República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102015017672-4 A2

(22) Data do Depósito: 24/07/2015

(43) Data da Publicação: 31/01/2017

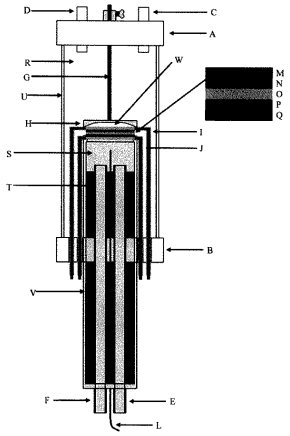
(54) Título: DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE RENDIMENTO ELETROQUÍMICO E ELÉTRICO DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL

(51) Int. Cl.: G01R 31/36; H01M 8/04

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - CEEE-D

(72) Inventor(es): GUSTAVO ALBERTO LUDWIG; CÉLIA DE FRAGA MALFATTI; MATIAS DE ANGELIS KORB; CARLOS PEREZ BERGMANN

(57) Resumo: DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE RENDIMENTO ELETROQUÍMICO E ELÉTRICO DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL. A presente invenção descreve um dispositivo para análise de rendimento eletroquímico e elétrico de célula a combustível do tipo óxido sólido SOFC (ITSOFC e HTSOFC). A utilização desse dispositivo permite avaliar o desempenho do cátodo, do eletrólito e do ânodo de uma célula a combustível unitária que opera em altas temperaturas, com arquitetura simplificada, o que facilita a colocação, a remoção e a vedação da amostra em teste. A presente invenção está situada no campo da Eletroquímica e da Engenharia Elétrica.



DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE RENDIMENTO ELETROQUÍMICO E ELÉTRICO DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descreve um dispositivo para analise de rendimento eletroquímico e elétrico de célula a combustível. A utilização desse dispositivo permite avaliar o desempenho do cátodo, do eletrólito e do ânodo de uma célula a combustível unitária. A presente invenção está situada no campo da Eletroquímica e da Engenharia Elétrica.

Antecedentes da Invenção

[0002] As células a combustível de óxido solido, conhecidas como SOFC, e que apresentam subtipos ITSOFC (operam em médias temperaturas, de 600°C a 800°C) e HTSOFC (operam em altas temperaturas, de 800°C a 1000°C), entre outros, atualmente são utilizadas para a geração de energia elétrica a partir da energia química liberada numa reação de combustão. Devido às altas temperaturas de operação, essas células possibilitam uso de diferentes combustíveis.

[0003] As células de combustível SOFC têm sido amplamente estudadas já que o processo de conversão de energia que elas propiciam é altamente eficiente e pouco poluente, o que também faz delas um atrativo para aplicações industriais. A estrutura da célula consiste de basicamente dois eletrodos porosos (cátodo e ânodo) conectados por um eletrólito denso por onde permeiam íons de oxigênio.

[0004] Utilizando um dispositivo de análise de rendimento eletroquímico e elétrico de uma célula a combustível do tipo óxido sólido SOFC, é possível avaliar as propriedades físicas dos componentes da célula unitária. Contudo, os dispositivos existentes para esse tipo de caracterização normalmente são de arquitetura complexa, ou seja, os dispositivos que existem atualmente dificultam a colocação e a remoção da amostra e, em especial, a vedação para

realização do ensaio, sendo geralmente constituídos de dois compartimentos de alumina; um para o gás combustível (ânodo) e outro para o gás oxidante (cátodo). A montagem do dispositivo para a realização das medidas pode comprometer a avaliação de células a combustível do tipo ITSOFC e HTSOFC.

[0005] Um dispositivo para análise de rendimento de células a combustível SOFC, cuja estrutura simplificada facilita a manipulação da célula no seu interior e cuja vedação impeça qualquer contato ou vazamento dos compostos envolvidos no processo, pode fornecer avaliações mais precisas das propriedades físicas dos constituintes da célula. Esses estudos viabilizam a atuação no desenvolvimento de novos materiais que possuam reduzido custo e que sejam mais eficientes na conversão de energia química em elétrica utilizando as células.

[0006] No âmbito patentário, foram localizados alguns documentos relevantes que serão descritos a seguir:

[0007] O documento CN102062842, tem como foco uma técnica de teste de desempenho de segurança para membranas de células a combustível que exige uma unidade digital de controle, sem a qual a precisa avaliação não seria possível com esse dispositivo. Fazem parte dessa unidade um transmissor de pressão, uma válvula solenoide e uma resistência térmica. Essas características fazem desse dispositivo um instrumento de complexa elaboração e estrutura.

[0008] O Documento WO2013083872, versa sobre uma metodologia para indicar parâmetros de funcionamento de uma célula a combustível de óxido sólido, controlando a taxa de fluxo de ar, temperatura de entrada de ar, quantidade, fluxo e composição do combustível, tensão gerada pela célula, temperatura de saída do ar, temperatura interna da célula e temperaturas dos combustíveis. Contudo, para a indicação desses parâmetros é necessário o controle e análise de uma "pilha" de células ao invés de uma célula unitária, o que torna a metodologia descrita na patente menos prática.

[0009] O documento IN2012KO00202, versa sobre um dispositivo para teste de uma única membrana e montagem de uma única célula a combustível de membrana polimérica de altas e baixas temperaturas (PEMFC) e célula a combustível de ácido fosfórico (PAFC). A temperatura de operação dessas células pode variar entre 60 °C e 210 °C. Isso significa que o uso de tal dispositivo na avaliação de outros tipos de células a combustível se torna inviável em função das altas temperaturas necessárias (célula a combustível SOFC, por exemplo). Além disso, o dispositivo proposto por IN2012KO00202 não possui um mecanismo eficiente para vedação dos componentes da célula.

[0010] O documento JP2009129913 trata da análise dos parâmetros utilizados para o funcionamento da célula a combustível, tais como: composição, temperatura e pressão dos gases combustível e oxidante. O dispositivo externo utilizado funciona como um forno elétrico, isto é, um provedor de energia térmica para ocorrência da reação, e ainda é utilizado um mecanismo para manter a pressão adequada entre a célula e as articulações do sistema. Essas características tornam a estrutura desse dispositivo complexa e de difícil manipulação.

[0011] O documento PI1002748-3 versa sobre um dispositivo para testes em células a combustível de óxido sólido, onde é utilizada uma cola cerâmica conectando a lateral da célula com a superfície interna da estrutura, e dois cilindros móveis que se unem realizando uma força que auxilia na vedação da célula. Apesar dessas características, e em função da estrutura do dispositivo, a vedação do sistema é dificultada e normalmente não é suficiente para evitar mistura ou vazamento dos gases envolvidos.

[0012] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0013] As patentes acima revelam a constante dificuldade de projetar um dispositivo de caracterização da célula a combustível SOFC cuja vedação dos

componentes do processo seja apropriada e cuja estrutura seja simplificada para desenvolvimento, preparação e uso.

Sumário da Invenção

[0014] Dessa forma, a presente invenção tem por objetivo resolver os problemas constantes no estado da técnica a partir de um mecanismo apropriado para pressão e vedação dos constituintes da célula, de modo a impedir mistura ou vazamento do combustível e do gás oxidante, além de um arranjo estrutural simplificado para o dispositivo, o que facilita a manipulação do mesmo e aumenta a precisão dos resultados da avaliação.

[0015] É objeto da presente invenção um dispositivo para a análise de rendimento e avaliação do desempenho dos componentes de células a combustível, as quais convertem energia química diretamente em energia elétrica.

[0016] A presente invenção descreve um dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, compreendendo: uma primeira câmara (U) para acomodação de gás comburente; uma segunda câmara (V) para acomodação de gás combustível, sendo a segunda câmara (V) parcialmente contida na primeira câmara (U); uma célula a combustível sendo definida por um cátodo (N), um ânodo (O) e um eletrólito (P), a célula a combustível sendo disposta na primeira câmara (U) e impedindo contato entre o gás comburente e o gás combustível; um primeiro interconector no lado do cátodo (M); um primeiro interconector no lado do ânodo (Q); um primeiro contato no lado do cátodo (I) conectado ao interconector do lado cátodo (M); um segundo contato no lado do ânodo (J) conectado ao interconector do lado ânodo (Q); ao menos uma entrada para gás combustível (E) e ao menos uma entrada para gás comburente (C); e ao menos uma saída para gás combustível e água (F) e ao menos uma saída para excesso de gás comburente (D), o dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível compreendendo um elemento para fixação (H) dos componentes da célula a combustível, o dito elemento

para fixação (H) é dotado de uma geometria capaz de exercer pressão sobre a célula a combustível e facilitar a livre passagem de gases.

[0017] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e a seguir são descritos em detalhes suficientes para sua reprodução.

Breve Descrição das Figuras

Figura 1 – Apresenta a vista frontal esquemática de uma realização do reator da presente invenção, e seus componentes.

A) Flange superior do forno tubular

B) Flange inferior do forno tubular

C) Entrada para gás comburente

D) Saída para excesso de gás comburente

E) Entrada do gás combustível

F) Saída para gás combustível e água

G) Haste de pressão

H) Elemento para fixação

I) Primeiro contato no lado do cátodo/positivo

J) Segundo contato no lado do ânodo/negativo

L) Medidor de temperatura (mede a temperatura próxima da célula)

M) Primeiro interconector no lado do cátodo

N) Cátodo

O) Ânodo

P) Eletrólito

Q) primeiro interconector no lado do ânodo

R) Câmara de gás comburente

S) Câmara de gás combustível

T) Isolante Térmico

U) Primeira Câmara

V) Segunda Câmara

W) Região para passagem de gás comburente

Figura 2 – Apresenta uma vista lateral do reator ilustrado na Figura 1.

Descrição Detalhada da Invenção

[0018] Em comparação com as tecnologias já existentes no estado da técnica, que realizam medidas eletroquímicas, químicas e elétricas da célula a combustível do tipo óxido sólido – SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*), a presente invenção trata especificamente na simplicidade estrutural do dispositivo, facilitando a manipulação da célula, e das partes que a compõe, no interior da estrutura. Consequentemente, a caracterização quanto ao desempenho desenvolvido por células a combustível se torna mais precisa.

[0019] Além disso, o presente invento tem como características: a entrada e a saída dos gases (comburente e combustível) são feitas em lados diferentes, bem como a realização do controle do fluxo dos mesmos, e a colocação de um medidor de temperatura (L) próximo à célula a combustível para a determinação da temperatura exata. O dispositivo apresentado também propõe mecanismos para melhorar o contato elétrico entre os componentes das células e aperfeiçoar a vedação da célula evitando o vazamento ou mistura dos gases.

[0020] A presente invenção refere-se a um dispositivo para análise de rendimento eletroquímico e elétrico exclusivamente de célula a combustível do tipo óxido sólido *SOFC (ITSOFC e HTSOFC*, que operam a temperaturas entre 600º C e 800º C). A utilização desse dispositivo permite avaliar o desempenho do cátodo, do eletrólito e do ânodo de uma célula a combustível unitária que opera em altas temperaturas. O dispositivo é constituído por um reator utilizando dois tubos de alumina, que atuam como separadores dos gases que serão destinados à alimentação do ânodo (O) e do cátodo (N).

[0021] A principal aplicação permite avaliar células a combustível de temperaturas elevadas *SOFC (ITSOFC e HTSOFC)* quanto ao desempenho

para a geração de energia. Nesse sentido o invento apresenta como inovação principal o projeto detalhado de um reator vertical, representado esquematicamente nas Figuras 1 e 2, principalmente para a caracterização e avaliação do desempenho de componentes de uma célula a combustível do tipo óxido sólido *SOFC (ITSOFC e HTSOFC).*

[0022] O presente invento tem como características específicas: a entrada e a saída dos gases (comburente e combustível) são feitas em lados diferentes, bem como a realização do controle do fluxo dos mesmos; válvulas manuais ou eletrônicas com manômetros medem e controlam a pressão dos gases, enquanto a medição e o controle da vazão dos gases são realizados na saída utilizando rotâmetros com válvulas manuais ou eletrônicas. A colocação de um medidor de temperatura (L) próximo à célula a combustível se faz necessário para a determinação da temperatura da célula. O dispositivo apresentado também propõe mecanismos para melhorar o contato elétrico entre os componentes das células e aperfeiçoar a vedação da célula, evitando o vazamento ou mistura dos gases envolvidos.

[0023] No projeto, o reator é composto por uma segunda câmara (V), que serve de apoio para os constituintes da célula a combustível, isto é, interconectores (M,Q), eletrodos ânodo (O) e cátodo (N) e eletrólito (P), vedados com um selante e pressionados através de um elemento de fixação (H) superior associado a uma haste de pressão (G) regulável que conecta a célula à flange superior (A) da estrutura, fixando devidamente os eletrodos.

[0024] O ânodo (O) é responsável por permitir o transporte do combustível até a interface eletrólito/eletrodo, e o transporte dos produtos da oxidação do combustível para fora do eletrodo. Para tanto, é importante que o ânodo (O) seja bom condutor eletrônico, tenha uma porosidade dentro de 20 a 40%, seja ativo eletronicamente, tenha compatibilidade química e térmica com os demais componentes da célula com os quais está em contato. O ânodo (O) também deve permitir a difusão do gás combustível para os sítios reativos da interface, transportar para o interconector os elétrons que são gerados no circuito externo

e prover sítios para as reações eletroquímicas de oxidação do gás combustível. Os seguintes materiais são alguns dos quais podem ser utilizados como ânodo: NiO/YSZ, NiO/SSZ, NiO/GDC, NiO/SDC, NiO/YDC, CuO2/CeO2/YSZ, CuO2/YSZ, $CuO_2/CeO_2/SDC$, $La_{1-x}Sr_xCrO_3$, $La_{1-x}Sr_xCr_{1-y}M^*_yO_3$, CeO_2/GDC e TiO2/YSZ.

[0025] O cátodo (N) é a interface do gás comburente (oxidante) e do eletrólito, tendo como função catalisar a reação de redução do gás e conduzir os elétrons do circuito externo até o sitio da reação de redução. Suas principais características são: boa condutividade eletrônica; expansão térmica compatível com o eletrólito; alta condutividade iônica; porosidade dentro de 20 a 40%; compatibilidade química e térmica com os outros componentes da célula; estabilidade química durante operação da célula; alta atividade catalítica para redução do oxigênio e estabilidade em atmosferas altamente oxidantes. Os seguintes materiais são alguns dos quais podem ser utilizados como cátodo: LSM, LSF, LSC, LSFC, LSMC, LSCF, LCM, GSC, PSC, SCF, SSC, NSC, BSCCu, GSM, YSCF, YCCF e YBCu.

[0026] O selante é utilizado para evitar que o gás combustível se misture com o gás comburente, além de ser responsável pela vedação das células unitárias e pela conexão do interconector à célula. Dentre todas as características que o selante deve possuir, deve-se citar: bom isolamento elétrico, compatibilidade química com os demais componentes da célula e do empilhamento, estabilidade em atmosferas oxidantes e redutoras, e um coeficiente de expansão térmica próximo dos coeficientes dos outros componentes da célula, prevenindo tensões mecânicas na estrutura. Os materiais mais comuns utilizados como selante em HTSOFC's são os vidros e os compósitos vitrocerâmicos, pois estes materiais podem resistir a mais de 1000 horas de operação da célula. Especificamente, pode-se citar como exemplos de materiais de vidro: materiais que contem óxidos de Sr, La, Al e Li ($SrO-La_2O_3-Al_2O_3-Li_2O_3-SiO_2$), silicatos alcalinos, alcalinos terrosos e borosilicatos alcalinos.

[0027] O reator possui uma entrada para o gás combustível (E) que reage no ânodo (O) da célula, produzindo água, a qual é retirada da câmara junto com combustível pela saída para gás combustível e água (F). Para fixar melhor os constituintes da célula, o lado do cátodo (combustível) é apoiado sobre um forno tubular (no compartimento de circulação do gás comburente), um elemento de fixação (H) que é posicionado sobre o eletrodo ânodo (O), sendo este elemento de fixação (H) dotado de uma geometria que facilita a livre transição de gases e ainda exerce pressão para fixar os componentes da célula a combustível.

[0028] Não é possível a utilização de líquidos pressurizados, tanto para o combustível quanto para o comburente. Para as medidas elétricas são utilizados fios condutores ligados diretamente aos interconectores, sendo estes definidos por um primeiro contato no lado cátodo/positivo (I) e um segundo contato no lado ânodo/negativo (J).

Exemplo – Realização preferencial

[0029] Em uma realização da invenção, o reator vertical é posicionado dentro de um forno tubular fabricado em quartzo, definindo uma primeira câmara (U), que em uma realização preferencial a presente invenção é definida por um tubo de alumina, a qual contém o gás comburente/oxidante (O_2, ou ar), que é adsorvido nos poros do cátodo como íon O^{2-}, da mesma maneira que o gás combustível (H_2, Gás Natural ou gás de síntese) é adsorvido nos poros do ânodo como íon H^+, permitindo a ocorrência da reação, uma vez que o íon O^{2-} permeia o eletrólito denso. O forno tubular – primeira câmara (U) - contém uma entrada para gás comburente (C) e uma saída para excesso de gás comburente (D) na parte superior, onde circula o gás oxidante.

[0030] Também há na parte superior, uma haste de pressão (G) ligada a flange superior (A) do forno tubular e ao elemento de fixação (H) que exerce pressão contra os constituintes da célula, garantindo o contato elétrico eficiente entre estes e auxiliando na vedação para evitar assim a mistura dos dois gases. O formato específico do elemento de fixação (H) impede carregamento

no centro da célula, isto é, o que impede que o ensaio com o dispositivo seja anulado por conta de trincas ou rompimentos da frágil estrutura da célula.

[0031] A geometria do elemento de fixação (H) pode ser qualquer que permita seu apoio nas bordas da célula e que, ainda, possibilite a passagem do gás comburente para contato com a célula por meio de uma região de passagem de gás comburente (W). Tal geometria pode ser, portanto, um cone ou uma calota com aberturas passantes em sua superfície, definindo uma região de apoio na periferia da célula, ou segmentos de borda, definindo duas ou mais regiões de apoio. A geometria do elemento de fixação (H) pode ser, ainda definida por formas geométricas como um quadrado com vértices arredondados e com um apoio na parte inferior de cada vértice, totalizando quatro apoios, com concavidade a cada dois apoios. Essa forma também define uma região de passagem do gás comburente (W), devido à aberturas laterais onde não há contato do elemento de fixação (H) com a célula.

[0032] A escolha de uso do material cerâmico para a composição do elemento de fixação (H) se deve ao fato de ele não oxidar no interior da célula, evitando a contaminação dos demais componentes, afim de não comprometer a confiabilidade do ensaio.

[0033] Na parte inferior, do forno/reator existem uma entrada de gás combustível (E) e uma saída de gás combustível e água (F), onde circula o gás combustível. Além disso, na parte inferior é introduzido um medidor de temperatura (L), que permite o monitoramento local da temperatura na região próxima da célula a combustível, em especial o cátodo (N), eletrólito (P) e o ânodo (O).

[0034] O medidor de temperatura (L) pode ser de qualquer tipo compreendido no grupo definido por: termômetro de dilatação de fluído; termômetro à pressão de líquido de gás ou vapor; termômetro a par termoelétrico; termômetro à resistência elétrica; pirômetro óptico; pirômetro fotoelétrico; pirômetro de radiação; ou termovisores. No entanto, em uma realização preferencial, o medidor de temperatura (L) é um termopar com fios condutores de platina, uma

vez que esse material oferece resistência em elevadas temperaturas e resistência à corrosão química.

[0035] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outros variantes, abrangidos no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, compreendendo:
    a. uma primeira câmara (U) para acomodação de gás comburente;
    b. uma segunda câmara (V) para acomodação de gás combustível, sendo a segunda câmara (V) parcialmente contida na primeira câmara (U);
    c. uma célula a combustível sendo definida por um cátodo (N), um ânodo (O) e um eletrólito (P), a célula a combustível sendo disposta na primeira câmara (U) e impedindo contato entre o gás comburente e o gás combustível;
    d. um primeiro interconector no lado do cátodo (M);
    e. um primeiro interconector no lado do ânodo (Q);
    f. um primeiro contato no lado do cátodo (I) conectado ao interconector do lado cátodo (M);
    g. um segundo contato no lado do ânodo (J) conectado ao interconector do lado ânodo (Q);
    h. ao menos uma entrada para gás combustível (E) e ao menos uma entrada para gás comburente (C); e
    i. ao menos uma saída para gás combustível e água (F) e ao menos uma saída para excesso de gás comburente (D),

    o dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível sendo **caracterizado** pelo fato de compreender um elemento para fixação (H) exercendo pressão sobre os componentes da célula a combustível, o dito elemento para fixação sendo dotado de uma geometria capaz de exercer pressão em pelo menos uma região de apoio na célula a combustível e permitir a passagem de gás comburente para contato com a célula por meio de uma região de passagem de gás comburente (W).

2. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato das regiões de apoio serem dispostas na periferia da célula a combustível
3. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato do elemento para fixação (H) ser dotado de quatro pontos de apoio
4. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de compreender uma haste de pressão (G) associada ao elemento de fixação (H) e à estrutura do dispositivo
5. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato da haste de pressão (G) e o elemento de fixação (H) estarem contidos na primeira câmara (U)
6. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com a reivindicação 5 **caracterizado** pelo fato da haste de pressão (G) ser dotada de um mecanismo de ajuste de posição transversal ao elemento de fixação (H)
7. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado** pelo fato de compreender um medidor de temperatura contido na segunda câmara (V)
8. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato do medidor de temperatura ser selecionado no grupo definido por: termômetro de dilatação de fluído; termômetro à pressão de líquido de gás ou vapor; termômetro à par termoelétrico; termômetro à resistência elétrica; pirômetro óptico; pirômetro fotoelétrico; pirômetro de radiação; ou termovisores

9. Dispositivo para análise de rendimento de célula a combustível, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado** pelo fato de:
    a. a entrada para gás comburente (C) ser um tubo e a saída para excesso de gás comburente (D) ser um tubo, os ditos tubos sendo dispostos na primeira câmara (U);
    b. a entrada para gás combustível (E) ser um tubo e a saída para gás combustível e água (F) ser um tubo, os ditos tubos sendo dispostos na segunda câmara (V);
    c. a haste de pressão (G) ser associada à flange superior (A); e
    d. o dispositivo operar em posição vertical, de modo que a haste de pressão (G) fique em posição ortogonal ao plano de trabalho.

Figuras

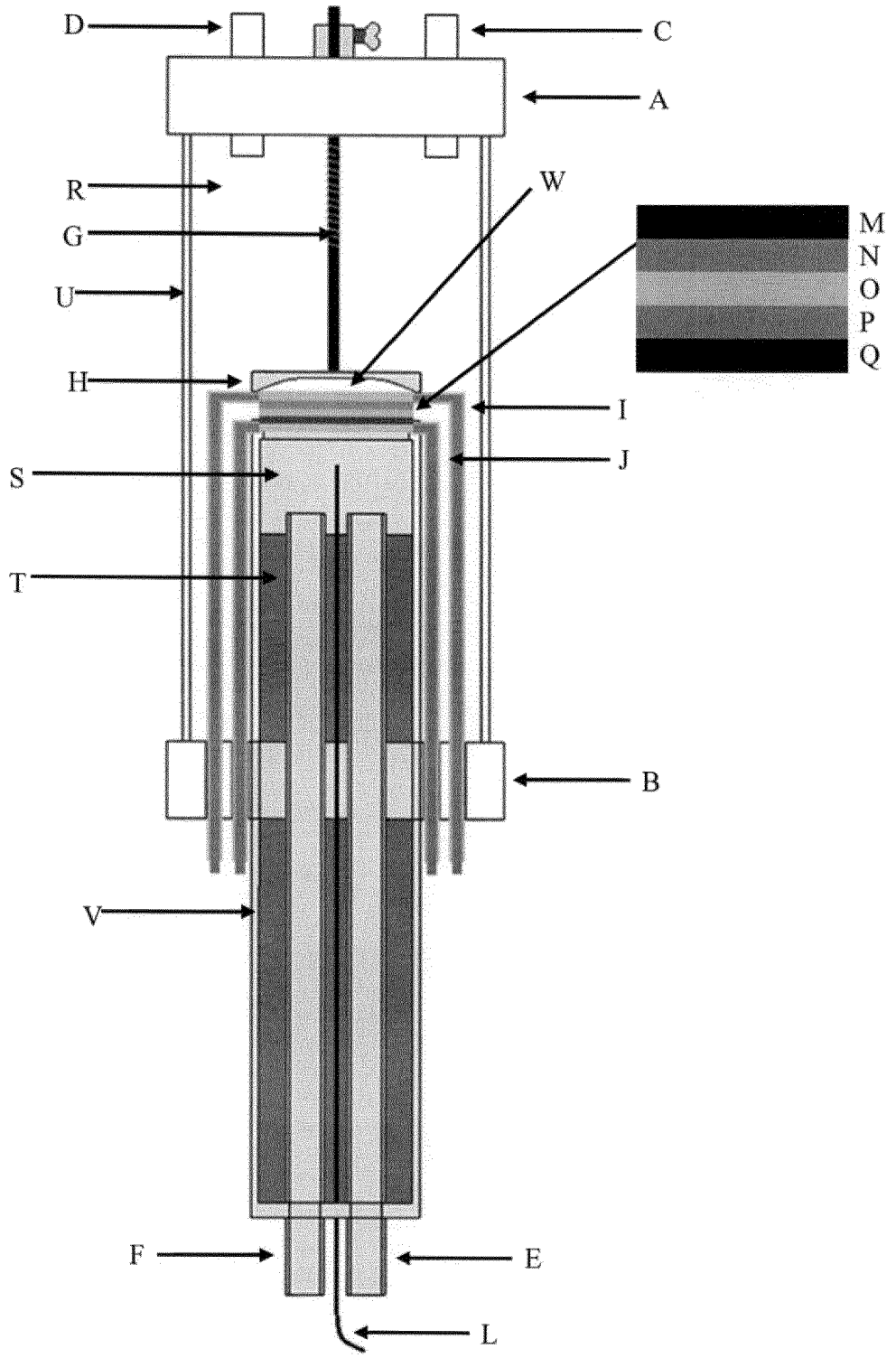


Figura 1

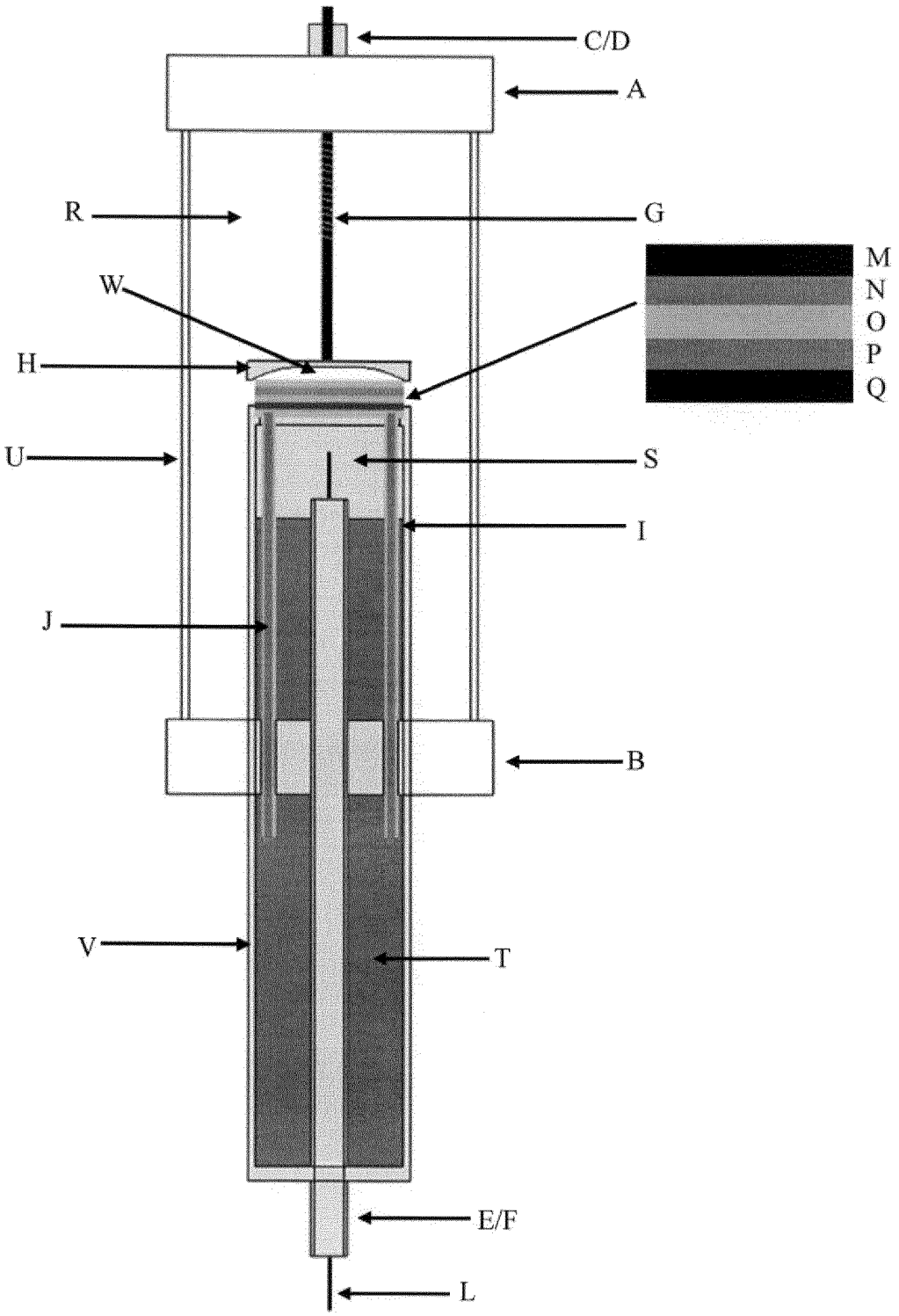


Figura 2

Resumo

DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE RENDIMENTO ELETROQUÍMICO E ELÉTRICO DE CÉLULA A COMBUSTÍVEL

A presente invenção descreve um dispositivo para análise de rendimento eletroquímico e elétrico de célula a combustível do tipo óxido sólido *SOFC (ITSOFC e HTSOFC)*. A utilização desse dispositivo permite avaliar o desempenho do cátodo, do eletrólito e do ânodo de uma célula a combustível unitária que opera em altas temperaturas, com arquitetura simplificada, o que facilita a colocação, a remoção e a vedação da amostra em teste. A presente invenção está situada no campo da Eletroquímica e da Engenharia Elétrica.