



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 _{3-δ} | 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 ₃ | 140 |
| 5.7.1. LSCF/GDC | 141 |

Inhalt

| | |
|--|-----|
| 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