



KIETŪJŲ OKSIDŲ KURO ELEMENTAI – Solid Oxide Fuel Cells (SOFC)

**VU profesorius emeritas, habilituotas fizinių mokslų daktaras
Antanas Feliksas Orliukas**

CV nuotrupos

1971m. baigtos VU Fizikos (radiofizikos) kurso studijos ir pripažinta fiziko specializacija;

(1971- 1973) m. - vyr. laborantas;

(1973 – 1976) m.-VU aspirantas (dabartinėje gradacijoje - doktorantas);

1976 m. apgynė fizikos – matematikos mokslų kandidato disertaciją (1993 m. šis darbas nostrifikuotas ir jam buvo suteiktas gamtos mokslų daktaro laipsnis);

(1976 – 1978) m. - asistentas;

(1978 – 1981) m. - vyr. dėstytojas;

(1981 – 1996) m. – docentas (nostrifikuotas 1993 m.);

(1989-1993) darbas Ciuricho technologijos institute ETH (Šveicarija);

1995 m. apgynta Fizinių mokslų habilitacinę disertaciją ir suteiktas habilituoto daktaro mokslinis laipsnis;

(1996/1997) m. vykdė projektinius mokslinius tyrimus tarp VU ir Motorolos mokslinio tyrimo centro Atlantoje (JAV);

(1996 - 2016) m. -radiofizikos katedros profesorius;

1997 m. - Lietuvos mokslo premijos, 2009 m. Vilniaus Universiteto Rektoriaus mokslo premijų laureatas;

(2006-2007) m. LR nusipelnęs mokslininkas-stipendijatas;

2004 m. Maino universiteto (Prancūzija) vizituojantis profesorius;

(2001-2003) m. Latvijos universiteto vizituojantis profesorius;

(2012-2014) m. vykdė projektinius mokslinius tyrimus tarp VU ir Nacionalinio Cheng Kung Universito (Tainan, Taivanas);

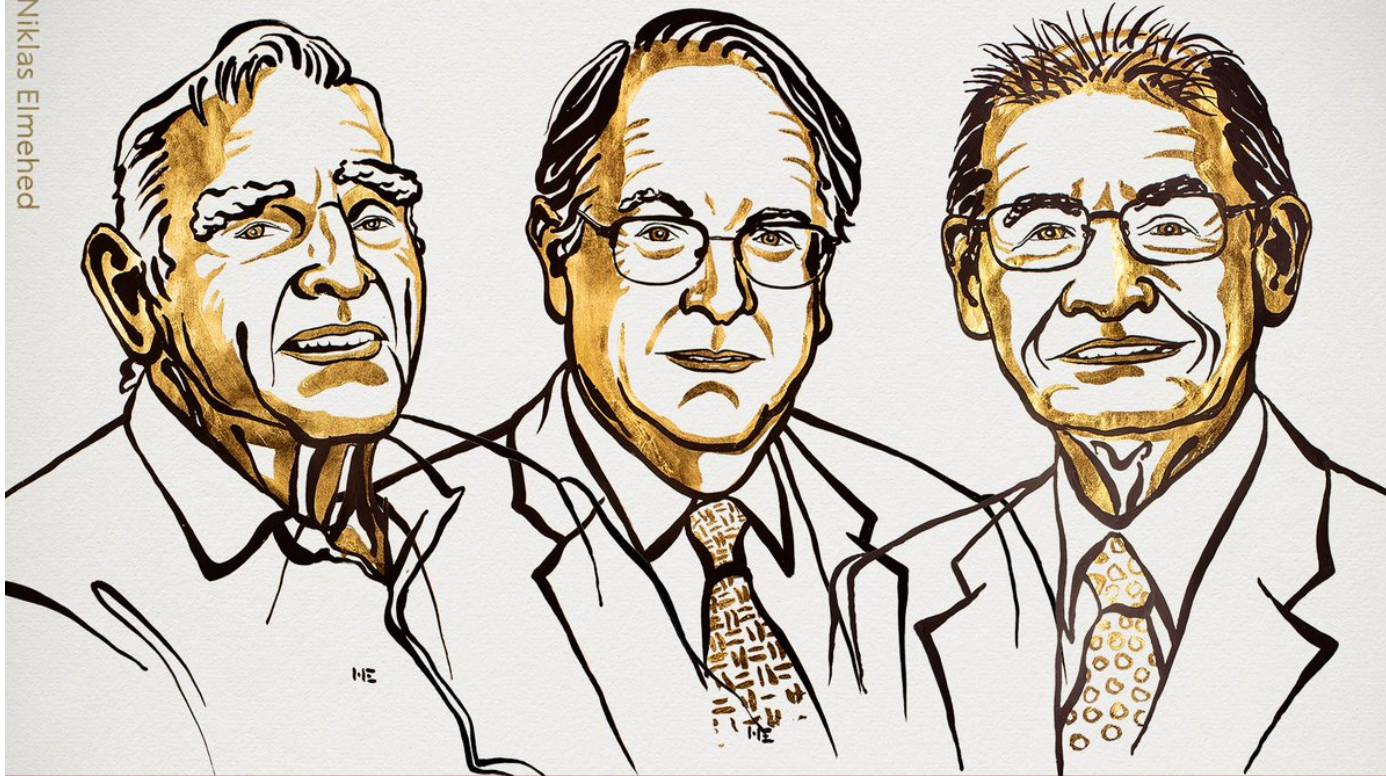
2016 m. suteiktas VU profesoriaus emerito vardas.

BUS KALBAMA:

- 1. Kaip suprantami kietieji oksidai, kurie naudojami kuro elementų gamyboje;**
- 2. Kuro elementų struktūra ir jų veikimo principas. Vandens oksidacija;**
- 3. Medžiagos, kurios naudojamos kuro elementų gamyboje;**
- 4. Dabartiniai atsiekimai taikant kuro elementus energetikoje;**
- 5. Ko tikimasi iš kuro elementų taikymo elektros energijos gamyboje;**
- 6. Išvados.**

THE NOBEL PRIZE IN CHEMISTRY 2019

Illustrations: Niklas Elmehed



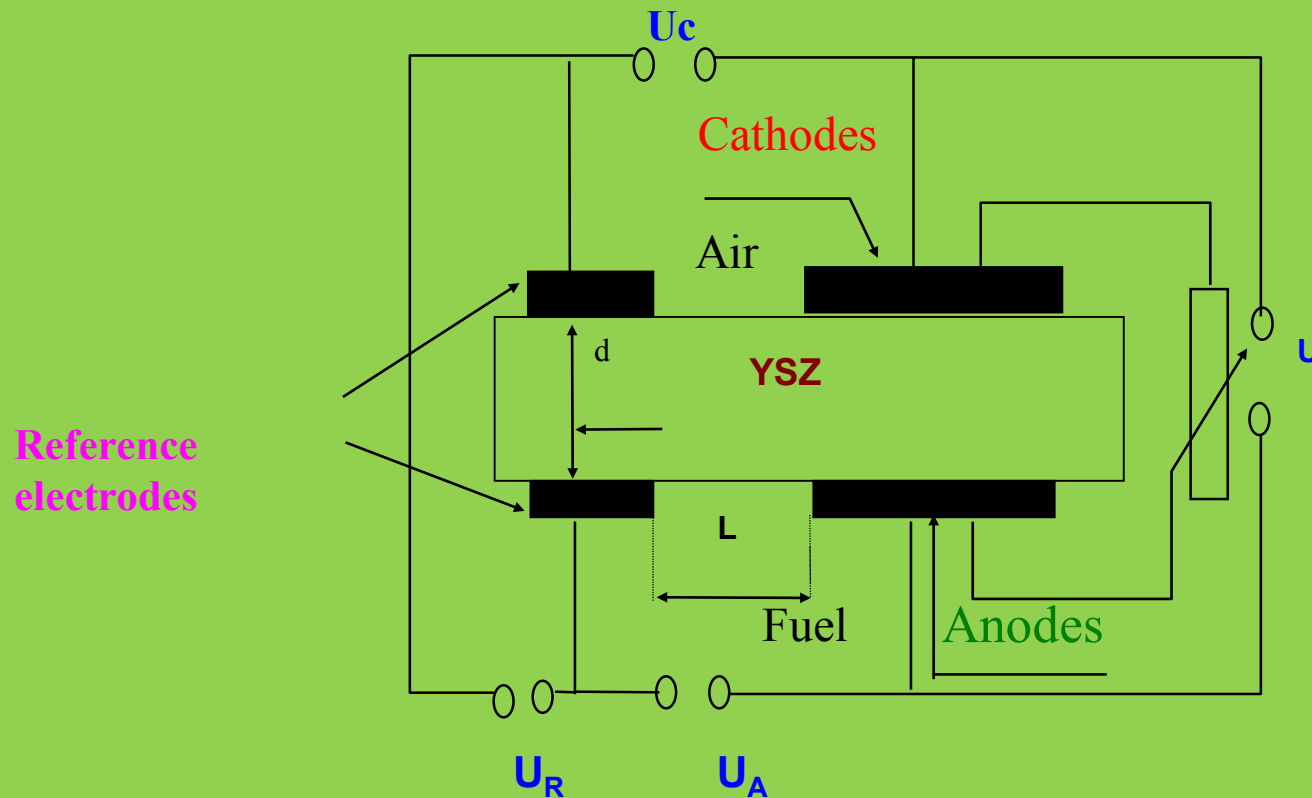
John B.
Goodenough

M. Stanley
Whittingham

Akira
Yoshino

“for the development of lithium-ion batteries”

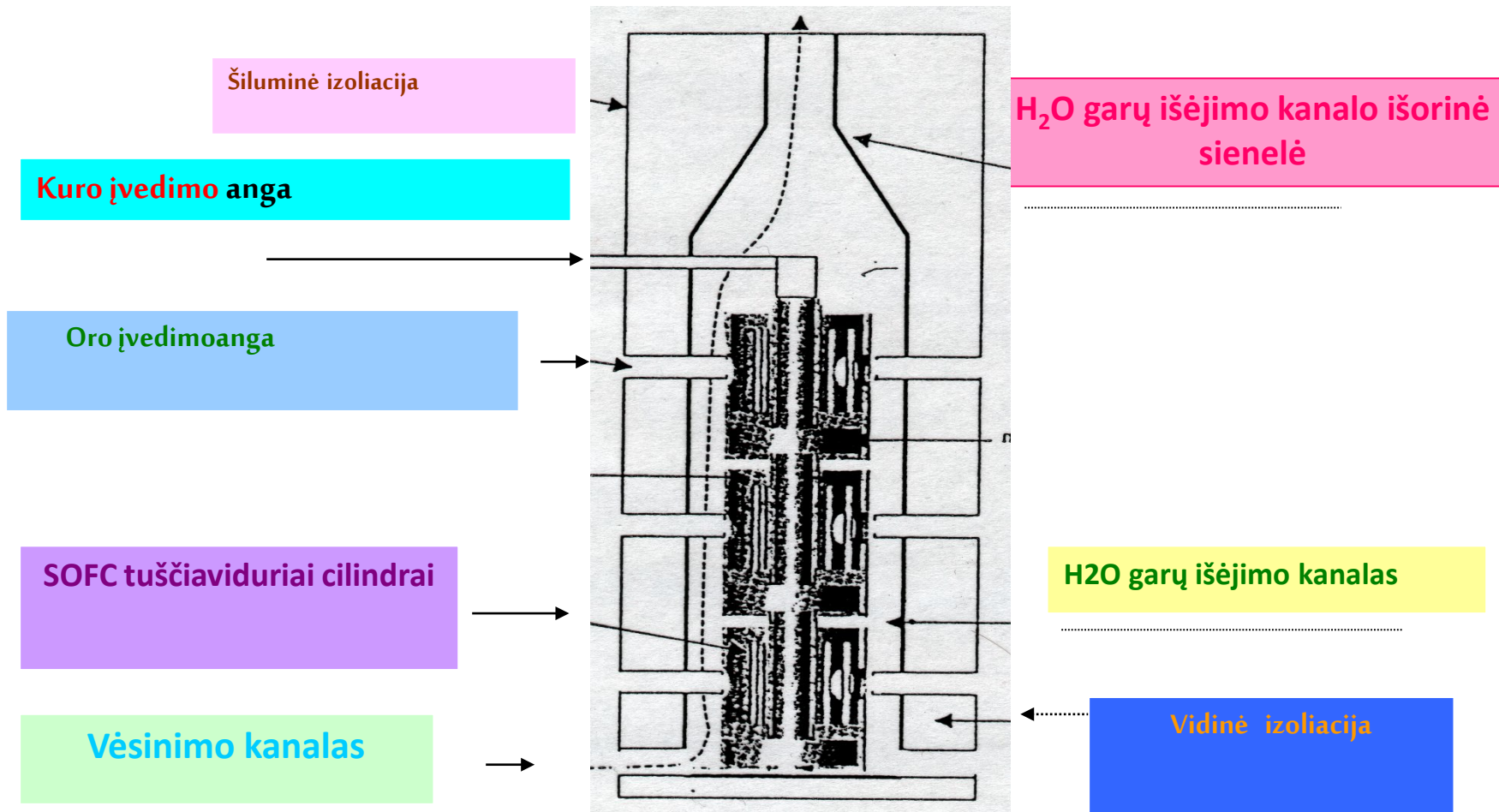
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



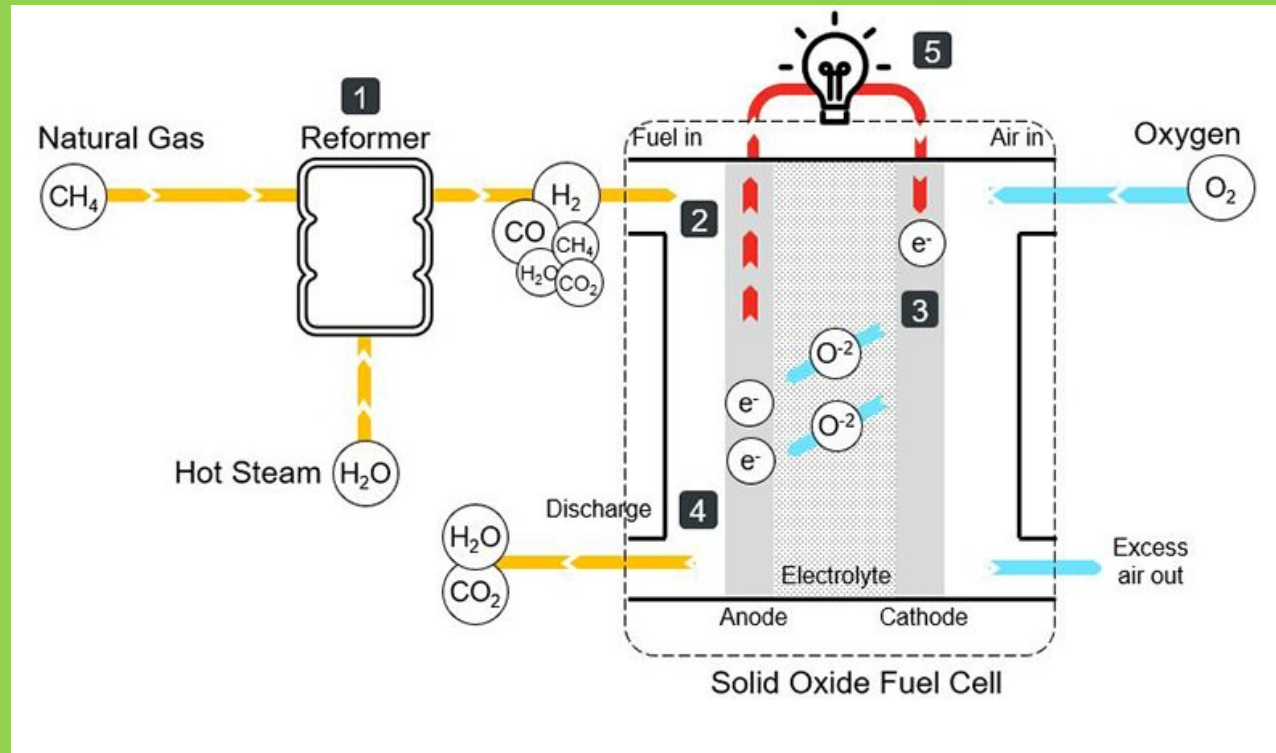
Reikalavimai SOFC :

- Žema darbinė temperatūra (500 – 600) C;
- Aukštos elektrolito joninio laidumo vertės;
- Aukštos elektrodų joninio ir elektronio laidumų vertės;
- Aukšti elementų galios tankiai, esant mažoms masėms ir tūriams;
- Aukšti elementų naudingumo koeficientai (60 – 70)%;
- Pigios elektrodų ir elektrolitų medžiagų kainos.

Solid oxide fuel cells (SOFC)



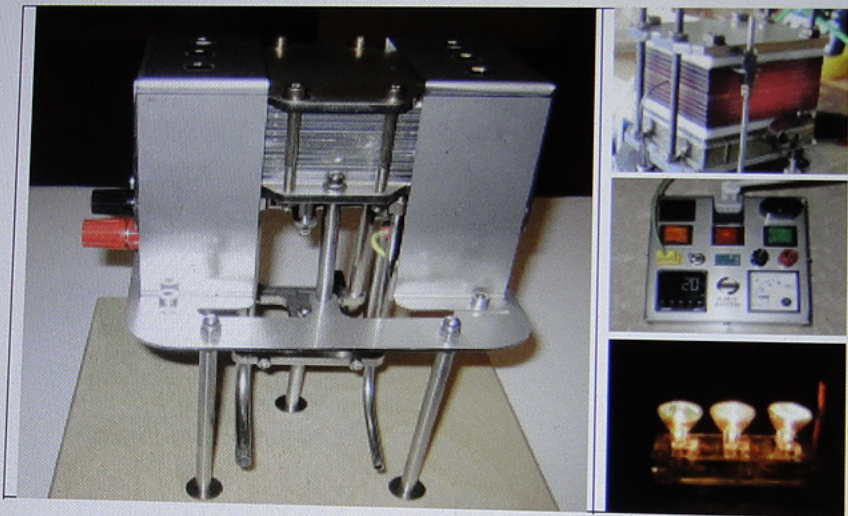
Cilindrinės formos SOFC modulis



UBOCELL SOFC "Open Air" Demonstration Set

For table-top "open air" demonstrations of SOFC technology. Internally heated stack. Operation temperature of 800°C reached in six minutes. Stack read hot soon after. Power from hydrogen and air. Output of 60 W at 12 VDC demonstrated by three shining lights. Other users may be connected for convincing experiments. K-type thermocouple, UBOCELL Control Box and lamp set.

Prices for complete set: 115 VAC: CHF 10,900, EUR 10,100, USD 12,000
230 VAC: CHF 11,500, EUR 10,700, USD 12,600



Technical Data

Dimensions L x W x H	200 mm x 200 mm x 210 mm (7.87" x 7.87" x 8.27")
Number of cells:	16
Performance (700°C):	OCV ≈ 17 V, P = 80 W at 12 V for H ₂ and air
Cells:	0.4 mm anode-supported, anodes reduced before stack assembly
Cell material:	Anode: Ni-Cermet, electrolyte: ZrO, cathode: LSM
Bipolar and end plates:	1 mm Crofer 22, with etched flow fields
TC center plate:	4 mm Crofer 22 for placement of one thermocouple near stack center
Compression plates:	4 mm stainless steel: 316L (1.4305)
Electrical insulation:	1 mm Al ₂ O ₃
H ₂ and air supplies:	Front of bottom compression plate.
Exhausts:	Rear of bottom compression plate.
Heating power:	Mounted C14 plug
Start-up time:	6 minutes to 800°C
Delivery time:	Four weeks after placement of order

ALMUS AG

Dr. Ulf Bossel
Morgenacherstrasse 2F
CH-5452 Oberrohrdorf
Switzerland
+41-56-496-7292
info@almus-ag.ch

UBOCELL
by U. Bossel

**Cathodes materials: LSM (La-Sr-Mn-O),
LSC (La-Sr-Co-O), LSCF (La-Sr-Co Fe-O)**

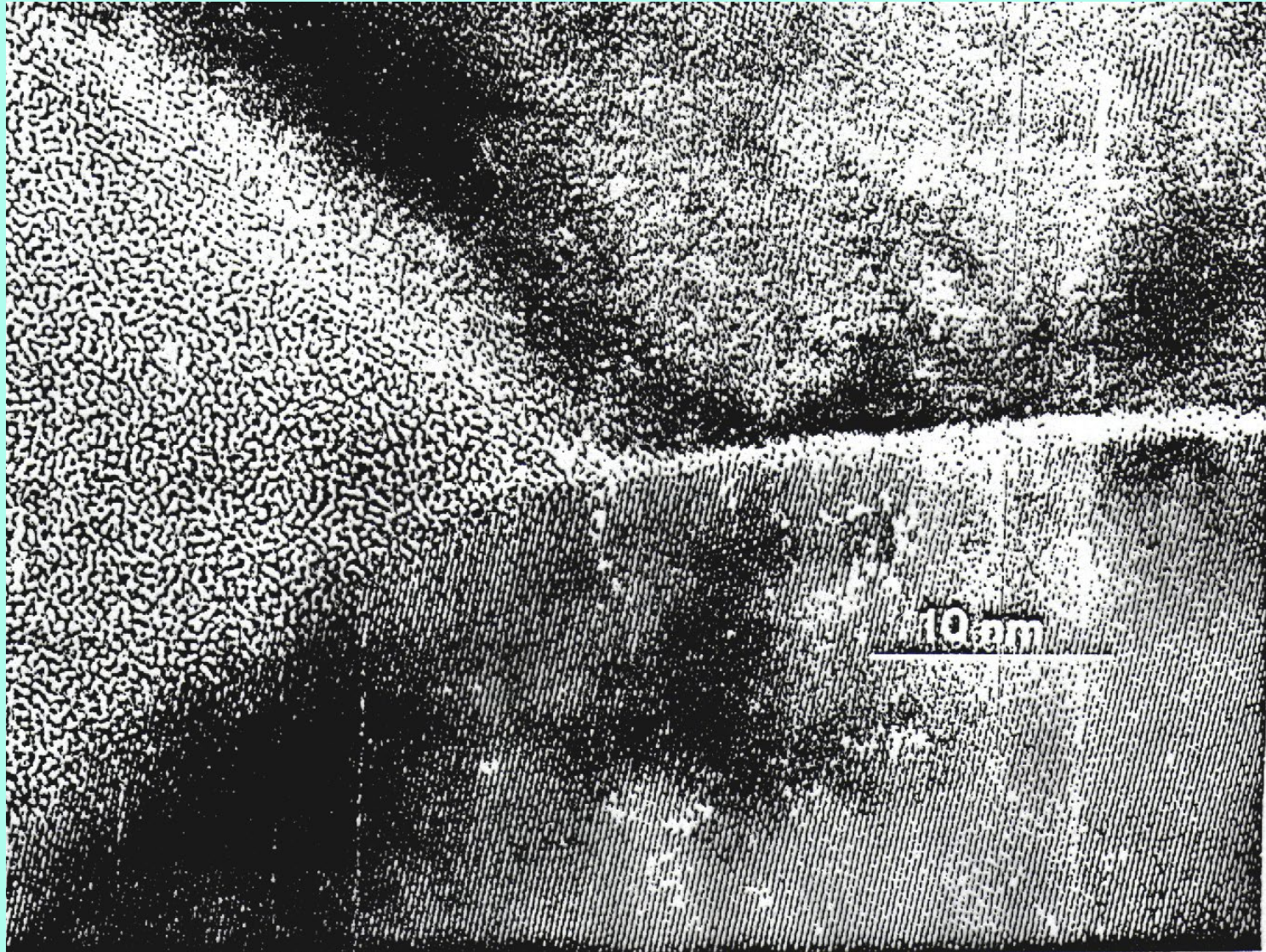
Anodes materials : different Ni- cermet's

NiO + (8YSZ) 92 mol% ZrO₂ 8 mol% Y₂O₃

YSZ, GDC, SDC composition, S_{BET} of the powder theoretical and relative densities of the ceramics.

Composition	S_{BET} , m ² /g	$D_{\text{theoretical}}$, g/cm ³	d , %
(20 GDC) Gd _{0.2} Ce _{0.8} O _{1.9}	220	7.24[3]	95.0
(20 SDC) Sm _{0.2} Ce _{0.8} O _{1.9}	212	7.15[1]	94.0
(15 SDC) Sm _{0.15} Ce _{0.85} O _{2-δ}	195	7.22[5]	94.0
(15 SDC) Sm _{0.15} Ce _{0.85} O _{1.925}	203	-	94.0
(15 SDC) Sm _{0.15} Ce _{0.85} O _{1.925}	8	-	92.0
(10 GDC) Gd _{0.1} Ce _{0.9} O _{1.95}	6.44	7.21[2]	97.0
(10 GDC) Gd _{0.1} Ce _{0.9} O _{2-δ}	201	-	95.0
(8YSZ) 92 mol% ZrO ₂ 8 mol%Y ₂ O ₃	1.67	5.96[4]	97.0
92 mol% ZrO ₂ 8 mol%Y ₂ O ₃	12.4	-	95.0

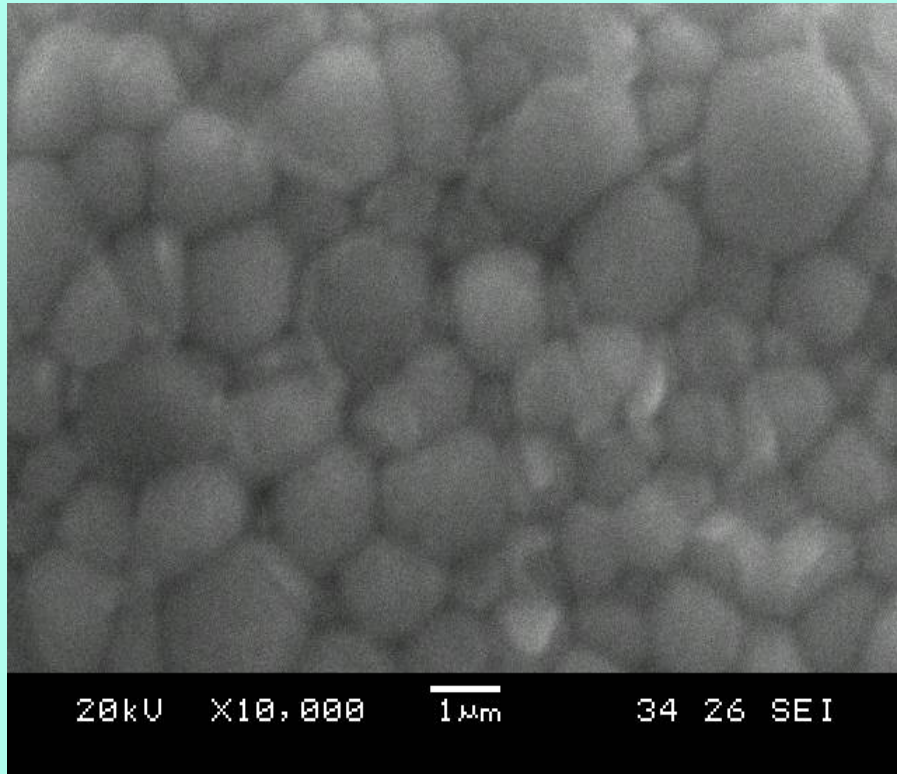
1. H.B.Li et al. Acta Mater. 54(2006)721;
2. K.Huang et al. J. Amer. Ceram. Soc. 81(1998)357;
3. G.Chiadeli et al. Sol. State Ioncs, 176(2005)1505;
4. H.Liu et al. Mat. And Design, 31(2010)2972;
5. C.Jiang et al. Power Sources, 165(2007)134.



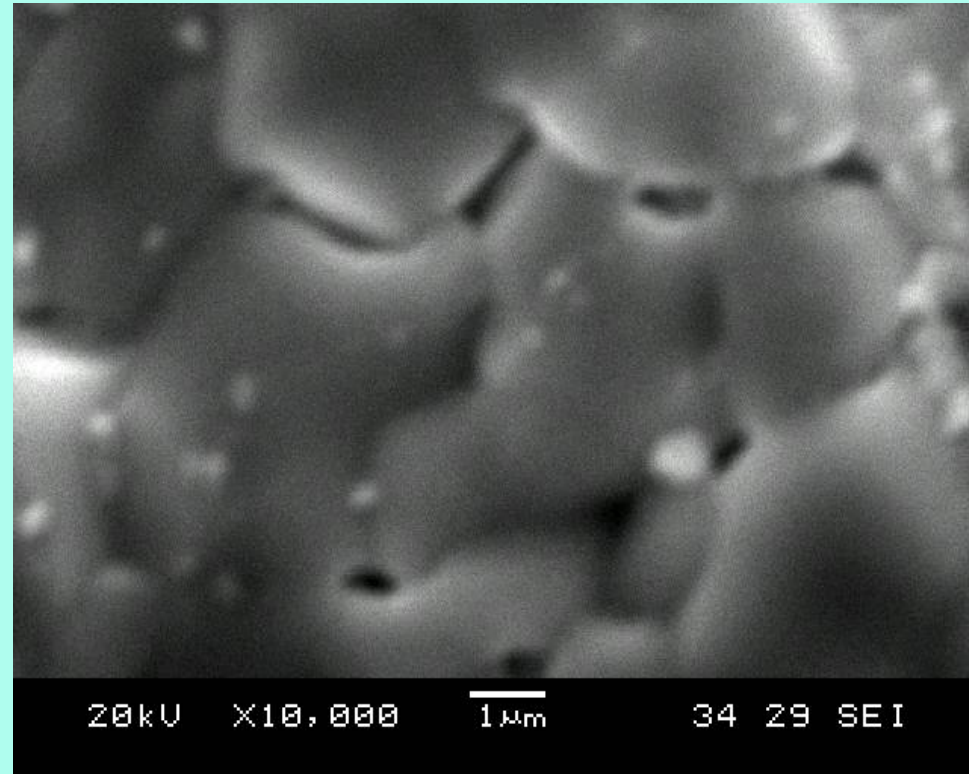
Sintering 4 h at $T = 1600\text{K}$

YSZ ceramic - nanostructure

LR Seimas – 2021 – 11- 10



a) Sintering 4 h at $T = 1600$ K



b)

SEM images of $\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$ ceramics sintered from powder with $S_{\text{BET}} = 158.03 \text{ m}^2/\text{g}$ (a) and $S_{\text{BET}} = 6.44 \text{ m}^2/\text{g}$ (b)

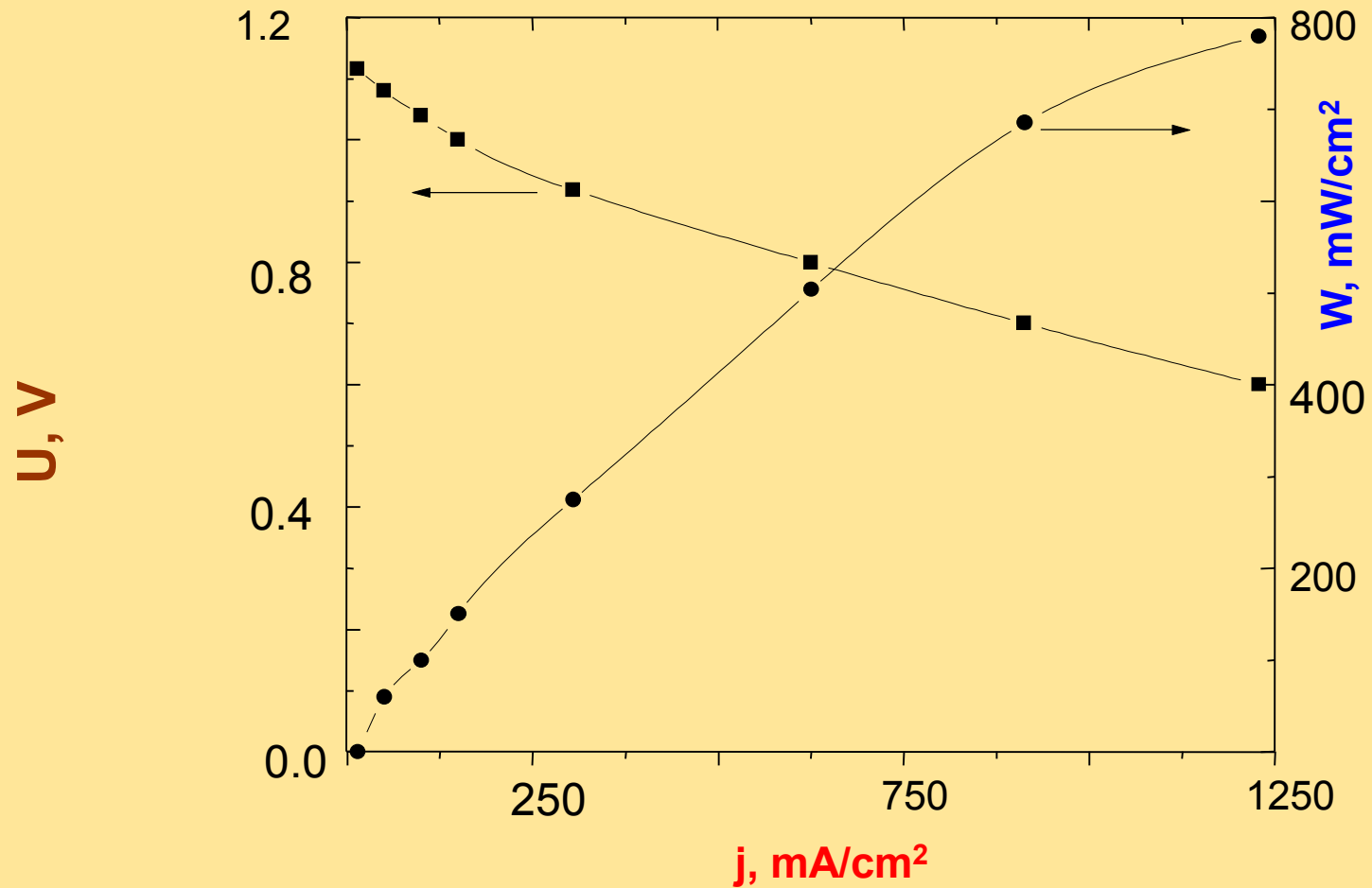
Total ionic conductivities (σ_{tot}) and their activation energies (ΔE_{tot}) of GDC, SDC, 8YSZ ceramics at 700 K.

Composition	S_{BET} , m ² /g	σ_{tot} , S/m	ΔE_{tot} , eV
20GDC	220	0.094	1.12
10GDC	6.44	0.19	1.22
15SDC	8	0.056	1.19
15SDC	203	0.041	0.83
8YSZ	1.67	0.004	0.98
8YSZ	12.4	0.019	1.03

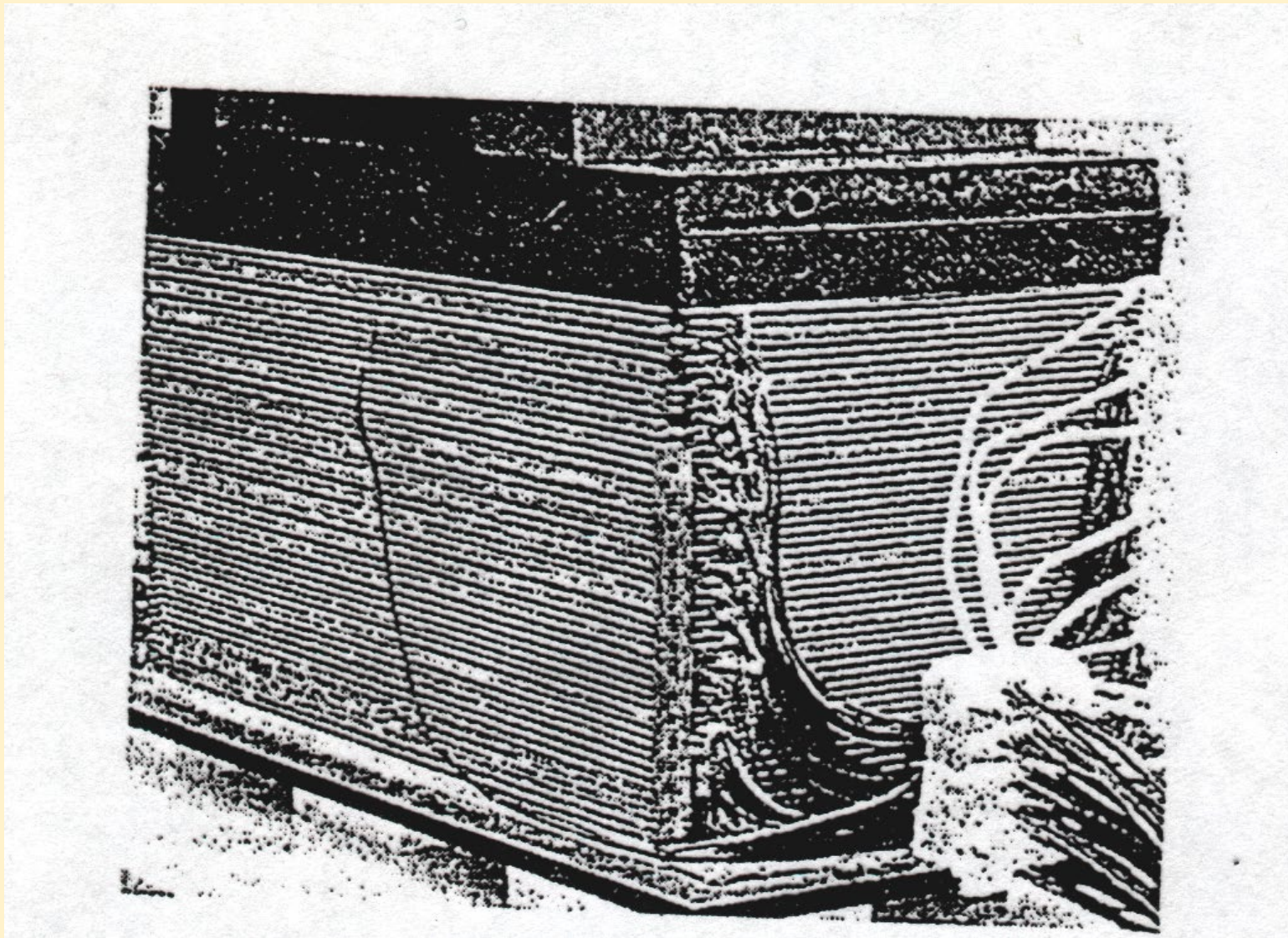
$$\sigma = q \cdot N \cdot \mu$$

Bulk ionic conductivities (σ_b) and their activation energies (ΔE_b) of SDC, GDC and 8YSZ ceramics at 700 K.

Composition	BET, m ² /g	σ_b , S/m	ΔE_b , eV
15SDC	8	$2.70 \cdot 10^{-1}$	0.71
15SDC	203	$2.71 \cdot 10^{-1}$	0.70
10GDC	201	$2.88 \cdot 10^{-1}$	0.66
10GDC	6.44	$2.86 \cdot 10^{-1}$	0.66
8YSZ	1.67	$7.63 \cdot 10^{-2}$	0.99
8YSZ	12.4	$7.60 \cdot 10^{-2}$	0.99



Storasluoksnio SOFC $U - j - W$ charakteristikos



5kW SOFC modulus pagal S.P.S. Badwal ir K. Foger

JAV SOFC PROGRAMOJE DIRBA:

1. NACIONALINIS KOMERCINIS STANDARTŲ IR TECHNOLOGIJŲ DEPARTAMENTAS

2. FEDERALINIS ENERGETIKOS TECHNOLOGIJŲ CENTRAS

3. GYNYBOS DEPARTAMENTAS

4. DUJŲ TYRIMO INSTITUTAS

5. ELEKTRINIŲ IŠTEKLIŲ TYRIMO INSTITUTAS

6. BERKLIO LAWRENCO LABORATORIJA

7. KALIFORNIJOS UNIVERSITETAS

VISŲ MINĖTŲJŲ ORGANIZACIJŲ ŠIUOS DARBUS FINANSUOJA:

1. CERAMATEC

2. ZTEK

3. TECHNOLOGIJŲ VALDYBOS

4. GIMINGŲJŲ SIGNALŲ AEROVISATOS KORPORACIJA

AUSTRALIJOJE SOFC GAMINAMI KERAMIKINIŲ KURO GARDELIŲ LABORATORIJOJE

EUROPOJE:

DIRBAMA ŠVEICARIJOJE, ANGLIJOJE, VOKIETIJOJE, PRANCŪZIJOJE, DANIJOJE

State-of-the-art SOFC

Unfortunately, the dominant SOFC developers aim at stationary applications. Such ceramic solutions are indeed heavy, sluggish, expensive and fragile and must be operated at high temperatures. But totally different SOFCs are presently developed for mobile applications. The following results, **Table 1**, have recently been presented:

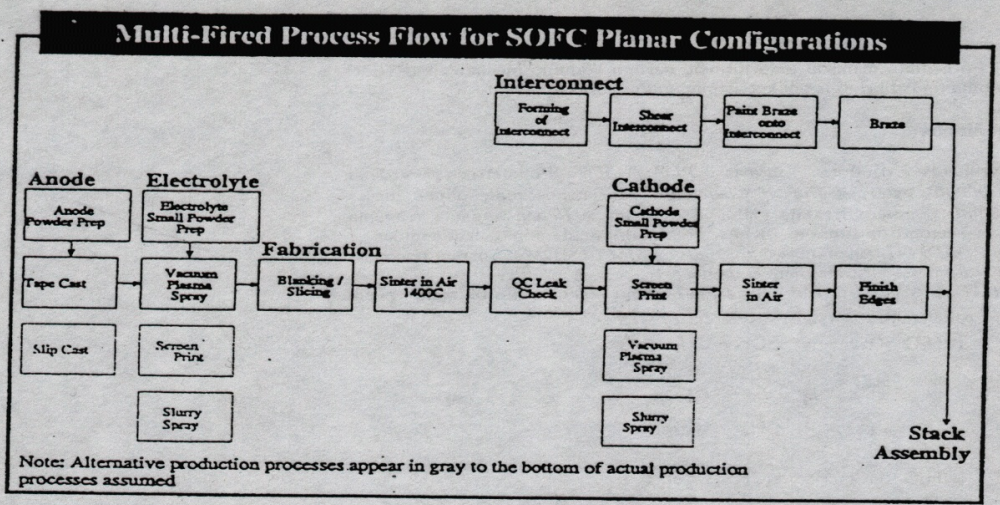
Table 1 Recent results reported by distinguished SOFC laboratories

Feature	Value	References
Power density at 800°C	1.935 W / cm ²	Berkeley Lawrence Lab. (2)
Stack power per volume	over 1 kW / L	Allied-Signal Aerospace (3)
Stack power per mass	over 1 kW / kg	Allied-Signal Aerospace (3)
Warm-up: to 800°C	1 minute	Keele University (4)
or „to operating temperature“	5 seconds	Keele University (5)
Cool-down, 1000 to 800°C	31 hours	Univ. of California (6)

Although these results come from different laboratories, they illustrate the potentials of advanced SOFC technology: planar, hybrid (metal-ceramic), bipolar designs with thin (5 to 10 μm) supported ceramic electrolytes and operating temperatures between 650°C and 800°C. Such light weight, compact SOFCs are under development for automotive applications. **Table 2** documents what can be expected in the near future:

Table 2 Projected trends of development of SOFCs for transportation

Features	Projections
Operating temperature	(550°C) 600°C to 800°C
Start-up (ambient to operating temp.)	less than 2 minutes
Stack power per volume	2 kW / L
Stack power per mass	2 kW / kg
Fuel	unleaded gasoline, diesel, Methanol
Reforming	integrated internal and in situ
Cooling	air, heat rejection by exhaust
Duty lifetime	5,000 hours

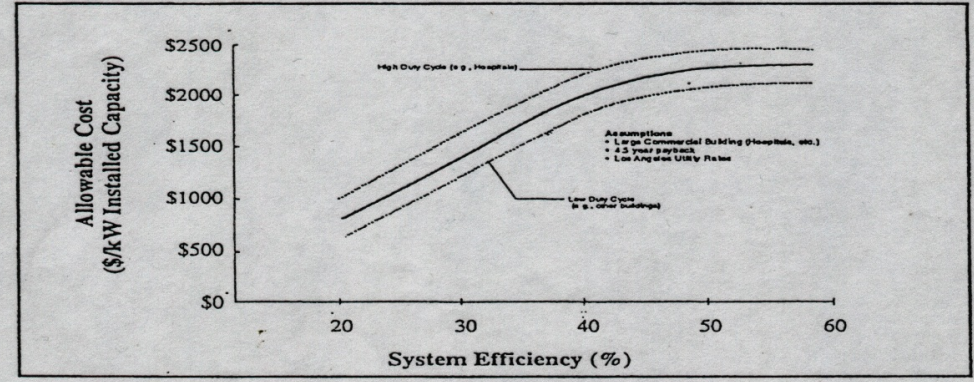


Example of manufacturing process description.

Market Segment		Typical Capacity	Allowable Installed Cost ¹ (\$/kW)	
			Entry ²	Sustained ²
On-site	Commercial Cogeneration	50 kW - 2 MW	\$1,500 - 2,000	\$800 - 1,300
	Industrial Cogeneration	5 - 200 MW	\$1,000 - 1,200	\$800 - 1,000
	Residential Power	0.5 - 10 kW	\$1,000 - 2,500	\$800 - 1,000
Utility	Distributed Power	5 - 20 MW	\$1,300 - 1,500	\$800 - 1,300
	Central Station	100 - 500 MW	\$900 - 1,100	\$700 - 900

¹ Total installed system costs, including all owners costs. Targets apply widely to industrialized country markets. Costs have been calculated based on a range of electricity and gas rate structures. Allowable costs for hydrogen fueled systems would be considerably lower as merchant hydrogen prices are typically 2-3 times as high as natural gas.
² "Entry" costs are based on early high value markets. "Sustained" costs must be realized to achieve significant market penetration.

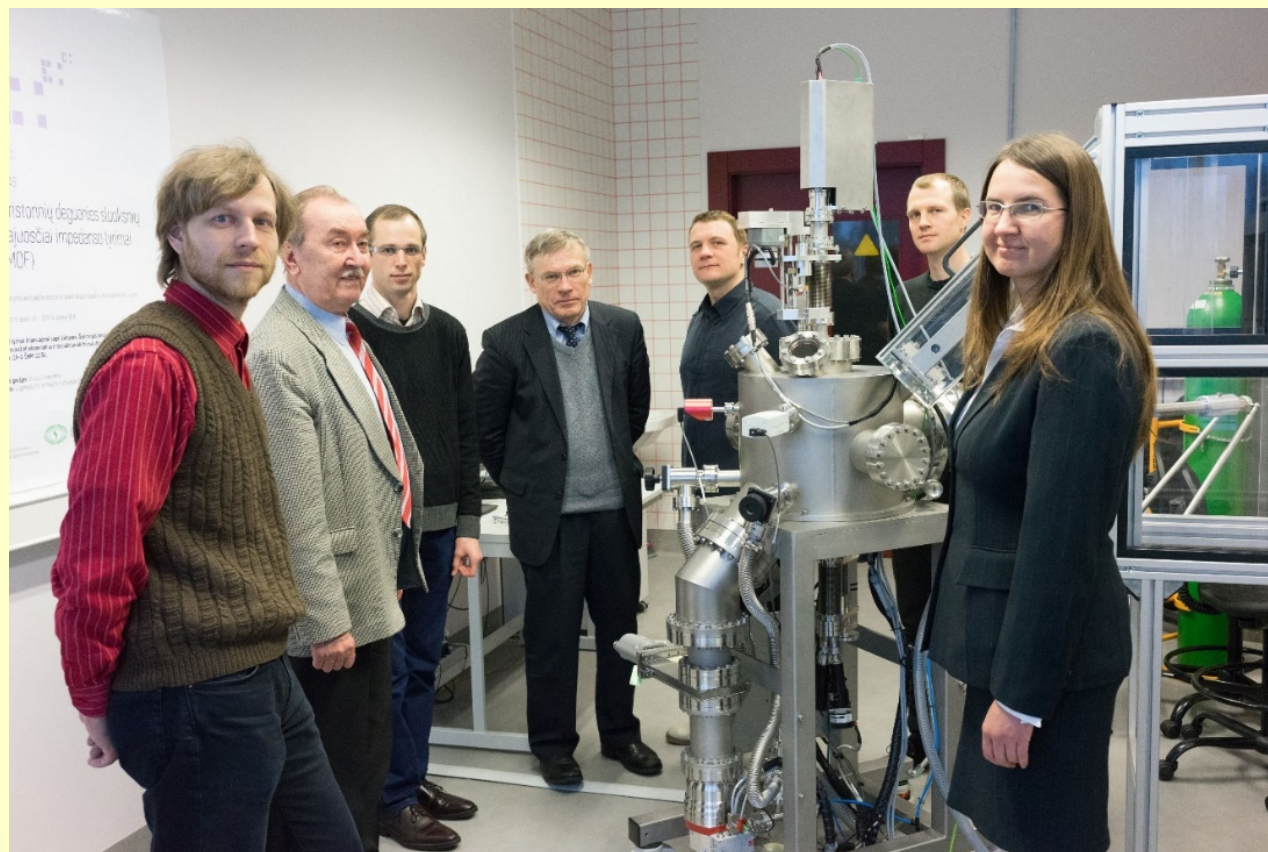
Summary characterization of potential stationary power markets



Impact of system efficiency on allowable system cost.

IŠVADOS

- 1. Naujų kietųjų elektrolitų paieška su deguonies vakansijų pernaša ir jų taikymas kuro elementuose.*
- 2. Naujų medžiagų su mišraus elektroninio – joninio laidumo sandais paieška SOFC elektrodų gamybai.*
- 3. SOFC veikimo temperatūros mažinimo problema.*
- 4. SOFC naudingo veikimo koeficiento didinimo problema.*
- 5. SOFC regeneracijos (darbinių parametrų atstatymo) problema.*



VU Nanojonikos mokslinės laboratorijos kolektivas

Ačīū