf den Elektrolyten	50
4.3.4.	Konstant abgeschiedene Elektrolyte	50
4.3.5.	Gradiert hergestellte Elektrolyte	52
4.3.6.	Elektrolyte mit „metallischen“ Zwischenschichten	52
4.4.	Elektrolytfertigung im Pilotmaßstab	54
4.4.1.	Aufbau der Anlage	54
4.4.2.	Beschichtungsablauf und verwendete Parameter	57
4.4.3.	Plasmadiagnostische Untersuchungen	57
4.4.4.	Anpassung der Schichtdickenverteilung	59
4.4.5.	Parameterstudie im Pilotmaßstab	60
4.5.	Elektrochemische Charakterisierung	61
4.5.1.	Einzelzelluntersuchung am KIT	61
4.5.2.	Stackuntersuchung in Jülich	62
5.	Ergebnisse und Diskussion	63
5.1.	Elektrolytentwicklung im Labormaßstab	63
5.1.1.	Einfluss der Anodenoberfläche („des Untergrunds“)	63
5.1.2.	Schichtfehler der Anode	68
5.1.3.	Schichtfehler des Elektrolyten	72
5.1.4.	Homogen abgeschiedene Elektrolyte	78
5.1.5.	Gradiert hergestellte Elektrolyte	82

5.1.6. Elektrolyte mit „metallischen“ Zwischenschichten	85
5.2. Elektrolytfertigung im Pilotmaßstab	91
5.2.1. Plasmadiagnostische Untersuchungen	91
5.2.2. Anpassung der Schichtdickenverteilung	96
5.2.3. Parameterstudie im Pilotmaßstab	99
5.3. Elektrochemische Charakterisierung	103
5.3.1. Einzelzelluntersuchung am KIT	103
5.3.2. Stackuntersuchung in Jülich	104
5.4. Simulation der Schichtbildung	106
5.4.1. Annahmen und Ablauf der Simulation	108
5.4.2. Einfluss der Anode auf die theoretische Elektrolytdicke . . .	118
5.4.3. Abgleich mit experimentellen Ergebnissen	120
5.4.4. Simulationsfehler und Fazit	125
6. Zusammenfassung und Ausblick	129
A. Anhang	133
Literaturverzeichnis	163



Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 180
ISBN 978-3-89336-886-0

