

Brændselsceller bliver voksne

Efter et langt tilløb er brændselsceller – nærmere betegnet såkaldte fastoxid-brændselsceller (SOFC-brændselsceller) – blevet en så voksen teknologi, at den er tæt på at blive bragt ud på det kommercielle marked.

Af Anders Smith

■ Fremtidens energiforsyning er over 150 år gammel. Så længe har princippet bag brændselsceller til fremstilling af elektricitet på en effektiv og miljøvenlig måde været kendt. Imidlertid er de materialemæssige krav til et pålideligt og højtydende brændselscellesystem så store, at teknologien først nu for alvor begynder at gøre sig gældende uden for snævre nicheområder som rumfart. Danske brændselsceller af typen SOFC – udviklet i et tæt samarbejde mellem Risø DTU og Topsoe Fuel Cell – er med helt fremme i kapløbet om at bringe teknologien på markedet.

Brændselsceller sparer omvejen

I en brændselscelle omsættes kemisk energi – lagret i et brændstof som brint eller naturgas – direkte til elektricitet under reaktion med luftens ilt. Det gør det muligt at producere elektricitet mere effektivt. Sædvanligvis fremstiller man nemlig elektricitet ved først at omdanne den kemiske energi til varme

ved afbrænding af brændstof. De varme forbrændingsgasser kan man få til at udføre et mekanisk arbejde i et stempel (f.eks. i en dieselgenerator) eller en turbine (f.eks. i et kraftværk), hvorefter det mekaniske arbejde kan omsættes til elektricitet. I en brændselscelle sparer man omvejen over varme og mekanisk arbejde. Derfor kan virkningsgraden (forholdet mellem den producerede elektriske energi og den varmemængde, man kan få ved fuldstændig forbrænding af brændslet) blive højere.

Den afgørende elektrolyt

En brændselscelle består af en anode og en katode, adskilt af en elektrolyt. Nøglen til brændselscellens virkemåde ligger i elektrolytten. Den består af et stof, der ikke tillader gasmolekyler at passere, men kun helt specifikke ioner (dvs. atomer med et overskud eller underskud af elektroner). På den ene side af elektrolytten leder man brændsel (i det følgende eksemplificeret som

brint) til, mens man på den anden side tilleder ilt. På denne måde adskiller man de to halvdele af forbrændingsreaktionen $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, der som skrevet her, blot frigiver varme. I stedet bliver der to halvreaktioner, som for brændselscelletypen SOFC (jf. nedenfor) ser således ud: $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$ (katode) og $2\text{H}_2 + 2\text{O}^{2-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ (anode). Resultatet bliver, at man "pumper" elektroner (e^-) fra katoden til anoden; elektronerne kan så udføre et elektrisk arbejde i et ydre kredsløb (se boks).

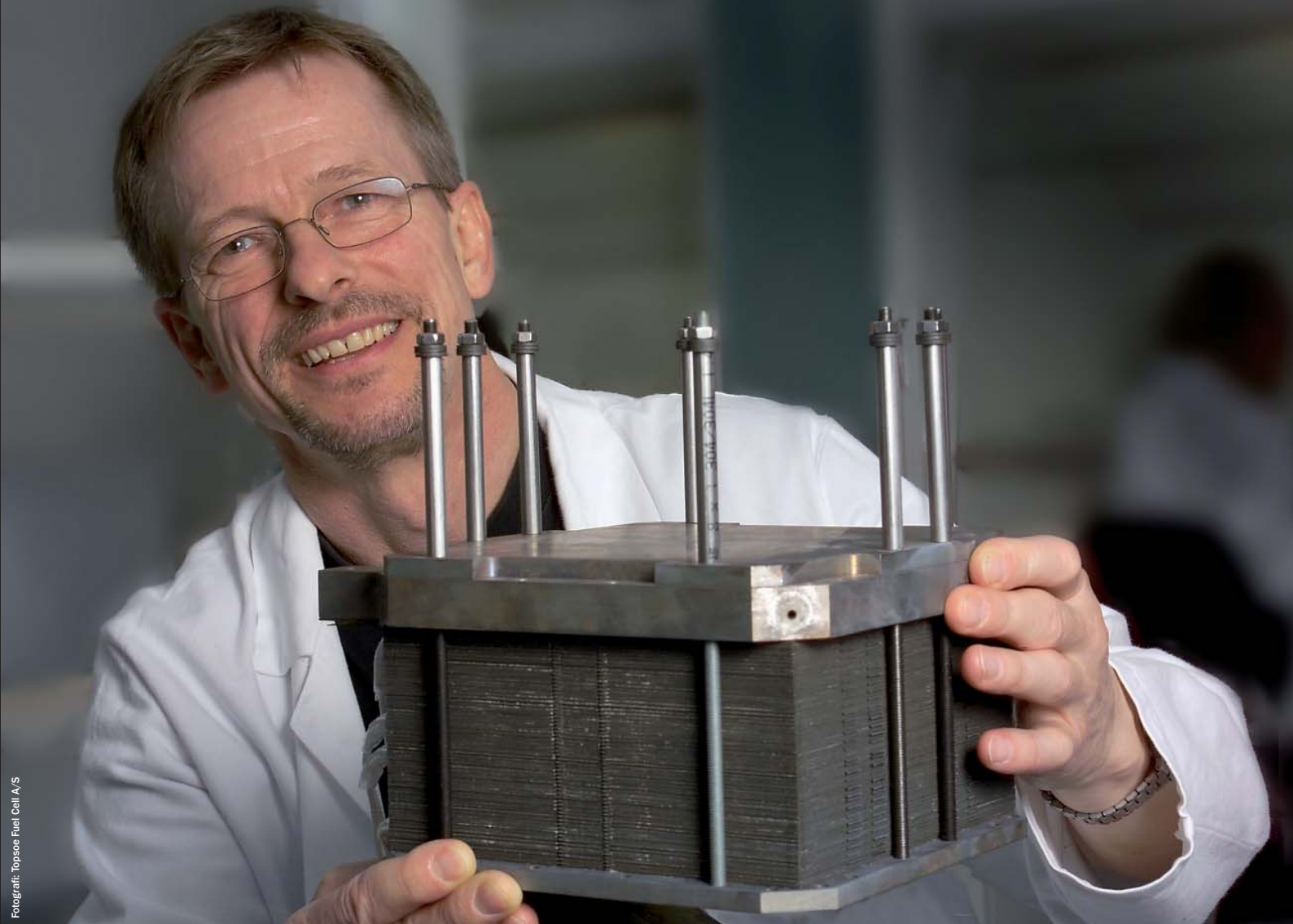
Elektrolytten, der er hjertet i brændselscellen, lægger også navn til den. F.eks. består elektrolytten i PEM-brændselsceller (Polymer Electrolyte Membrane) af en tynd film af et polymermateriale, som tillader brintioner (eller mere præcist H_3O^+ -ioner) at passere. Og i en SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) består elektrolytten af et keramisk materiale (en solid oxide – på dansk et fastoxid), som kan transportere iltioner (O^{2-}). PEM med en driftstem-

peratur på omkring 100 °C (op mod 250 °C for visse typer) og SOFC med en driftstemperatur på 650-850 °C er de to mest lovende typer og de to, som forskningen i Danmark koncentrerer sig om.

SOFC har en række principielle fordele: Der indgår ikke ædelmetaller i elektroderne, cellen kan udnytte mange forskellige brændsler og tåler flere urenheder i brændslet, og virkningsgraden bliver højere pga. den høje driftstemperatur. På den anden side bliver de omgivende komponenter i et komplet system noget dyrere, da de skal kunne tåle høj temperatur. Desuden er opstartstiden alt andet lige længere end for et PEM-system.

Stadig store udfordringer

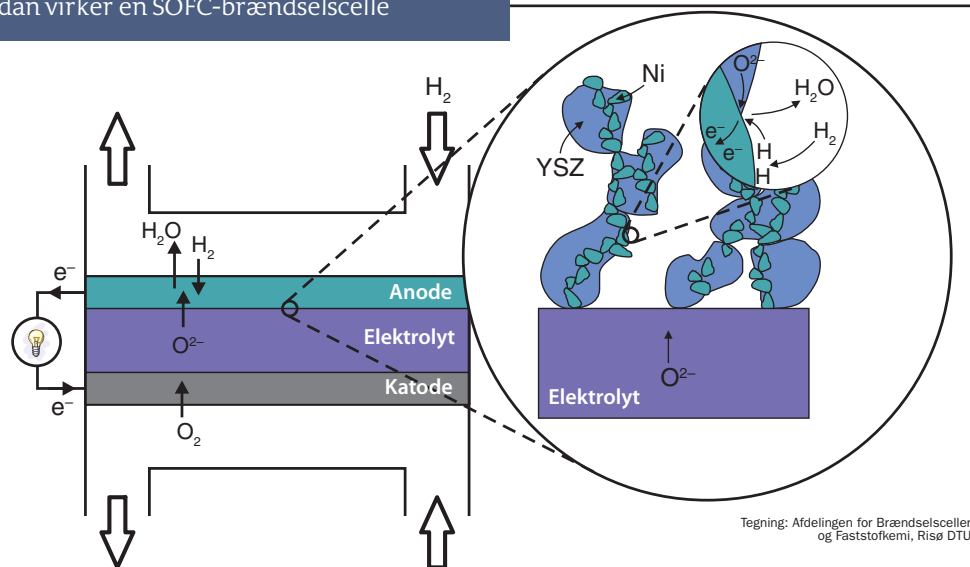
Selv om man har forsket i brændselsceller i mange år, er der stadig store materialeteknologiske udfordringer. Det gælder nemlig om at kunne styre materialernes struktur og egenskaber helt ned på nanoskala, samtidig med at de befinder sig i et hårdt



SOFC-brændselsceller forbundet i serie i en såkaldt stak. Hver brændselscelle er på $18 \times 18 \text{ cm}^2$ med en tykkelse på under $0,5 \text{ mm}$. De forbindes med tynde plader af specielt stål, der dels sørger for den elektriske forbindelse, dels adskiller luft og brændsel. Stakken kan give en elektrisk effekt på $2,5 \text{ kilowatt}$, nok til en gennemsnitlig husstands elektricitetsbehov.

kemisk miljø og skal kunne holde til mange tusind timer under drift. Reaktionen i anoden og katoden involverer tre slags partikler: ioner, elektroner og gasmolekyler. De kan derfor kun forløbe der, hvor både ionledende og elektronledende materiale mødes, og der samtidig er adgang for reaktionsgasserne. For at gøre disse såkaldte trefasegrænser så lange som muligt – og dermed minimere cellernes indre tab – skal de to elektroder dels være porøse, dels bestå af så små partikler som muligt, gerne helt ned til nanostørrelse. Problemet er imidlertid, at små partikler har en tendens til at smelte sammen og blive til større partikler, når temperaturen er høj. Desuden vil der altid være urenheder til stede – både i elektrodematerialerne og i gasserne – som har en uheldig forkærlighed for netop at sætte sig i trefasegrænserne.

Sådan virker en SOFC-brændselscelle



Tegning: Afdelingen for Brændselsceller og Faststofkemi, Risø DTU

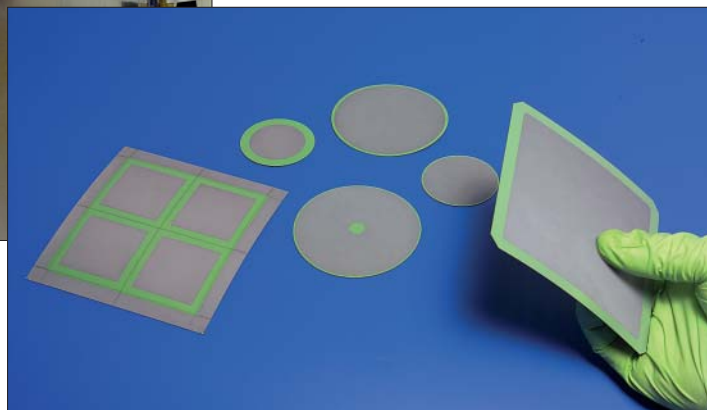
Figuren viser princippet i en SOFC-brændselscelle. Iltmolekyler (O_2) omdannes ved katoden til iltioner (O^{2-}) under tilførsel af elektroner. Iltionerne kan – i modsætning til molekylerne – passere gennem den keramiske elektrolyt. Ved anoden reagerer de med brint under dannelse af vand. Derved opstår der en forskel i elektrisk potential mellem

anode og katode, og de elektroner, der frigøres ved anoden, kan udføre et nyttigt arbejde i et ydre kredsløb (vist som en elpære). Det forstørrede billede viser skematisk den porøse struktur af anoden, som består af det keramiske materiale YSZ samt metallet nikkel. Hastigheden af de kemiske reaktioners forløb afhænger afgørende af anodens mikrostruktur.



Fotos: Afd. for Brændselsceller og Faststofkemi, Risø DTU

← Båndstøbningsmaskinen (tape casteren), der er en del af præ-pilotanlægget på Risø DTU. Brændselscellerne fremstilles af tynde lag af keramik og/eller metal, der efter formgivning brændes (sintres) til det færdige emne.



Her ses færdige brændselsceller i forskellige geometrier. →

Udfordringen er ikke bare at finde materialer og strukturer, der er velegnede, men i lige så høj grad at finde måder at fremstille dem på, som vil være industrielt relevante. Udviklingsarbejdet koncentrerer sig for SOFC hovedsagelig om keramiske fremstillingsprocesser som båndstøbning (tape casting – en proces, hvor man støber tynde baner af keramiske materialer), sprøjtning og silketryk, der er forholdsvis billige og velkendte i andre industrielle sammenhænge.

Kommerciel anvendelse er lige om hjørnet

På Risø DTU har man forsket i SOFC siden slutningen af 1980'erne, men især fra omkring 2000 er indsatsen blevet intensiveret med et omfattende samarbejde med virksomheden Topsoe Fuel Cell (der er ejet af Haldor Topsoe A/S). I dag er der over 50 personer involveret i den forskning og udvikling, som finder sted i Afdelingen for Brændselsceller og Faststofkemi på Risø DTU. Her har man opbygget en omfattende viden om fremstilling og test af brændselsceller og på et såkaldt præ-pilotanlæg kan man i dag rutinemæssigt fremstille tusindvis af SOFC-brændselsceller. De gode resultater man har opnået, har ført til at Topsoe Fuel Cell er ved at opføre en fabrik i pilotstørrelse, der vil mangedoble produktions-

kapaciteten og gøre det muligt at demonstrere teknologien i praktiske anvendelser. Sideløbende hermed fortsætter forskningen og udviklingen, både hos Topsoe Fuel Cell og på Risø DTU. En vigtig indsats sigter på at reducere driftstemperaturen (til omkring 650 °C) og øge robustheden ved at erstatte cellens bærende keramiklag med et porøst metallag. Sådanne celler vil være velegnede til supplerende strømforsyninger i f.eks. lastbiler, hvor man i dag bruger ineffektive og forurenende dieselmotorer. Andre vigtige forskningsområder er en forbedret forståelse af de fundamentale processer, herunder hvordan virkningen af urenheder imødegås; udvikling af nye og bedre elektrodematerialer; og fortsat karakterisering af brændselscellerne på alle niveauer fra deres mikrostruktur til deres elektriske ydelse og holdbarhed.

Selv om brændselscelleteknologien nærmer sig en kommerciel anvendelse, vil der derfor være nok at gøre for forskerne, også i de kommende år.

Interessante sidegevinster

Forskningen inden for SOFC kaster også interessante anvendelser af sig i en række andre sammenhænge. Her skal til slut blot nævnes to:

Når man har en brændselscelle, kan det synes oplagt at forsøge at køre den "baglæns",

således at den virker som en elektrolysecelle, dvs. spalter vand til ilt og brint under tilførsel af elektricitet. Sådanne fastoxid-elektrolyseceller (SOEC – Solid Oxide Electrolysis Cells) kan bruges til fremstilling af brint ud fra overskudsenergi fra f.eks. vindmøller. Da processerne forløber ved en forholdsvis høj temperatur, bliver den termodynamiske virkningsgrad meget høj. Desuden kan man elektrolysere kuldioxid til CO, således at en SOEC kan fremstille syntesegas – en blanding af brint og CO, der er udgangspunkt for en lang række synteser i den kemiske industri. Dette er en måde at fremstille flydende transportbrændsler på.

En anden anvendelse tager udgangspunkt i brændselscellens elektrolyt, der jo er uigennemtrængelig for luftens molekyler og kun tillader iltioner at passere. Det kan udnyttes i en iltmembran, som kan fremstille ren ilt fra luft. Hvis forbrændingen i f.eks. et kraftværk sker i ren ilt i stedet for i luft, bliver det væsentlig lettere at opfange og gemme den CO₂, der dannes i forbrændingsprocessen. CO₂-adskillelse forventes at blive en afgørende teknologi for kul-kraftværker, hvis man skal nedbringe CO₂-udledningen.

Disse og en række beslægtede emner er også aktive forskningsområder på Risø DTU. ■

Om forfatteren



Anders Smith er specialkonsulent, ph.d. Afdelingen for Brændselsceller og Faststofkemi Risø DTU
Tlf.: 4677 5846
E-mail: anders.smith@risoe.dk

Videre læsning

A. Smith og M. Mogensen: *Brændselscellers fysik og kemi. Kvant, 1-04 (marts 2004), s. 14-20*

A. Smith og S. Linderoth: *Nanoteknologi og materialekemi. Dansk Kemi 85, nr. 12 (2004), s. 18-20*

S. Linderoth og A. Smith: *Worldwide SOFC overview from a Scandinavian and a European perspective. Ceram. Eng. Sci. Proc. 28 nr. 4 (2007), s. 3-13*

(Artiklerne er tilgængelige på www.sofc.dk)