3D-SOEC

3D-gedruckte Festoxid-Elektrolysezellen der nächsten Generation

Programm / Ausschreibung	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschungsprogramm 2024 (KLIEN)	**Status**	laufend
Projektstart	01.02.2025	**Projektende**	31.01.2028
Zeitraum	2025 - 2028	**Projektlaufzeit**	36 Monate
Keywords	Hochtemperatur-Elektrolyse, Festoxid-Elektrolysezelle (SOEC), keramischer 3D-Druck, kombinatorische Materialherstellung, beschleunigte Degradationstests, Gekoppelte CFD/FEM-Simulationen, Defektchemie		

Projektbeschreibung

Hochtemperatur-(Festoxid)-Elektrolysezellen (SOECs) haben enormes Potenzial eine Schlüsselrolle in der Dekarbonisierung verschiedenster Bereiche einzunehmen. Neben Wasserstoff, ermöglichen SOECs außerdem die Produktion von Synthesegas oder Kohlenmonoxid und weisen überdies den höchsten elektrischen Wirkungsgrad aller Elektrolyse-Technologien auf. Aufgrund dieser Eigenschaften könnten sie als hocheffiziente Power-to-X-Technologie in der Stahl-, Zement und chemischen Industrie eingesetzt werden. Außerdem können die erzeugten Produktgase auch gespeichert und später mit reversiblen SOECs wieder verstromt werden. Dies ermöglicht es den Anteil der fluktuierenden Erneuerbaren Energieträger weiter zu erhöhen.

In diesem Projekt wird ein neues Zelldesign entwickelt und mit innovativen Materialien kombiniert, um die Leistungsdichte und Lebensdauer von SOEC-Systemen signifikant zu verbessern. Dafür wird ein keramisches 3D-Druckverfahren angewendet, um Brennstoffelektroden-gestützte Zellen mit erhöhter aktiver Oberfläche im Vergleich zu herkömmlichen planaren Zellen zu fertigen. Außerdem werden Strömungsfelder und Gaskanäle direkt in die Zellen eingebracht. Dies ermöglicht eine Vereinfachung und erhebliche Materialeinsparungen der teuren Interkonnekt-Platten und verringert somit die Herstellungskosten. Vorab werden CFD- und FEM-Simulationen durchgeführt, um bei einer möglichst großen Oberfläche die Gasströmung sowie auch die Strukturmechanik zu optimieren. Die Ergebnisse der Simulationen fließen direkt in die tatsächliche Umsetzung des 3D-Drucks ein. Für den keramischen 3D-Druck der Brennstoffelektroden bestehend aus einem Ni-YSZ Cermet oder aus Gadolinium dotierten Ceroxid wird die Lithography-based Ceramic Manufacturing (LCM)-Methode verwendet.

Da an herkömmlichen Luftelektroden in SOECs häufig gravierende Degradationsphänomene auftreten, wird die vielversprechende Materialklasse der Seltenerd-Nickelate wie z.B. (La,Pr)2NiO4+δ untersucht. Diese Materialien können unter den stark oxidierenden Bedingungen im SOEC-Betrieb zusätzliche Sauerstoff-Ionen aufnehmen. Dies begünstigt den Ionentransport und könnte somit die Bildung von Sauerstoffgas im Zellinneren und die damit verbundene Degradation verhindern. Im Rahmen dieses Projekts wird eine systematische Untersuchung für die optimale Dotierung dieser Materialklasse durchgeführt. Mittels einer kombinatorischen Abscheidemethode wird dabei jeweils die Ca-Dotierung am

(La,Pr)-Platz bzw. die Fe-Dotierung am Ni-Platz untersucht. Damit soll sowohl die thermische Stabilität als auch die Kinetik verbessert werden. Durch den Einsatz von Ca und Fe als Dotiermaterial wird dabei gleichzeitig der Anteil kritischer Rohstoffe (La, Pr, Ni) und somit auch die Kosten reduziert.
Nach der Herstellung dünner YSZ-Elektrolytschichten mittels Sputtern, werden die neu entwickelten Luftelektroden auf die 3D-gedruckten Brennstoffelektroden-Substrate aufgebracht. Somit deckt dieses Projekt die gesamte Zellherstellung ab. Um die Leistung dieser Zellen über die gesamte Lebensdauer zu charakterisieren, sind Langzeitexperimente erforderlich. Übliche Testzeiten dauern mehr als 5000 Stunden und sind daher zeit- und ressourcenaufwändig. Daher werden in diesem Projekt verkürzte Testprogramme entwickelt, welche gezielt beschleunigte Degradation hervorrufen. Dies ermöglicht nicht nur die Vorhersagen des Langzeitverhaltens, sondern auch die Definition passender Betriebsparameter für eine möglichst lange Lebensdauer.

Abstract

High-temperature (solid oxide) electrolysis cells (SOECs) may play a key role in the decarbonization of various sectors. In addition to hydrogen, SOECs also enable the production of syngas or carbon monoxide while also having the highest electrical efficiency of all electrolysis technologies. Due to these properties, they could be used as a highly efficient power-to-X technology in the steel, cement and chemical industry. Moreover, the generated product gases can also be stored and later converted back into electricity using reversible SOECs. This may enable a further increase in the share of fluctuating renewable energy sources.
In this project, a new cell design is being developed and combined with innovative materials to significantly improve the power density and lifetime of SOEC systems. For this purpose, a ceramic 3D printing process is used to produce fuel electrode-supported cells with an increased active surface area compared to conventional planar cells. In addition, flow fields and gas channels are introduced directly into the cells. This enables simplification and considerable material savings of the expensive interconnect plates and thus reduces manufacturing costs. CFD and FEM simulations are carried out in advance in order to optimize the gas flow and structural mechanics while keeping the surface area as large as possible. The results of the simulations are directly implemented in the actual 3D printing process. The lithography-based ceramic manufacturing (LCM) method is used for the ceramic 3D printing of the fuel electrodes consisting of a Ni-YSZ cermet or gadolinium-doped cerium oxide.
Since serious degradation phenomena often occur on conventional air electrodes in SOECs, the promising material class of rare earth nickelates such as (La,Pr)2NiO4+δ will be investigated. These materials can accomodate additional oxygen ions under the strongly oxidizing conditions in SOEC operation. This favors ion transport and could thus prevent the formation of oxygen gas inside the cell and the associated degradation. In this project, a systematic investigation for the optimal doping of this material class will be carried out. Using a combinatorial deposition method, Ca doping at the (La,Pr) site and Fe doping at the Ni site will be investigated. The aim is to improve both the thermal stability and the kinetics. The use of Ca and Fe as doping materials also reduces the proportion of critical raw materials (La, Pr, Ni) and thus also the costs.
After the production of thin YSZ electrolyte layers using sputtering, the newly developed air electrodes are applied to the 3D-printed fuel electrode substrates. This project therefore covers the entire cell production process. Long-term experiments are required to characterize the performance of these cells over their entire lifetime. Typical test periods last more than 5000 hours and are therefore time and resource consuming. Therefore, shortened test programs are being developed in this project, which specifically induce accelerated degradation. This enables not only the prediction of long-term behavior, but also the definition of suitable operating parameters in order to maximize the lifetime.

Projektkoordinator

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Projektpartner

- Lithoz GmbH
- Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik (IWT)