(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0104643
(43) 공개일자 2022년07월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 8/008 (2016.01) *B23K 26/0622* (2014.01)
B23K 26/382 (2014.01) *H01M 8/0208* (2016.01)
H01M 8/0215 (2016.01) *H01M 8/0228* (2016.01)
H01M 8/0273 (2016.01) *H01M 8/0276* (2016.01)
H01M 8/0282 (2016.01) *H01M 8/12* (2016.01)
H01M 8/2432 (2016.01)
(52) CPC특허분류
H01M 8/008 (2013.01)
B23K 26/0622 (2015.10)
(21) 출원번호 10-2022-0003714
(22) 출원일자 2022년01월11일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
17/151,373 2021년01월18일 미국(US)

(71) 출원인
블룸 에너지 코퍼레이션
미국, 캘리포니아 95134, 산호세, 4353 노스 퍼스트 스트리트
(72) 발명자
드루 파란
미국, 캘리포니아 95134, 산 호세, 4353 노스 퍼스트 스트릿, 씨/오 블룸 에너지 코퍼레이션
알리 델카니니아
미국, 캘리포니아 95134, 산 호세, 4353 노스 퍼스트 스트릿, 씨/오 블룸 에너지 코퍼레이션
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박경재

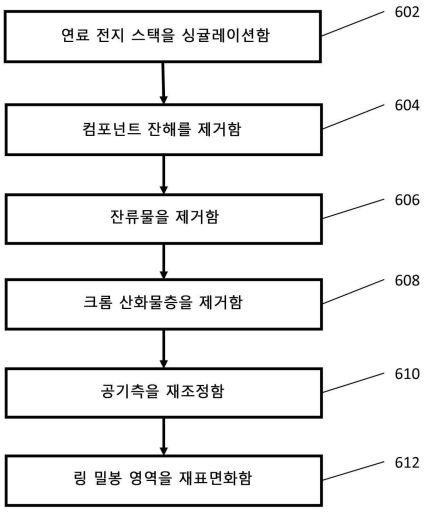
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **연료 전지 스택 컴포넌트들을 재가공하기 위한 시스템 및 방법**

(57) 요 약

싱귤레이션된(singulated) 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공(refurbish)하는 방법으로서, 부식성 장벽층 잔류물 아래의 상호접속부의 공기측 상에 위치한 금속 산화물층을 기화시키지 않고, 밀봉 및 부식 장벽층 잔류물을 기화시키기 위해, 상기 상호접속부의 공기측 상에 제1 펄스된 레이저 빔을 스캐닝(scanning)하는 단계, 및 상기 금속 산화물층을 제거하지 않고, 상기 금속 산화물층을 리플로우하기 위해, 상기 상호접속부의 공기측 상의 노출된 금속 산화물층 상에 상기 제1 펄스된 레이저 빔과 상이한 제2 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

대 표 도 - 도5



(52) CPC특허분류
B23K 26/382 (2015.10)
H01M 8/0208 (2013.01)
H01M 8/0215 (2013.01)
H01M 8/0228 (2013.01)
H01M 8/0273 (2013.01)
H01M 8/0278 (2013.01)
H01M 8/0282 (2013.01)
H01M 8/2432 (2016.02)
H01M 2008/1293 (2013.01)
(72) 발명자
켄달 루이
미국, 캘리포니아 95134, 산 호세, 4353 노스 퍼스트 스트릿, 씨/오 블룸 에너지 코퍼레이션
툴린 아킨
미국, 캘리포니아 95134, 산 호세, 4353 노스 퍼스트 스트릿, 씨/오 블룸 에너지 코퍼레이션

명 세 서

청구범위

청구항 1

싱귤레이션된(singulated) 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공(refurbish)하는 방법으로서,

부식성 장벽층 잔류물 아래의 상호접속부의 공기측 상에 위치한 금속 산화물층을 기화시키지 않고, 밀봉 및 부식 장벽층 잔류물을 기화시키기 위해, 상기 상호접속부의 공기측 상에 제1 펄스된 레이저 빔을 스캐닝(scanning)하는 단계; 및

상기 금속 산화물층을 제거하지 않고, 상기 금속 산화물층을 리플로우하기 위해, 상기 상호접속부의 공기측 상의 노출된 금속 산화물층 상에 상기 제1 펄스된 레이저 빔과 상이한 제2 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계

를 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 펄스된 레이저 빔은, 상기 제1 펄스된 레이저 빔보다: 낮은 피크 전력, 짧은 펄스 폭, 높은 스캐닝 속도, 작은 빔 스폿 크기, 또는 높은 펄스 주파수 중 적어도 하나를 갖는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제2 펄스된 레이저 빔은, 상기 제1 펄스된 레이저 빔보다: 낮은 피크 전력, 짧은 펄스 폭, 높은 스캐닝 속도, 작은 빔 스폿 크기, 또는 높은 펄스 주파수 중 2개 이상을 갖는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 제2 펄스된 레이저 빔은, 상기 제1 펄스된 레이저 빔보다, 작은 빔 스폿 크기 및 높은 전력 밀도를 갖는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제2 펄스된 레이저 빔은 1.5 ㎜미만의 빔 스폿 크기를 갖고, 상기 제1 펄스된 레이저 빔은 0.5 ㎜미만의 빔 스폿 크기를 갖는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 제1 펄스된 레이저 빔은:

약 800 W 내지 약 1250 W 범위의 피크 전력;

약 5 kHz 내지 약 15 kHz 범위의 주파수;

약 2500 ㎜/s 내지 약 3500 ㎜/s 범위의 스캐닝 속도;

약 0.5 ㎜ 내지 약 1 ㎜ 범위의 빔 스폿 크기; 및

약 50 ns 내지 약 150 ns 범위의 펄스 폭을 갖고,

상기 제2 펄스된 레이저 빔은:

약 250 W 내지 약 7550 W 범위의 피크 전력;

약 20 kHz 내지 약 40 kHz 범위의 주파수;

약 4500 mm/s 내지 약 5500 mm/s 범위의 스캐닝 속도;

약 0.05 mm 내지 약 0.15 mm 범위의 빔 스폿 크기; 및

약 15 ns 내지 약 35 ns 범위의 펄스 폭을 갖는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 상호접속부는:

상기 상호접속부를 통해 연장되는 연료 개구들;

공기 채널, 상기 공기 채널의 대향하는 측들 상의 스트립 밀봉 영역(strip seal regions), 및 상기 상호접속부의 공기측 상에 위치한 연료 개구들을 둘러싸는 링 밀봉 영역; 및

연료 채널, 및 상기 상호접속부의 공기측과 대향하는 상기 상호접속부의 연료측 상에 위치한 연료 채널을 둘러싸는 프레임 밀봉 영역

을 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제1 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계는, 상기 링 밀봉 영역 및 상기 스트립 밀봉 영역 중 적어도 하나 내에 상기 제1 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 포함하고;

상기 제2 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계는, 금속 산화물층이, 상기 링 밀봉 영역 및 상기 스트립 밀봉 영역 중 적어도 하나 및 상기 공기 채널 내에서 매끄럽고 밀도가 높아지도록, 상기 링 밀봉 영역 및 상기 스트립 밀봉 영역 중 적어도 하나 및 상기 공기 채널 내에 상기 제2 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 금속 산화물층은: 란탄 스트론튬 망가네이트(lanthanum strontium manganate) 또는 망간 코발트 산화물 스피넬(manganese cobalt oxide spinel) 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 상호접속부는, 크롬-철 합금을 포함하며,

상기 부식 장벽층 잔류물은 유리-세라믹 재료를 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 상호접속부로부터 고체 산화물 연료 전지 세라믹 전해질 잔류물(solid oxide fuel cell ceramic electrolyte debris)을 제거하는 단계를 더 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 싱귤레이션된(singulated) 연료 전지 스택 상호접속부를 획득하기 위해, 상호접속부 및 고체 산화물 연료

전지를 포함하는 고체 산화물 연료 전지 스택을 싱귤레이션하는 단계를 더 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 프레임 밀봉 영역 상에 제3 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하고, 이에 후속하여 상기 프레임 밀봉 영역 상에 제4 펄스된 레이저 빔을 스캐닝함으로써, 상기 상호접속부의 연료측으로부터 스택 잔류물을 기화시키는 단계를 더 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제3 펄스된 레이저 빔은, 상기 제4 펄스된 레이저 빔보다: 느린 스캐닝 속도 및 높은 피크 전력 중 적어도 하나를 갖는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

크롬 산화물층을 기화시키기 위해, 상기 상호접속부의 연료측 상의 프레임 밀봉 영역 및 상기 연료 채널 상에 제5 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 더 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 제5 펄스된 레이저 빔은, 상기 제4 펄스된 레이저 빔보다: 빠른 스캐닝 속도, 낮은 피크 전력, 높은 주파수 및 짧은 펄스 폭 중 적어도 하나를 갖는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 제2 펄스된 레이저 빔을 스캐닝하는 단계 이후에, 레이저 드릴링(laser drilling)에 의해 상기 밀봉 링 영역 내에 상기 금속 산화물층을 관통하는 미세공동(microcavities)을 형성하는 단계를 더 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 미세공동은, 약 25 μm 내지 약 200 μm의 직경을 갖고, 상기 금속 산화물층을 통해 상기 상호접속부의 공기측 내로 연장되는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 18

제16항에 있어서,

적어도 상기 링 밀봉 영역에서, 상기 미세공동 안으로 그리고 상기 금속 산화물층 상에 부식 장벽층을 퇴적(deposit)하는 단계; 및

상기 링 밀봉 영역에서 상기 부식 장벽층 상에 밀봉 재료를 퇴적하는 단계

를 더 포함하는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 19

제1항에 있어서,

상기 제1 펄스된 레이저 빔과 상기 제2 펄스된 레이저 빔은, 800 nm를 초과하고, 5,000 nm 미만인 파장을 갖는

적외선 펄스 파이버 레이저에 의해 생성되는, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법.

청구항 20

상호접속부를 통과하여 연장되는 연료 개구, 상기 상호접속부의 공기측 상에 위치한 공기 채널, 상기 상호접속부의 공기측 상에 위치한 연료 개구를 둘러싸는 링 밀봉 영역, 및 상기 상호접속부의 공기측 상에 위치한 금속 산화물층을 포함하는 연료 전지 스택 상호접속부를 코팅하는 방법으로서,

레이저 드릴링에 의해, 상기 링 밀봉 영역 내에 상기 금속 산화물층을 관통하는 미세공동을 형성하는 단계;

적어도 상기 링 밀봉 영역에서, 상기 미세공동 안으로 그리고 상기 금속 산화물층 상에 부식 장벽층을 퇴적(deposit)하는 단계; 및

상기 링 밀봉 영역에서 상기 부식 장벽층 상에 밀봉 재료를 퇴적하는 단계

를 포함하는, 연료 전지 스택 상호접속부를 코팅하는 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시내용은 일반적으로, 연료 전지 스택 컴포넌트를 재가공(refurbish)하기 위한 시스템 및 방법과, 연료 전지 상호접속부로부터 밀봉 및 세라믹 장벽(ceramic barrier) 재료를 제거하기 위해 레이저를 사용하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 전형적인 고체 산화물 연료 전지(solid oxide fuel cell; SOFC) 스택은, 연료 및 산화제의 전달 및 제거를 위한 채널과, 스택의 인접한 전지들 사이의 전기적 연결을 모두 제공하는, 상호접속부(interconnects; ICs)에 의해 분리된 다수의 SOFC들을 포함한다. 탄화수소를 연료로 사용할 때, 일부 탄화수소는 촉매적으로 분해되거나 상호접속부의 표면에 균열이 생겨, 코크스 침전물(deposit of coke)을 남길 수 있다. 이러한 코크스 침전물은, 연료 전지 스택의 성능에 부정적인 영향을 미치는 채널을 막을 수 있다(clog).

[0003] 연료 전지 스택은 IC를 재가공함으로써 수리(recondition)될 수 있다. 일반적인 IC 재가공 프로세스는: (1) 싱귤레이션(singulation)(스택 내 개별 연료 전지 및 상호접속부를 서로로부터 분리하는 것), (2) 상호접속부에서 전해질 잔류물(debris) 제거하는 것, (3) 상호접속부에서 (존재하는 경우) 잔존하는 내부 스택 컴포넌트를 제거하는 것, (4) 밀봉 및 보호 코팅을 제거하는 것의 단계들을 포함할 수 있다.

[0004] 종래의 싱귤레이션 방법은, 핸드 헬드(hand held) 도구를 사용하여 스택을 기계적으로 들어올리는 것을 포함한다. 이 프로세스는, 시간이 많이 걸리고, 칩핑(chipping), 균열 또는 캠버(camber)(곡률)를 유발하여, 상호접속부를 손상시키는 경향이 있다.

[0005] 싱귤레이션 이후, 대부분의 전해질을 긁어낼 수 있지만, 밀봉 영역 주위에 남아 있는 물질은, 일반적으로 IC에 매우 잘 접착되고 제거하기가 어렵다. 깨끗한 부분을 얻기 위한 마지막 단계는, 일반적으로 크롬 합금 상호접속부의 연료측에서 성장하는 금속 산화물(예컨대, 크롬 산화물)과, 잔류 밀봉 재료를 제거하는 것이다. 이러한 산화물을 제거하는 데 일반적으로 사용되는 그릿 블라스팅(grit blasting) 공정은, 비용과 시간이 많이 소비되고, 제어하기가 어렵고, 부분의 캠버 및 과도한 침식을 유발하여 부분에 손상을 줄 수 있다.

발명의 내용

[0006] 다양한 실시예들에 따르면, 싱귤레이션된 연료 전지 스택 상호접속부를 재가공하는 방법은: 부식성 장벽층 잔류물 아래의 상호접속부의 공기측 상에 위치한 금속 산화물층을 기화시키지 않고, 밀봉 및 부식성 장벽층 잔류물을 기화시키도록 상호접속부의 공기측 상에 펄스된 레이저 빔을 스캔(scan)하는 단계와, 금속 산화물층을 제거하지 않고 금속 산화물층을 리플로우(reflow)시키도록, 상호접속부의 공기측 상에 노출된 금속 산화물층 상의 제1 펄스된 레이저 빔과는 상이한 제2 펄스된 레이저 빔을 스캔하는 단계를 포함한다.

[0007] 다양한 실시예들에 따르면, 연료 전지 스택 상호접속부를 코팅하는 방법은: 상호접속부를 관통하여 연장되는 연료 개구들, 상호접속부의 공기측 상에 위치한 공기 채널들, 상호접속부의 공기측 상에 위치한 연료 개구를 둘러싸는 링 밀봉 영역들, 및 상호접속부의 공기측 상에 위치한 금속 산화물층을 포함하고, 상기 방법은: 레이저 드

릴링에 의해 밀봉 링 영역들 내 금속 산화물층을 통해 미세공동(microcavities)을 형성하는 단계와, 적어도 밀봉 링 영역들 상에 상기 미세공동 내로 그리고 상기 금속 산화물층 상에 부식 장벽층(corrosion barrier layer)을 퇴적하는 단계와, 밀봉 링 영역들 내 부식 장벽층 상에 밀봉 재료를 퇴적하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1a는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 SOFC 스택의 사시도이다.

도 1b는, 도 1a의 스택의 일부의 단면도이다.

도 2a는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른, 상호접속부의 공기측의 평면도이다.

도 2b는, 도 2a의 상호접속부의 연료측의 평면도이다.

도 3a는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 연료 전지의 공기측 평면도이다.

도 3b는 도 3a의 연료 전지의 연료측 평면도이다.

도 4는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른, 금속 산화물 코팅 및 부식 장벽층을 포함하는 상호접속부를 포함하는 연료 전지 스택의 단면도이다.

도 5는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른, 연료 전지 상호접속부를 재가공하는 방법을 예시하는 프로세스 흐름도이다.

도 6a 내지 도 6b는, 도 5의 재가공 방법 동안에 상호접속부의 공기측 및 연료측 각각에 적용될 수 있는 레이저 조사(irradiation) 패턴을 도시한 평면도이다.

도 6c는, 도 5의 방법에 따라 재포장된 후의 상호접속부의 공기측을 도시하는 평면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 다양한 실시예들은 첨부 도면들을 참조하여 상세히 설명될 것이다. 가능한 경우라면, 동일한 참조 번호는 도면 전반에 걸쳐 동일하거나 유사한 부분들을 지칭하는데 사용될 것이다. 특정 실시예 및 구현예에 대한 참조는 예시적인 목적을 위한 것이며, 본 발명 또는 청구항들의 범위를 제한하려는 의도가 아니다.

[0010] 구성요소 또는 층이, 다른 구성요소 또는 층의 "위에 있는(on)" 또는 "연결된(connected to)" 것으로 언급되는 경우, 이는 다른 구성요소 또는 층 바로 위에 또는 이에 직접 연결되거나, 또는 중간의 구성요소 또는 층이 존재할 수 있는 것으로 이해될 것이다. 대조적으로, 구성요소가 다른 구성요소 또는 층의 "바로 위에(directly on)" 또는 "직접 연결되어 있는(directly connected to)" 것으로 언급되는 경우, 중간의 구성요소 또는 층이 존재하지 않는다. 본 개시내용의 목적을 위해, "X, Y, 및 Z 중 적어도 하나"는 X 단독, Y 단독, Z 단독, 또는 2개 이상의 항목들 X, Y, 및 Z(예컨대, XYZ, XYY, YZ, ZZ)의 임의의 조합으로 해석될 수 있는 것으로 이해될 것이다.

[0011] 값의 범위가 제공되는 경우, 문맥이 명백하게 달리 지시하지 않는 한, 그 범위의 상한 및 하한과 사이에 있는 하한의 10분의 1 단위까지의 각 중간값과, 언급된 범위 내의 임의의 다른 명시된 값이나 중간 값은 본 발명에 포함되는 것으로 이해된다. 이들 더 작은 범위의 상한 및 하한은, 더 작은 범위에 독립적으로 포함될 수 있으며, 또한 언급된 범위에서 구체적으로 배제된 제한에 따라 본 발명에 포함된다. 명시된 범위가 한계값 중 하나 또는 둘 다를 포함하는 경우, 포함된 한계 중 하나 또는 둘 다를 제외한 범위도 본 발명에 포함된다. 또한 "대략(about)"이라는 용어는, 예를 들어 5 내지 10%의 사소한 측정 오류를 나타낼 수 있음을 이해해야 한다. 또한, 본 명세서에서 중량 퍼센트(wt%) 및 원자 퍼센트(at%)는, 각각 해당 조성의 전체 중량 또는 원자의 개수를 의미한다.

[0012] 가령, "그 이후에(thereafter)", "그 다음(then)", "다음에(next)" 등과 같은 단어는, 반드시 단계의 순서를 제한하도록 의도된 것은 아니다; 이 단어는 방법에 대한 설명을 통해 독자를 안내하는 데 사용될 수 있다. 또한, 예를 들어 관사 "하나의(a)", "하나의(an)" 또는 "상기(the)"를 사용하는 단수형의 청구항 구성요소에 대한 참조는, 구성요소를 단수로 제한하는 것으로 해석되어서는 안된다.

[0013] 본 명세서에 사용된 용어 "연료 전지 스택"은, 공통 연료 유입구 및 배기 통로 또는 상승기(riser)를 선택적으로 공유할 수 있는 복수의 적층된 연료 전지를 의미한다. 본 명세서에 사용된 "연료 전지 스택"은, 전력 조절 장비 및 스택의 전력(즉, 전기) 출력에 직접 연결된 2개의 단부 플레이트를 포함하거나, 전기 출력을 제공하는

단부 플레이트들을 포함하는 연료 전지 컬럼의 일부를 포함하는 별개의 전기 엔티티를 포함한다.

[0014] 다양한 실시예는, 가령 고체 산화물 연료 전지(SOFC) 스택과 같은 연료 전지 스택의 상호접속부(IC)와 같은 컴포넌트를 재가공(refurbish)하기 위한 방법을 포함한다. 실시예는 싱귤레이팅(singulating), 전해질 제거, 밀봉 및 세라믹 장벽 제거, 및 상호접속부 코팅 재가공 방법을 포함한다. 싱귤레이팅, 전해질 제거, 밀봉 및 세라믹 장벽 제거 및 상호접속부 코팅 재가공의 다양한 방법을, 단독으로 또는 조합하여 또는 기존 기술과 조합하여 사용할 수 있다.

[0015] 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따르면, 도 1a는 연료 전지 스택(100)의 사시도이고, 도 1b는 스택(100)의 일부의 단면도이다. 도 1a 및 1b를 참조하면, 스택(100)은 상호접속부(10)에 의해 분리된 연료 전지(1)를 포함하는 고체 산화물 연료 전지(SOFC) 스택일 수 있다. 도 1b를 참조하면, 각 연료 전지(1)는 캐소드(3), 고체 산화물 전해질(5) 및 애노드(7)를 포함한다.

[0016] 다양한 재료가 캐소드(3), 전해질(5) 및 애노드(7)에 사용될 수 있다. 예를 들어, 애노드(7)는 금속-함유 상(phase) 및 세라믹 상을 포함하는 서멧(cermet)층을 포함할 수 있다. 금속-함유 상은, 전자 전도체로 작용하는 니켈(Ni), 코발트(Co), 구리(Cu) 또는 이들의 합금 등과 같은 금속 촉매를 포함할 수 있다. 금속 촉매는 금속 상태일 수 있거나 산화물 상태일 수 있다. 예를 들어, 금속 촉매는 산화된 상태일 때 금속 산화물을 형성한다. 따라서, 연료 전지(1)의 작동 이전에 환원 분위기에서 애노드(7)를 열처리하여, 금속 촉매를 금속 상태로 환원시킬 수 있다.

[0017] 금속 함유-상은, 환원된 상태의 니켈을 포함할 수 있다. 이 니켈 함유-상은 산화된 상태일 때 산화 니켈을 형성할 수 있다. 따라서, 애노드(7)는 바람직하게는 산화 니켈을 니켈로 환원시키는 작업 전에, 환원성 분위기에서 어닐링된다.

[0018] 일부 실시예에 따르면, 금속 상은 금속 촉매 및 도펀트(dopant)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 금속 상은 화학식 1: $[D_xM_{1-x}]_yO$으로 표시될 수 있다: 화학식 1에서, D는: 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 티타늄(Ti), 알루미늄(Al), 망간(Mn), 텅스텐(W), 니오븀(Nb) 중에서 선택된 도펀트(모든 산화 상태) , 크롬(Cr), 철(Fe), 바나듐(V), 프라세오디뮴(Pr), 세륨(Ce), 지르코늄(Zr) 등, 또는 이들의 임의의 조합에서 선택된 도펀트이다. 일부 실시예에서, D는: Ca, Mg, 및/또는 Ti일 수 있다. M은: 니켈(Ni), 코발트(Co), 구리(Cu) 또는 이들의 합금으로부터 선택되는 금속 촉매이다. X는 약 0.01 내지 약 0.1의 범위일 수 있고, y는 약 1 내지 약 2의 범위일 수 있다. 다른 실시예에서, x는 약 0.01 내지 약 0.04의 범위일 수 있다. 예를 들어, x는 약 0.02이고 y는 1 또는 2일 수 있다.

[0019] 따라서, 금속 상은 약 1 내지 약 10 원자%("at%")의 금속 산화물 도펀트 및 약 99 내지 약 90 원자%의 금속 촉매를 포함할 수 있다. 예를 들어, 금속 상은 환원되기 전에 제조된 바와 같이, 약 2 내지 약 4 원자%의 금속 산화물 도펀트 및 약 98 내지 약 96 원자%의 금속 촉매를 포함할 수 있다.

[0020] 애노드(7)의 세라믹 상(ceramic phase)은: 가돌리니아 도핑된 세리아(gadolinia-doped ceria; GDC), 사마리아 도핑된 세리아(samaria-doped ceria; SDC), 이테르비아 도핑된 세리아(ytterbia-doped ceria; YDC), 스칸디아 안정화 지르코니아(scandia-stabilized zirconia; SSZ), 이테르비아-세리아-스칸디아-안정화 지르코니아(ytterbia-ceria-scandia-stabilized zirconia; YCSSZ) 등을 포함할 수 있으나, 이들로 제한되지 않는다. 본 명세서에 참조로 통합되는 미국 특허 제8,580,456호에 개시된 바와 같이, YCSSZ에서, 스칸디아는 9 내지 11 몰%(mol%), 예를 들어 10 몰%의 양으로 존재할 수 있고, 세리아는 0 초과(예컨대, 0.5 몰% 이상) 및 2.5 몰% 이하, 가령 1 몰%의 양으로 존재할 수 있고, 예를 들어 1 몰%, 및 이트리아 및 이테르비아 중 적어도 하나는, 0 초과 2.5 몰% 이하, 예를 들어 1 몰%의 양으로 존재할 수 있다. 이트리아 안정화 지르코니아(YSZ)는 애노드(7)의 세라믹 상에서 제외될 수 있다.

[0021] 전해질(5)은: 가령, 스칸디아 안정화 지르코니아(SSZ), 이트리아 안정화 지르코니아(YSZ), 스칸디아 세리아 안정화 지르코니아(SCSZ), 스칸디아 세리아 이트리아 안정화 지르코니아(SCYS) 등과 같은 안정화 지르코니아를 포함할 수 있다. 대안적으로, 전해질(5)은: 가령, 사마리아 도핑된 세리아(SDC), 가돌리늄 도핑된 세리아(GDC), 또는 이트리아 도핑된 세리아(YDC)와 같은 다른 이온 전도성 재료를 포함할 수 있다.

[0022] 캐소드(3)는, 가령 란탄 스트론튬 망가나이트(LSM)와 같은 전기 전도성 페로브스카이트 재료와 같은, 전기 전도성 재료의 층을 포함할 수 있다. 가령, 란타늄 스트론튬 코발트(LSC), 란타늄 스트론튬 코발트 망간(LSCM), 란타늄 스트론튬 코발트 페라이트(LSCF), 란타늄 스트론튬 페라이트(LSF)와 같은 다른 전도성 페로브스카이트. $La_{0.85}Sr_{0.15}Cr_{0.9}Ni_{0.1}O_3$(LSCN) 등 또는 백금(Pt)과 같은 금속을 사용할 수도 있다. 캐소드(3)는 또한, 애노드(7)와

유사한 세라믹 상을 함유할 수 있다. 전극 및 전해질은 각각 전술한 재료 중 하나 이상의 하위층을 하나 이상 포함할 수 있다.

[0023] 또한, 원하는 경우, 추가 접촉층 또는 집전체층이, 캐소드(3) 및 애노드(7) 위에 배치될 수 있는 반면, 가령 도핑된 세리아 계면층과 같은 추가 계면층이 전극(3, 7)과 전해질(5) 사이에 배치될 수 있다. 예를 들어, 니켈(Ni) 또는 니켈 산화물 애노드 접촉층 및 LSM 또는 LSCo 캐소드 접촉층이, 애노드(7) 및 캐소드(3) 전극 상에 각각 형성될 수 있다.

[0024] 연료 전지 스택은 평면형 구성요소, 튜브, 또는 다른 기하학적 형태의 다수의 연료 전지(1)로부터 흔히 구축된다. 비록 도 1a에서 연료 전지 스택(100)은 수직으로 배향되어 있지만, 연료 전지 스택은 수평으로 배향되거나, 임의의 다른 방향으로 배향될 수 있다. 연료와 공기는 전기화학적 활성 표면에 제공될 수 있으며, 이 활성 표면은 클 수 있다. 예를 들어, 연료는 각각의 상호접속부(10) 및 연료 전지(1)에 형성된 연료 개구(fuel holes; 22)(예를 들어, 연료 라이저 개구부)를 통해 제공될 수 있는 반면, 공기는 상호접속부(10)의 공기측 리브 사이의 스택 측면으로부터 제공될 수 있다.

[0025] 각각의 상호접속부(10)는 스택(100)에서 인접한 연료 전지(1)를 전기적으로 연결한다. 특히, 상호접속부(10)는 하나의 연료 전지(1)의 애노드(7)를 인접한 연료 전지(1)의 캐소드(3)에 전기적으로 연결할 수 있다. 도 1b는 하부 연료 전지(1)가 2개의 상호접속부(10) 사이에 위치하는 것을 보여준다. 니켈(Ni) 메쉬(미도시)는 상호접속부(10)를 인접한 연료 전지(1)의 애노드(7)에 전기적으로 연결하기 위해 사용될 수 있다.

[0026] 각각의 상호접속부(10)는 연료 채널(8A)을 적어도 부분적으로 형성하는 연료측 리브(ribs)(12A) 및 산화제(예를 들어, 공기) 채널(8B)을 적어도 부분적으로 형성하는 공기측 리브(12B)를 포함한다. 상호접속부(10)는, 스택 내의 하나의 전지의 연료 전극(즉, 애노드(7))으로 흐르는 탄화수소 연료와 같은 연료를, 스택 내의 인접한 전지의 공기 전극(즉, 캐소드(3))으로 흐르는 공기와 같은 산화제로부터 분리하는 가스-연료 분리기로서 작동할 수 있다. 스택(100)의 양 단부에는, 단부 전극에 각각 공기 또는 연료를 제공하기 위한 공기 단부 플레이트 또는 연료 단부 플레이트(미도시)가 있을 수 있다.

[0027] 각각의 상호접속부(10)는, 전지 내의 고체 산화물 전해질과 유사한(예를 들어, 0-10%의 차이의) 열 팽창 계수를 갖는, 가령 금속 합금(예컨대, 크롬-철 합금)과 같은 전기 도전성 재료로 만들어질 수 있거나 이를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상호접속부(10)는 금속(예를 들어, 4-6 중량%의 철, 선택적으로 1 중량% 이하의 이트륨 및 밸런스 크롬 합금과 같은 크롬-철 합금)을 포함할 수 있고, 인접한 연료 전지(1)의 캐소드 또는 공기측에 하나의 연료 전지(1)의 애노드 또는 연료측을 전기적으로 연결할 수 있다. 가령, 니켈 접촉층과 같은 전기 전도성 접촉층이, 애노드(7)와 각 상호접속부(10) 사이에 제공될 수 있습니다. 다른 선택적인 전기 전도성 접촉층이, 캐소드(3)와 각 상호접속부(10) 사이에 제공될 수 있다.

[0028] 본 개시내용의 다양한 실시예에 따르면, 도 2a는 상호접속부(10)의 공기측의 평면도이고, 도 2b는 상호접속부(10)의 연료측의 평면도이다. 도 1b 및 2a를 참조하면, 공기측은, 상호접속부(10)의 대향하는 제1 및 제2 에지로부터 연장되는 공기 채널(8B)을 포함한다. 공기는 공기 채널(8B)을 통해 인접한 연료 전지(1)의 캐소드(3)로 흐른다.

[0029] 상호접속부(10)는 연료 개구(22)를 둘러싸는 링 밀봉 영역(20R)을 포함할 수 있다. 링 밀봉부(20)는, 연료가 상호접속부(10)의 공기측과 접촉하는 것을 방지하기 위해, 연료 개구(22)를 둘러싸는 링 밀봉 영역(20R)에 배치될 수 있다. 상호접속부(10)의 공기측은, 상호접속부(10)의 대향 에지에 배치된 스트립 밀봉 영역(24R)을 포함할 수 있다. 연장된 직사각형의 밀봉부(24)(예컨대, 스트립 밀봉부)가 스트립 밀봉 영역(24R) 상에 배치될 수 있다. 링 및 스트립 밀봉부(20, 24)는, 유리 또는 유리-세라믹 재료로 형성될 수 있다. 링 밀봉 영역(22R) 및 스트립 밀봉 영역(24R)은, 리브 또는 채널을 포함하지 않는 평면형의 상승된 영역일 수 있다. 링 밀봉 영역(22R) 및 스트립 밀봉 영역(24R)의 표면은, 리브(12B)의 상부와 동일 평면에 있을 수 있다.

[0030] 도 1b 및 2b를 참조하면, 상호접속부(10)의 연료측은, 연료 채널(8A) 및 연료 매니폴드(28)를 포함하는 연료 유동 영역(30R)을 포함할 수 있다. 연료는, 연료 개구(22) 중 하나(예컨대, 연료 유입 라이저의 일부를 형성하는 유입 연료 개구)로부터, 인접한 매니폴드(28)로, 연료 채널(8A)을 통해, 그리고 인접한 연료 전지(1)의 애노드(7)로 유동한다. 과잉 연료는, 다른 연료 매니폴드(28)로 흐른 다음, 다른 연료 개구(22)로 흐를 수 있다. 프레임 밀봉 영역(26)은 상호접속부(10)의 연료측의 프레임 밀봉 영역(26R) 상에 배치된다. 프레임 밀봉 영역(26R)은, 리브 또는 채널을 포함하지 않는 상승된 플래토(elevated plateau)일 수 있다. 프레임 밀봉 영역(26R)의 표면은 리브(12A)의 상부와 동일 평면에 있을 수 있다.

[0031] 본 개시내용의 다양한 실시예에 따르면, 도 3a는 연료 전지(1)의 캐소드 측(예를 들면, 공기측)의 평면도이고, 도 3b는 연료 전지(1)의 애노드 측(예를 들어, 연료측)의 평면도이다. 도 1a, 1b, 3a 및 3b를 참조하면, 연료 전지(1)는 연료 개구(22), 전해질(5), 캐소드(3) 및 애노드(7)를 포함할 수 있다. 캐소드(3)는 전해질(5)의 일 측에 배치될 수 있다. 애노드(7)는, 전해질(5)의 대향하는 제2측 상에 배치될 수 있다.

[0032] 연료 개구(22)는, 연료 전지 스택(100)에 조립될 때, 전해질(5)을 통해 연장될 수 있고, 상호접속부(10)의 연료 개구(22)와 중첩되도록 배열될 수 있다. 캐소드(3)는, 연료 전지 스택(100)에 조립될 때, 링 밀봉부(20) 및 스트립 밀봉부(24)와 중첩되지 않도록 전해질(5) 상에 인쇄될 수 있다. 애노드(7)는 캐소드(3)와 유사한 형상을 가질 수 있다. 애노드(7)는, 스택(100)에 조립될 때, 프레임 밀봉부(26)와 중첩되지 않도록 배치될 수 있다. 즉, 캐소드(3)와 애노드(7)는, 전해질(5)의 가장자리로부터 리세스(recess)되어서, 전해질(5)의 가장자리 영역이, 해당 밀봉부(20, 24, 26)와 직접 접촉할 수 있다..

[0033] 도 4는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른, 연료 전지 스택(100)의 연료 전지(1) 및 인접한 상호접속부(10)의 단면도이다. 도 4의 하부 상호접속부(10)의 특징이 상세히 도시된다. 그러나, 2개의 상호접속부(10)는 동일한 특징을 가질 수 있다. 금속 산화물 코팅 또는 층(32)은, 상호접속부(10)의 공기측 상에 배치될 수 있고, 부식 장벽층(34)은 금속 산화물층(32) 상에 배치될 수 있다. 금속 산화물층(32)은, 예를 들어, 란탄 스트론튬 망간(lanthanum strontium manganite; "LSM") 및/또는 망간 코발트 산화물(manganese cobalt oxide; "MCO") 스피넬 코팅 재료(spinel coating materials)로 형성될 수 있고, 공기측 리브(12B) 및/또는 상호접속부(10)의 공기 채널(8B) 상에 배치될 수 있다.

[0034] 부식 장벽층(34)은, 적어도 링 밀봉부(20) 아래의 금속 산화물층(32) 상에 배치될 수 있다. 일부 실시예에서, 부식 장벽층(34)은 또한, 선택적으로 스트립 밀봉부(24) 아래에 배치될 수 있거나, 또는 금속 산화물층(32) 전체를 덮을 수 있다. 부식 장벽층(34)은, 망간 또는 코발트 중 적어도 하나가 금속 산화물층(32)으로부터 링 밀봉부(20)로 확산되는 것을 방지하는 장벽으로 작용할 수 있다. 구체적으로, 부식 장벽층(34)은 바람직하게는 임의의 Mn 및/또는 Co(또는 적어도 5 원자% 미만의 Mn 및/또는 Co를 함유함)가 결핍되고, 링 밀봉부(20)로부터 인접 전해질(5)로 향하는 Mn 및/또는 Co 확산을 방지하기 위해, 금속 산화물층으로부터 링 밀봉부(20) 내로의 Mn 및/또는 Co 확산을 방지한다.

[0035] 부식 장벽층(34)은, 2017년 2월 28일에 허여되고 그 전체가 참고로 본 명세서에 포함되는 미국 특허 9,583,771 B2에 기술된 유리 세라믹 재료를 포함할 수 있다. 부식 장벽층(34)은: SOFC 스택의 상호접속부 표면에 적용되는 적어도 90 중량%의 유리(예를 들어, 가령 약 99 내지 100 중량%의 비정질 유리와 같은 90-100 중량%의 유리 및 0 내지 1 중량%의 결정 상)를 포함하는 실질적으로 유리인 장벽 전구체층으로부터 형성된 유리 세라믹층을 포함할 수 있다. 일실시예에서, 유리 장벽 전구체층은 적어도 90 중량%의 유리를 포함하며, 산화물 중량 기준으로 다음을 포함한다:

[0036] 45-55 중량%의 실리카(SiO_2);

[0037] 5-10 중량%의 산화칼륨(K_2O);

[0038] 2-5 중량%의 산화칼슘(CaO);

[0039] 2-5 중량%의 산화바륨(BaO);

[0040] 0-1 중량%의 삼산화붕소(B_2O_3);

[0041] 15-25 중량%의 알루미나(Al_2O_3); 및

[0042] 20-30 중량%의 지르코니아(ZrO_2).

[0043] 하나의 바람직한 실시예에서, 유리 장벽 전구체층은, 산화물 중량 기준으로 다음을 포함한다:

[0044] 44.6 중량%의 실리카;

[0045] 6.3 중량%의 산화칼륨;

[0046] 2.4 중량%의 산화칼슘;

[0047] 2.4 중량%의 산화바륨;

[0048] 19.1 중량%의 알루미나;

[0049] 0.1 중량%의 삼산화붕소; 및

[0050] 25.1 중량% 지르코니아.

[0051] 일부 실시예에서, 크롬 산화물층(36)은 상호접속부(10)의 연료측에 형성될 수 있다. 특히, 크롬-철 합금 상호접속부(10) 재료의 크롬은, 상호접속부(10)의 연료측에 축적되는 크롬 산화물층(36)을 형성할 수 있다.

[0052] **연료 전지 컴포넌트의 재가공**

[0053] 본 개시내용의 다양한 실시예에 따르면, 연료 전지 스택 컴포넌트를 재가공하는 시스템 및 방법이 제공된다. 예를 들어, 연료 전지 스택의 작동 수명이 끝나면, 스택이 분해될 수 있고, 그 컴포넌트는 재가공된 이후 재활용(즉, 새로운 연료 전지 스택에서 재사용)될 수 있다.

[0054] 도 6은 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른 연료 전지 상호접속부를 재활용하는 방법을 예시하는 공정 흐름도이다. 도 1a, 4 및 5를 참조하면, 단계(602)에서, 연료 전지 스택(100)은 연료 전지 시스템으로부터 제거될 수 있고 상호접속부(10)를 서로 분리하기 위해 싱귤레이션될 수 있다.

[0055] 임의의 적합한 싱귤레이션 방법이 사용될 수 있다. 예를 들어, 전문이 본 명세서에 참조로 통합되는, 2013년 9월 17일에 허여된 미국 특허 제8,535,841호 및 2020년 8월 25일에 허여된 미국 특허 제10,756,355 B2호에 개시된 바와 같이, 스택은 기계적으로, 수압적으로 또는 열적으로 싱귤레이션될 수 있고, 연료 전지 컴포넌트가 그로부터 제거될 수 있다.

[0056] 단계(604)에서, 스택 컴포넌트 잔해(debris)는, 각각의 상호접속부(10)로부터 제거될 수 있다. 예를 들어, 연료 전지 전해질, 밀봉부(seal), 잉크, 및/또는 상호접속부(10)에 부착된 채로 남아 있는, 니켈 메쉬층과 같은 전도성층이 제거될 수 있다. 예를 들어, 와이어 브러시 또는 압축 공기를 사용하여 이러한 잔해를 제거할 수 있다. 일부 실시예에서, 연료 전지 컴포넌트의 잔해 제거를 용이하게 하기 위해 다이(die)를 사용하여 연료 전지 전해질을 분해할 수 있다.

[0057] 잔해의 제거 후에, 스택 컴포넌트 잔류물은, 상호접속부(10) 상에 남을 수 있다. 예를 들어, 잔류물은: 유리, 세라믹, 및/또는 유리/세라믹 재료 잔류물, 예를 들어 세라믹 전해질로부터의 잔류물, 유리 밀봉부 및 /또는 세라믹 장벽층 등이 상호접속부(10) 상에 남을 수 있다. 특히, 잔류물은 밀봉(20 및/또는 24) 잔류물, 상호접속부(10)의 연료측의 링 밀봉 영역(20R) 상에 배치된 부식 장벽층(34), 및 상호접속부(10)의 연료측에 배치된 크롬 산화물층(36)을 포함할 수 있다.

[0058] 단계(606)에서, 상호접속부(10)의 공기측 및 연료측은 잔류물을 제거하기 위해 레이저 조사(laser-irradiated)될 수 있다. 상호접속부(10)의 공기측 및 연료측은 임의의 순서로 또는 동시에 레이저 조사될 수 있다. 특히, 단계(606)는, 잔류물을 증발 및/또는 제거하기에 충분한 온도로 잔류물을 가열하기 위해, 하나 이상의 펄스 레이저 빔으로 상호접속부(10)의 연료 및 공기측의 적어도 일부를 스캔(scan)하는 것을 포함할 수 있다.

[0059] 상호접속부(10) 조사의 정밀한 제어는, 상호접속부(10)의 공기측에 있는 비교적 고가의 금속 산화물층(32)을 손상시키지 않고, 잔류물의 제거를 허용할 수 있다고 판단되었다. 예컨대, 상호접속부(10)의 과도하게 국소화된 가열은, 크랙의 형성을 발생시키거나 및/또는 상호접속부 상의 금속 산화물층(32)을 손상시킬 수 있다. 따라서, 금속 산화물층(32) 및/또는 상호접속부(10)를 손상시키지 않고, 잔류물이 기화될 수 있도록, 가령 전력, 펄스 주파수, 스캔 속도 및/또는 빔 스폿 직경과 같은 레이저 빔의 특성이 제어될 수 있다.

[0060] 일부 실시예에 따르면, 단일 레이저 빔이, 상호접속부(10)의 연료측과 공기측 중 하나 또는 모두를 조사하는데 사용될 수 있다. 다른 실시예에서, 하나 이상의 레이저 소스들에 의해 생성될 수 있는 하나 이상의 레이저 빔이, 상호접속부(10)의 각각의 측면을 조사하는데 사용될 수 있다. 각각의 레이저 빔은 상호접속부(10)를 가로질러 레이저 빔의 스캐닝(scanning)을 제어하도록 구성된 스캐너(scanner)로 제어될 수 있다. 예를 들어, 레이저 빔은, 잔류물을 증발시키기에 충분한 온도로 상호접속부(10)의 표면을 가열하기 위해, 래스터 패턴(raster pattern), 벡터 패턴, 구불구불한 패턴(serpentine pattern) 등으로 선택적으로 스캔될 수 있다. 대안적으로, 상호접속부(10)는 상호접속부를 가로질러 빔을 스캔하기 위해, 레이저 빔에 대하여 지지 스테이지에서 이동될 수 있다.

[0061] 따라서, 상기 잔류물은 상호접속부(10)로부터 신속하게 제거될 수 있다. 레이저 라인 속도는, 일부 실시예에서,

초당 24인치(예를 들어, 초당 25 내지 500인치)를 초과할 수 있다. 잔류물에 대한 레이저 노출 시간은, 1초 미만일 수 있다(예컨대, 0.05~0.9초). 그러나, 본 발명은, 특정 유형의 레이저, 이동 시간 또는 노출 시간에 제한되지 않는다. 레이저 빔은 상호접속부(10)로부터 연료 전지 잔해를 기화 및/또는 박리하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 레이저는 다른 연료 전지 잔해를 상호접속부(10)에 결합하는 밀봉부를 기화시켜, 이러한 재료를 제거하도록 구성될 수 있다.

[0062] 일부 실시예에서, 레이저 빔(들)은, 800 nm 초과 내지 5,000 nm 미만의 파장, 예를 들어 약 1060 nm 내지 약 1075 nm, 예컨대 약 1062 nm 내지 약 1066 nm, 또는 약 1064 nm 범위의 파장을 갖는 레이저 빔을 생성하도록 구성된, 가령 펄스된 적외선 파이버 레이저 소스(pulsed infrared fiber laser source)와 같은 레이저 소스에 의해 생성될 수 있다. 파이버 레이저는, 희토류 원소가 도핑된 광섬유 능동 이득 매체를 포함한다. 희토류 원소에는 에르븀(erbium), 이테르븀(ytterbium), 네오디뮴(neodymium), 디스프로슘(dysprosium), 프라세오디뮴(praseodymium), 툴륨(thulium) 및/또는 홀뮴(holmium)이 포함될 수 있다. 레이저 소스는, 가령 500W 내지 1000W와 같이 100W 내지 3000W 범위의 피크 전력 출력을 가질 수 있다. 레이저 소스는: 1.5mm 이하, 가령 1 mm 이하, 가령 약 0.5mm 내지 약 1mm, 가령 약 0.6mm 내지 0.8mm와 같은 빔 스폿 크기(예를 들어, 직경)를 갖는 레이저 빔 스폿을 생성할 수 있다. 본 발명자들은, 비교적 큰 빔 스폿 크기(예컨대, 2mm 이상)를 갖는 연속 레이저 빔보다 상대적으로 작은 빔 스폿 크기(예컨대, 1.5mm 이하)를 갖는 펄스된 레이저 빔을 사용하는 것이, 상호접속부(10)를 손상시키거나 금속 산화물층(32)을 기화시키지 않고, 잔류물을 제거할 수 있는, 더 짧은 지속시간 동안의 더 높은 피크를 발생시킨다고 판단하였다. 따라서, 재가공된 상호접속부(10)는 비교적 고가의 금속 산화물층(32)으로 재코팅될 필요가 없다.

[0063] 본 개시내용의 다양한 실시예에 따라, 도 6a는 싱귤레이션된 상호접속부(10)의 공기측에 적용될 수 있는 레이저 조사 패턴을 도시하고, 도 6b는 상호접속부(10)의 연료측에 적용될 수 있는 레이저 조사 패턴을 도시한다. 도 6c는 본 개시내용의 다양한 실시예에 따른, 재포장(resurface) 이후의, 상호접속부(10)의 공기측의 평면도이다.

[0064] 도 5 및 6a를 참조하면, 단계(606)에서, 방법은, 레이저 빔과 상호접속부를 서로에 대해 이동시킴으로써, 하나 이상의 스캔 패스(scanning passes)를 사용하여, 상호접속부(10)의 공기측의 스트립 밀봉 영역(24R) 및 링 밀봉 영역(20R)을 가로질러 하나 이상의 레이저 빔을 스캔하는 단계를 포함할 수 있다. 레이저 빔 및/또는 상호접속부(10)는, 상호접속부(10)를 가로질러 레이저 빔의 스캔을 생성하도록 이동될 수 있다.

[0065] 예를 들어, 단계(606)는 제1 스캐닝 패스(scanning pass)를 수행하는 것을 포함할 수 있고, 그 동안 스트립 밀봉 영역은 제1 레이저 빔으로 스캐닝될 수 있다. 제1 레이저 빔은: 약 800W 내지 약 1250W, 예컨대 약 900W 내지 약 1100W, 약 950W 내지 약 1050W, 또는 약 1000W 범위의 피크 전력을 갖는 펄스된 레이저 빔일 수 있다. 제1 레이저 빔은: 약 5kHz 내지 약 15kHz, 예컨대 약 8kHz 내지 약 13kHz, 또는 약 10kHz 내지 11kHz 범위의 펄스 주파수를 가질 수 있다. 제1 레이저 빔은: 가령, 약 2750mm/s 내지 약 3250mm/s, 또는 약 3000mm/s와 같은, 약 2500mm/s 내지 약 3500mm/s 범위의 스캐닝 속도를 가질 수 있다. 제1 레이저 빔은: 1.5mm 이하, 예를 들어 1mm 이하, 예를 들어 약 0.5mm 내지 약 1mm, 예를 들어 약 0.6mm 내지 0.8mm의 빔 스폿 크기(예를 들어, 직경)를 가질 수 있다. 제1 레이저 빔은: 약 50ns 내지 약 150ns, 예컨대 약 75ns 내지 약 125ns, 또는 약 100ns 범위의 펄스 폭을 가질 수 있다. 주파수 및/또는 체류 시간은, 상이한 잔류물을 순차적으로 제거하기 위해(예를 들어, 밀봉 잔류물을 제거한 후 부식 장벽층 잔류물을 제거하기 위해) 제1 스캐닝 패스 동안 변경될 수 있다.

[0066] 단계(606)는 제2 스캐닝 패스를 수행하는 것을 포함할 수 있고, 그 동안 스트립 밀봉 영역(24R)은 제2 레이저 빔으로 제2 시간 동안 스캐닝될 수 있다. 제2 레이저 빔은, 제1 스캐닝 패스 동안 사용하는 제1 레이저 빔과 상이한 펄스 레이저 빔일 수 있다. 제2 레이저 빔은 제1 스캐닝 패스 동안 사용된 제1 레이저 빔보다, 더 낮은 피크 전력, 더 짧은 펄스 폭, 더 빠른 스캐닝 속도, 더 작은 빔 스폿 크기, 및/또는 더 높은 펄스 주파수 중 적어도 하나를 가질 수 있다. 제2 레이저 빔의 빔 스폿 크기가 작을수록, 제1 레이저 빔보다 출력 밀도가 높아진다. 제2 레이저 빔은: 약 250W 내지 약 750W의 범위, 예를 들어 약 400W 내지 약 600W, 약 450W 내지 약 550W, 또는 약 500W의 피크 전력을 가질 수 있다. 제2 레이저 빔은: 가령, 약 25kHz 내지 약 35kHz, 또는 약 30kHz와 같은 약 20kHz 내지 약 40kHz 범위의 펄스 주파수를 가질 수 있다. 제2 레이저 빔은: 약 4500 mm/s 내지 약 5500 mm/s의 범위, 예컨대 약 4750 mm/s 내지 약 5250 mm/s, 또는 약 5000 mm/s의 스캐닝 속도를 가질 수 있다. 제2 레이저 빔은: 가령, 약 0.05mm 내지 약 0.15mm의 범위, 예컨대 약 0.075mm 내지 약 0.125mm, 또는 약 0.1mm의 빔 스폿 크기와 같이 0.5mm 미만의 빔 스폿 크기(예를 들어, 직경)를 가질 수 있다. 제2 레이저 빔은: 약 15ns 내지 약 35ns, 예컨대 약 20ns 내지 약 30ns, 또는 약 25ns의 펄스 폭을 가질 수 있다. 제2 레이저 빔은, 금속 산화물층(32)을 제거(예를 들어, 기화)하지 않고 스트립 밀봉 영역(24R)에서 금속 산화물층(32)을 리플로우할 수 있다. 따라서, 금속 산화물층은, 제1 스캐닝 패스 이후보다 더 매끄럽고 밀도가 높을 수 있다(예컨대, 거친

스폿들이 제거되거나 및/또는 기공들이 충전될 수 있다).

[0067] 단계(606)는 링 밀봉 영역(20R)이 제3 레이저 빔을 사용하여 처음으로 스캐닝되는 동안 제3 스캐닝 패스를 수행하는 것을 포함할 수 있다. 제3 레이저 빔은 제1 레이저 빔과 유사한 특성을 가질 수 있다.

[0068] 단계(606)는 제4 스캐닝 패스를 수행하는 것을 포함할 수 있고, 그 동안 링 밀봉 영역(20R)은 제4 레이저 빔을 사용하여 두 번째로 스캐닝된다. 제4 레이저 빔은 제2 레이저 빔과 유사한 특성을 가질 수 있다. 제4 레이저 빔은, 금속 산화물층(32)을 기화시키지 않고, 링 밀봉 영역(20R)에서 금속 산화물층(32)을 리플로우할 수 있다. 따라서, 금속 산화물층은, 제3 스캐닝 패스 이후보다, 더 매끄럽고 밀도가 높을 수 있다(예컨대, 거친 스폿들이 제거되거나 및/또는 기공들이 충전될 수 있다).

[0069] 하지만, 일부 실시예에서, 링 밀봉 영역(20R)은 스트립 밀봉 영역(24R)이 스캔되기 전에 또는 그와 동시에 스캔될 수 있다. 이와 같이, 본 개시내용은 임의의 특정 스캐닝 순서에 제한되지 않는다. 따라서, 일부 실시예에서, 링 밀봉 영역(20R) 및 스트립 밀봉 영역(24R)이 2개의 스캐닝 패스만을 사용하여 스캐닝될 수 있도록 단계(606)가 수정될 수 있다. 예를 들어, 단계(606)는, 링 밀봉 영역(20R) 및 스트립 밀봉 영역(24R)이 모두 제1 레이저 빔을 사용하여 제1 스캐닝 패스 동안 스캐닝되고, 그 다음 제2 레이저 빔을 사용하여 제2 스캐닝 경로 동안에 대해 스캐닝되도록 수정될 수 있다.

[0070] 도 5 및 6b를 참조하면, 단계(606)는 제5 스캐닝 패스를 수행하는 것을 포함할 수 있고, 그 동안 상호접속부(10)의 연료측의 프레임 밀봉 영역(26R)이 제5 레이저 빔을 사용하여 스캐닝된다. 제5 레이저 빔은 제1 레이저 빔과 실질적으로 동일한 특성을 가질 수 있다.

[0071] 단계(606)는 제6 스캐닝 패스를 수행하는 것을 포함할 수 있고, 그 동안 프레임 밀봉 영역(26R)은 제6 레이저 빔을 사용하여 두 번째로 스캐닝될 수 있다. 제6 레이저 빔은 제5 레이저 빔보다 더 낮은 전력 및/또는 더 빠른 스캐닝 속도를 가질 수 있다. 제6 레이저 빔은: 약 250W 내지 약 750W의 범위, 예컨대 약 400W 내지 약 600W, 약 450W 내지 약 550W, 또는 약 500W의 피크 전력을 갖는 펄스된 레이저 빔일 수 있다. 제6 레이저 빔은: 가령, 약 8kHz 내지 약 13kHz, 또는 약 10kHz 내지 11kHz와 같이, 5kHz 내지 약 15kHz 범위의 펄스 주파수를 가질 수 있다. 제6 레이저 빔은: 약 4500 mm/s 내지 약 5500 mm/s의 범위, 예컨대 약 4750 mm/s 내지 약 5250 mm/s, 또는 약 5000 mm/s의 스캐닝 속도를 가질 수 있다. 제6 레이저 빔은: 약 0.15mm 내지 약 0.35mm의 범위, 예컨대 약 0.20mm 내지 약 0.30mm, 또는 약 0.25mm의 빔 스폿 직경을 가질 수 있다. 제6 레이저 빔은: 약 50ns 내지 약 150ns의 범위, 예컨대 약 75ns 내지 약 125ns, 또는 약 100ns의 펄스 폭을 가질 수 있다.

[0072] 도 4, 5 및 6c를 참조하면, 단계(608)에서, 방법은 상호접속(10)의 연료측으로부터 크롬 산화물층(36)을 제거하는 것을 포함할 수 있다. 특히, 단계(608)는 제7 스캐닝 패스를 수행하는 것을 포함할 수 있고, 그 동안 제7 레이저 빔은 크롬 산화물층(36)을 기화시키기 위해, 하나 이상의 패스에서, 상호접속부(10)의 연료측의 전부 또는 실질적으로 전부를 가로질러 스캐닝된다. 제7 레이저 빔의 특성은, 크롬 산화물층(36)이 상호접속부(10)의 밑에 있는 연료측을 손상시키지 않고 제거되도록 설정될 수 있다.

[0073] 제7 레이저 빔은, 제6 레이저 빔보다, 더 낮은 전력, 더 높은 주파수, 더 빠른 스캐닝 속도 및/또는 더 짧은 펄스 폭 중 적어도 하나를 가질 수 있다. 예를 들어, 제7 레이저 빔은: 약 200W 내지 약 600W의 범위, 예컨대 약 300W 내지 약 500W, 약 350W 내지 약 450W, 또는 약 400W의 피크 전력을 갖는 펄스된 레이저 빔일 수 있다. 제7 레이저 빔은: 약 20kHz 내지 약 40kHz의 범위, 가령 약 25kHz 내지 약 35kHz, 또는 약 30kHz의 펄스 주파수를 가질 수 있다. 제7 레이저 빔은: 약 7500mm/s 내지 약 8500mm/s의 범위, 예컨대 약 7750mm/s 내지 약 8250mm/s, 또는 약 8000mm/s의 스캐닝 속도를 가질 수 있다. 제7 레이저 빔은: 약 0.6mm 내지 약 1.0mm의 범위, 예컨대 약 0.7mm 내지 약 0.9mm, 또는 약 0.8mm의 빔 스폿 직경을 가질 수 있다. 제7 레이저 빔은: 약 15ns 내지 약 35ns의 범위, 예컨대 약 20ns 내지 약 30ns, 또는 약 25ns의 펄스 폭을 가질 수 있다.

[0074] 다시 도 4 및 5를 참조하면, 단계(610)에서, 방법은 상호접속부(10)의 공기측을 재조정(reconditioning)하는 것을 포함할 수 있다. 특히, 단계(610)는, 금속 산화물층(32)을 재조정하기 위해, 8개의 스캐닝 패스 동안에, 상호접속부(10)의 공기측 전체 또는 실질적으로 전체에 걸쳐 제8 레이저 빔을 스캐닝하는 단계를 포함할 수 있다. 제8 레이저 빔은, 제1 레이저 빔과 실질적으로 동일한 특성을 가질 수 있다.

[0075] 제8 레이저 빔의 특성은, 금속 산화물층(32)이 부분적으로 용융되어 금속 산화물층(32)의 표면을 매끄럽고 조밀화하거나, 및/또는 이로부터 오염물을 제거하도록 설정될 수 있다. 특히, 금속 산화물층(32)은 금속 산화물층(32)의 표면을 적어도 부분적으로 액화시키기에 충분한 온도로 가열될 수 있고, 그 결과 액화된 금속 산화물이 나머지 금속 산화물층(32)의 기공으로 리플로우된다. 이 프로세스는, 금속 산화물층(32)의 밀도를 증가시키고

금속 산화물층(32)의 임의의 상대적으로 거친 표면 영역을 제거할 수 있다.

[0076] 스캐닝 패턴은, 도 6a에 도시된 바와 같은 수평 스캐닝 라인들을 포함할 수 있다. 그러나, 본 개시내용은, 임의의 특정 스캐닝 패턴 또는 스캔 라인 배향에 제한되지 않는다. 예를 들어, 스캐닝 패턴은: 수직 스캔 라인, 비-수직 스캔 라인, 수평 스캔 라인, 구불구불한 스캔 라인, 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다.

[0077] 도 5 및 6c를 참조하면, 단계(612)에서, 방법은, 상호접속부(10)의 공기측의 링 밀봉 영역(20R)을 재표면화(resurface)하는 것을 포함할 수 있다. 특히, 링 밀봉 영역(20R)에서 금속 산화물층(32)의 표면적은, 금속 산화물층(32)과 후속적으로 퇴적되는 장벽층 사이의 접착을 증가시키기 위해, 이를 거칠게 만들거나 드릴링을 통하여 증가될 수 있다.

[0078] 특히, 단계(612)는 링 밀봉 영역(20R)을 레이저 드릴링하여, 금속 산화물층(32) 또는 금속 산화물층(32)과 상호접속부(10) 둘 모두에 미세공동(microcavities; 80)을 형성하는 것을 포함할 수 있다. 미세공동(80)은: 약 25㎛ 내지 약 200㎛, 예컨대 약 50㎛ 내지 약 100㎛, 또는 약 75㎛의 직경을 가질 수 있다. 각각의 링 밀봉 영역(20R)에는, 적어도 1,000개(예를 들어, 1,000개 내지 10,000개, 예컨대 5,000개 내지 6,000개)의 미세공동(80)이 형성될 수 있다. 빔 스폿 크기가 약 200 미크론 이하, 가령 25㎛ 내지 약 200㎛, 가령 약 50㎛ 내지 100㎛, 또는 약 75㎛의 직경으로 감소된다는 점을 제외하고는, 제4 레이저 빔과 동일한 펄스된 레이저 빔이 레이저 드릴링에 사용될 수 있다.

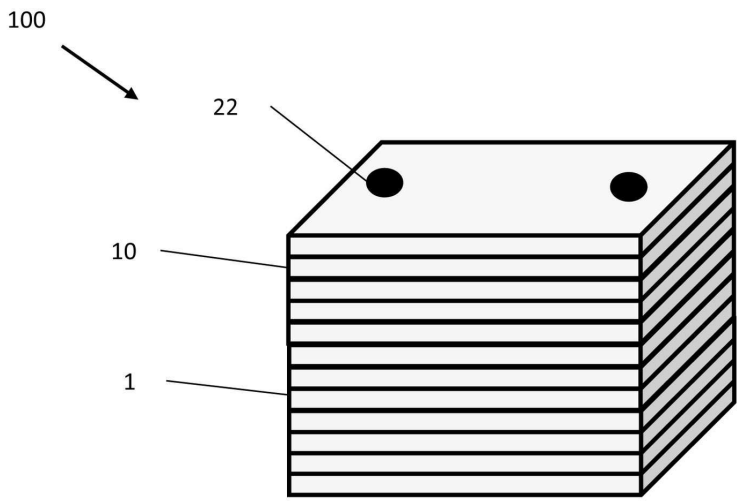
[0079] 일부 실시예에서, 단계(612)는 도 4에 도시된 바와 같이, 링 밀봉 영역(20R)을 다시 표면 처리한 후, 링 밀봉 영역(20R) 상에 부식 장벽층(34)을 퇴적하는 것을 포함할 수 있다. 미세공동(80)은 부식 장벽층(34)과 금속 산화물층(32)의 접착을 향상시킨다.

[0080] 재가공 프로세스는, 연료 전지 파편의 가시적인 흔적을 남기지 않을 수 있다. 또한, 상호접속부는 재활용 프로세스 동안 과도한 가열로 인해 발생할 수 있는 균열 및/또는 다른 손상을 갖지 않는다. 또한, 크롬 산화물층(36)은 연료측에서 제거될 수 있고, 부식 장벽층(34)은 비교적 고가의 금속 산화물층(32)을 제거하지 않고 상호접속부(10)의 공기측에서 제거될 수 있다.

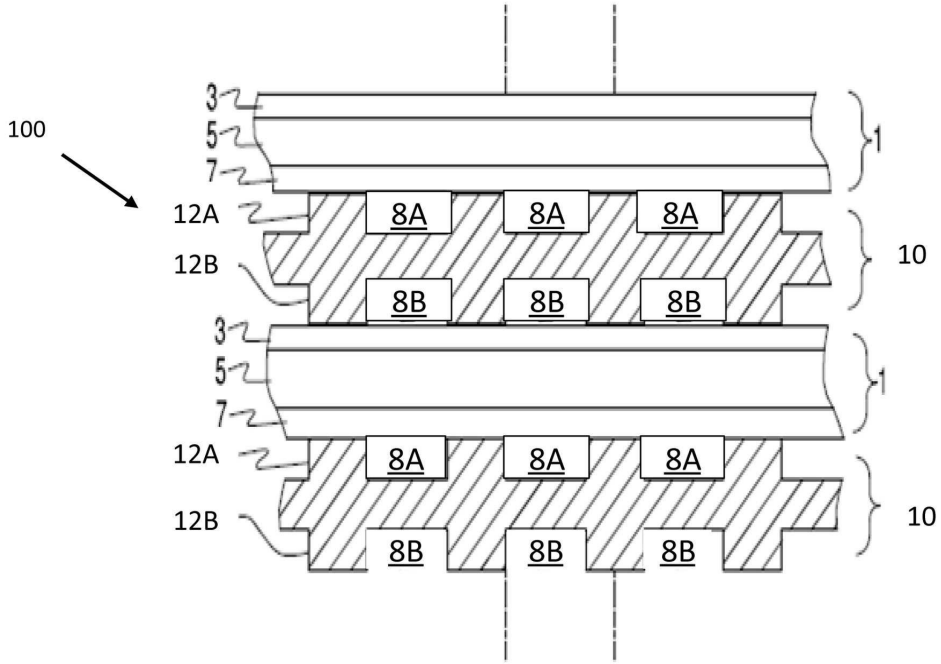
[0081] 전술한 내용이 특정한 바람직한 실시예를 언급하지만, 본 발명이 이에 제한되지 않는다는 것을 이해할 것이다. 다양한 수정이 개시된 실시예에 대해 이루어질 수 있고, 그러한 수정이 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 의도된다는 것이 당업자에게 자명할 것이다. 여기에 인용된 모든 문헌들, 특허출원 및 특허 공보는 전문이 참조로 본 명세서에 포함된다.

도면

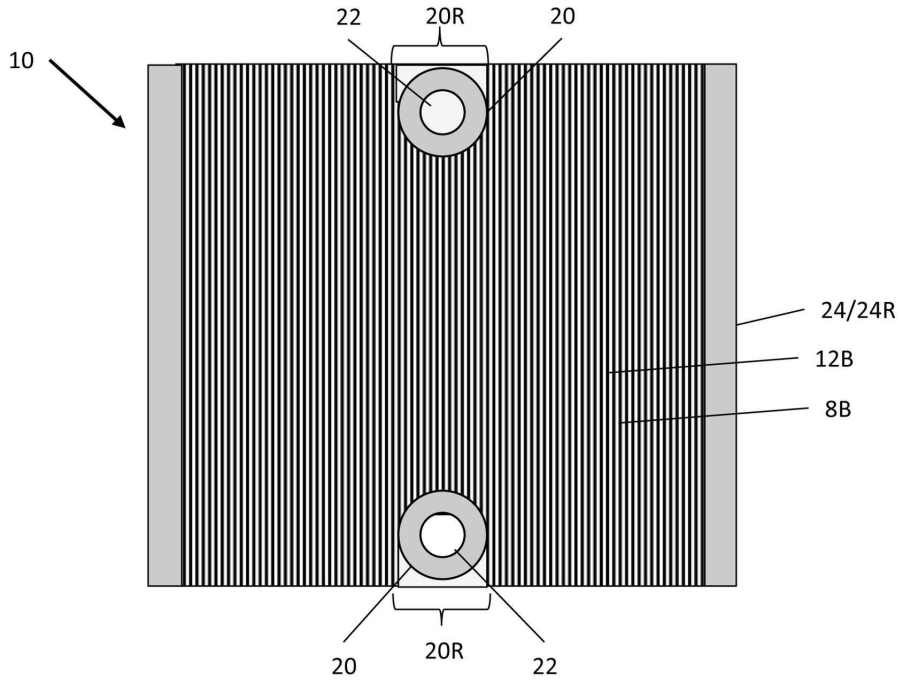
도면1a



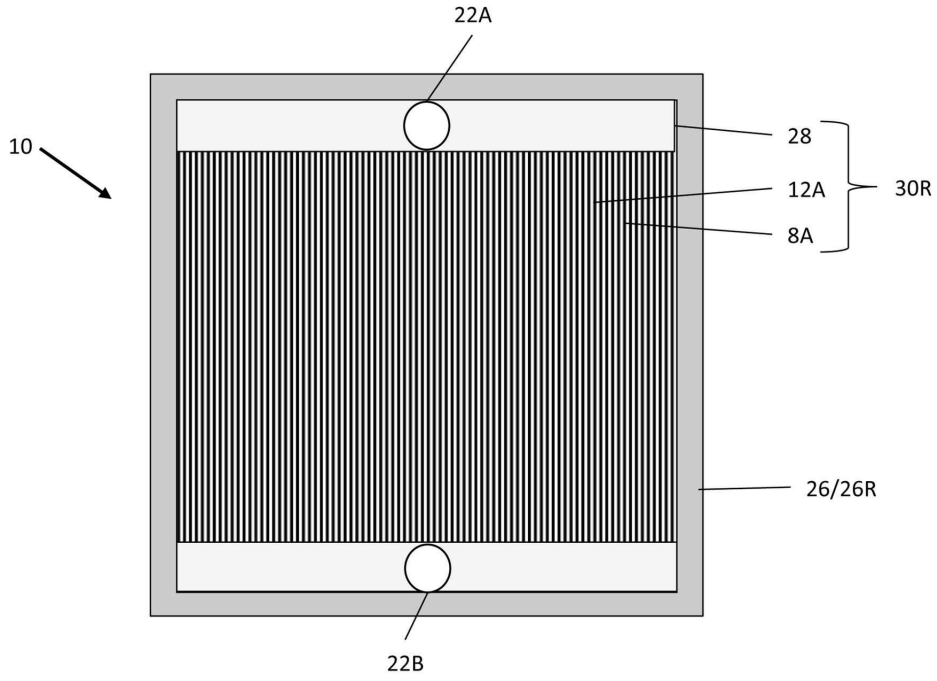
도면1b


100
3
5
7
1
12A
8A
8A
8A
12B
10
8B
8B
8B
3
5
7
1
12A
8A
8A
8A
12B
10
8B
8B
8B

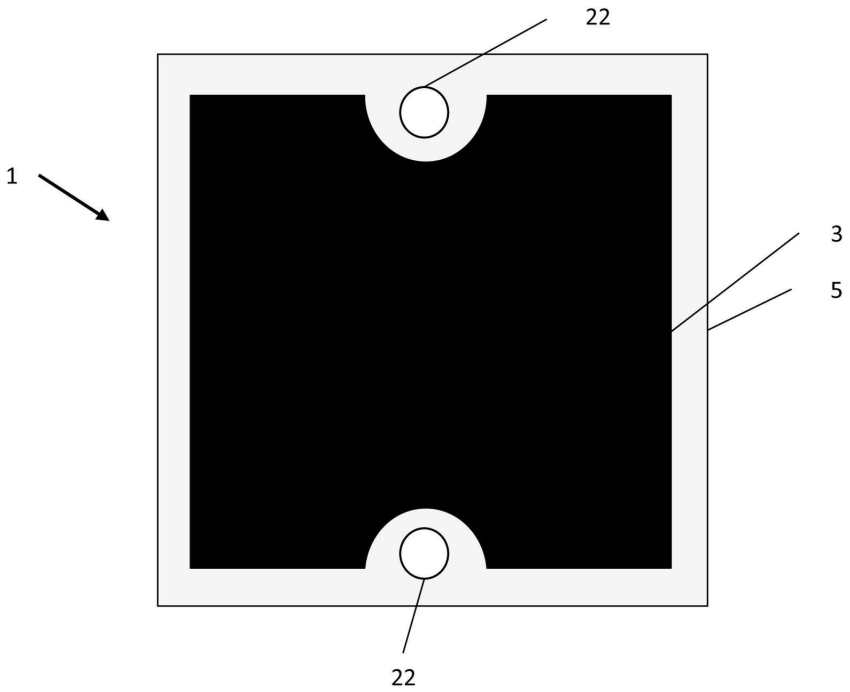
도면2a


22
20R
20
10
24/24R
12B
8B
20
20R
22

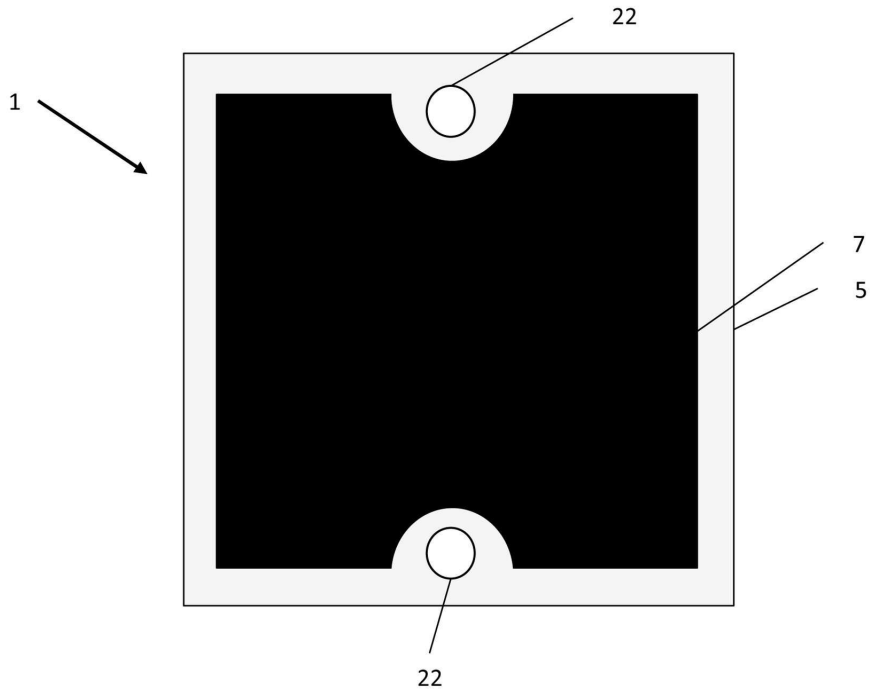
도면2b



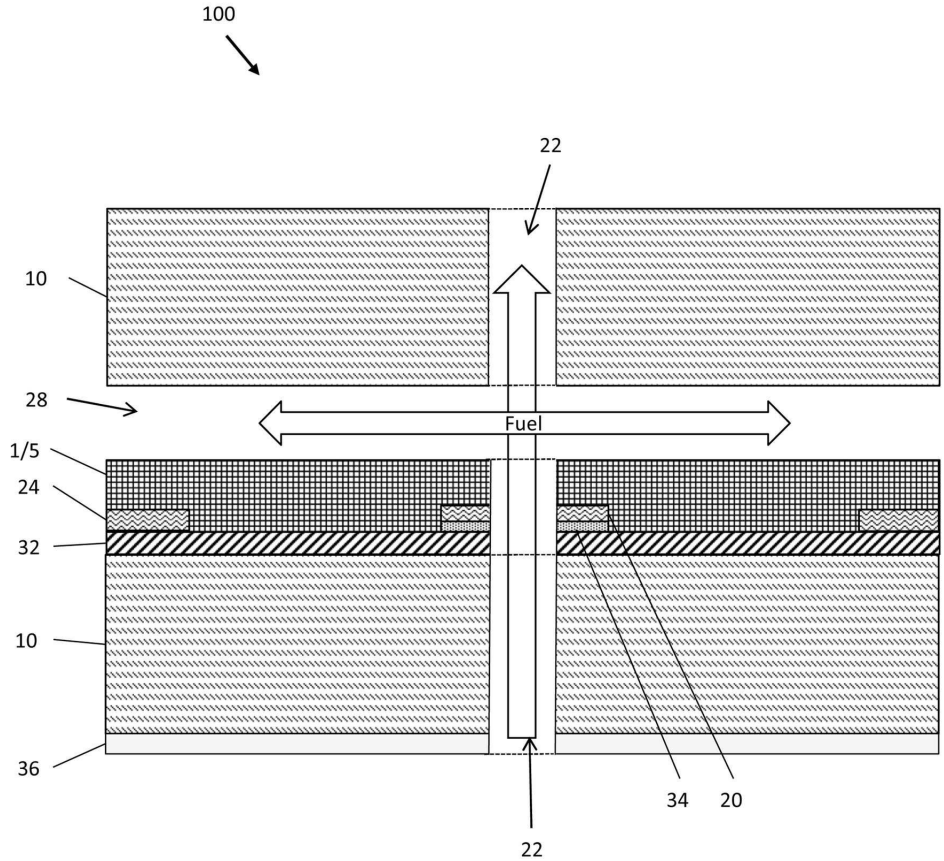
도면3a



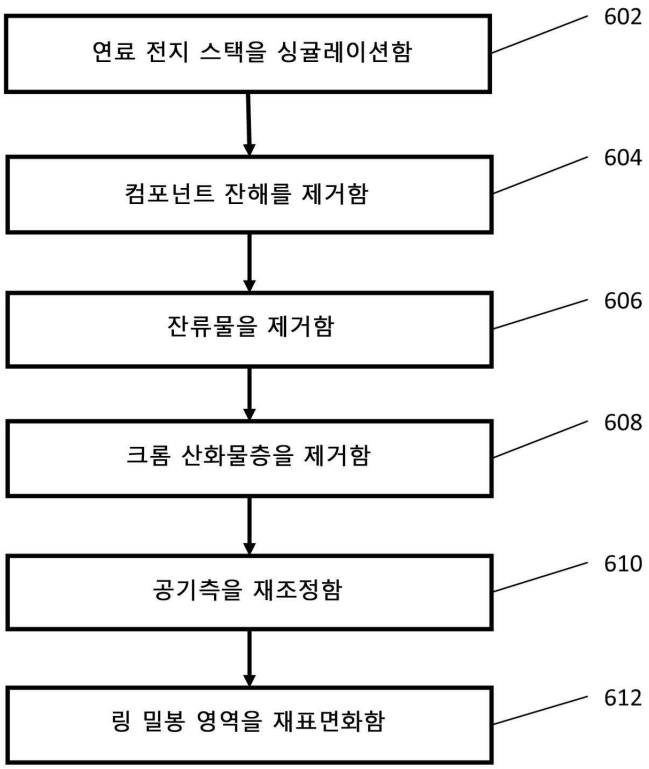
도면3b



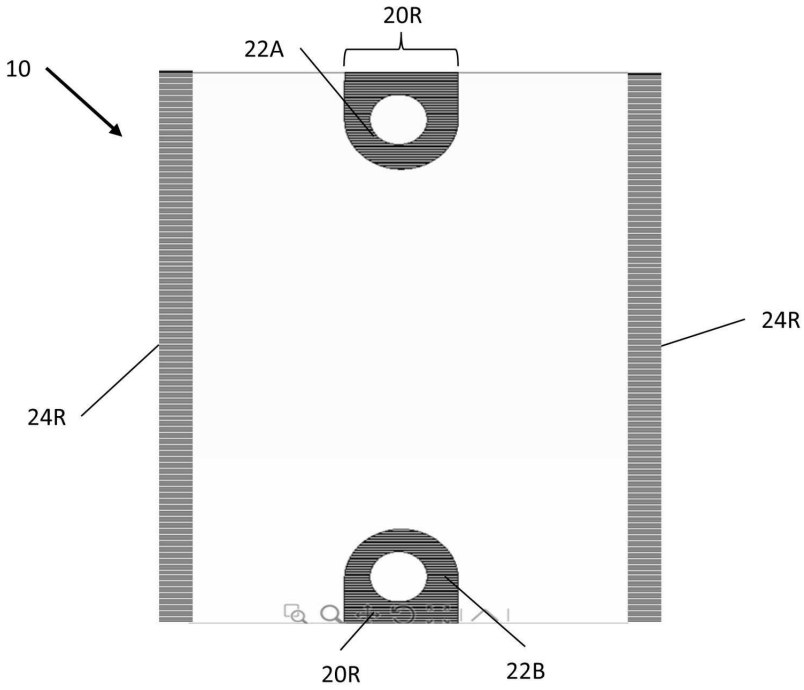
도면4



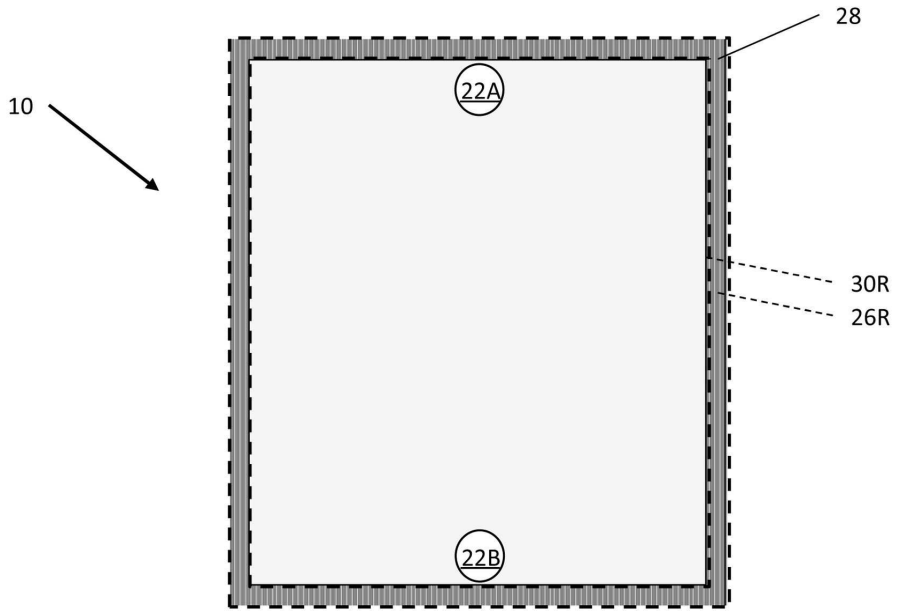
도면5


연료 전지 스택을 싱귤레이션함
602
컴포넌트 잔해를 제거함
604
잔류물을 제거함
606
크롬 산화물층을 제거함
608
공기측을 재조정함
610
링 밀봉 영역을 재표면화함
612

도면6a


20R
22A
10
24R
24R
20R
22B

도면6b



도면6c

