

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 80 02788**

(54)

Procédé de préparation de pièces en électrolyte solide à base de zircone stabilisée et les pièces obtenues par ce procédé.

(51)

Classification internationale. (Int. Cl. 3) C 04 B 35/48; C 25 B 1/02; H 01 M 8/12.

(22)

Date de dépôt ..... 8 février 1980.

(33) (32) (31)

Priorité revendiquée :

(41)

Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — «Listes» n. 33 du 14-8-1981.

(71)

Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, résidant en France.

(72)

Invention de : Hervé Bernard et Jean-Claude Viguié.

(73)

Titulaire : *Idem* (71)

(74)

Mandataire : Brévatomie, 25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention concerne un procédé de préparation de pièces en électrolyte solide à base de zircone stabilisée et les pièces obtenues par ce procédé.

De façon plus précise, elle se rapporte à  
5 l'obtention d'un électrolyte solide à base de zircone qui présente une conductivité électrique améliorée par rapport aux électrolytes solides de ce type connus actuellement, ce qui le rend particulièrement intéressant pour une utilisation comme électrolyte solide dans une cellule  
10 d'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température destinée à la production d'hydrogène gazeux, ou encore comme électrolyte solide d'une pile à combustible.

On sait que, compte tenu de l'importance des besoins en hydrogène dans l'industrie chimique, on a développé récemment des techniques de production d'hydrogène par électrolyse de la vapeur d'eau à haute température dans des cellules comprenant un électrolyte solide généralement constitué par une céramique conductrice des ions oxygène, disposée entre deux électrodes qui jouent respectivement le rôle d'anode et de cathode.  
15  
20

Dans ces cellules, la vapeur d'eau est introduite à une température d'environ 760 à 950°C dans la partie cathodique de la cellule, et elle est réduite en hydrogène gazeux à la surface de l'électrolyte solide quand on applique aux bornes de la cellule une tension de l'ordre de grandeur du volt.  
25

Dans de telles cellules, l'essentiel de la dissipation résistive, se situe au niveau de l'électrolyte solide et il importe en conséquence de limiter sa résistivité pour réduire la tension d'électrolyse aux bornes de la cellule.  
30

Jusqu'à présent, on a utilisé dans de telles cellules des électrolytes à base de zircone comportant de faibles additions d'un oxyde stabilisant tel que l'oxyde de calcium, l'oxyde d'yttrium, l'oxyde de cérium, l'oxyde  
35

de scandium ou un oxyde de terres rares.

Pour améliorer la conductivité d'électrolytes de ce type, on a envisagé de leur ajouter des quantités faibles d'un autre oxyde métallique afin d'agir sur certains facteurs tels que la densité, la porosité et la dimension de grains des pièces obtenues, facteurs qui exercent généralement une influence sur la conductivité.

Cependant, jusqu'à présent il a été impossible d'obtenir une amélioration sensible de la conductivité d'électrolytes de ce type par addition de quantités faibles d'un autre oxyde.

La présente invention a précisément pour objet un procédé de préparation d'un électrolyte solide à base de zircone stabilisée qui permet d'améliorer la conductivité de cet électrolyte par addition de quantités contrôlées d'oxyde d'aluminium.

Le procédé, selon l'invention, de préparation d'une pièce en électrolyte solide à base de zircone stabilisée, se caractérise en ce qu'il consiste :

- a) - à préparer une solution alcoolique d'un sel de zirconium, d'un sel d'un métal stabilisateur de la zircone et d'un sel d'aluminium,
- b) - à former à partir de ladite solution un coprécipité d'hydroxyde de zirconium, d'hydroxyde dudit métal et d'hydroxyde d'aluminium,
- c) - à séparer le précipité ainsi obtenu,
- d) - à laver ledit précipité au moyen d'un solvant hydrophile pour éliminer les traces d'eau,
- e) - à sécher le précipité ainsi lavé,
- f) - à le calciner sous air,
- g) - à former à partir de la poudre obtenue par calcination dudit précipité, une ébauche de ladite pièce par compression de ladite poudre, et
- h) - à fritter l'ébauche ainsi obtenue en atmosphère d'hydrogène.

Le procédé tel que caractérisé ci-dessus, présente ainsi l'avantage de conduire à l'obtention d'un

électrolyte solide dont la densité et la conductivité sont améliorées grâce à l'addition de faibles quantités d'alumine au stade de préparation de la poudre d'électrolyte. En effet, on suppose que le mode de préparation de la poudre par coprécipitation des différents hydroxydes et le fait de soumettre le précipité obtenu à un lavage par un solvant hydrophile permet d'obtenir ensuite par compression et frittage une pièce dans laquelle l'alumine est répartie dans les grains plutôt qu'aux joints de grains, avec des dimensions de grains supérieures, ce qui améliore la conductivité de la pièce obtenue.

Selon l'invention, les teneurs en sel de zirconium, en sel dudit métal stabilisateur et en sel d'aluminium de la solution de départ sont choisies pour obtenir la meilleure résistivité.

De préférence, la teneur en sel de zirconium est telle que les proportions relatives entre le zirconium, le métal stabilisateur et l'aluminium présents en solution, correspondent à une composition d'électrolyte comprenant 90 à 91% en moles de zircone, le reste étant constitué par l'oxyde d'yttrium et l'alumine.

Avantageusement, ces teneurs sont telles que les proportions relatives entre le zirconium, le métal stabilisateur et l'aluminium en solution correspondent à une composition d'électrolyte solide comportant 90 à 91% en moles d'oxyde de zirconium, 7 à 10% en moles d'oxyde du métal stabilisateur et jusqu'à 2% en moles d'alumine.

Selon l'invention, le métal stabilisateur est un métal dont l'oxyde permet de stabiliser la zircone. A titre d'exemple, ce métal peut être de l'yttrium, du scandium, du calcium, du cérium ou un métal de la série des terres rares. De préférence, on utilise l'yttrium.

Avantageusement, lorsque la solution comprend un sel de zirconium, un sel d'yttrium et un sel d'aluminium, les proportions relatives entre le zirco-

nium, l'yttrium et l'aluminium présents dans la solution sont telles qu'elles correspondent à une composition d'électrolyte solide comportant 90 à 91% de  $ZrO_2$ , 8 à 9% d'oxyde d'yttrium et 1% d'alumine, ces pourcentages étant  
5 exprimés également en moles.

En effet, les meilleurs résultats sont obtenus lorsque la teneur en alumine de l'électrolyte solide est de 1% ; cependant, on obtient également de bons résultats lorsque la teneur en alumine de l'électrolyte est  
10 comprise entre 0,5% et 1%.

Selon l'invention, la solution est formée par dissolution des sels dans un alcool tel que l'alcool éthylique.

Lorsque l'on veut réaliser une pièce en électrolyte solide comportant de l'oxyde de zirconium, de  
15 l'oxyde d'yttrium et de l'oxyde d'aluminium, les sels utilisés pour la préparation de cette solution sont avantageusement un alcoolate de zirconium tel que du butylate de zirconium, du nitrate d'yttrium et de l'acétyl acéto-  
20 nate d'aluminium. Après avoir préparé la solution alcoolique de sel de zirconium, de sel du métal stabilisateur et de sel d'aluminium, on forme à partir de cette solution un coprécipité d'hydroxyde de zirconium, d'hydroxyde du métal stabilisateur tel que l'yttrium et d'hydroxyde  
25 d'aluminium, par hydrolyse au moyen d'ammoniaque, en soumettant la solution à une agitation.

Après précipitation, on sépare le coprécipité obtenu par des techniques classiques, par exemple par  
30 filtration, puis on lave ce précipité au moyen d'un solvant hydrophile tel que l'alcool isopropylique, pour éliminer les traces d'eau présentes dans le coprécipité.

Après cette opération, on sèche le précipité et on le calcine sous air pour obtenir une poudre d'oxydes de zirconium, d'yttrium et d'aluminium.

Cette étape de calcination est avantageusement réalisée à une température de 700 à 800°C pendant une durée de 3 à 4 heures, lorsque la poudre est constituée de  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$  et  $Al_2O_3$ . En effet, dans ces conditions, on obtient par calcination une poudre suffisamment réactive, ce qui permet de réaliser le frittage à des températures peu élevées.

Cette poudre est ensuite mise en forme par compression avantageusement sous une pression de 1,5 à 2 t/cm<sup>2</sup>. Eventuellement, avant compression, on ajoute à la poudre un liant organique tel que du méthacrylate de méthyle.

Après compression, l'ébauche obtenue est frittée dans une atmosphère d'hydrogène humide.

La durée et la température de frittage sont choisies en fonction de la réactivité de la poudre obtenue par calcination, de façon à obtenir une pièce présentant une densité élevée et une porosité faible. Dans le cas d'un électrolyte solide constitué d'oxydes de zirconium, d'yttrium et d'aluminium, on réalise avantageusement le frittage à une température d'environ 1300°C, pendant une durée d'environ 6 heures lorsque la calcination a été effectuée dans les conditions précitées.

Selon une variante de mise en oeuvre du procédé de l'invention, qui est adaptée à la réalisation d'une pièce en électrolyte solide comportant sur sa surface un réseau de particules conductrices, on répartit à la surface de l'ébauche une poudre de métal, par exemple une poudre de nickel, de façon à obtenir, par cofrittage de la poudre de métal et de la poudre d'oxydes, un ensemble cathode-électrolyte utilisable notamment dans une cellule d'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température.

Dans ce cas, on répartit sur l'une des surfaces de l'ébauche avant ou après compression de la poudre, une quantité de particules de métal, qui, après frittage

de l'ensemble, constitue soit un réseau cathodique conducteur, soit des points de fixation pour un dépôt conducteur mince déposé ensuite sur la pièce selon un tracé déterminé par des techniques classiques.

5                   On précise que selon le procédé de l'invention, les pièces peuvent être réalisées sous la forme de cylindres ayant, par exemple, 20 mm de diamètre et 5 mm d'épaisseur et une densité qui correspond à 98% de la densité théorique. On peut également réaliser par le pro-  
10                   cédé de l'invention des objets de forme tubulaire, ou encore des objets plans de plus grandes dimensions, par exemple, des disques de 90 mm de diamètre et de 0,6 mm d'épaisseur ayant une densité correspondant à 98% de la densité théorique.

15                   De telles pièces peuvent constituer la partie électrochimiquement active du coeur d'un électrolyseur de la vapeur d'eau à 800/900°C.

                  D'autres caractéristiques et avantages du procédé de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de  
20                   la description qui suit d'un exemple de mise en oeuvre du procédé de l'invention, donné à titre illustratif et non limitatif se référant au dessin annexé sur lequel :

                  - la figure 1 est un diagramme qui illustre,  
25                   d'une part, les variations de la densité de l'électrolyte en fonction de sa teneur en alumine (courbe 1) et, d'autre part, les variations de la résistivité de l'électrolyte en fonction de sa teneur en alumine (courbe 2) ;

                  - la figure 2 est une micrographie qui illustre la microstructure d'un électrolyte solide contenant  
30                   0,5% d'alumine ; et

                  - la figure 3 est une micrographie qui illustre la microstructure d'un électrolyte solide ne comportant pas d'alumine.

35                   Cet exemple se rapporte à la préparation d'une pièce en électrolyte solide constitué de zircone, d'oxyde d'yttrium et d'alumine.

Tout d'abord, on prépare une solution dans l'alcool éthylique, de butylate de zirconium et de nitrate d'yttrium de façon à obtenir une proportion relative d'yttrium et de zirconium correspondant à la composition

5 (en moles) : 91% de  $ZrO_2$  et 8%

de  $Y_2O_3$ . A cette solution on ajoute de l'acétyl acétonate d'aluminium dans la proportion qui correspond à la composition finale (en moles) :

- 91% de  $ZrO_2$ ,

10 - 8% de  $Y_2O_3$ , et

- 1% de  $Al_2O_3$ .

On forme à partir de cette solution un copré-  
cipité d'hydroxydes de zirconium, d'yttrium et d'alumi-  
nium au moyen d'ammoniaque, en soumettant la solution à  
15 une agitation. Après formation du précipité, on sépare ce  
dernier de la solution par filtration, puis on le lave à  
l'alcool isopropylique pour éliminer les traces d'eau.

Après lavage, on sèche le précipité et on le  
calcine sous air à  $750^\circ C$  pendant 3 heures. On ajoute à la  
20 poudre ainsi obtenue un liant organique constitué par du  
méthacrylate de méthyle en quantité telle qu'il représen-  
te l'ordre du % en poids du mélange de poudre et de  
liant.

On réalise ensuite à partir de ce mélange une  
25 ébauche de la pièce à obtenir en comprimant ce mélange  
dans une presse à double effet, sous une pression de 1,5  
à  $2\text{ t/cm}^2$ , puis on réalise le frittage de l'ébauche com-  
primée ainsi obtenue en atmosphère d'hydrogène humide,  
c'est-à-dire d'hydrogène non séché, à  $1300^\circ C$  pen-  
30 dant 6 heures.

Après frittage, la pièce obtenue comprend 91%  
de  $ZrO_2$ , 8% de  $Y_2O_3$  et 1% de  $Al_2O_3$ , les % étant exprimés  
en moles.

On mesure la résistivité de la pièce obtenue  
35 par la méthode des impédances complexes, en courant al-  
ternatif, à une température de  $850^\circ C$  et on trouve ainsi



que cette pièce a une résistivité de 15,5 ohms.cm.

On réalise de la même façon différentes pièces en électrolyte solide qui se différencient uniquement par leur teneur en alumine et en oxyde d'yttrium, la teneur en oxyde d'yttrium variant de 7 à 9% en moles, tandis que la teneur en alumine varie de 0 à 2% en moles, puis on détermine la densité et la résistivité des pièces obtenues. Les résultats de ces mesures sont donnés sur la figure 1 sur laquelle la courbe 1 illustre les variations de la densité  $\underline{d}$  de la pièce (exprimée en % de la densité théorique) en fonction de la teneur en alumine (% en moles) des pièces, et la courbe 2 illustre les variations de la résistivité (ohm.cm) en fonction de la teneur en alumine de l'électrolyte solide.

Au vu de cette figure, on constate que pour un électrolyte solide ne contenant pas d'alumine, la résistivité est de 18 ohms.cm et que l'addition de 1% d'alumine permet d'abaisser la résistivité à une valeur de 15,5 ohms.cm, ce qui représente une diminution de l'ordre de 15%. Par ailleurs, on constate que l'addition de quantités d'alumine supérieures à 1% en moles n'améliore pas le résultat obtenu.

En ce qui concerne la densité, on constate que l'addition d'alumine permet également d'améliorer la densité des pièces obtenues. Ainsi, avec 1% d'alumine, on obtient une densité représentant 98% de la densité théorique alors que pour un électrolyte sans alumine, la densité est seulement de 93% de la densité théorique.

Par ailleurs, on précise qu'en effectuant les mesures de résistivité à une température de 400°C, le gain de conductivité global mesuré en courant alternatif par spectroscopie d'impédances complexes est de 50% pour une pièce ayant la composition 91%  $ZrO_2$ , 8%  $Y_2O_3$  et 1%  $Al_2O_3$ .

En se reportant aux figures 2 et 3 qui illustrent respectivement la microstructure de deux pièces ob-

tenues par le procédé de l'invention ayant les compositions suivantes :

- figure 2 : 91%  $ZrO_2$ , 8,5%  $Y_2O_3$  et 0,5%  $Al_2O_3$ ,

- figure 3 : 91%  $ZrO_2$ , 9%  $Y_2O_3$ ,

5 on constate que l'addition d'alumine permet d'accroître la dimension des grains tels que 3. Par ailleurs, on voit que l'alumine n'est pas répartie aux joints de grains.

REVENDICATIONS

1. Procédé de préparation d'une pièce en électrolyte solide à base de zircone stabilisée, caractérisé en ce qu'il consiste :

- 5 a) - à préparer une solution alcoolique d'un sel de zirconium, d'un sel d'un métal stabilisateur de la zircone et d'un sel d'aluminium,
- b) - à former à partir de ladite solution un coprécipité d'hydroxyde de zirconium, d'hydroxyde dudit métal et d'hydroxyde d'aluminium,
- 10 c) - à séparer le précipité ainsi obtenu,
- d) - à laver ledit précipité au moyen d'un solvant hydrophile pour éliminer les traces d'eau,
- e) - à sécher le précipité ainsi lavé,
- f) - à le calciner sous air,
- 15 g) - à former à partir de la poudre obtenue par calcination dudit précipité une ébauche de ladite pièce par compression de ladite poudre, et
- h) - à fritter l'ébauche ainsi obtenue en atmosphère d'hydrogène.

20 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les teneurs en sel de zirconium, en sel dudit métal et en sel d'aluminium de ladite solution sont telles que les proportions relatives entre le zirconium, ledit métal stabilisateur et l'aluminium présents dans la  
25 solution, correspondent à une composition d'électrolyte solide comportant 90 à 91% en moles d'oxyde de zirconium, de 7 à 10% en moles d'oxyde dudit métal et jusqu'à 2% en moles d'alumine.

30 3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ledit métal stabilisateur est l'yttrium.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que les teneurs en sel de zirconium, en sel

d'yttrium et en sel d'aluminium de ladite solution sont telles que les proportions relatives entre le zirconium, l'yttrium et l'aluminium présents dans ladite solution correspondent à une composition d'électrolyte solide comportant 90 à 91% en moles de  $ZrO_2$ , 8 à 9% en moles d'oxyde d'yttrium et 1% en moles d'alumine.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ladite solution est formée par dissolution desdits sels dans de l'alcool éthylique.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce que le sel de zirconium est un alcoolate de zirconium, le sel d'yttrium est du nitrate d'yttrium et le sel d'aluminium est de l'acétyl acétonate d'aluminium.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'on forme ledit précipité au moyen d'ammoniaque en soumettant la solution à une agitation.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le solvant hydrophile est l'alcool isopropylique.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 8, caractérisé en ce qu'on calcine ledit précipité sous air à une température comprise entre 600 et 800°C pendant une durée comprise entre 3 et 4 heures et en ce qu'on réalise le frittage à une température d'environ 1300°C pendant une durée d'environ 6 heures.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'on mélange la poudre obtenue par calcination dudit précipité avec un liant organique et en ce que l'on forme ladite ébauche par compression du mélange de poudre et de liant.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que le liant est le méthacrylate de méthyle.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 11, caractérisé en ce que l'on comprime ladite poudre sous une pression de 1,5 à 2 t/cm<sup>2</sup>.

13. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'on disperse sur la surface de l'ébauche une poudre de métal conducteur de façon à obtenir par cofrittage desdites poudres un ensemble cathode-électrolyte solide.

14. Pièce en électrolyte solide à base de zircone stabilisée obtenue par mise en oeuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 13, caractérisée en ce qu'elle comprend 90 à 91% d'oxyde de zirconium, 7 à 10% d'oxyde d'yttrium et jusqu'à 2% d'alumine, ces pourcentages étant exprimés en mole.

15. Pièce en électrolyte solide selon la revendication 14, caractérisée en ce qu'elle comprend 1% d'alumine.

1 / 1

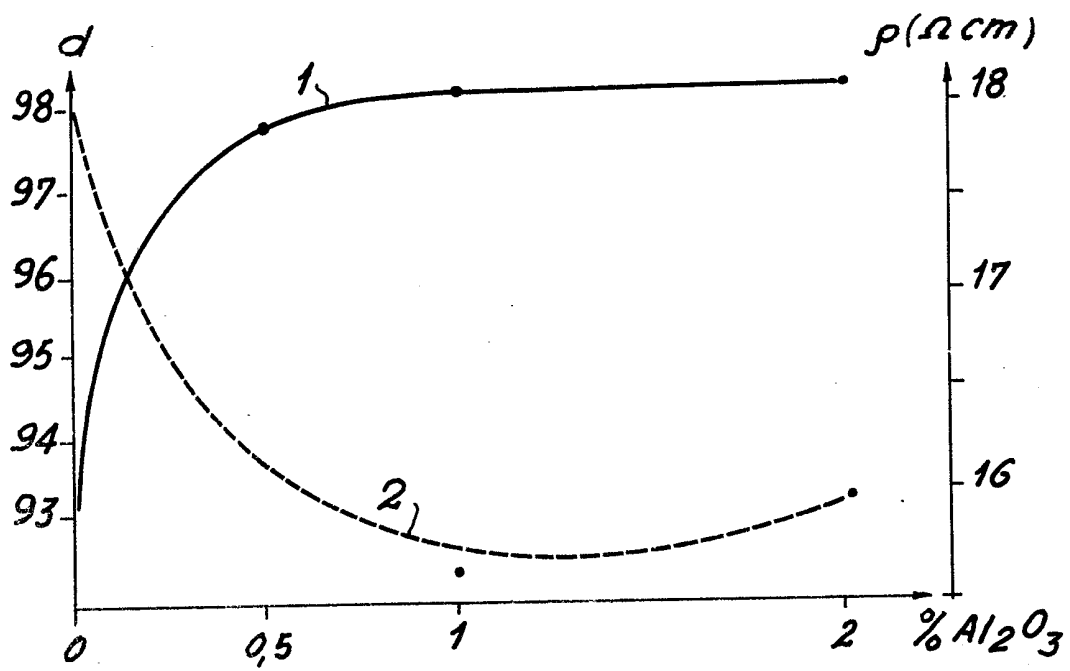


FIG. 1



FIG. 2



FIG. 3