



# Charakterisierung und Optimierung der Grenzfläche Elektrolyt/Kathode in metallgestützten Festelektrolyt- Brennstoffzellen

David Rasnanda Udomsilp

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 411

ISBN 978-3-95806-304-4

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

# **Charakterisierung und Optimierung der Grenzfläche Elektrolyt/Kathode in metallge- stützten Festelektrolyt-Brennstoffzellen**

David Rasnanda Udomsilp

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

Band / Volume 411

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-304-4

# Inhalt

Abstract .....	I
Kurzfassung .....	III
Bereits veröffentlichte Teile der Arbeit .....	V
Abkürzungen .....	VII
Inhalt .....	IX
1. Einleitung .....	1
2. Stand der Technik.....	5
2.1. Wirkungsprinzip einer Brennstoffzelle .....	5
2.2. Bauformen von Brennstoffzellen .....	8
2.3. Solid Oxide Fuel Cells – SOFC .....	10
2.3.1. Zellkomponenten und verwendete Werkstoffe .....	12
2.3.2. Kathodenwerkstoffe .....	18
2.4. Das metallgestützte SOFC Konzept – MSC .....	21
2.4.1. Zielsetzungen der Firmen Plansee, AVL und Nissan.....	24
2.4.2. MSC Konzepte anderer Hersteller.....	27
2.4.3. Spezifisches Processing von MSC Kathoden – Herausforderungen und Lösungsansätze .....	31
3. Experimentelle Methoden und Werkstoffe.....	39
3.1. Ausgangswerkstoffe.....	39
3.1.1. Kathodenpulver.....	39
3.1.2. Probenherstellung.....	43
3.2. Analytik .....	45
3.2.1. Partikelgrößenanalyse .....	45
3.2.2. Messung der spezifischen Oberfläche .....	45
3.2.3. Dilatometrie.....	46
3.2.4. Röntgendiffraktometrie – XRD .....	46
3.2.5. Mikroskopie.....	47
3.3. Haftfestigkeitstests .....	48
3.4. Elektrochemie .....	48
3.4.1. EIS.....	51
3.4.2. Zelltests .....	53
4. Ergebnisse & Diskussion – Teil 1: Werkstoffeigenschaften und Prozessierung.....	61

4.1. Ofencharakterisierung .....	61
4.2. Sintereigenschaften .....	63
4.2.1. LSCF .....	63
4.2.2. LSC .....	69
4.2.3. (La,Sr)(Co,Cu,Fe)O <sub>3-δ</sub> .....	71
4.3. Zersetzung und Rekombination der Kathodenwerkstoffe .....	71
4.3.1. LSCF .....	71
4.3.2. LSC .....	79
4.3.3. Komposite mit GDC .....	81
4.4. Haftung und mechanische Stabilität von Siebdruckschichten .....	83
4.4.1. Nanostrukturiertes Kathodenpulver .....	84
4.4.2. Klebestreifentest .....	86
4.4.3. Zeitabhängige Schichteigenschaften .....	94
4.4.4. Geeignete Lagerbedingungen & Schichtmodifikationen .....	97
4.5. Fazit der Vorversuche für die elektrochemische Charakterisierung .....	100
5. Ergebnisse & Diskussion – Teil 2: Elektrochemische Charakterisierung .....	103
5.1. Zellvarianten und Messbedingungen .....	105
5.2. Zelltests mit LSCF am IEK-9 .....	108
5.2.1. Ex situ gesinterte LSCF Kathode .....	108
5.2.2. Optimierte in situ Aktivierung .....	110
5.2.3. Fazit der ersten Zelltests .....	113
5.3. Zelltests mit LSCF bei PSE .....	114
5.3.1. Ex situ gesinterte LSCF Kathoden – Vergleich zu Messungen am IEK-9 und Flussratenabhängigkeit .....	114
5.3.2. Langzeittest mit ex situ gesinteter LSCF Kathode .....	117
5.4. LSC Kathode – Zelltests am IEK-9 .....	120
5.5. LSC Kathode – Zelltests bei PSE .....	123
5.5.1. LSC – Flussratenabhängigkeit und Vergleich zu LSCF .....	123
5.5.2. Langzeittest mit bei 850 °C in situ aktivierter LSC Kathode .....	125
5.6. Zelltest-Studie an der Kyushu Universität und Tests bei Nissan .....	127
5.6.1. Zellen mit ex situ gesinteter LSCF Kathode .....	127
5.6.2. Getestete Zellvarianten .....	128
5.6.3. Ermittlung der elektrochemischen Kennwerte von Zellen mit in situ aktivierter Kathode .....	129
5.6.4. Langzeitbetrieb und Thermozyklierung von Zellen mit LSC Kathode .....	133
5.7. Komposit-Kathoden & (La,Sr)(Co,Cu,Fe)O <sub>3</sub> .....	140
5.7.1. LSCF/GDC .....	141

5.7.2. LSC/GDC.....	143
5.7.3. $\text{La}_{0,58}\text{Sr}_{0,4}\text{Co}_{0,2}\text{Cu}_{0,1}\text{Fe}_{0,7}\text{O}_{3-\delta}$ .....	145
5.8. Mikrostrukturanalyse getesteter Zellen.....	147
5.8.1. Referenzstrukturen von MSC und ASC Kathoden.....	148
5.8.2. Bei 950 °C in situ aktivierte LSCF Kathode .....	149
5.8.3. Ex situ gesinterte LSCF Kathode .....	149
5.8.4. Bei 850 °C in situ aktivierte LSC Kathode .....	150
5.8.5. Bei 950 °C in situ aktivierte LSC Kathode .....	151
5.9. Stand der MSC Entwicklung im Vergleich zu anderen Herstellern.....	152
6. Zusammenfassung .....	159
Literatur .....	167
Danksagung .....	175

Energie & Umwelt / Energy & Environment  
Band / Volume 411  
ISBN 978-3-95806-304-4