



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월25일
(11) 등록번호 10-1289912
(24) 등록일자 2013년07월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 8/12 (2006.01) H01M 8/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7004012(분할)
(22) 출원일자(국제) 2006년06월01일
심사청구일자 2013년03월06일
(85) 번역문제출일자 2013년02월18일
(65) 공개번호 10-2013-0034051
(43) 공개일자 2013년04월04일
(62) 원출원 특허 10-2012-7025481
원출원일자(국제) 2006년06월01일
심사청구일자 2012년09월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2006/021333
(87) 국제공개번호 WO 2006/138070
국제공개일자 2006년12월28일
(30) 우선권주장
11/168,021 2005년06월28일 미국(US)
(뒤편에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
US20050045250 A1
W02001091215 A1
US5277256 A
Z. Yang et al, "selection and evaluation of heat resistant alloys for SOFC interconnect applications", J. of the electrochemical society, vol 150, no 9, 2003-09, pp 1188-1201
전체 청구항 수 : 총 32 항

(73) 특허권자
에이티아이 프로퍼티즈, 인코퍼레이티드
미국, 오레곤 97321-0580, 알바니, 1600 엔.이. 올드 살렘 로드
(72) 발명자
라코스키, 제임스 엠.
미국, 펜실베이니아 15212, 피츠버그, 와펠로 스트리트 3741
스티너스, 찰스 피.
미국, 펜실베이니아 15090, 웨스포드, 마노 로드 360
(74) 대리인
강명구

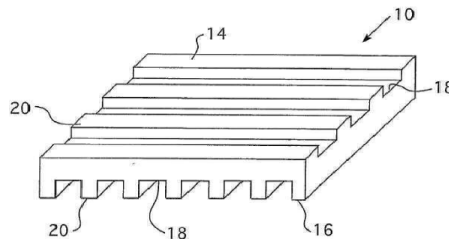
심사관 : 박길채

(54) 발명의 명칭 **고체 산화물 연료 전지용 인터커넥트 및 상기 고체 산화물 연료 전지용 인터커넥트로써 사용되기에 적합한 페라이트 스테인리스강**

(57) 요약

다양한 실시예는 페라이트 스테인리스강을 포함하고, 하나 이상의 비아와, 하나 이상의 기체 흐름 도관을 갖는 고체 산화물 연료 전지(SOFC)를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 비아는 높은 온도에서 산화 분위기에 속할 때, 자신의 표면의 일부분, 또는 전체에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 발달시키며, 상기 하나 이상의 기체 흐름 도관은 높은 온도에서 산화 분위기에 속할 때, 자신의 표면의 일부분, 또는 전체에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시킨다. 또 다른 실시예가 페라이트 스테인리스강을 포함하고, 연료 측부를 포함하는 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 연료 측부는 SOFC의 동작 동안 내산화성의 금속 물질을 포함하며, 상기 인터커넥트는 선택적으로 연료 측 측부 상에 니켈계 초합금을 포함한다. 또 다른 실시예는 인터커넥트로써 사용되기에 적합한 페라이트 스테인리스강에 관한 것이며, 상기 페라이트 스테인리스강은 0.1 중량% 이하의 알루미늄 및 실리콘과, 1 내지 2 이상의 중량%의 망간을 포함한다. 상기 인터커넥트를 제조하기 위한 방법이 또한 제공된다.

대표도 - 도1



(30) 우선권주장

11/169,105	2005년06월28일	미국(US)
11/169,117	2005년06월28일	미국(US)
60/690,671	2005년06월15일	미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

(a) 금속 물질을 페라이트 스테인리스강(ferritic stainless steel)의 일부분, 또는 전체로 연결하는 단계로서, 여기서 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계, 그리고

(b) 상기 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체는 상기 금속 물질이 연결되기에 앞서서 전기연마(electropolish)되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 금속 물질을 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결하는 단계는 도금(plating), 클래딩(cladding), 고정(fastening) 및 접합(joining) 중 하나 이상의 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 금속 물질을 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결하는 단계는 상기 금속 물질을 스테인리스강의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 도금하는 단계와, 상기 금속 물질을 스테인리스강의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 클래딩하는 단계 중 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 인터커넥트를 형성하는 단계는 단조(forging), 스탬핑(stamping), 코인닝(coining) 및 기계가공(machining) 중 하나 이상의 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계는 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체와 금속 물질을 연결하는 단계에 앞서서 발생하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계는 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체와 상기 금속 물질을 연결하는 단계와 동시에 발생하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계에 앞서서 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체는 전기연마되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 인터커넥트를 형성하는 단계 후에, 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체를

전기연마하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 페라이트 스테인리스강은 제 1 측부와, 상기 제 1 측부의 반대편에 위치하는 제 2 측부를 가지며, 상기 인터커넥트를 형성하는 단계에 앞서서, 상기 금속 물질은 상기 페라이트 스테인리스강의 제 1 측부로 연결되며, 니켈계 초합금이 페라이트 스테인리스강의 제 2 측부로 연결되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 11

인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

(a) 페라이트 스테인리스강 시트(sheet) 물질의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 클래딩하는 단계로서, 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계, 그리고

(b) 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계에 앞서서, 상기 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질은 최종 게이지(finished gauge)로 처리되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서, 상기 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계에 앞서서, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질의 일부분, 또는 전체가 전기연마되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서, 상기 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계 후에, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질의 일부분, 또는 전체가 전기연마되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질은 제 1 측부와, 상기 제 1 측부의 반대편에 위치하는 제 2 측부를 포함하며, 상기 인터커넥트를 형성하는 단계에 앞서서, 상기 금속 물질이 상기 페라이트 스테인리스강의 제 1 측부로 클래드되고, 니켈계 초합금이 상기 페라이트 스테인리스강의 제 2 측부로 클래드되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 16

인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

(a) 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계, 그리고

(b) 상기 인터커넥트의 하나 이상의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 도금하는 단계로서, 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서, 인터커넥트를 형성하는 단계에 앞서서, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질의 일부분, 또는 전체가 전기연마되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서, 상기 인터커넥트를 형성하는 단계 후에, 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 19

제 16 항에 있어서, 상기 인터커넥트를 형성하는 단계에 앞서서, 상기 니켈계 초합금의 층이 페라이트 스테인리스강으로 클래딩되며, 상기 인터커넥트를 형성하는 단계 후에, 상기 인터커넥트는 니켈계 초합금을 포함하는 제 1 측부와 상기 제 1 측부의 반대편에 위치하는 제 2 측부를 포함하며, 상기 금속 물질은 상기 인터커넥트의 제 2 측부 상에 도금되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 20

인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

(a) 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 상기 인터커넥트는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대편에 위치하는 산화제 측부를 가지며, 상기 산화제 측부와 상기 연료 측부의 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 단계, 그리고

(b) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 선택적으로 전기연마하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 21

제 20 항에 있어서, 상기 인터커넥트의 연료 측부의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 도금, 또는 클래딩하는 단계로서, 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 22

제 20 항에 있어서, 상기 인터커넥트의 연료 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 23

인터커넥트를 제작하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

(a) 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 상기 인터커넥트는 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 특징의, 단계,

(b) 상기 인터커넥트의 산화제 측부를 전기연마하는 단계, 그리고

(c) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 비아의 전기연마된 표면에서 물질을 물리적, 또는 화학적으로 제거하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 24

제 23 항에 있어서, 상기 하나 이상의 비아의 하나 이상의 표면으로부터 물질을 물리적, 또는 화학적으로 제거하는 단계는 기계적 연마, 그라인딩, 식각 및 밀링 중 하나 이상의 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 25

제 23 항에 있어서, 상기 인터커넥트의 연료 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연

마하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 26

인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

- (a) 페라이트 스테인리스강 시트 물질의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 연결하는 단계로서, 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계,
- (b) 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강을 포함하는 산화제 측부와, 금속 물질을 포함하며 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부를 포함하고, 상기 인터커넥트의 산화제 측부와 연료 측부 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 단계, 그리고
- (c) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 27

제 26 항에 있어서, 상기 전기연마하는 단계는 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 선택적으로 전기연마하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 28

제 26 항에 있어서, 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계는, 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 비아의 표면의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계를 더 포함하며, 상기 전기 연마 후에, 물질은 상기 하나 이상의 비아의 표면의 전기연마된 부분으로부터 물리적으로, 또는 화학적으로 제거되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 29

인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

- (a) 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 상기 인터커넥트는 산화제 측부와 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부를 포함하며, 상기 인터커넥트의 산화제 측부와 연료 측부의 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 단계,
- (b) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계, 그리고
- (c) 상기 인터커넥트의 연료 측부의 표면의 일부분, 또는 전체로 금속 물질을 연결하는 단계로서, 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 30

제 29 항에 있어서, 상기 전기연마 단계는 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 선택적으로 전기연마하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 31

제 29 항에 있어서, 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계는 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 비아의 표면의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계를 포함하고, 상기 전기연마 후에, 물질이 상기 하나 이상의 비아의 전기연마된 표면의 부분으로부터 물리적으로, 또는 화학적으로 제거되는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

청구항 32

제 29 항에 있어서, 상기 금속 물질을 상기 인터커넥트의 연료 측부의 표면의 일부분, 또는 전체로 연결하는 단

계는 상기 전기연마 단계에 앞서서 발생하는 것을 특징으로 하는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법.

명세서

기술분야

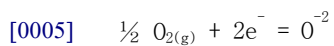
[0001] 본 출원은 U.S. 가출원 제60/690,671호 “고체 산화물 연료 전지용 인터커넥트 및 상기 고체 산화물 연료 전지용 인터커넥트로서 사용되기에 적합한 페라이트 스테인리스강(Interconnect for Solid Oxide Fuel Cells and Ferritic Stainless Steels Adapted for Use as Interconnects for Solid Oxide Fuel Cells)”로부터 우선권을 주장하고 있으며, 상기 출원은 본원에서 참조로서 인용된다.

배경기술

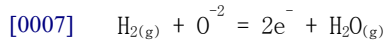
[0002] 본원은 일반적으로 고체 산화물 연료 전지(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)와 함께 사용되며, 평판 고체 산화물 연료 전지(PSOFC: Planar Solid Oxide Fuel Cells)에서 사용될 수 있는 인터커넥트에 관한 것이며, SOFC에 대한 인터커넥트를 형성하기 위해 사용될 수 있는 페라이트 스테인리스강(ferritic stainless steel)에 관한 것이다. 예를 들어, 본원에서 공개되는 특정한 제한받지 않는 실시예는 상승된 온도의 산화 분위기(oxidizing atmosphere)에서, 표면의 부분, 또는 전체에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일(scale)을 발달시키는 하나 이상의 비아(via)를 포함하는 인터커넥트에 관한 것이다. 또 다른 제한받지 않는 실시예는 페라이트 스테인리스강 및 SOFC의 특정 동작 조건 하에서 내산화성을 나타내는 금속 물질을 포함하는 SOFC에 대한 인터커넥트에 관한 것이다. 이러한 인터커넥트를 포함하여, SOFC 및 PSOFC에 대한 인터커넥트를 만들기 위한 방법이 또한 설명된다.

[0003] 고체 산화물 연료 전지는 전적으로 고체-상태 물질로 구성된 연료 전지이다. 통상적으로 SOFC는 빠른 산소 이온-전도성 세라믹(통상적으로 이트리아 안정화 지르코니아, 즉 “YSZ”)을 전해질로서 사용하며, 고체-상태 전달을 촉진시키기 위해, 약 500℃(932°F) 내지 1000℃(1832°F)의 온도 범위에서 동작한다. 단일 SOFC “전지”, 또는 서브유닛은 고품 전해질에 의해 서로 분리된 애노드와 캐소드를 포함한다. SOFC의 전류 발생이 약 1000℃까지의 온도에서 동작하는 것이 통상적이기 때문에, 상기 애노드와 캐소드는 일반적으로 세라믹 물질로 구성되어, 환경적 저하(environmental degradation)를 피할 수 있다. 애노드와 캐소드 층 모두는 상호연결된 구멍(pore)의 네트워크를 내포하고 있으며, 상기 구멍을 통해 기체가 통과할 수 있으며, 상기 구멍은 바람직한 전기 전도체이다(가령 이온 전도를 보여주지 않는다). 전류 발생 SOFC에서, 통상적으로 애노드는 전기 전도성 니켈/YSZ 복합물(세라믹/금속 복합물, 즉 “서멧(cermet)”)을 형성하고, 이때 YSZ이 전체 복합물의 열 팽창 계수를 감소시키도록, 그리고 구멍들의 네트워크가 소결되어 폐쇄되는 것을 방지하도록 기능하는 동안, 니켈은 연속적인 전기 전도성 경로를 제공한다. 상기 캐소드는 예를 들어, 망간산 란탄(LaMnO₃)을 기반으로 할 수 있고, 스트론튬으로 도핑되어(란탄의 일부를 대체하여, La_{1-x}Sr_xMnO₃을 생성할 수 있다) 자신의 전기 전도율을 더 높일 수 있다. 전해질은 완전히 밀집형인 YSZ의 얇은(애노드와 캐소드에 비해 얇은) 층인 것이 일반적이다.

[0004] SOFC 전지의 동작 동안, 산화제(가령, O₂, 또는 공기)가 연료 전지의 캐소드 가까이로 유입되며, 다음의 반쪽-전지 반응(half-cell reaction)에 따라서, 외부 회로로부터 전자를 받아들인다.



[0006] 캐소드 측에서의 반쪽-전지 반응에서 발생된 산소 이온이, 전해질/애노드 인터페이스로의 고체-상태 확산에 의해, YSZ 전해질을 통과하며, 이때, 연료, 가령 수소와 반응하여, 애노드 근처의 SOFC로 유입된다. 동작함에 있어, 메탄, 등유, 가솔린 등의 탄화수소 연료는 부분 연소, 즉, 수소와 일산화탄소로 변형되는 것과 달리, 순수 수소가 공급되어 사용될 수 있다. 이는 높은 동작 온도와, 증기 주입에 의해, 연료 전지 내부에서 이뤄질 수 있다. 연료 혼합기가 다공성 애노드를 투과하여, 애노드/전해질 인터페이스에 도달하고, 이때 다음의 반쪽-전지 반응과 같이, YSZ 전해질로부터의 산소 이온과 반응한다.



[0008] 앞서 언급한 바와 같이, 이 반쪽-전지 반응은 전자를 방출시키며, 이러한 전자는 외부 회로로 다시 들어간다. 전체 전기 전하의 균형을 유지하기 위해, 캐소드로부터 전해질을 통해 애노드까지의 산소 이온 수송에 의한 전기 전하의 흐름의 균형이, 외부 회로의 전자 전도로 인한 전기 전하의 흐름에 의해 유지된다. 상기 회로의 전하

의 흐름은 약 1볼트의 전기 전위를 제공한다. 더 큰 전압을 발생시키기 위해, 연료 전지가 단일 유닛 대신, “인터커넥트”를 이용하여 몇 개의 개별 전지의 직렬 배열로 구성된 “스택(stack)”으로서 동작할 수 있으며, 상기 “인터커넥트”는 바로 인접한 셀의 애노드 및 캐소드 사이의 전류를 결합하고 전도시킨다. 통상의 스택 설계는 평평한-판, 즉 “평판형” SOFC(즉, PSOFC)이다. PSOFC에서, 둘 이상의, 바람직하게는 그 이상의 SOFC는 반복되는 순서로 서로 쌓여 있으며, 이때 각각의 개별 SOFC는, 하나의 SOFC의 애노드와 스택에서 상기 SOFC의 바로 인접한 SOFC의 캐소드 사이에 위치하는 인터커넥트에 의해 이격되어 있다.

[0009] PSOFC의 설계에 따라서, 인터커넥트는 몇 가지 기능을 수행할 수 있으며, 예를 들어, 반응 기체(reactant gas)를 격리 및 내포하는 것과, 전류에 대한 낮은 저항 경로를 제공하여, 전지를 직렬로 전기적으로 연결시키는 것이 있다. 인터커넥트는 또한 연료 전지의 기능에 따라서, “양극판(bipolar plate)”, 또는 “분리기(separator)”라고 명명될 수 있다. 일반적으로, 상기 인터커넥트 물질은 상기 전지 내의 가혹하고, 높은-온도 조건에 견뎌야 할 것이며, 적합하게 전기 전도성을 띄고 있어야 할 것이며(가령, 임의의 산화물, 또는 물질 상에서 형성되는 그 밖의 다른 표면 막), 필수적인 구조 무결성과 연료 전지 스택의 기밀성(gas tightness)을 보장하기 위해, 상기 전지 내의 세라믹 전극의 CTE(열팽창계수)와 충분히 유사한 CTE를 가져야 할 것이다.

[0010] 초기의 PSOFC 설계는 인터커넥트 물질로서 도핑된 크롬산 란탄(LaCrO₃) 세라믹 물질을 사용했다. 상기 LaCrO₃ 세라믹 물질의 품질은, 상기 SOFC가 동작하며 연료 전지의 그 밖의 다른 세라믹 성분과 충분히 일치하는 열팽창 계수를 갖는 고온에서, 저하되지 않는다. 그러나 LaCrO₃ 세라믹은 연약하며, 조립하기 어렵고, 매우 비싸다. 이러한 결함을 해결하기 위해, 금속 인터커넥트가 PSOFC에서 사용되기 위해 제안되었다. 이는 니켈계 합금, 가령 AL 600™ 합금과, 특정 오스테나이트 스테인리스강, 가령 300계열 족(Type304 합금이 그 원형임)으로 형성된 인터커넥트를 포함한다. 가령 ALFA-II™ 합금, E-BRITE® 합금, AL 453™ 합금 등의 페라이트 스테인리스강이 PSOFC 인터커넥트에서 사용되기 위해 제안되었다. 표 1은 앞서 언급된 니켈계 합금과 스테인리스강 합금에 대한 공칭 조성물을 제공하며, 이들 모두는 Allegheny Ludlum Corporation(펜실베이니아, 피츠버그)으로부터 사용가능하다.

표 1

[0011]

합금	조성(질량%)						
	Ni	Cr	Fe	Al	Si	Mn	기타
AL 453™ 합금	0.3 max.	22	bal.	0.6	0.3	0.3	0.06 Ce+La max.
E-BRITE® 합금	0.15 max.	26	bal.	0.1	0.2	0.05	1 MO
ALFA-II™ 합금	0.3 max.	13	bal.	3	0.3	0.4	0.4 Ti
AL 600™ 합금	Ni + Co bal.	15.5	8	-	0.2	0.25	-
Type 304 합금	8	18	bal.	-	-	-	-

[0012] 전류 발생 SOFC에 대해 통상적인 동작 온도에서, SOFC의 애노드 근처에서의 산소의 분압(즉, “ p_{O_2} ”)은 산화물을 형성하기 위해 전기 전도체(가령, 구리와 니켈)로서 일반적으로 사용되는 다양한 금속에 대하여 요구되는 p_{O_2} 보다 낮다. 그러나 SOFC의 캐소드 근처의 p_{O_2} 는 일반적으로 산화물 형성을 위해 사용되는 p_{O_2} 보다 높은 것이 일반적이다. 따라서 상기 SOFC의 캐소드 근처의 산화제에 노출될 때, 표면 산화물 층은 이러한 금속으로부터 만들어지는 인터커넥트를 형성하는 경향이 있다.

[0013] 일반적으로 PSOFC의 일반적인 작업 온도에서, 또는 시간에 따라 빠르게 두꺼워지는 온도에서, 금속이 높은 전기 저항률을 갖는 산화물을 형성하기 때문에, 금속 인터커넥트의 영역 특정 저항(즉, ASR: Area Specific Resistance)뿐만 아니라, PSOFC 스택의 저항도 상기 PSOFC의 동작 동안 증가하는 경향을 보인다. 예를 들어, 특정 합금은 고온에서 산소에서 산소에 노출되면, 극도로 낮은 속도로 두꺼워지거나(예를 들어, ALFA-II® 합금), 높은 전기 전도성을 띄는(가령, 순수 니켈, 또는 분산강화 니켈의 NiO 스케일) 표면 산화물을 형성한다. 그러나 이러한 두 개의 서로 관련 없어 보이는 인자(저항과 산화물 형성 속도)를 제어하는 기저 수단이 본질적으로는 동일하다(산화물의 전자 결합 구조). 결과적으로, 천천히 성장하고, 전기 전도성을 띄는 금속 산화물은 거의 존재하지 않는다.

- [0014] 스테인리스강은, 그 종래의 형태에서, 주로 크롬 산화물(Cr_2O_3)로 구성된 스케일을 개발시키기 때문에 가능성 있는 인터커넥트 물질로서 관심을 끌어왔다. 이 산화물 스케일은 통상의 전류 발생 SOFC 작동 온도에서 비교적 느리게 성장하며, 합리적으로 전기 전도성을 띤다. 특히 페라이트 스테인리스강(Ferritic stainless steel)은 그들을 PSOFC 인터커넥트 애플리케이션에 대하여 매력적이게 만드는 특정 속성을 갖는데, 예를 들자면, 낮은 비용, 바람직한 제조성(fabricability), 세라믹과의 CTE 일치가 있다. 그럼에도 불구하고, PSOFC의 동작 중의 스테인리스강 인터커넥트의 산화에 의해, 상기 PSOFC의 전기 속성의 시간에 따른 바람직하지 못한 저하기 초래될 수 있다.
- [0015] PSOFC 애플리케이션에서 스테인리스강의 사용에 따른 그 밖의 다른 가능성 있는 단점은, 특히 물, 또는 수소가 존재하는 경우, 동작 중에 스테인리스강의 표면 상의 크롬 산화물 스케일로부터 포함될 수 있는 크롬-함유 증기 종에 의한, SOFC에서 사용되는 다공성 전극, 특히 캐소드의 “중독(poisoning)”이다. 동작 PSOFC의 기류에서 수증기가 존재하는 것이 일반적이기 때문에, 더 낮은 온도에서의 휘발성 크롬 산화-수산화물(가령, $\text{CrO}_2(\text{OH})_2$)의 형성이 문제를 악화시킬 수 있다. 덧붙이자면, 인터커넥트로부터 인접한 캐소드로의 크롬의 고체 상태 확산이 PSOFC의 동작 중에 발생할 수 있고, 또한 이는 캐소드 중독에 기여할 수 있다. 스테인리스강 인터커넥트의 표면 상에서의 크롬산 망간 스피넬 층의 형성이 이러한 크롬 이탈(가령, 크롬-함유 증기 종의 전개, 또는 크롬의 고체 상태 확산)을 감소시킬 수 있지만, 인터커넥트의 표면에 충분한 크롬이 존재하는 경우, 캐소드 중독을 초래하는 크롬 이탈이 여전히 발생할 수 있다.
- [0016] SOFC 인터커넥트에 대한 다양한 구조가 제안되었다. 예를 들면, U.S. 특허 제6,326,096호는 애노드-대면 면(anode-facing face)과 캐소드-대면 면(cathode-facing face)을 갖는 초합금 금속 층과, 상기 애노드-대면 면 상의 금속 층(바람직하게는, 니켈이나 구리)을 갖는 고체 산화물연료 전지를 위한 인터커넥트를 공개하고 있다. 공개된 초합금은 Inconel[®] 합금, Haynes[®] 합금, Hastelloy[®] 합금 및 오스테나이트 스테인리스강을 포함한다(col.4, 60-63줄 참조).
- [0017] U.S. 특허 제4,781,996은 연료 전지의 애노드와 캐소드 각각의 후면 상에서 얇게처리된 분리판을 공개하고 있으며, 상기 분리판은 전해질 판의 열 팽창 계수와 선형 팽창 계수와 일치하도록, 약 25-60% 니켈을 함유하는 니켈-함유 철 합금으로 만들어졌다(col.3, 18-27줄 참조). 덧붙이자면, 산화 방지 처리 물질이 분리기의 캐소드 측에 접합되고, 알칼리 부식-방지 처리 물질이 분리기의 애노드 측에 부착된다(col.4, 24-29줄).
- [0018] U.S. 특허 제5,227,256호는 캐소드 면 상에서 스테인리스강이 사용될 수 있고, 애노드 면 상에서 니켈이나 구리가 사용될 수 있는 연료 전지에 대한 이중금속 분리기 판(bimetallic separator plate)를 공개하고 있다(col.11, 34-38줄 참조). 덧붙이자면, 니켈, 또는 구리는 상기 분리기 판의 두께의 약 10%일 수 있다(col.1, 38-40줄 참조). 300 시리즈 스테인리스강 합금이 공개된다(col.11, 40-42줄).
- [0019] U.S. 특허 제5,733,683은 고온 연료 전지를 위한 금속 양극 판을 공개하며, 상기 판은 연료 전지의 전극과 접촉하기에 적합한 표면을 갖는 몸체와, 기체를 가두는 벽을 갖는 통로를 포함한다. 상기 판의 몸체는 크롬 산화물을 형성하기 위해 표면에서 산화될 수 있는 크롬-함유 합금으로 구성되며, 기체와의 직접 접촉하는 벽의 구역에서, 상기 합금에 알루미늄이 보강되어진다(요약서 참조). 이러한 알루미늄 보강(enrichment)은 종래의 알루미늄 확산 공정을 이용하여 수행될 수 있으며, 이때, 상기 판은 비활성 물질(가령 Al_2O_3)과 클로라이드/플루오라이드 활성화제(가령 NaCl)와 알루미늄 파우더의 파우더 혼합물로 코팅되어, 아르곤 하에서 600°C 내지 1300°C로 노출되거나, CVD/PVD를 이용하여 코팅된다(col.3 43-57줄 참조). 따라서 알루미늄이 보강되는 것이 바람직하지 않은 판의 표면(예컨대, 전기적 접촉 표면)은 연마되어, 물질의 보강된 층이 제거될 수 있다. 연마를 위해, 판의 본체는 물질 제거를 고려하기 위해 과도한 크기이다(col.3, 57-62줄 참조).
- [0020] 캐나다 특허 제2,240,270호는 기체 유도 표면의 구역에서 전기 절연성의 부식 감소 층과, 전극 접촉 표면의 구역에서 코발트, 또는 니켈, 또는 철 보강 층과 함께, 합금 형성 크롬 산화물로 구성된 양극 판을 공개하고 있다. U.S. 특허 제5,733,683호에 대한 위의 설명에서와 같이, 전기 절연성 층을 전극 접촉 표면으로부터 제거하기 위해, 연마 공정이 필요하며, 따라서 상기 판은 물질 제거를 고려한 과도한 크기이다(8쪽, 10-15줄 참조).
- [0021] U.S. 특허 출원 2003/005935은 12 내지 28 중량%의 크롬과, 0.01 내지 0.4 중량%의 La과, 0.2 내지 1.0 중량%의 Mn과, 0.1 내지 0.4 중량%의 Ti와, 0.2 미만 중량%의 Si와, 0.2 미만 중량%의 Al을 포함하는 철 합금을 형성하는 크롬 산화물로 구성된 고온 물질을 공개하고 있으며, 이때, 700°C 내지 950°C의 온도에서, 물질은 MnCr_2O_4

스피넬 상을 형성하고, 이는 SOFC에 대한 양극 판을 형성하기 위해 사용될 수 있다(요약서 및 단락[0032] 참조).

[0022] PSOFC의 작업 중에, 인터커넥트에 의해 겪게 되는 환경적 조건에 적응되는 산화 속성을 가지며, 요망 속성을 얻기 위해 고온 처리, 또는 오버-사이징(over-sizing), 또는 높은 비용의 초합금의 사용을 필요로 하지 않고, PSOFC의 개선된 전기적 성능을 제공할 수 있는 SOFC를 위한 인터커넥트의 필요성이 여전히 존재한다. 덧붙이자면, SOFC 환경에 적합하며, 이러한 인터커넥트가 조립될 수 있는 페라이트 스테인리스강에 대한 필요성이 존재한다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0023] 본원발명의 다양한 제한하지 않는 실시예는 고체 산화물 연료전지와 함께 사용되기 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 하나의 제한하지 않는 실시예는 기체-불침투성 몸체를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 기체-불침투성 몸체는 페라이트 스테인리스강(ferritic stainless steel)으로 형성되며, 상기 기체-불침투성 몸체는 (a) 비아(via)와 기체 흐름 도관(gas flow channel)을 포함하는 연료 측부(fuel side)와, (b) 상기 연료 측부의 반대쪽에 위치하는 산화제 측부(oxidant side)로서, 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 상기 산화제 측부(oxidant side)를 포함한다.

[0024] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 복합 몸체(composite body)를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 이때 상기 복합 몸체는 (a) 페라이트 스테인리스강(ferritic stainless steel)으로 형성된 산화제 측부(oxidant side)와, (b) 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부(fuel side)로서, 상기 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 상기 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압(dissociation pressure)을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질로 형성되는 상기 연료 측부(fuel side)를 포함한다.

[0025] 또 하나의 제한하지 않는 실시예는 기체-불침투성 몸체를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 기체-불침투성 몸체는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 상기 페라이트 스테인리스강은 0이상 0.1미만 중량%의 알루미늄과, 0이상 0.1미만 중량%의 실리콘과, 21 내지 35 중량%의 크롬과, 1초과 2이하 중량%의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.5 중량%의 니켈과, 0 내지 0.05 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 세륨과, 0 내지 0.1 중량%의 지르코늄과, 0 내지 0.5 중량%의 티타늄과, 0 내지 0.1 중량%의 탄탈럼과, 0 내지 0.2 중량%의 니오브, 철 및 불순물을 포함하며, 상기 몸체는 (a) 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 연료 측부와, (b) 상기 연료 측부의 반대편에 위치하면서 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 산화제 측부를 포함하며, 이때 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속이 상기 몸체의 연료 측부 상의 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결되어 있다.

[0026] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 복합 몸체를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 복합 몸체는 (a) 페라이트 스테인리스강으로 형성된 산화제 측부와, (b) 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부로서, 상기 연료 측부는 금속 물질로 형성되며, 상기 금속 물질은 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하고, 상기 페라이트 스테인리스강은 0이상 0.1미만 중량%의 알루미늄과, 0이상 0.1미만 중량%의 실리콘과, 21 내지 35 중량%의 크롬과, 1초과 2이하 중량%의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.5 중량%의 니켈과, 0 내지 0.05 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 세륨과, 0 내지 0.1 중량%의 지르코늄과, 0 내지 0.5 중량%의 티타늄과, 0 내지 0.1 중량%의 탄탈럼과, 0 내지 0.2 중량%의 니오브, 철 및 불순물을 포함한다.

[0027] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 기체-불침투성 몸체를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 기체-불침투성 몸체는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 상기 페라이트 스테인리스강은 0 내지 0.05 중량%의 알루미늄과, 0 내지 0.05 중량%의 실리콘과, 23 내지 27 중량%의 크롬과, 1초과 2이하 중량%의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0.75 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.3 중량%의 니켈과, 0 내지 0.05 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 세륨과, 0 내지 0.05 중량%의 지르코늄과, 방정식 $0.4\text{중량}\% \leq [\%Nb + \%Ti + \frac{1}{2}(\%Ta)] \leq 1\text{중량}\%$ 를 만족시키는 중량%의 티타늄, 탄탈럼 및 니오브 중 하나 이상과, 철 및 불순물을 포함하며, 상기 기체-불침투성 몸체는 (a) 비아와 기체 흐름 도관을 포함하

는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대편에 위치하는 산화제 측부를 포함하며, 상기 연료 측부는 비아와 기체 흐름 도관을 포함하며, 상기 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질은 상기 몸체의 연료 측부 상의 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결된다.

[0028] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 복합 몸체를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 대한 것이며, 상기 복합 몸체는 (a) 페라이트 스테인리스강으로 형성된 산화제 측부와, (b) 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부로서, 상기 연료 측부는 금속 물질로 형성되며, 상기 금속 물질은 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하고, 상기 페라이트 스테인리스강은 0 내지 0.05 중량%의 알루미늄과, 0 내지 0.05 중량%의 실리콘과, 23 내지 27 중량%의 크롬과, 1초과 2이하 중량%의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0.75 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.3 중량%의 니켈과, 0 내지 0.05 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 세륨과, 0 내지 0.05 중량%의 지르코늄과, 방정식 $0.4\text{중량}\% \leq [\%Nb + \%Ti + \frac{1}{2}(\%Ta)] \leq 1\text{중량}\%$ 를 만족시키는 중량%의 티타늄, 탄탈럼 및 니오브 중 하나 이상과, 철 및 불순물을 포함한다.

[0029] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 페라이트 스테인리스강(ferritic stainless steel)으로 형성되는 몸체를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 몸체는 (a) 연료 측부와, (b) 상기 연료 측부 반대편에 위치하는 산화제 측부를 포함하며, 이때 상기 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 상기 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질이, 상기 몸체의 연료 측부 상의 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결되며, 니켈계 초합금이 상기 몸체의 산화제 측부 상의 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결된다.

[0030] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 복합 몸체를 포함하는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 복합 몸체가 (a) 페라이트 스테인리스강으로 형성된 산화제 측부와, (b) 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부로서, 상기 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 상기 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 상기 금속 물질로 형성되는 상기 연료 측부를 포함하며, 이때 니켈계 초합금이 상기 인터커넥트의 산화제 측부 상의 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결된다.

[0031] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 관한 것이며, 상기 방법은 (a) 금속 물질을 페라이트 스테인리스강(ferritic stainless steel)의 일부분, 또는 전체로 연결하는 단계로서, 이때 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계와, (b) 상기 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계를 포함한다.

[0032] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은 (a) 페라이트 스테인리스강 시트(sheet) 물질의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 클래딩하는 단계로서, 이때 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계와, (b) 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계를 포함한다.

[0033] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 관한 것이며, 상기 방법은 (a) 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계와, (b) 상기 인터커넥트의 하나 이상의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 도금하는 단계로서, 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계를 포함한다.

[0034] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 인터커넥트는 (a) 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 속할 때, 자신의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬산 망간(manganese-chromate) 스피넬(spinel)을 포함하는 스케일(scale)을 발달시키는 하나 이상의 비아와, (b) 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 속할 때, 자신의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 철 및 크롬을 포함하고 적철광 구조(hematite structure)를 갖는 알루미늄-풍부(aluminum-rich) 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하며, 이때, 상기 인터커넥트는 0.2 내지 4 중량%의 망간과, 0.3 내지 1 중량%의 알루미늄과, 하나 이상의 희토류 원소를 포함하는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 이때 상기 페라이트 스테인리스강은 총 0.03 중량%의 희토류 원소를 포함한다.

[0035] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 인터커넥트는 (a) 자신의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬산 망간(manganese-chromate) 스피넬(spinel)을 포함하는 스케

일(scale)을 포함하는 하나 이상의 비아와, (b) 철 및 크롬을 포함하고 적철광 구조(hematite structure)를 갖는 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 자신의 표면의 일부분, 또는 전체에서 포함하는 하나 이상의 기체 흐름 도관으로서, 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 5미크론(micron) 이하의 두께를 갖는 상기 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하며, 이때, 상기 인터커넥트는 0.2 내지 4 중량%의 망간과, 0.3 내지 1 중량%의 알루미늄과, 하나 이상의 희토류 원소를 포함하는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 이때 상기 페라이트 스테인리스강은 총 0.03 중량%의 희토류 원소를 포함한다.

[0036] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 인터커넥트는 (a) 650℃의 온도에서 산화 분위기에 속할 때, 자신의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 발달시키는 하나 이상의 비아와, (b) 하나 이상의 전기연마된 표면을 포함하는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하며, 상기 인터커넥트가 페라이트 스테인리스강으로 형성된다.

[0037] *또 다른 제한하지 않는 실시예는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 인터커넥트는 (a) 연료 측부와, (b) 상기 연료 측부의 반대편에 위치하는 산화제 측부를 포함하며, 상기 산화제 측부는 (1) 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 속할 때 자신의 표면의 일부분, 또는 전체에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 발달시키는 하나 이상의 비아와, (2) 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 속할 때 자신의 표면의 일부분, 또는 전체에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 기체 흐름 도관으로서, 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 철 및 크롬을 포함하며 적철광 구조를 갖는 상기 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하고, 이때 상기 인터커넥트의 산화제 측부는 0.2 내지 4 중량%의 망간과, 0.3 내지 1 중량%의 알루미늄과, 하나 이상의 희토류 원소를 포함하는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 상기 페라이트 스테인리스강은 총 0.03 중량%의 희토류 원소를 포함한다.

[0038] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 인터커넥트는 (a) 페라이트 스테인리스강으로 형성되는 산화제 측부로서, 상기 산화제 측부는 (1) 하나 이상의 비아, 그리고 (2) 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 속할 때 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 표면을 포함하는 하나 이상의 기체 흐름 도관으로서, 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 철 및 크롬을 포함하고 적철광 구조를 갖는 상기 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하는 상기 산화제 측부와, (b) 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부로서, 상기 연료 측부는 금속 물질을 포함하고, 상기 금속 물질은 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 상기 연료 측부를 포함한다.

[0039] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 고체 산화물 연료 전지를 위한 인터커넥트에 관한 것이며, 상기 인터커넥트는 (a) 페라이트 스테인리스강으로 형성된 산화제 측부로서, 상기 산화제 측부는 (1) 크롬 산화물과 크롬산 망간 스피넬 중 하나 이상을 포함하는 스케일을 자신의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 포함하는 하나 이상의 비아, 그리고 (2) 자신의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 포함하는 하나 이상의 기체 흐름 도관으로서, 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 철 및 크롬을 포함하며 적철광 구조를 갖는 상기 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하는 상기 산화제 측부와, (b) 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부로서, 상기 연료 측부는 금속 물질을 포함하고, 상기 금속 물질은 상기 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 상기 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 상기 연료 측부를 포함한다.

[0040] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 관한 것이며, 상기 방법은 (a) 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 상기 인터커넥트는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대편에 위치하는 산화제 측부를 가지며, 상기 산화제 측부와 상기 연료 측부의 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 단계, 그리고 (b) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 선택적으로 전기연마하는 단계를 포함한다.

[0041] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 인터커넥트를 제작하기 위한 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은 (a) 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 이때 상기 인터커넥트는 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 단계와, (b) 상기 인터커넥트의 산화제 측부를 전기연마하는 단계와, (c) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 비아의 전기연마된 표면에서 물질을 물리적, 또는 화학적으로 제거하는 단계를 포함한다.

[0042] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 관한 것으로서, 상기 방법은 (a) 페라이트 스테인리스강 시트 물질의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 연결하는 단계로서, 이때 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계와, (b) 페라이트 스테인

리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 이때 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강을 포함하는 산화제 측부와, 금속 물질을 포함하며 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부를 포함하고, 상기 인터커넥트의 산화제 측부와 연료 측부 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 단계와, (c) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계를 포함한다.

[0043] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 인터커넥트를 제조하기 위한 방법에 관한 것이며, 상기 방법은 (a) 페라이트 스테인리스강 시트 물질로 인터커넥트를 형성하는 단계로서, 상기 인터커넥트는 산화제 측부와 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부를 포함하며, 상기 인터커넥트의 산화제 측부와 연료 측부의 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하는 단계와, (b) 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 전기연마하는 단계와, (c) 상기 인터커넥트의 연료 측부의 표면의 일부분, 또는 전체로 금속 물질을 연결하는 단계로서, 이때 상기 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금인 단계를 포함한다.

[0044] 또 다른 제한하지 않는 실시예는 앞서 언급된 다양한 실시예에 따르는 인터커넥트를 포함하는 평판 고체 산화물 연료 전지에 관한 것이다.

[0045] 본원의 다양한 제한하지 않는 실시예는 페라이트 스테인리스강에 관한 것이며, 상기 페라이트 스테인리스강은 0 이상 0.1미만 중량%의 알루미늄과, 0이상 0.1미만 중량%의 실리콘과, 21 내지 35 중량%의 크롬과, 1초과 2이하 중량%의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.5 중량%의 니켈과, 0 내지 0.05 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 세륨과, 0 내지 0.1 중량%의 지르코늄과, 0 내지 0.5 중량%의 티타늄과, 0 내지 0.1 중량%의 탄탈럼과, 0 내지 0.2 중량%의 니오브, 철 및 불순물을 포함한다.

[0046] 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라, 페라이트 스테인리스강은 0 내지 0.05 중량%의 알루미늄과, 0 내지 0.05 중량%의 실리콘과, 21 내지 24 중량%의 크롬과, 1초과 2이하 중량%의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.3 중량%의 니켈과, 0.02 내지 0.04 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 지르코늄과, 0 내지 0.1 중량%의 티타늄과, 0 내지 0.1 중량%의 탄탈럼과, 0 내지 0.1 중량%의 니오브, 세륨, 철 및 불순물을 포함하며, 이때 세륨의 질량%와 란탄의 질량%의 총합은 0.03 내지 0.06이다.

[0047] 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따르면, 페라이트 스테인리스강은 0 내지 0.05 중량%의 알루미늄과, 0 내지 0.05 중량%의 실리콘과, 23 내지 27 중량%의 크롬과, 1초과 2이하 중량%의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.3 중량%의 니켈과, 0 내지 0.05 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 세륨과, 0 내지 0.1 중량%의 지르코늄과, 0 내지 0.5 중량%의 티타늄과, 0 내지 0.1 중량%의 탄탈럼과, 0.05 내지 0.2 중량%의 니오브, 철 및 불순물을 포함한다.

[0048] 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따르면, 0 내지 0.05 중량%의 알루미늄과, 0 내지 0.05 중량%의 실리콘과, 23 내지 27 중량%의 크롬과, 1 내지 2 중량% 이상의 망간과, 0.002 내지 0.1 중량%의 탄소와, 0 내지 0.04 중량%의 질소와, 0.75 내지 1 중량%의 몰리브덴과, 0 내지 0.3 중량%의 니켈과, 0 내지 0.05 중량%의 란탄과, 0 내지 0.1 중량%의 세륨과, 0 내지 0.05 중량%의 지르코늄과, 방정식 $0.4\text{중량}\% \leq [\%Nb + \%Ti + \frac{1}{2}(\%Ta)] \leq 1\text{중량}\%$ 를 만족시키는 중량%의 티타늄, 탄탈럼 및 니오브 중 하나 이상과, 철 및 불순물을 포함한다.

[0049] 그 밖의 다른 제한하지 않는 실시예는 본원의 페라이트 스테인리스강을 사용하여 제작되는 SOFC와 함께 사용될 수 있는 인터커넥트와, 상기 SOFC가 포함되는 PSOFC에 관한 것이다.

도면의 간단한 설명

[0050] 도 1은 SOFC의 인터커넥트의 투시도이다.

도 2는 인터커넥트가 포함된, PSOFC의 투시도이다.

도 3a, 3b 및 3c는 본원 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 인터커넥트의 단면도이다.

도 4는 종래의 PSOFC의 다양한 연료 이용 레벨에 대한 작업 온도에 대한 산소 분압의 변화를 도시한다.

도 5는 통상적인 평판 고체 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 특정 동작 조건(가령 온

도와 pO_2)이 도시된다.

도 6는 몇 가지 물질의 열 팽창 계수의 그래프이다.

도 7은 두 개의 서로 다른 페라이트 스테인리스강의 시간에 대한 단위 표면 당 질량의 변화의 도표이며, 이중 하나는 전기연마되었고, 나머지 하나는 전기연마되지 않았다.

도 8a는 전기연마되었고, 일부분이 절삭된 페라이트 스테인리스강의 표면의 2차 전자 이미지이다.

도 8b-e는 도 8a에서 나타난 동일한 영역으로부터의 크롬, 철, 알루미늄 및 망간에 대한 특성 x-선 맵이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0051] 본원에서 논의되는 바와 같이, 스테인리스강, 특히 페라이트 스테인리스강(ferritic stainless steel)은 SOFC 인터커넥트를 위한 비용-효율적인 가능성 있는 대체 물질로서 여겨져 왔다. 그러나 환경적 조건이 동작하는 SOFC의 애노드와 캐소드에 모두 인접함으로써, 스테인리스강을 포함하는 대부분의 철-크롬(Fe-Cr)의 산화가 초래될 수 있다. 산화된 인터커넥트는 산화되지 않은 인터커넥트보다 덜 효율적인 전기 전류 전도체라는 것이 일반적이기 때문에, 연료 전지 내의 인터커넥트 상의 산화물 스케일의 두께가 증가함에 따라, 전체적인 연료 전지 스택의 효율성은 시간에 따라 감소할 수 있다. 전류 발생 금속 인터커넥트의 내재적인 제한점은, 인터커넥트 표면 상의 과도한 산화물을 방지하기 위해, 상대적으로 비효율적이며, 낮은 온도 동작(약 700°C (1292°F))에 대하여 제한된 유효 SOFC 및 PSOFC 설계안을 갖는다는 것이다.

[0052] 본원에서 사용될 때, 용어 “인터커넥트(interconnect)”는 하나의 부품을 다른 부품으로 (전기적으로, 또는 기계적으로, 또는 전기 및 기계적으로) 연결하는 장치를 의미한다. 덧붙이자면, 요구되지 않을지라도, 본 발명에 따르는 인터커넥트의 다양하고 제한받지 않는 실시예는 SOFC의 작업 중에 사용되는 기체성 반응체의 흐름을 격리, 또는 흐름의 방향을 지정할 수 있다. 예를 들어, 앞서 언급된 바와 같이, PSOFC내의 바로 인접한 SOFC들은, 하나의 SOFC의 캐소드와 이에 바로 인접하고 있는 SOFC의 애노드 사이에 삽입되는 인터커넥트에 의해 서로 연결되어 있으며, SOFC들 간의 전기적 상호 연결(interconnection)이 제공되고, 기체성 반응체의 흐름을 격리, 또는 흐름의 방향을 지정할 수 있다. 본 발명의 다양한 실시예에 따르는 인터커넥트는 하나의 PSOFC의 SOFC를 또 다른 PSOFC의 SOFC에 연결하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 다양한 실시예에 따르는 인터커넥트는 PSOFC의 “엔드 플레이트(end plate)”를 형성할 수 있고, 상기 PSOFC를 인접한 하나의 PSOFC로, 또는 대안적으로 시스템의 다른 부품으로 전기적, 또는 기계적, 또는 전기 및 기계적으로 연결할 수 있다.

[0053] 도 1을 참조하여, 전류 발생 PSOFC에서 사용되기 위한 통상적인 구조를 갖는 인터커넥트(일반적으로 도 1에서는 참조번호(10))의 개략적인 투시도가 나타난다. 인터커넥트의 정확한 설계는 PSOFC와, 포함된 개별 SOFC의 설계에 따라 좌우될 것임은 해당업계 종사자에게 자명하다. 따라서 도 1에서 나타난 인터커넥트 구성은 본 발명에 따르는 인터커넥트의 가능한 구성을 제한하기 위함이 아니며, 이는 단지 예시 목적으로 제공된 것이다. 도 1에서 나타난 바와 같이, 인터커넥트(10)는 제 1 측부(14)와, 상기 제 1 측부의 반대편에 위치하는 제 2 측부(16)를 갖는다. 상기 제 1 측부와 상기 제 2 측부는 하나 이상의 기체 흐름 도관(18)과 하나 이상의 비아(via, 20)를 갖는다. 본원에서 설명될 때, 용어 “비아(via)”는 전기적으로 전도성을 띄는 통로(pathway)를 의미한다. PSOFC에서 두 개의 인접한 SOFC 사이에 위치할 때, 인터커넥트의 하나의 측부 상의 비아가 스택에서의 하나의 SOFC의 전극과의 전기 접촉을 만드는 동안, 인터커넥트의 반대쪽 측부 상의 비아가 스택 내의 인접 SOFC의 반대로 대전된 전극과 전기 접촉하며, 이에 따라서 하나의 SOFC에서 다음 SOFC로의 전류의 흐름이 가능해진다. 예를 들어, 도 2에서 나타난 바와 같이, PSOFC(일반적으로 참조번호(211))의 인터커넥트(210)는, 상기 인터커넥트(210)의 측부(216) 상의 비아(220b)가 스택 내의 인접 SOFC(일반적으로 225)의 애노드(224)와 인접하는 동안, 상기 인터커넥트(210)의 측부(214) 상의 비아(220a)가 하나의 SOFC(가령 223)의 캐소드(222)에 인접하도록, 위치한다. 도 2에서 나타난 바와 같이, SOFC(223)는 캐소드(222)와, 전해질(230)과, 애노드(232)를 포함하며, SOFC(225)는 애노드(224)와, 전해질(234)과, 캐소드(236)를 포함한다.

[0054] 계속하여 도 2를 참조하여, PSOFC의 작업 중에, 인터커넥트(210)의 양 측부(214, 216) 상의 기체 흐름 도관(218a, 218b)을 통하여 기체가 흐른다. 애노드(22)에 인접한 인터커넥트(210)의 측부(216) 상의 기체 흐름 도관(218)을 통해 흐르는 기체는 연료-풍부 기체(fuel-rich gas), 예를 들어, 수소-풍부 기체이며; 캐소드(222)에 인접한 측부(214) 상의 기체 흐름 도관(218)을 통해 흐르는 기체는 산화제-풍부 기체(oxidant-rich gas), 일반적으로 공기(air)이다. 따라서 PSOFC의 작업 중에, 인터커넥트(210)의 측부(214)는 캐소드(222) 근처의 산소-풍부 환경에 노출되고, PSOFC의 작업 중에, 측부(216)는 애노드(224) 근처의 연료-풍부 환경에 노출된다. 인터커

넥트와 관련하여 본원에서 사용될 때, 용어 “산화제 측부(oxidant side)”은 PSOFC의 작업 중에 SOFC의 캐소드에 인접한, 또는 인접하게 위치할 인터넥트의 측부를 일컬으며, 예를 들어, 도 2의 측부(214)가 있다. 덧붙이자면, 본원에서 인터넥트와 관련하여 사용될 때, 용어 “연료 측부(fuel side)”는 PSOFC의 작업 중에 SOFC의 애노드에 인접한, 또는 인접하게 위치할 인터넥트의 측부를 일컬으며, 예를 들어, 도 2의 측부(216)가 있다.

[0055] 본원에서 공개되는 다양한 제한받지 않는 실시예에 따르는 인터넥트가 지금부터 설명될 것이다. 한가지 제한받지 않는 실시예에 의해, SOFC에 대한 인터넥트가 제공되며, 상기 인터넥트는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때, 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 발달시키는 하나 이상의 비아와, 650°C의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때, 철과 크롬을 포함하고, 적철광(hematite) 구조를 갖는 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 표면의 일부분, 또는 전체 상에서 발달시키는 기체 흐름 도관을 포함한다. 본원에서 사용될 때, 용어 “스케일(scale)”은 물질에서의 산화 산물, 또는 상기 물질의 표면 상의 산화 산물을 일컫는다.

[0056] 앞서 언급된 바와 같이, SOFC 인터넥트 적용예에서 사용되기 위해, 산화 분위기(가령 SOFC의 동작 동안 나타나는 분위기)에 노출될 때, 전기 전도성 크롬-풍부 산화물 스케일을 형성하는 기능 갖고 있기 때문에, 그리고 비교적 낮은 CTE를 갖고 있기 때문에, 페라이트 스테인리스강이 고려되어 왔다. 그러나 SOFC 인터넥트 적용예에서 페라이트 스테인리스강의 사용에 대한 하나의 단점은, SOFC의 작업 중에 형성되는 크롬-풍부 산화물 스케일로부터의 크롬 이동(가령, 크롬-함유 증기 종(vapor species)의 방출, 또는 고체 상태 크롬 확산)으로 인한 SOFC에서 사용되는 다공성 전극, 특히 캐소드의 위치에 대한 것이다. 앞서 언급된 바와 같이, 작업중인 SOFC의 기류에서 수증기가 종종 존재하기 때문에, 휘발성 크롬-산화 수산화물의 형성, 특히, 인터넥트의 기체 흐름 도관에서의 형성이 이러한 문제를 가속시킬 수 있다.

[0057] 크롬-풍부 산화물 스케일과 달리, 알루미늄-풍부 산화물 스케일은, 작업 중인 SOFC의 기류에 존재하는 수증기에 의해 본질적으로 영향 받지 않는다. 덧붙이자면, 페라이트 스테인리스강의 표면 상에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 형성함으로써, SOFC의 동작 동안, 페라이트 스테인리스강의 표면으로부터 크롬의 이주를 감소, 또는 방지시킬 수 있다. 그러나 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 높은 전기 저항을 갖기 때문에, 일반적으로 전기 접촉 표면(예를 들어 비아 표면) 상의 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성이 바람직하지 않다. 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일이 일부 스테인리스강의 표면 상에서 형성되고, 합리적으로 바람직한 전기 전도체인 동아, 앞서 언급된 바와 같이, 충분한 크롬이 상기 스케일에서 존재하는 경우, 크롬 이동에 의해, 캐소드 중독이 여전히 발생할 수 있다.

[0058] 임의의 특정 이론에 의해 경계지어질 어떠한 의미도 없을지라도, 본원에서 공개된 다양한 제한받지 않는 실시예에 따르는 인터넥트의 기체 흐름 도관의 표면을 선택적으로 처리함으로써 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 처리된 표면의 일부분, 또는 전체를 형성할 수 있다.

[0059] 임의의 특정 이론에 의해 경계지어질 어떠한 의미도 없지만, 본원에서 공개된 제한받지 않는 다양한 실시예에 따르는 인터넥트의 기체 흐름 도관의 표면을 선택적으로 처리함으로써, 약 650°C의 온도에서의 산화 분위기에 종속될 때, 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 처리된 표면의 일부분 상에서 형성될 수 있도록, 이러한 표면으로부터의 크롬 이동이 인터넥트의 ASR에 나쁜 영향을 주지 않고 감소될 수 있다는 사실이 고려된다. 즉, 기체 흐름 도관의 표면이 인접 전극과 직접적으로 전기적 접촉을 갖지 않기 때문에(도 2 참조), 기체 흐름 도관의 표면 상의 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성이 인터넥트의 ASR에 나쁜 영향을 주지 않을 것이다. 그러나 부분적으로 기체 흐름 도관을 통해 흐르는 기체의 높은 수증기 함유량으로 인하여, 크롬-함유 증기 종을 형성할 수 있는 인터넥트의 구역이 기체 흐름 도관이기 때문에, 이러한 표면 상에서의 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성에 의해, SOFC의 동작 동안 이러한 표면으로부터 크롬-함유 증기 종의 형성 양, 또는 속도가 감소될 수 있으며, 이는 캐소드 중독의 발생을 감소시킬 수 있다.

[0060] 본원에서 공개되는 다양한 제한받지 않는 실시예에 따르면, 기체 흐름 도관은 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 표면을 포함하며, 인터넥트는 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성을 가능하게 하기에 충분한 함금 함유량을 포함하는 Fe-Cr 페라이트 스테인리스강으로부터 형성될 수 있다. 예를 들어, 다양한 제한받지 않는 실시예에 따라서, 상기 인터넥트는 0.3 내지 1의 중량 퍼센트 알루미늄과, 페라이트 스테인리스강이 총 약 0.03 중량 퍼센트의 희토류 원소를 포함한다고 가정하고 하나 이상의 희토류 원소(가령, 세륨, 란탄, 프라세오디뮴)를 포함하는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성될 수 있다. 덧붙이자면, 본 발명의 다양한 실시예에 따라 비아의 표면의 일부분, 또는 전체에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일의 형성을 가능하게 하기 위해서, 상기 페라이트 스테인리스강은 0.2 내지 4 중량 퍼

센트의 망간을 더 포함할 수 있다.

- [0061] 본원에서 공개된 다양한 제한받지 않는 실시예와 함께 조합되어 사용될 수 있는 0.2 내지 4 중량 퍼센트 망간과, 0.3 내지 1 중량 퍼센트의 알루미늄과, 0.3 중량 퍼센트의 희토류 원소로 구성된 하나의 특정한 페라이트 스테인리스강의 예제는, 탄탄의 중량 퍼센트와 세륨의 중량 퍼센트의 합은 0.03이라고 가정하고, 0.002 내지 0.1의 중량 퍼센트 탄소와, 21 내지 35 중량 퍼센트 크롬과, 0.2 내지 4 중량 퍼센트 망간과, 0.3 내지 0.5 중량 퍼센트의 알루미늄과, 0 내지 0.05 중량 퍼센트의 탄탄과, 0 내지 0.1 중량 퍼센트의 세륨과, 철과, 불순물을 포함하는 페라이트 스테인리스강이다.
- [0062] 본원에서 공개되는 다양한 제한받지 않는 실시예와 조합되어 사용될 수 있는 0.2 내지 4 중량 퍼센트 망간과, 0.3 내지 1 중량 퍼센트의 알루미늄과, 0.03 이상의 중량 퍼센트의 희토류 원소를 포함하는 페라이트 스테인리스강의 또 다른 제한받지 않는 예제는, 0.002 내지 0.1 중량 퍼센트 탄소와, 0 내지 0.03 중량 퍼센트의 질소와, 21 내지 24 중량 퍼센트의 크롬과, 0 내지 0.3 중량 퍼센트 니켈과, 0 내지 0.4 중량 퍼센트의 몰리브덴과, 0.2 내지 0.5 중량 퍼센트 망간과, 0.5 내지 0.8 중량 퍼센트 알루미늄과, 0 내지 0.5의 중량 퍼센트 실리콘과, 0 내지 0.02 중량 퍼센트의 니오브와, 0 내지 0.001 중량 퍼센트의 티타늄과, 0.008 내지 0.02 중량 퍼센트의 탄탄, 세륨, 철 및 불순물을 포함하는 페라이트 스테인리스강이며, 이때, 탄탄의 중량 퍼센트와 세륨의 중량 퍼센트의 합은 0.03 내지 0.06 중량 퍼센트이다. 페라이트 스테인리스강의 한 가지 상업적으로 이용가능한 제한받지 않는 예는 Allegheny Ludium(미국, 피츠버그)의 AL453TM 페라이트 스테인리스강 합금이 있다.
- [0063] 대안적으로, 그리고 다음에서 더욱 상세하게 설명되는 바와 같이, 인터랙티브의 단지 하나의 측부(가령 산화측부)만이 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 표면을 갖는 기체 흐름 도관을 포함하는 경우, 인터랙티브의 상기 측부, 또는 부분은, 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성을 가능하게 하기에 충분한 합금 함유량을 갖는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성될 수 있는 반면에, 인터랙티브의 나머지 반대쪽 측부(가령 연료 측부)는 0.3 중량 퍼센트 미만의 알루미늄을 포함하는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성될 수 있다. 0.3 미만 중량 퍼센트 알루미늄을 포함하는 페라이트 스테인리스강의 제한받지 않는 예제가 다음에서 더욱 상세하게 나타난다.
- [0064] 앞서 설명된 바와 같이, 본 발명의 다양한 제한받지 않는 실시예에 따르는 인터랙티브는, 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때, 표면의 일 부분, 또는 전체 상에 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함할 수 있다. 덧붙이자면, 다양한 제한받지 않는 실시예에 따라서, 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 철과 크롬을 포함할 수 있다. 더 세부적으로, 본 발명의 다양한 제한받지 않는 실시예에 따르면, 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 알루미늄, 철, 크롬 및 산소를 포함할 수 있으며(이때 철과 크롬 양이온의 일부분, 또는 전체가 알루미늄 산화물 격자 구조에서의 알루미늄 양이온의 부분을 대체한다), 적철광 구조(hematite structure)를 가질 수 있다. 더 세부적으로는, 상기 적철광 구조가 격자 매개변수 a_0 및 c_0 를 가질 수 있으며, 이때 a_0 범위는 4.95옹스트롬(즉, 10^{-10} m) 내지 5.04옹스트롬이고, c_0 의 범위는 13.58옹스트롬 내지 13.75옹스트롬이다.
- [0065] 통상적으로 3 중량 퍼센트 내지 7 중량 퍼센트의 알루미늄을 포함하는 Fe-Cr-Al 페라이트 스테인리스강과는 달리, 통상적인 Fe-Cr 페라이트 스테인리스강은 산화될 때, 자신의 표면 상에 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키지 않는다. 즉, 일반적으로 단지 잔여물 수준의 알루미늄만을 함유하는(가령 0.3 내지 0.5 중량 퍼센트의 알루미늄) 통상적인 Fe-Cr 페라이트 스테인리스강은 산화 분위기에 노출될 때, 상기 Fe-Cr 페라이트 스테인리스강은 자신의 표면 상에 크롬-풍부 산화물 스케일을 형성하는 경향이 있다. 덧붙이자면, 페라이트 스테인리스강의 조성물에 따라서, 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일이 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체를 형성할 수 있다. 그러나 본원발명의 발명자는, 산화 동안 원시 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 표면 상에 생성하기에 불충분한 수준의 알루미늄을 포함하는 특정한 Fe-Cr 페라이트 스테인리스강을 전기연마(electropolishing)함으로써, 약 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 노출될 때, 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 상기 Fe-Cr 페라이트 스테인리스강 상에서 발달될 수 있다는 사실을 발견했다.
- [0066] 덧붙이자면, 본 발명의 발명자는 예를 들어, 전기연마된 표면으로부터 물질을 제거함으로써, Fe-Cr 페라이트 스테인리스강의 전기연마 효과가 감소되거나 사라질 수 있다는 사실을 발견했다. 따라서 약 650°C의 온도에서 산화 분위기에 노출될 때, 전기연마되지 않거나, 전기연마의 효과가 제거된 페라이트 스테인리스강의 이러한 구역은 크롬-풍부 산화물과, 크롬산 망간 스피넬 중 하나 이상을 포함하는 스케일을 자신의 표면 상에 발달시킬 수 있다.

- [0067] 예를 들어, 본원을 제한하지는 않을지라도, 본원발명의 발명자는 전기연마 후에, 0.3 내지 1 중량 퍼센트 알루미늄과, 0.03 중량 퍼센트 이상의 희토류 원소를 포함하는 Fe-Cr 페라이트 스테인리스강이 산화 조건(가령, PSOFC의 작업 중의 산화 조건)으로의 노출에 따라서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 형성할 수 있음을 발견했다. 덧붙이자면, 앞서 언급된 바와 같이, 인터커넥트의 특정 구역 상에서의 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성이, 크롬 이동으로 인한 캐소드 중독을 감소시키기에 있어 바람직할 수 있다. 왜냐하면 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 높은 전기 저항률을 갖기 때문이며, 인터커넥트의 비아 표면 상에서의 이러한 스케일의 존재가 ASR의 증가를 야기할 수 있고, 인터커넥트의 전기 속성의 저하를 야기할 수 있기 때문이다. 따라서 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 상기 인터커넥트는, 나머지 표면, 가령 비아 표면 상의 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성을 방지하는 동안, 상기 인터커넥트의 특정 표면(가령, 기체 흐름 도관 표면, 매니폴드 표면, 밀봉 플랜지 표면 중 하나 이상) 상의 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 형성을 허용할 수 있도록 처리될 수 있다. 예를 들어, 하나의 제한받지 않는 실시예가 SOFC를 위한 인터커넥트를 제공하며, 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성되고, 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 중속될 때, 자신의 표면의 일부분, 또는 전체에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 발달시키는 하나 이상의 비아와, 하나 이상의 전기연마된 표면을 포함하는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함한다. 본원에서 사용된 용어 “매니폴드(manifold)”는 인터커넥트의 산화제 측부와 연료 측부 상의 기체 흐름 도관을 공기 및 연료 기체 공급기로 각각 연결시키는 인터커넥트의 일부분을 일컫는다. 덧붙이자면, 본원에서 사용되는 용어 “밀봉 플랜지(sealing flange)”는 인터커넥트의 외곽 주변부에서 위치하는 인터커넥트의 일부분을 일컫으며, 이때, 밀봉 화합물, 가령 알칼리성 유리가 PSOFC를 위한 기밀 밀봉을 생성하기 위해 적용된다.
- [0068] 또 다른 실시예에서, 인터커넥트의 밀봉 플랜지의 표면이 또한 전기연마되어, 상기 표면으로부터의 크롬 이동이 감소하고, 밀봉 영역에서의 전기 절연성 표면이 제공될 수 있다. 본원에 의해 제한받지는 않지만, 전기 절연성 표면을 제공함으로써, 인터커넥트의 밀봉 플랜지에서 다수의 밀봉 화합물, 가령 전기 절연성의 밀봉 화합물과, 전기 전도성 밀봉 화합물이 모두 사용될 수 있다.
- [0069] 본원에서 사용될 때, 용어 “전기연마(electropolishing)”는 워크피스의 일부분, 또는 전체로부터의 물질의 전기화학적 제거를 일컫는다. 예를 들어, 제한받지 않는 하나의 실시예에 따라서, 전체 인터커넥트는 전기연마될 수 있고, 그 후, 상기 전기연마된 인터커넥트의 선택된 표면(가령, 비아 표면)이 기계적인, 또는 화학적인 연마(polishing), 분쇄(grinding), 식각(etching), 밀링(milling) 중 하나 이상으로 처리되어, 선택된 표면으로부터 물질을 제거, 또는 벗겨낼 수 있으며, 이에 따라서 (앞서 언급된 바와 같이) 이러한 표면 상의 전기연마의 효과가 감소, 또는 제거될 수 있다.
- [0070] 또 다른 제한받지 않는 실시예에 따라서, 상기 인터커넥트는 선택적인 전기연마 처리에 중속되어, 본질적으로 어떠한 물질도 비아 표면으로부터 전기화학적으로 제거되지 않는 동안, 기체 흐름 도관 표면의 일부분, 또는 전체로부터 물질이 전기화학적으로 제거될 수 있다. 본원에서 사용되는 용어 “선택적 전기연마”는 워크피스 중에서 하나 이상의 미리 선택된 부분이나 구역의 물질을 전기화학적으로 제거하는 것을 일컫는다. 덧붙이자면, 인터커넥트의 다양한 부분과 관련하여 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 “선택적으로 전기연마된(selectively electropolished)”는 인터커넥트의 이러한 미리 선택된 부분이 전기화학적으로 제거되는 것을 일컫는다. 선택적인 전기연마의 방법은 추후 더욱 상세하게 설명된다.
- [0071] 앞서 언급된 바와 같이, SOFC의 동작 중에, 본원에서 공개된 다양한 실시예에 따라서, 상기 인터커넥트가 하나 이상의 비아의 표면의 일부분, 또는 전체에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 포함하고, 하나 이상의 기체 흐름 도관의 표면의 일부분, 또는 전체에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 포함할 수 있도록 페라이트 스테인리스 스틸 인터커넥트가 산화를 겪는다. 이러한 다양한 스케일의 두께는 몇 가지 요인들, 가령 강철의 조성물, 노출 시간, 작업 온도/습도, 기체 조성에 따라서 좌우될 것이다. 특정 실시예에 따라서, 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일은 10 마이크로 이하의 두께를 가질 수 있고, 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 5 마이크로 이하의 두께를 가질 수 있다. 본원에서 나타나는 다양한, 그러나 제한받지 않는 실시예에 따라서, 알루미늄-풍부 산화물 스케일의 두께는 1 마이크로 내지 5 마이크로이며, 2마이크론 내지 3마이크론일 수 있다.
- [0072] 본원에서 제시하는 그 밖의 다른 실시예가 SOFC에 대한 인터커넥트를 제공하며, 상기 인터커넥트는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대쪽에 위치하는 산화제 측부를 포함하고, 상기 인터커넥트의 산화제 측부는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성되고, 산화 분위기에 중속될 때 650°C 이상의 온도에서 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 발달시키는 하나 이상의 비아와, 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 중속될 때, 표면의 일부분, 또는 전체에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함할 수 있으며, 이때 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 철과 크롬을 포함하고, 적철광 구

조를 갖는다. 예를 들어, 이러한 제한받지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 산화제 측부는 0.2 내지 4.0 중량 퍼센트의 망간과, 0.3 내지 1.0 중량 퍼센트의 알루미늄과, 총 0.03 중량 퍼센트 이상의 희토류 원소를 포함하는 페라이트 스테인리스강으로 형성될 수 있다. 덧붙이자면, 제한받지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 산화제 측부의 기체 흐름 도관의 하나 이상의 표면의 일부분, 또는 전체가 전기연마, 또는 선택적으로 전기연마될 수 있다.

[0073] 앞서 언급된 바와 같이, SOFC에서 사용되기 위한 통상의 인터커넥트는 연료 측부와 산화제 측부를 포함하며, 이들 각각은 SOFC와 PSOFC 사이의 전기 전하의 흐름을 가능하게 해주는 비아뿐만 아니라, 인터커넥트의 하나 측부 상에서 기체의 이동을 위한 통로를 제공하는 기체 흐름 도관을 포함한다. 따라서 본 발명의 이 실시예 및 그 밖의 다른 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성되고, 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 표면을 포함하는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함할 수 있다. 예를 들어, 이 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부가 0.2 내지 4.0 중량 퍼센트의 망간과, 0.3 내지 1 중량 퍼센트의 알루미늄과, 총 0.03 중량 퍼센트의 희토류 원소를 포함하는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성될 수 있다. 덧붙이자면, 이러한 제한받지 않는 실시예에 따라서, 연료 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체가 전기연마될 수 있거나, 선택적으로 전기연마될 수 있다. 덧붙이자면, 이러한 제한받지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부는, 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 노출될 때 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 발달시키는 하나 이상의 비아를 포함할 수 있다.

[0074] 대안적으로, 이 실시예와 그 밖의 다른 제한받지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부는 페라이트 스테인리스강(이는 인터커넥트의 산화제 측부를 형성하는 페라이트 스테인리스강과 동일할 수도 있고, 다를 수도 있다)으로부터 형성될 수 있으며, 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결된 SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압(partial pressure)보다 큰 해리압(dissociation pressure)을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 포함하는 층을 포함할 수 있다(도 3a를 참조, 추후 상세히 설명된다). 또 덧붙이자면, 본원 발명의 이 실시예 및 그 밖의 다른 제한받지 않는 실시예에 따르는 인터커넥트의 연료 측부는, 인터커넥트의 산화제 측부로 연결된 SOFC의 작업 중에 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 더 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질로부터 형성될 수 있다(도 3b 참조, 추후 상세히 설명된다).

[0075] 예를 들어, 제한받지 않는 실시예가 SOFC를 위한 인터커넥트를 제공하며, 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며 (650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때, 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬 산화물과 크롬산 망간 중 하나 이상을 포함하는 스케일을 발달시킬 수 있는) 비아와, 기체 흐름 도관을 포함하는 산화제 측부와, 상기 산화제 측부의 반대쪽에 위치하는 연료 측부를 포함하며, 상기 기체 흐름 도관은 650°C 이상의 온도에서 산화 분위기에 종속될 때 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 표면을 포함하고, 상기 연료 측부는 SOFC의 작업 중에 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 포함한다. 예를 들어, 본 발명의 이 제한받지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부는 페라이트 스테인리스강으로부터 형성될 수 있고, 상기 페라이트 스테인리스강은 산화제 측부의 페라이트 스테인리스강과 동일하거나 다를 수 있으며, 상기 인터커넥트의 연료 측부는 상기 연료 측부의 페라이트 스테인리스강과 연결되어 있는 SOFC의 작업 중에 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 포함하는 층을 형성할 수 있다. 예를 들어, 금속 물질을 포함하는 층은 인터커넥트의 연료 측부를 형성하는 페라이트 스테인리스강의 일부분으로 도금, 또는 클래딩(cladding)될 수 있다. 대안적으로, 상기 인터커넥트의 연료 측부는 SOFC의 작업 중에 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질로 형성될 수 있다.

[0076] 또 다른 제한받지 않는 실시예가 SOFC를 위한 인터커넥트를 제공하며, 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강으로 형성되면서 하나 이상의 비아와 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 표면의 일부분, 또는 전체에서 포함하는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하는 산화제 측부를 포함하며, 상기 하나 이상의 비아는 표면의 일부분, 또는 전체에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 포함하며, 상기 인터커넥트는 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부를 포함하며, 상기 연료 측부는 SOFC의 동작 동안 상기 인터커넥트의 연료 측부의 인접부에서의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 포함한다.

[0077] 또 다른 제한받지 않는 실시예는 기체-불침투성 몸체를 포함하는, SOFC를 위한 인터커넥트를 제공하며, 이때 상기 기체-불침투성 몸체는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 비아 및 기체 흐름 도관을 포함하는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대편에 위치하는 산화제 측부를 포함하며, 상기 산화제 측부는 비아 및 기체 흐름 도관을 포함하며, 이때, SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산

화물을 형성하는 금속 물질이 상기 몸체의 연료 측부 상의 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결된다.

[0078] 도 2를 참조하여, 앞서 언급된 바와 같이, 통상적인 PSOFC에서, 산화제가 하나의 SOFC의 캐소드(222)의 인접부로 유입되며, PSOFC의 인접한 또 다른 SOFC의 애노드(224)의 인접부로 유입된다. 전류 발생 SOFC에서, 인터커넥트의 산화제 측부에 인접부의 pO_2 는 통상적으로 10^{-3} 대기압 이상인 반면에, 인터커넥트의 연료 측부에 인접부의 pO_2 는 충분히 더 낮으며, 연료 타입, 연료 이용 수준 및 PSOFC의 작업 온도 등의 요인에 따라서 변화할 수 있다.

[0079] 도 4를 참조하면, 순수 수소 연료를 이용하여(그러나 도 4에서 나타난 것과 유사한 통상적인 전류 발생 SOFC의 연료 측부 상에서의 pO_2 레벨의 변화가 또 다른 연료 타입, 가령 천연 가스에 대하여 사용될 수 있다) 3개의 서로 다른 연료 이용 레벨(5%, 50% 및 95%)에서의, 500°C 내지 1000°C의 온도에서 동작하는 통상적인 전류 발생 SOFC의 연료 측부 상에서의 pO_2 레벨의 변화를 나타내는 그래프가 도시된다. 도 4에서 도시된 바와 같이, 연료 이용 레벨 및 작업 온도에 부분적으로 따라서, 인터커넥트의 연료 측부 상의 pO_2 는 약 10^{-30} 대기압에서 10^{-15} 대기압 이상까지 변화할 수 있다. 앞서 언급된 바와 같이, 전류 발생 SOFC에서 일반적으로 사용되는 작업 온도에서, pO_2 레벨, 가령 인터커넥트의 산화제 측부의 인접부의 레벨에 노출될 때 스테인리스강과 가장 일반적으로 사용되는 금속 전도체는 모두 산화될 것이다. 덧붙이자면, 앞서 언급된 바와 같이, pO_2 레벨, 가령 전류 발생 SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 레벨에 노출될 때, 스테인리스강이 일반적으로 산화될 것이다. 그러나 가장 일반적으로 사용되는 금속 전도체와 비교할 때, 스테인리스강이 비교적 느리게 성장하고, 전기적으로 전도성을 띠는 크롬 산화물 스케일을 자신의 표면 상에서 형성하기 때문에, 스테인리스강이 SOFC용 인터커넥트를 형성하기 위해 사용됨에 있어 흥미를 끌 수 있다. 해당업계 종사자라면, 연료 측부 상의 pO_2 의 변화는 몇 가지 요인, 가령 SOFC의 설계에 따라 좌우됨을 알 것이다. 따라서 도 4는 단지 예를 들기 위한 목적을 가질 뿐, 본 발명의 범위를 제한하지 않는다.

[0080] 도 5를 참조하여, 5% 및 95%의 연료 이용 레벨과 500°C 및 1000°C의 온도에서 동작하는 전류 발생 SOFC의 연료 측부의 인접부의 조건이 강조된 Ellingham 다이어그램이 도시된다. 통상의 작업 조건(도 5에서 상자(50)로 강조된 부분)에서 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속은 박스(50)의 외부 및 위에 완전히 놓여진 500°C 내지 1000°C 사이의 Ellingham 라인을 갖는 금속이며, 예를 들자면, 구리, 니켈, 코발트가 있다. 박스(50)를 가로지르는 Ellingham 라인을 갖는 철은 일부 조건에서 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 이상의, 그리고 그 밖의 다른 조건에서는 연료 측부의 인접부의 pO_2 보다 낮은 해리압을 갖는 산화물을 형성한다. 박스(50)의 완전히 외부에서, 그리고 아래쪽에 놓여지는 Ellingham 라인을 갖는 크롬은, 도 5에서 나타난 모든 통상적인 작업 조건에서 모델 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 이하인 해리압을 갖는 산화물을 형성한다. 따라서 통상적인 전류 발생 SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 조건에 노출될 때 크롬은 산화할 것으로 기대되어진다. 해당업계 종사자라면, 주어진 SOFC를 위한 작업 분리선(envelope)은 몇 가지 요인, 가령 작업 온도, 연료 이용 레벨, 연료 타입에 따라서 좌우될 것이다. 따라서 도 5는 예시를 위한 목적을 가질 뿐이며, 본 발명의 범위를 제한하는 의도는 갖지 않는다.

[0081] Fe-Cr 페라이트 스테인리스강이 PSOFC의 동작 동안 SOFC의 애노드와 SOFC의 캐소드 부근의 pO_2 레벨에 노출될 때 산화하는 경향이 있는 반면에(도 5 참조), 일부 금속은 SOFC의 애노드의 인접부의 환경에 노출될 때 산화하지 않을 것이다. 덧붙이자면, 구리, 니켈, 구리-니켈 합금 등의 금속의 전기 저항률이, SOFC의 동작 동안 페라이트 스테인리스강 인터커넥트 상에서 형성되는 크롬 산화물 스케일의 전기 저항률보다 일반적으로 낮기 때문에, 페라이트 스테인리스강(선택적으로 전기연마될 수 있다)과, SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질의 조합을 이용함으로써, 다양한 제한하지 않는 실시예를 따르는 인터커넥트의 산화 속성이 SOFC의 동작 동안 인터커넥트가 겪게 되는 환경적 조건에 맞춰질 수 있다.

[0082] 예를 들어, 도 3a에서 나타나는 바와 같이, 인터커넥트(일반적으로 310a로 지시됨)는 페라이트 스테인리스강(344a)으로 형성되고, 기체-불침투성인 몸체(340a)를 포함하여, 인터커넥트(310a)의 연료 측부(314a)와 산화제 측부(316a) 상에서 연료와 산화제 기체 흐름을 분리할 수 있다. 덧붙이자면, 이 제한하지 않는 예시에 따라서,

고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트(310a)의 연료 측부(314a)의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질(342a)은, 몸체(340a)의 연료 측부(314a)의 페라이트 스테인리스강(344a)의 일부분, 또는 전체로 연결되어, 연료 기체와 페라이트 스테인리스강 사이의 접촉을 감소시키거나 방지할 수 있다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 금속 물질(342a)은 몸체(340a)의 연료 측부(314a) 상의 페라이트 스테인리스강(34a)으로 접합되는 기체-불침투성, 또는 고체 층으로서 제공될 수 있다. 이러한 층을 형성하는 방법으로는 도금과 클래딩(cladding)이 있다.

[0083] 대안적으로, 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서, SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 인터커넥트의 연료 측부가 산화물을 형성하는 금속 물질로부터 형성될 수 있다. 예를 들어, 도 3b에서 나타난 바와 같이, 하나의 제한하지 않는 실시예가 복합 몸체(composite body, 340b)를 포함하는 SOFC를 위한 인터커넥트(일반적으로 310b로 지시됨)를 제공하며, 상기 복합 몸체는 페라이트 스테인리스강(344b)으로부터 형성된 산화물 측부(316b)를 포함하며, 상기 산화물 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부(314b)는 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 상기 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질(342b)로 형성된다. 이러한 제한하지 않는 예시에 따라서, 몸체(340b)는 기체성 반응체의 분리를 제공하기 위해, 앞서 언급된 바와 같이 기체-불침투성일 수 있다.

[0084] 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질은 니켈 및 니켈 합금, 구리 및 구리 합금, 철 및 철 합금, 코발트 및 코발트 합금, 금 및 금 합금, 백금 및 백금 합금 중 하나 이상일 수 있다. 특정한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 금속 물질은 니켈, 또는 니켈 합금, 구리, 또는 구리 합금, 니켈-구리 합금 중 하나일 수 있다. 본원에서 사용되는 용어 “니켈 합금(nickel alloy)”은 원소 단위 당 니켈을 주 성분으로서 함유하는 합금을 의미한다. 본원에서 사용되는 용어 “구리 합금”은 원소 단위 당 구리를 주 성분으로서 함유하는 합금을 의미한다. 덧붙이자면 본원에서 사용되는 용어 “니켈-구리 합금”은 본질적으로 동일한 양의 니켈과 구리를 함유하며, 원소 단위 당 니켈과 구리가 상기 합금의 주 성분인 합금을 의미한다. 예를 들어 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서 금속 물질은 49 중량 퍼센트까지의 구리와 49 중량 퍼센트까지의 철과 니켈을 포함하는 니켈 합금일 수 있다. 하나의 제한하지 않는 실시예에서, 적합한 니켈 합금은 AL 400™ 합금(일반적으로 UNS-N04400으로 지정됨)일 수 있으며, 이는 Allegheny Ludlum Corporation(USA, 펜실베이니아, 피츠버그)으로부터 상업적으로 사용가능하며, 0.10 중량 퍼센트의 탄소와, 0.50 중량 퍼센트의 망간과, 0.005 중량 퍼센트의 인과, 0.005 중량 퍼센트의 황과, 0.25 중량 퍼센트의 실리콘과, 0.02 중량 퍼센트의 알루미늄과, 32 중량 퍼센트의 구리와, 1 중량 퍼센트의 철과, 나머지는 니켈 및 불순물인 통상적인 조성을 갖는다.

[0085] 그 밖의 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 산소의 분압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질은 500℃ 내지 1000℃의 온도에서 10^{-30} 대기압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질, 또는 500℃ 내지 1000℃의 온도에서 10^{-25} 대기압 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질일 수 있다.

[0086] 선택적으로, 도 3a 및 3b에서 도시하고 있음에도 불구하고, 금속 물질의 반대쪽에 위치하는 인터커넥트의 측부(가령 인터커넥트의 산화물 측부)가 650℃의 온도에서 산화 분위기에 중속될 때, 표면의 일부분, 또는 전체 상에 크롬산 망간을 포함하는 스케일을 발달시키는 하나 이상의 비아와, 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 중속될 때 표면의 일부분, 또는 전체에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키는 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함할 수 있으며, 이때, 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 철 및 크롬을 포함하며, 적철광 구조를 갖는다. 예를 들어, 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 산화물 측부의 일부분, 또는 전체는 선택적으로 전기연마될 수 있거나, 정제 산화물 측부, 또는 전체 인터커넥트가 전기연마될 수 있고, 그 후 인터커넥트의 선택된 표면(가령 비아 표면)이 이러한 표면으로부터 물질을 제거하도록 절삭될 수 있다.

[0087] 대안적으로, 니켈계 초합금의 층, 또는 대기에서의 합리적인 전기 속성과 내산화성의 그 밖의 다른 물질의 층이, 금속 물질의 반대편에 위치하는 인터커넥트의 측부(즉, 인터커넥트의 산화물 측부)로 연결될 수 있다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 그리고 도 3c에서 나타난 바에 따라서, 상기 인터커넥트(일반적으로 310c로 지시됨)는 페라이트 스테인리스강(344c)으로 형성되며, 연료 측부(314c)와 상기 연료 측부의 반대편에 위치하는 산화물 측부(316c)를 갖는 몸체(340c)를 포함할 수 있다. SOFC의 동작 동안 인터커넥트(310c)의 연료 측부(314c)의 인접부의 산소의 분압보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질(342c)이 몸체(340)의 연료 측부(314c) 상의 페라이트 스테인리스강(344c)의 일부분, 또는 전체로 연결될 수 있다. 대안적으로, 도 3c에서 나타난 바와 같이, 상기 인터커넥트의 몸체는 도 3b와 관련하여 앞서 언급된 바와 같이 복합 몸

체일 수 있다. 덧붙여, 이러한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 니켈계 초합금, 또는 대기 중에서의 니켈 기반의 초합금과 유사한 전기적 속성과 내산화성을 갖는 그 밖의 다른 물질의 층(346c)이 상기 인터커넥트(310c)의 산화제 측부(316c)로 연결되어, SOFC의 동작 동안 캐소드의 인접부의 환경으로의 노출에 따른, 상기 산화제 측부(316c) 상의 페라이트 스테인리스강(344c)의 산화를 제거, 또는 방지할 수 있다. 이 제한하지 않는 실시예와 함께 사용될 수 있는 니켈계 초합금의 예로는 Alloy 600 합금(UNS-N06600), Alloy 625(UNS-N06625) 및 Alloy HX(UNS-N06002)가 있다. 0.5 중량 퍼센트 수준의 알루미늄 및 실리콘을 갖는 그 밖의 다른 니켈계 초합금이 또한 이 제한하지 않는 실시예와 연계되어 사용될 수 있으며, 그 예로는 0.3 중량 퍼센트까지의 알루미늄과 0.4 중량 퍼센트까지의 실리콘을 포함할 수 있는 Alloy 230(UNS-N06230)이 있다.

[0088] 일반적으로 니켈계 초합금이 인터커넥트에서 사용되기에 바람직한 속성의 조합, 가령 바람직한 전기 전도성 및 내산화성을 갖지만, 니켈계 초합금이 비싸고, 일반적으로 세라믹 전극의 CTE보다 더 높은 CTE를 갖기 때문에, 인터커넥트에서 니켈계 초합금을 사용하는 것이 특정 적용예에서 제한되고 있다. 그러나 인터커넥트의 다양한 성분의 두께 및 CTE의 균형을 잡음으로써, 니켈계 초합금의 비용 및 상대적으로 높은 니켈계 초합금의 CTE의 효과가 경감될 수 있다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강 성분이 인터커넥트의 총 두께의 60 내지 80%를 포함할 수 있으며, 이때 상기 인터커넥트의 연료 측부 상의 금속 물질 및 인터커넥트의 산화제 측부 상의 니켈계 초합금 층이 각각 인터커넥트의 총 두께의 10 내지 20 퍼센트를 포함한다. 덧붙이자면, 요구되지 않을지라도, 연료 측부 상의 금속 물질이 산화제 측부 상의 니켈계 초합금의 CTE보다 더 높은 CTE를 가질 경우, 상기 금속 물질은 니켈계 초합금 층의 두께보다 작은 두께를 가짐으로써, 상기 인터커넥트의 각각의 측부 상의 CTE 오정합을 고르게 분산시킬 수 있다. 역으로, 인터커넥트의 산화제 측부 상의 니켈계 층이 인터커넥트의 연료 측부 상의 금속 물질의 CTE보다 더 높은 CTE를 갖는 경우, 상기 니켈계 초합금 층은 연료 측부 상의 금속 물질의 두께보다 작은 두께를 가질 수 있다. 예를 들어, 연료 측부 상의 금속 물질이 산화제 측부 상의 니켈계 초합금의 CTE보다 10% 더 큰 CTE를 갖는 경우, 상기 연료 측부 상의 금속 물질은 상기 니켈계 초합금의 두께보다 10% 작은 두께를 가질 수 있다.

[0089] 도 3c를 참조하여, 금속 물질(342c) 및 층(346c)에 의해, 페라이트 스테인리스강(344c)이 상기 애노드 및 캐소드를 둘러싸는 환경에 직접 노출되는 것이 방지되며, 이러한 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강의 내산화성이 상기 인터커넥트의 전체 전기적 성능에 영향을 작게 미친다. 결과적으로, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 일반적으로 높은 합금 함유의 페라이트 스테인리스강보다 덜 비싸지만 더 낮은 내산화성을 갖는 낮은 합금, 또는 낮은 크롬 함유량을 갖는 페라이트 스테인리스강이 몸체(340c)를 형성하기 위해 사용될 수 있다. 낮은 합금, 또는 낮은 크롬 함유량이 포함된 페라이트 스테인리스강의 예로는 Type 409(가령 Fe-11Cr 페라이트 스테인리스강으로서 UNS-S40900, UNS-S40920, UNS-S40930) 및 Type 430(가령 Fe-16Cr 페라이트 스테인리스강으로서 UNS-S43000라고 지칭됨)이라고 명명되는 페라이트 스테인리스강이 있다.

[0090] 앞서 언급된 바와 같이, 페라이트 스테인리스강은 동작 동안 SOFC의 캐소드 인근의 산화제-풍부 환경(가령 인터커넥트의 산화제 측부 인근의 환경)에 노출될 때 산화되는 경향이 있으며, 상기 페라이트 스테인리스강의 표면에 형성된 산화물 스케일은 느리게 성장하며 전기적으로 전도성을 띠는 경향이 있다. 따라서 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, SOFC의 캐소드 인근의 산화제-풍부 환경(즉 인터커넥트의 산화제 측부)과 접촉하는 인터커넥트의 일부분, 또는 전체가 스테인리스강, 특히 페라이트 스테인리스강으로 형성된다. 대안적으로 대기 중에서 합리적인 내산화성을 갖는 추가적인 층, 가령 니켈계 초합금, 또는 그 밖의 다른 물질의 층이 (가령 클래딩에 의해) 인터커넥트의 산화제-측부로 연결될 수 있으며, 이에 대한 것은 도 3c를 참조하여 앞서 언급되어 있다.

[0091] 도 6을 참조하여, 앞서 언급된 바와 같이, 페라이트 스테인리스강은 일반적으로 오스테나이트 스테인리스강뿐 아니라 SOFC용 인터커넥트로서 사용되기 위해 제안되었던 그 밖의 다른 물질(가령 도 6에서 나타난 니켈계 합금)보다 더 낮은 CTE를 갖는다.

[0092] 필수적인 구조 무결성과 조립체의 기밀성을 보장하기 위해, SOFC를 위한 인터커넥트가 일반적으로 세라믹 전극의 CTE와 유사한 CTE를 가져야 하기 때문에, 인터커넥트는 전극의 CTE와 가능한 가깝게 일치하는 CTE를 갖는 물질로 형성되는 것이 바람직하다. 따라서 페라이트 스테인리스강보다 더 높은 CTE를 갖는 오스테나이트 스테인리스강이나 니켈계 초합금보다 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트 몸체를 형성함으로써, 그리고 SOFC(그리고 제공된다면 니켈계 초합금 층)의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질에 대한 상기 페라이트 스테인리스강의 비율의 균형을 맞춤으로써, 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 인터커넥트의 CTE가 SOFC의 세라믹 전극과의 호환성을 위해 적용될 수 있다.

[0093] 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는, 페라이트 스테인리스강과, SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 모두 포함하고, 선택적으로 추가적인 니켈계 초합금 층을 산화제 측부 상에 포함하는 인터커넥트의 CTE는 다음과 같은 방정식에 따라서 근사치가 구해질 수 있다.

$$CTE_{(I)} = CTE_{(fss)}/X_{(fss)}' + CTE_{(mm)}/X_{(mm)} + CTE_{(Ni)}/X_{(Ni)} \quad \text{Eq. 1}$$

$$X_{(fss)} = t_{(fss)}/(t_{(fss)} + t_{(mm)} + t_{(Ni)}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$X_{(mm)} = t_{(mm)}/(t_{(fss)} + t_{(mm)} + t_{(Ni)}) \quad \text{Eq. 3}$$

$$X_{(Ni)} = t_{(Ni)}/(t_{(fss)} + t_{(mm)} + t_{(Ni)}) \quad \text{Eq. 4}$$

[0094]

[0095] 이때 CTE(I)는 인터커넥트의 전체 열팽창 계수이고, $CTE_{(fss)}$ 는 페라이트 스테인리스강의 열팽창 계수이며, $CTE_{(mm)}$ 은 SOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질의 열팽창 계수이고, $CTE_{(Ni)}$ 는 니켈계 초합금의 열팽창 계수이다. Eq.1에서의 변수 $X_{(fss)}$, $X_{(mm)}$ 및 $X_{(Ni)}$ 는 Eq 2-4에 의해 주어지며, 이때 $t_{(fss)}$ 는 페라이트 스테인리스강의 두께이고, $t_{(mm)}$ 은 금속 물질의 두께이며, $t_{(Ni)}$ 는 니켈계 초합금의 층의 두께이다. 다시 말하자면, $CTE_{(I)}$ 는 각각의 성분(즉, 페라이트 스테인리스강과, 금속 물질과, 존재하는 경우 니켈계 초합금의 층)의 CTE에, 인터커넥트의 총 두께 중 각각의 성분의 비율에 의해 가중된 것의 합과 동일하다. 인터커넥트가 니켈계 초합금 층을 인터커넥트의 산화제 측부 상에 포함하지 않는 경우, 앞의 방정식은 이 성분에 대한 항을 소거함으로써 단순화될 수 있다.

[0096]

예를 들어, 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 페라이트 스테인리스강의 조성, 금속 물질의 조성, 제공될 경우 인터커넥트의 산화제 측부 상에 위치하는 니켈계 초합금 층의 조성, 총 초합된 두께에 대한 각각의 성분의 부분 두께는, 인터커넥트가 17ppm/K 이하의 평균 열팽창 계수를 갖도록 선택될 수 있다. 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서, 비율과 물질은 15ppm/K 이하의 CTE를 갖거나, 또는 13ppm/K 이하의 CTE를 갖는 인터커넥트를 제공하도록 선택될 수 있다. 그러나 앞서 언급된 바와 같이, 인터커넥트의 CTE를 세라믹 전극의 CTE와 가능한 비슷하게 일치시키는 것이 바람직하다. 따라서 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 인터커넥트는 SOFC(또는 이들이 내장되는 PSOFC)의 적합한 성능과 신뢰성을 제공하기에 필수적인 임의의 CTE를 가질 수 있다.

[0097]

앞서 언급된 바와 같이, 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 금속 물질의 반대쪽에 위치하는 인터커넥트의 측부(즉, 인터커넥트의 산화제 측부)가 전기연마될 수 있다. 예를 들어, 인터커넥트를 전기연마 용액(일반적으로 산과 담체를 포함한다)을 포함하고 있는 수조에 위치시키고, 인터커넥트를 캐소드로 전기적으로 연결시키며, 물질이 인터커넥트의 표면으로부터 전기화학적으로 제거되도록 상기 인터커넥트와 상기 캐소드 사이에 전류를 흐르게 함으로써, 상기 인터커넥트는 전기연마될 수 있다. 덧붙이자면, 예를 들어 인터커넥트를 전기연마 용액이 담긴 수조에 위치시키기에 앞서 상기 인터커넥트의 특정 표면, 또는 구역(가령 비아 표면)을 마스크-오프(mask-off)하여 상기 표면의 전기연마를 피함으로써, 상기 인터커넥트의 산화제 측부는 선택적으로 전기연마될 수 있다. 대안적으로, 앞서 언급된 바와 같이, 인터커넥트의 전체 산화제 측부는 전기연마될 수 있고, 그 후 상기 인터커넥트의 특정 표면(가령, 비아 표면)이 물리적으로, 또는 화학적으로 절삭되어 이 표면에서의 전기연마 효과가 감소, 또는 제거될 수 있다.

[0098]

본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예의 인터커넥트로부터 사용될 수 있는 페라이트 스테인리스강의 예로는 12 중량% 이상의 크롬을 포함하는 페라이트 스테인리스강이 있다. 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 18 중량% 크롬을 포함할 수 있고, 18 내지 35 중량% 크롬을 포함할 수 있으며, 20 내지 28 중량% 크롬을 포함할 수 있다. 20 중량% 이상의 크롬을 포함하는 페라이트 스테인리스강은 본원발명의 다양한 제한하지 않는 실시예와 조합될 때 특히 유용하다고 여겨진다. 왜냐하면, 이러한 “고-크롬 함유” 페라이트 스테인리스강은 상대적으로 낮은 전기 저항률을 갖는 산화물 스케일을 형성하는 경향이 있기 때문이다. 20 중량% 이상의 크롬을 포함하는 상업적으로 이용가능한 페라이트 스테인리스강의 제한하지 않는 예로는 AL 453TM 페라이트 스테인리스강과, E-Brite[®] 페라이트 스테인리스강이 있다.

[0099]

또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 희토류 금속(REM) 합금 첨가물을 포함

하는 고-크롬 함유 페라이트 스테인리스강 합금일 수 있다. REM을 고-크롬 함유 합금(가령 AL 453TM 페라이트 스테인리스강 합금)에 첨가함으로써, 고온에서 접착성의 느리게 성장하는 크롬 산화물 스케일이 형성될 수 있다. 미슈금속(mischmetal)의 형태로 된 REM이 페라이트 스테인리스강 합금의 생성 동안 첨가될 수 있다. 미슈금속은 혼합된 REM의 형태로 상업적으로 이용가능하며, 알려진 농도의 REM 세륨, 란탄, 프라세오디뮴을 갖는 여러 다른 조성물로 획득될 수 있다. 예를 들어, 제강에서 사용되는 일반적인 미슈금속의 형태는 중량 단위로 50Ce-30La-20Pr이다.

[0100] 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서, 페라이트 스테인리스강은, 크롬 산화물의 전기 저항률보다 큰 전기 저항률을 갖는 연속적인 산화물을 형성하는 합금 원소가 낮을 수 있다. 크롬 산화물의 전기 저항률보다 큰 전기 저항률을 갖는 연속적인 산화물을 형성하는 합금 원소의 제한하지 않는 예로는 알루미늄과 실리콘이 있다. 예를 들어, 0.1 미만 중량% 알루미늄, 및/또는 0.1미만 중량% 실리콘을 포함하는 스테인리스강과, 0 내지 0.005 중량% 알루미늄, 및/또는 0 내지 0.005 중량% 실리콘을 포함하는 페라이트 스테인리스강은 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서 사용될 수 있다. 크롬 산화물의 전기 저항률보다 큰 전기 저항률을 갖는 연속적인 산화물을 형성하는 페라이트 스테인리스강에서의 합금 원소의 양을 감소시킴으로써, PSOFC의 동작 동안 페라이트 스테인리스강 인터커넥트 상에서 형성되는 크롬-풍부 산화물, 또는 크롬산 망간 스피넬 스케일이 종래의 페라이트 스테인리스강을 이용하여 만들어진 인터커넥트와 비교하여 개선된 전기 속성을 가질 수 있다.

[0101] 덧붙이자면, 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강은 1 내지 2 중량%의 망간을 포함할 수 있다. 앞서 언급된 바와 같이, 고온에서의 산화 동안 망간은 페라이트 스테인리스강의 표면을 분해하며, 이에 따라서, 크롬산 망간 스피넬(가령 MnCr₂O₄)을 포함하는 스케일이 형성될 수 있다. 앞서 언급된 바와 같이, 산화 동안 페라이트 스테인리스강의 표면 상에서 크롬산 망간 스피넬을 포함하는 스케일을 형성함으로써, 상기 페라이트 스테인리스강의 표면으로부터의 크롬 이동을 억제할 수 있다. 페라이트 스테인리스강 표면 상에 형성된 크롬산 망간 스피넬이 망간으로 포화되거나, 거의 포화될 때(이는 일반적으로 페라이트 스테인리스강의 1 중량% 이상의 망간 함유량을 요구한다), 크롬 이동이 최대로 억제될 수 있다. 따라서 본 발명의 특정한 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강은 1 중량%의 망간을 포함할 수 있고, 1.5 중량% 이상의 망간을 포함할 수 있으며, 1.6 중량% 이상의 망간을 포함할 수 있다.

[0102] 그러나 페라이트 스테인리스강의 표면 상의 스케일의 전체 두께는 망간 함유의 증가와 더불어 증가하는 경향이 있기 때문에, 특정 적용예에서, 페라이트 스테인리스강의 표면 상에서(적어도 전기 접촉 영역에서) 얇은 스케일의 형성이 방지되어, 인터커넥트의 ASR을 가능한 낮게 유지할 수 있는 것이 바람직할 수 있다. 따라서 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 페라이트 스테인리스강에서 존재하는 망간의 양은 1 중량% 내지 2 중량%일 수 있고, 1.5 중량% 내지 2 중량%일 수 있으며, 1.6 중량% 내지 2 중량%일 수 있다.

[0103] 페라이트 스테인리스강의 제한하지 않는 예가, 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는, 고-크롬 함유량을 갖고, 선택적으로 REM을 포함하며, 크롬 산화물의 전기 저항률보다 큰 전기 저항률을 갖는 연속적인 산화물을 형성하는 합금 원소가 낮으며, 1 내지 2 중량%의 망간을 포함하는 인터커넥트를 형성하기 위해 사용될 수 있으며, 이는 표2에서 나타난다.

표 2

원소	조성 1(질량%)	조성 2(질량%)	조성 3(질량%)	조성 4(질량%)
알루미늄	0 내지 0.1	0 내지 0.05	0 내지 0.05	0 내지 0.05
실리콘	0 내지 0.1	0 내지 0.05	0 내지 0.05	0 내지 0.05
크롬	21 내지 35	21 내지 24	23 내지 27	23 내지 27
망간	1 내지 2 이상	1 내지 2 이상	1 내지 2 이상	1 내지 2 이상
탄소	0.002 내지 0.1	0.002 내지 0.1	0.002 내지 0.1	0.002 내지 0.1
질소	0 내지 0.04	0 내지 0.04	0 내지 0.04	0 내지 0.04
몰리브덴	0 내지 1	0 내지 1	0 내지 1	0.75 내지 1
니켈	0 내지 0.5	0 내지 0.3	0 내지 0.3	0 내지 0.3
란탄	0 내지 0.05	0.02 내지 0.04	0 내지 0.05	0 내지 0.05
세륨	0 내지 0.1	*	0 내지 0.1	0 내지 0.1
지르코늄	0 내지 0.1	0 내지 0.1	0 내지 0.1	0 내지 0.05
티타늄	0 내지 0.5	0 내지 0.1	0 내지 0.5	**
탄탈럼	0 내지 0.1	0 내지 0.1	0 내지 0.1	**

니오브	0 내지 0.2	0 내지 0.1	0.05 내지 0.2	**
철 및 불순물	bal.	bal.	bal.	bal.

- [0105] * 세륨의 중량% + 란탄의 중량*는 0.03 내지 0.06
- [0106] ** $0.4 \text{ 중량}\% \leq [\%Nb + \%Ti + \frac{1}{2}(\%Ta)] \leq 1 \text{ 중량}\%$
- [0107] 조성물 1에 관련하여, 표II에서 나타난 페라이트 스테인리스강 조성물에서의 알루미늄, 또는 실리콘의 양은 0 내지 0.5 중량%일 수 있다. 덧붙여, 조성물 1-4에 관련하여, 알루미늄, 또는 실리콘의 양은 0.005 내지 0.05 중량%일 수 있다. 덧붙여, 조성물 1-4에 관련하여, 망간의 양은 1.5 내지 2 중량%일 수 있고, 1.6 내지 2 중량%일 수 있다.
- [0108] 앞서 언급된 바와 같이, 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예는 페라이트 스테인리스강에 관한 것이며, 특히 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 인터커넥트를 조립하기에 유용할 수 있는 페라이트 스테인리스강에 관한 것이다. 예를 들어, 한 가지 제한하지 않는 실시예가 표II에서 나타난 조성물 1을 포함하는 페라이트 스테인리스강을 제공한다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 0 내지 0.05 중량%의 알루미늄, 또는 실리콘을 포함할 수 있고, 0.005 내지 0.05 중량% 알루미늄, 또는 실리콘을 포함할 수 있다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강은 1.5 내지 2 중량%의 망간, 또는 1.6 내지 2 중량%의 망간을 포함할 수 있다.
- [0109] 또 다른 제한하지 않는 실시예가 표II에서 나타난 조성물 2를 포함하는 페라이트 스테인리스강을 제공한다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 0.005 내지 0.05 중량%의 알루미늄, 또는 실리콘을 포함할 수 있다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예를 따르는 페라이트 스테인리스강은 1.5 내지 2 중량%의 망간, 또는 1.6 내지 2 중량%의 망간을 포함할 수 있다.
- [0110] 또 다른 제한하지 않는 실시예가 표II에서 제공되는 조성물 3을 포함하는 페라이트 스테인리스강을 제공한다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 0.005 내지 0.05 중량%의 알루미늄, 또는 실리콘을 포함할 수 있다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강은 1.5 내지 2 중량%의 망간, 또는 1.6 내지 2 중량%의 망간을 포함할 수 있다.
- [0111] 또 다른 제한하지 않는 실시예가 표II에서 제공된 조성물 4를 포함하는 페라이트 스테인리스강을 제공한다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 0.005 내지 0.05 중량%의 알루미늄, 또는 실리콘을 포함할 수 있다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강은 1.5 내지 2 중량%의 망간, 또는 1.6 내지 2 중량%의 망간을 포함할 수 있다. 덧붙여, 니오브, 티타늄, 탄탈럼 중 하나 이상의 양은 방정식, $0.5 \text{ 중량}\% \leq [\%Nb + \%Ti + \frac{1}{2}(\%Ta)] \leq 1 \text{ 중량}\%$ 를 만족시키도록 추가로 선택되거나, 방정식, $0.5 \text{ 중량}\% \leq [\%Nb + \%Ti + \frac{1}{2}(\%Ta)] \leq 0.75 \text{ 중량}\%$ 를 만족시키도록 추가로 선택되어진다. 덧붙이자면, 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 조성물 4에서의 티타늄의 양은 0.5 중량% 이하일 수 있다.
- [0112] 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강은 은, 또는 칼슘 산화물, 또는 티타늄이 본질적으로 포함되지 않을 수 있다. 페라이트 스테인리스강의 조성물에 관련하여 본원에서 사용될 때, 용어 “본질적으로 포함되지 않는(essentially free of)” 은 페라이트 스테인리스강에서 특정 원소가 다만 불순물, 또는 잔여물 수준으로만 존재하는 것을 의미한다.
- [0113] 본 발명의 제한하지 않는 실시예가 페라이트 스테인리스강으로 만들어진 인터커넥트를 제공한다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예가 SOFC용 인터커넥트를 제공하며, 상기 인터커넥트는 조성물 1을 포함하는 페라이트 스테인리스강을 포함한다. 덧붙이자면, 앞서 언급된 바와 같이, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 0 내지 0.05중량%의 알루미늄, 또는 실리콘을 포함하거나, 0.005 내지 0.05 중량%의 알루미늄, 또는 실리콘을 포함할 수 있다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강은 1.5 내지 2 중량%의 망간을 포함하거나, 1.6 내지 2 중량%의 망간을 포함할 수 있다.
- [0114] 또 다른 제한하지 않는 실시예가 SOFC를 위한 인터커넥트를 제공하며, 상기 인터커넥트는 조성물 2, 또는 조성물 3, 또는 조성물 4로서 제공되는 조성물을 포함하는 페라이트 스테인리스강을 포함한다. 덧붙이자면, 앞서 언급된 바와 같이, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강은 0.005 내지 0.05 중량% 알루미늄, 또는 실리콘을 포함할 수 있다. 덧붙여, 상기 페라이트 스테인리스강은 1.5 내지 2 중량%의 망간을 포

함하거나, 1.6 내지 2 중량%의 망간을 포함할 수 있다.

[0115] 앞서 언급된 바와 같이, 본원발명의 다양한 제한하지 않는 실시예는 앞서 언급된 제한하지 않는 실시예 중 임의의 것에 따르는 인터커넥트를 이용하여 만들어진 PSOFC와 관련되어 있다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예가 애노드와, 캐소드와, 상기 애노드와 상기 캐소드 사이의 고체 산화물 전해질을 갖는 제 1 고체 산화물 연료 전지와, 애노드와, 캐소드와, 상기 애노드와 상기 캐소드 사이의 고체 산화물 전해질을 갖는 제 2 고체 산화물 연료 전지를 포함하는 PSOFC를 제공하며, 이때 상기 제 2 고체 산화물 연료 전지는 상기 제 1 고체 산화물 연료 전지의 애노드가 제 2 고체 산화물 연료 전지의 캐소드에 인접하게 위치하도록 위치하며, 이때 인터커넥트가 상기 제 1 고체 산화물 연료 전지와 제 2 고체 산화물 연료 전지 사이에 삽입된다. 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강으로 형성되고, 상기 제 1 고체 산화물 연료 전지의 애노드에 인접하게 위치하는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대편에 위치하면서 제 2 고체 산화물 연료 전지의 캐소드에 인접한 산화제 측부를 포함한다. 상기 연료 측부는 하나 이상의 비아와 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하고, 상기 산화제 측부는 페라이트 스테인리스강으로 형성되며, 하나 이상의 비아와, 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하고, 상기 비아는 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 노출될 때 표면의 일부분에서, 또는 전체에서 크롬산 망간 스퍼터를 포함하는 스케일을 발달시키며, 상기 기체 흐름 도관은 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 노출될 때 표면의 일부분, 또는 전체에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일을 발달시키고, 이때 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 철 및 크롬을 포함하고, 적철광 구조를 갖는다.

[0116] 덧붙여, 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 연료 측부는 페라이트 스테인리스강을 포함하고, 상기 연료 측부의 하나 이상의 비아는 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 노출될 때, 크롬산 망간 스퍼터를 포함하는 스케일을 표면의 일부분, 또는 전체에서 발달시킬 수 있다. 덧붙여, 650℃ 이상의 온도에서 산화 분위기에 노출될 때, 연료 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관은 표면의 일부분에서, 또는 전체에서 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 발달될 수 있고, 상기 알루미늄-풍부 산화물 스케일은 철과 크롬을 포함하고, 적철광 구조를 갖는다.

[0117] 대안적으로, 상기 인터커넥트의 연료 측부는, 표면의 일부분으로 연결되는 PSOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 갖는 페라이트 스테인리스강을 포함할 수 있다. 덧붙여, 연료 측부는 PSOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 보다 큰 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질로 형성될 수 있다. 적합한 페라이트 스테인리스강과, PSOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질의 제한하지 않는 예는 앞서 상세히 제공되었다.

[0118] 또 다른 제한하지 않는 실시예가 애노드와, 캐소드와, 상기 애노드와 캐소드 사이에 위치하는 고체 산화물 전해질을 포함하는 제 1 고체 산화물 연료 전지와; 애노드와, 캐소드와, 상기 애노드와 캐소드 사이에 위치하는 고체 산화물 전해질을 포함하는 제 2 고체 산화물 연료 전지를 포함하는 PSOFC를 제공하며, 이때 상기 제 2 고체 산화물 연료 전지는 상기 제 1 고체 연료 전지의 애노드가 상기 제 2 고체 산화물 연료 전지의 캐소드에 인접하도록 위치되며, 상기 제 1 고체 산화물 연료 전지와 상기 제 2 고체 산화물 연료 전지 사이에 인터커넥트가 삽입된다. 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강을 포함하는 산화제 측부와, 상기 산화제 측부의 반대쪽에 위치하는 연료 측부를 가지며, 상기 연료 측부는, 평판 고체 산화물 연료 전지의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 포함한다. 더 세부적으로, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 인터커넥트가 제 1 고체 산화물 연료 전지와 제 2 고체 산화물 연료 전지 사이에 삽입되어, 상기 인터커넥트의 연료 측부가 상기 제 1 고체 산화물 연료 전지의 애노드에 인접하고, 상기 인터커넥트의 산화제 측부가 상기 제 2 고체 산화물 연료 전지의 캐소드에 인접할 수 있다. 덧붙여, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 인터커넥트의 연료 측부는 페라이트 스테인리스강과, 금속 물질로 형성될 수 있으며, 상기 금속 물질은 상기 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결된 PSOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 pO_2 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성한다.

[0119] 본 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 인터커넥트를 제작하기 위한 방법이 지금부터 설명될 것이다. 하나의 제한하지 않는 실시예가 페라이트 스테인리스강으로 인터커넥트를 만들기 위한 방법을 제공하며, 이때 상기 인터커넥트는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대쪽에 위치하는 산화제 측부를 가지며, 상기 연료 측부와 산화제 측부의 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하며, 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체는 전기연마된다.

- [0120] 예를 들어, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 전기연마는 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체를 선택적으로 전기연마하는 것을 포함한다. 더 세부적으로, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 선택적인 전기연마가 인터커넥트의 부분을 마스킹(masking)하는 것을 포함할 수 있으며, 상기 부분은 마스킹 물질을 이용하여 전기연마되지 않는다. 예를 들어, 연료 측부의 비아, 또는 연료 측부의 전체, 또는 연료 측부의 기체 흐름 도관이 선택적으로 전기연마되는 경우의 연료 측부의 비아가 마스킹되어, 이러한 부분들의 전기연마가 방지될 수 있다. 적합한 마스킹 물질의 제한하지 않는 예로는 프로레지스트, 왁스 및 마스킹 테이프가 있다. 그 후, 상기 인터커넥트는 앞서 설명된 바와 같이 전기연마될 수 있다. 전기연마 후에, 마스킹 물질은 종래의 방법으로 제거될 수 있다.
- [0121] 선택적으로, 선택적인 전기연마의 전, 또는 후에, PSOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 ρO_2 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질이 연료 측부로 연결될 수 있다. 대안적으로, 상기 금속 물질은 인터커넥트를 형성하기에 앞서, 페라이트 스테인리스강으로 연결될 수 있다. PSOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 ρO_2 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질을 연결하는 제한하지 않는 방법이 다음에서 더욱 상세히 설명된다.
- [0122] 또 다른 제한하지 않는 실시예가 페라이트 스테인리스강으로부터 인터커넥트를 형성하는 단계를 포함하는 인터커넥트 제조 방법을 제공하며, 이때 인터커넥트는 연료 측부와, 상기 연료 측부의 반대쪽에 위치하는 산화제 측부를 포함하며, 상기 연료 측부와 산화제 측부의 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함하며, 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 일부분, 또는 전체를 전기연마하고, 상기 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 비아의 하나 이상의 전기연마된 표면으로부터 물질을 물리적으로, 또는 화학적으로 제거한다. 선택적으로, 인터커넥트가 형성된 후, 전기연마의 전, 또는 후에, PSOFC의 동작 동안 인터커넥트의 연료 측부의 인접부의 ρO_2 이상의 해리압을 갖는 산화물을 형성하는 금속 물질이 상기 인터커넥트의 연료 측부로 연결될 수 있다. 대안적으로, 인터커넥트를 형성하기에 앞서, 금속 물질이 페라이트 스테인리스강으로 연결될 수 있다.
- [0123] 또 다른 제한하지 않는 실시예가 페라이트 스테인리스강 시트(sheet) 물질의 표면의 일부분, 또는 전체 상으로 금속 물질을 연결하는 단계와, 상기 금속 물질을 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금 중에서 선택하는 단계와, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질로부터 인터커넥트를 형성하는 단계를 포함하는 인터커넥트를 제조하는 방법을 제공하며, 이때 상기 인터커넥트는 페라이트 스테인리스강을 포함하는 산화제 측부와, 금속 물질을 포함하는 상기 산화제 측부의 반대편에 위치하는 연료 측부를 포함하고, 상기 인터커넥트의 상기 산화제 측부와 상기 연료 측부 각각은 비아와 기체 흐름 도관을 포함한다. 추후 상세히 설명될 바와 같이, 이 제한하지 않는 실시예에 따라, 인터커넥트를 형성하는 단계는 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 금속 물질을 연결시키는 동안, 또는, 그 전, 또는 그 후에 발생될 수 있다.
- [0124] 선택적으로, 앞서 언급된 제한하지 않는 실시예에 따라서, 예를 들어, 선택적 전기연마에 의해, 인터커넥트의 산화제 측부의 하나 이상의 기체 흐름 도관의 일부분, 또는 전체가 전기연마될 수 있거나, 또는 전체 산화제 측부가 전기연마될 수 있고, 그 후 하나 이상의 전기연마된 비아 표면의 일부분으로부터 물질이 제거될 수 있다(앞서 언급된 바와 같이). 대안적으로, 페라이트 스테인리스강은 금속 물질이 상기 페라이트 스테인리스강으로 연결되기에 앞서, 또는 그 후에 전기연마될 수 있으나, 인터커넥트의 형성 전에는 아니다.
- [0125] 덧붙여, 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 예를 들어, 열간압연, 또는 냉간압연 접합에 의해, 니켈계 초합금의 층이, 상기 인터커넥트가 형성되기 전에, 금속 물질이 연결되는 표면의 반대쪽에 위치하는 페라이트 스테인리스강의 표면으로 연결될 수 있다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 페라이트 스테인리스강 슬래브가 금속 물질의 층과 니켈계 초합금의 층 사이로 삽입될 수 있다. 그 후, 스택(stack)이 함께 클래딩(cladding)될 수 있고, 열간 압연에 의해 요망 두께까지로 처리된다. 대안적으로, 각각의 물질은 모두 함께 냉간 압연 접합에 의해 클래딩되기에 앞서서 요망 두께를 갖는 시트, 또는 코일로 처리될 수 있다.
- [0126] 본원의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 페라이트 스테인리스강은 요망 두께로 압연처리된 페라이트 스테인리스강 물질일 수 있다. 예를 들어, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질은, 종래의 열간압연, 또는 냉간압연 처리를 이용하여, 요망 두께보다 더 큰 두께를 갖는 슬래브(또는 또 다른 코일이나 시트)를 요망 두께까지로 압연처리하여 형성될 수 있다.
- [0127] 금속 물질을 본원발명의 다양한 제한하지 않는 실시예에 따르는 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결하는 방법으로는, 도금, 클래딩(cladding), 고정(fastening), 접합 및 이들의 조합이 있다. 본원에서 사용

되는 용어 “도금(plating)”은 하나의 물질을 또 다른 물질 상에 구축하는 것을 의미한다. 적합한 도금 기법의 예로는, 전기도금, 무전해도금뿐 아니라, 하나의 물질을 또 다른 물질 상에 쌓는 것을 포함하는 그 밖의 다른 물리적이거나 화학적인 증착 기법(가령, 스퍼터링, 플라즈마 증기 증착, 화학 증기 증착, 열/불꽃 분사)을 들 수 있다.

[0128] 본원에서 사용되는 용어 “클래딩(cladding)”은 압력, 또는 압력과 온도를 이용하여 둘 이상의 물질을 서로 직접 접촉하도록 연결(bridging)하는 것을 의미한다. 적합한 클래딩 방법의 예로는 열간압연 접합, 또는 냉간압연 접합뿐 아니라, 폭발 접합 및 단조(forging) 등의 열-기계적 접합 기법이 있다.

[0129] 본원에서 사용되는 용어 “고정(fastening)”은 패스너(fastener), 또는 그 밖의 다른 부착 장치, 또는 연동 기구를 이용하여 둘 이상의 물질을 기계적으로 연결, 또는 연동시키는 것을 의미한다. 예를 들어, 금속 물질과 페라이트 스테인리스강을 함께 크리핑(crimping)하여 두 물질을 연동시킴으로써, 금속 물질은 페라이트 스테인리스강에 고정될 수 있다

[0130] 본원에서 사용되는 용어 “접합(joining)”은 용접, 브레이징(brazing), 솔더링(soldering) 등에 의해, 두 개의 물질을 서로 접촉시키는 것을 의미한다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 금속 물질은 페라이트 스테인리스강으로 브레이징될 수 있다.

[0131] 하나의 특정한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 금속 물질을 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결시키는 것은 스테인리스강의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속을 도금하는 것과, 상기 스테인리스강의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질로 클래딩하는 것을 포함한다.

[0132] 본원 발명의 다양한 제한하지 않는 실시예와 함께 사용될 수 있는 인터커넥트를 형성하는 제한하지 않는 방법으로는, 단조(forging), 스탬핑(stamping), 코이닝(coining), 기계가공(machining), 화학적 밀링(milling), 또는 이들의 조합이 있다. 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트를 형성하는 방법은, 예를 들어, 페라이트 스테인리스강을 요망 기하학적 형태로 스탬핑하는 것을 포함한다. 대안적으로, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 스탬핑과 기계가공의 조합을 이용하여 상기 인터커넥트가 형성될 수 있다. 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서 상기 인터커넥트를 형성하는 방법은 페라이트 스테인리스강 시트 블랭크를 제공하는 단계와, 상기 유지될 페라이트 스테인리스강 시트 블랭크의 부분으로 마스킹 물질을 제공하는 단계, 상기 블랭크를 화학적으로 밀링하여, 마스킹되지 않은 부분으로부터 물질을 제거하여, 하나 이상의 비아와 하나 이상의 기체 흐름 도관을 포함하는 인터커넥트를 형성하는 단계를 포함한다. 그 후, 상기 인터커넥트는 전기연마될 수 있고, 마스킹 물질이 전기연마될 수 있다. 예를 들어, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 마스킹되는 페라이트 스테인리스강 블랭크의 부분은 인터커넥트에서 비아를 형성하는 블랭크의 부분일 수 있다. 이러한 인터커넥트를 형성하는 방법 및 그 밖의 다른 방법은 공지 기술에서 알려져 있다.

[0133] 앞서 언급된 바와 같이, 다양한 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 형성은, 금속 물질을 페라이트 스테인리스강의 일부분, 또는 전체로 연결하기의 앞서서, 또는 연결하는 중에, 또는 연결한 후에 발생할 수 있다. 예를 들어, 하나의 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 인터커넥트의 형성이 금속 물질을 페라이트 스테인리스강으로 연결하는 것에 앞서서 발생하는 경우, 인터커넥트를 제작하는 방법은 페라이트 스테인리스강 시트 물질을 제공하는 단계와, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질로부터 인터커넥트를 형성하는 단계와, 상기 인터커넥트의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 도금하는 단계와, 금속 물질을 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금 중에서 선택하는 단계를 포함한다. 선택적으로, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 형성 후에 인터커넥트가 니켈계 초합금을 포함하는 제 1 측부와, 상기 제 1 측부의 반대쪽에 위치하는 페라이트 스테인리스강을 포함하는 제 2 측부를 포함하도록, 인터커넥트를 형성하기에 앞서서, 니켈계 초합금의 층이 페라이트 스테인리스강으로 클래딩될 수 있다. 그 후, 상기 금속 물질이 상기 인터커넥트의 제 2 측부의 페라이트 스테인리스강 상에서 도금될 수 있다.

[0134] 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트의 형성이, 금속 물질이 상기 페라이트 스테인리스강에 연결된 후에 발생하는 경우, 인터커넥트를 제조하는 방법은 페라이트 스테인리스강 시트 물질을 제공하는 단계와, 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질의 하나 이상의 표면의 일부분, 또는 전체 상에 금속 물질을 클래딩하는 단계와, 상기 금속 물질로 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금 중에서 선택하는 단계와, 클래드(clad) 페라이트 스테인리스강 시트 물질로부터 인터커넥트를 형성하는 단계를 포함한다. 덧붙이자면, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질로부터 인터커넥트를 형성하기에 앞서서, 상기 클래드 페라이트 스테인리스강 시트 물질은 가령 압연에 의해, 최종 게이지(finished gauge)로 처리될 수 있다. 선택적으로 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 금속 물질이 페라이트 스테

테인리스강의 제 1 표면으로 클래딩될 수 있고, 니켈계 초합금의 층이 상기 페라이트 스테인리스강의 제 1 표면의 반대편에 위치하는 제 2 표면으로 클래딩될 수 있다.

[0135] 또 다른 제한하지 않는 실시예에 따라서, 인터커넥트를 형성하는 것이 금속 물질을 페라이트 스테인리스강으로 연결하는 것과 본질적으로 동시에 발생하는 경우, 인터커넥트를 제조하는 방법이 페라이트 스테인리스강 시트 물질을 다이(die)로 제공하는 단계와, 금속 물질을 시트, 또는 포일(foil)을 상기 페라이트 스테인리스강 시트 물질 옆에 배치하는 단계와, 상기 금속 물질로 니켈, 또는 니켈 합금, 또는 구리, 또는 구리 합금, 또는 니켈-구리 합금 중에서 선택하는 단계와, 페라이트 스테인리스강과 금속 물질이 하나의 인터커넥트와 클래드에서 동시에 형성되도록 열과 압력을 가한 단조에 의해 인터커넥트를 형성하는 단계를 포함한다. 선택적으로, 이 제한하지 않는 실시예에 따라서, 상기 금속 물질의 시트, 또는 포일이 상기 페라이트 스테인리스강의 제 1 측부의 옆에 배치될 수 있고, 니켈계 초합금의 시트, 또는 포일이 상기 페라이트 스테인리스강의 제 1 측부의 반대편에 위치하는 제 2 측부의 옆에 배치될 수 있으며, 그 후 스택이 상기 인터커넥트를 형성하기 위해 단조(forging)될 수 있다.

[0136] 예시

[0137] 예시 1:

[0138] 2개의 페라이트 스테인리스강의 각각의 3개의 샘플이 획득되었고, 다음과 같이 실험되었다. 3개의 페라이트 스테인리스강 샘플의 제 1 세트는 AL 453™ 합금(공칭 조성은 표 I에서 제공되었다)의 샘플이었다. 이 3개의 샘플은 실험에 앞서 전기연마되었다. 3개의 페라이트 스테인리스강의 제 2 세트는 E-BRITE® 합금(공칭 조성은 표 I에서 제공되었다)이며, 전기연마없이 실험되었다.

[0139] AL 453™ 합금 샘플의 전기연마가 다음과 같이 진행되었다. 전기연마될 샘플은 240 그리트 실리콘 카바이드 습식/건식 메탈로그래픽 그라인딩 페이퍼를 이용하여 그라인딩되었다. 그 후 상기 샘플은 25%의 황산과, 47%의 인산과, 28%의 글리콜산으로 조성된 수용성 산성 용액으로 침적되었다. 상기 용액은 175°F로 유지되었고, 20분 동안 1Amp./in²의 전류를 샘플로 흘림으로써, 전기연마가 수행되었고, 이때 샘플들은 매 5분마다 뒤집어 주었다.

[0140] 그 후 열 산화 사이클링(thermal oxidation cycling)에 의해, 각각의 샘플의 내산화성이 평가되었다. 각각의 열 산화 사이클 동안, 상기 샘플들은 공칭 160시간 동안 760°C의 7%의 수증기를 함유하고 있는 공기에 노출되었다. 4000 시간의 총 노출 시간을 획득할 때까지 사이클 노출은 반복되었다. 각각의 열 산화 사이클 후에 각각의 샘플의 질량이 측정되고, 기록되었다. 이 실험의 결과는 도 7에서, 실험되는 각각의 샘플에 대한, 샘플 표면 면적당 질량(mg/cm²)의 변화 대(vs) 노출 시간(hour)의 도표로서 제공된다.

[0141] 도 7에서 나타나는 바와 같이, AL 453™ 합금의 전기연마된 각각의 샘플의 질량이 노출 주기 동안 증가하였으며, 전기연마되지 않은 샘플(즉, E-BRITE® 합금 샘플)의 질량은 약 1000시간 후에 감소하였고, 나머지 노출 주기 동안 지속적으로 감소되었다. 이러한 질량 감소는 실험 동안 샘플의 표면으로부터의 크롬 함유 증기중의 방출에 기여할 수 있다고 여겨진다.

[0142] 예시 2:

[0143] AL 453™ 합금(공칭 조성이 표 I에서 제공되었다)의 샘플이 예시 1에서와 같이 전기연마되었다. 그 후, 다이아몬드-팁 스타일러스를 이용하여 전기연마된 표면의 부분이 기계적으로 절삭되었다. 그 후, 상기 샘플이 노(furnace)로 배치되고, 공기 중에서 72시간 동안 875°C에서 가열되어, 산화물 스케일이 샘플 상에 형성되게 하였다.

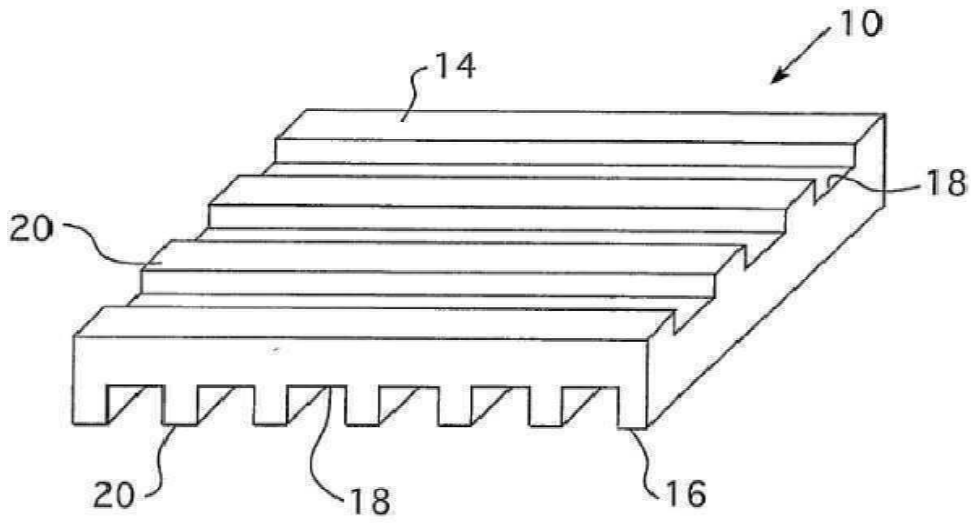
[0144] 노출 후에, 스캐닝 전자 현미경을 이용하여 샘플은 관찰되었고, 샘플의 표면에서, 또는 표면의 근처에서 몇 가지 원소의 특성 x-선이 매핑되어 다양한 원소의 상대적인 양을 알 수 있었다. 도 8a는 샘플의 2차 전자 이미지이며, 도 8b-8e는 도 8a에서 나타난 동일한 영역의 특성 x-선 맵이며, 이는 지정된 원소의 특성 x-선을 이용하여 획득될 수 있다. 특히, 도 8b는 크롬의 특성 x-선의 x-선 매핑이며, 도 8c는 철의 특성 x-선의 x-선 매핑이고, 도 8d는 알루미늄의 특성 x-선의 x-선 매핑이고, 도 8e는 망간의 특성 x-선의 x-선 매핑이다.

[0145] 이러한 일련의 이미지로부터 알 수 있는 바와 같이, 다이아몬드-팁 스타일러스를 이용하여 절삭된 전기연마된 표면의 일부는 크롬 및 망간의 더 높은 밀도를 가지며, 이는 이 부분에서 크롬산 망간 스피넬의 스케일이 형성됨을 나타낸다. 이와 대조적으로, 절삭되지 않은 전기연마된 표면의 부분은 철 및 알루미늄의 더 높은 밀도를

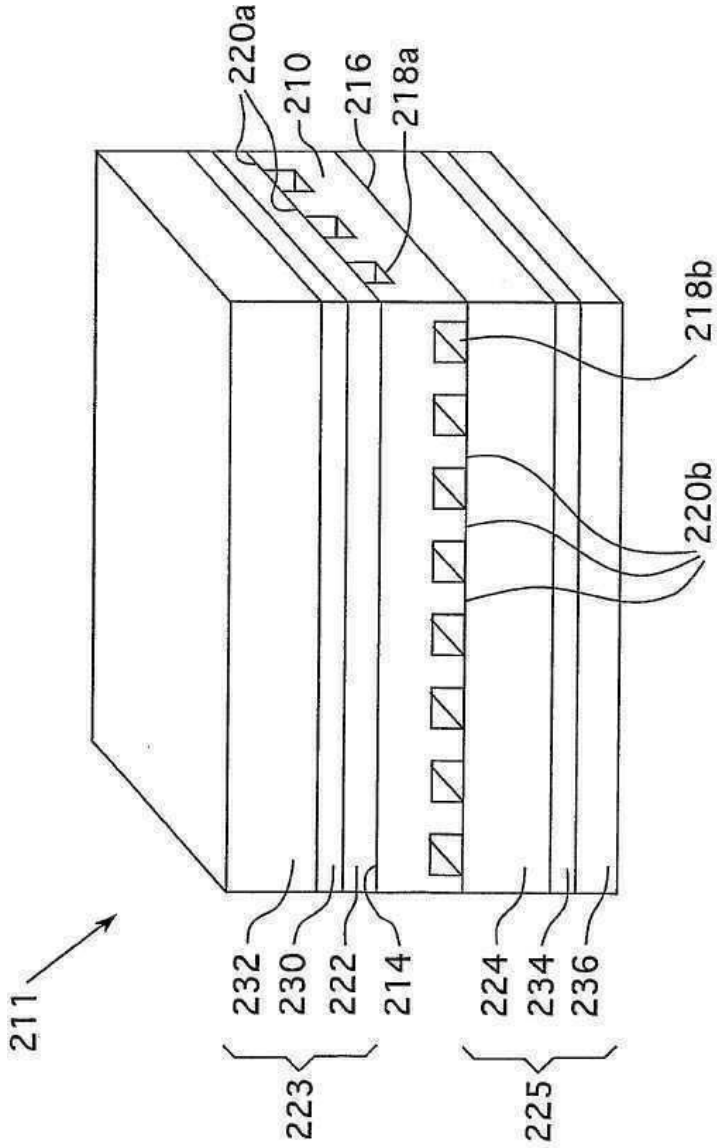
가지며, 이는 알루미늄-풍부 산화물 스케일이 이 부분에서 발달되고, 산화 실험 내내 손상되지 않고 유지됨을 나타내다. 상기 알루미늄-풍부 산화물 표면으로 어떠한 실질적인 크롬 이동도 관찰되지 않았다.

도면

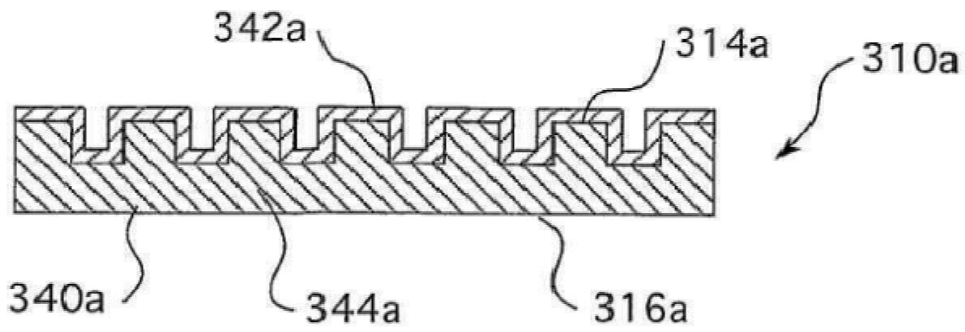
도면1



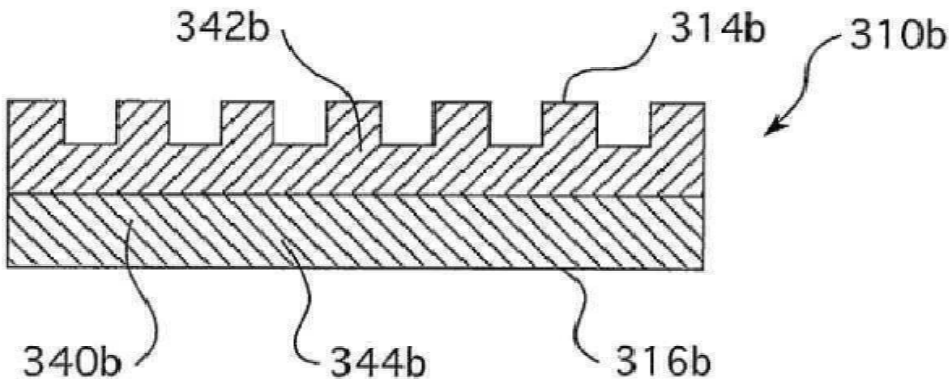
도면2



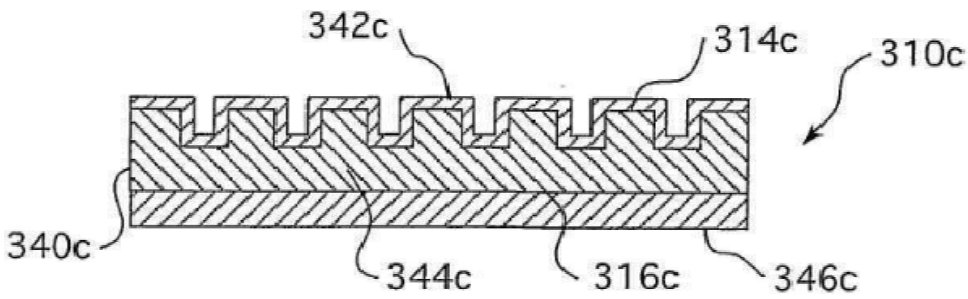
도면3a



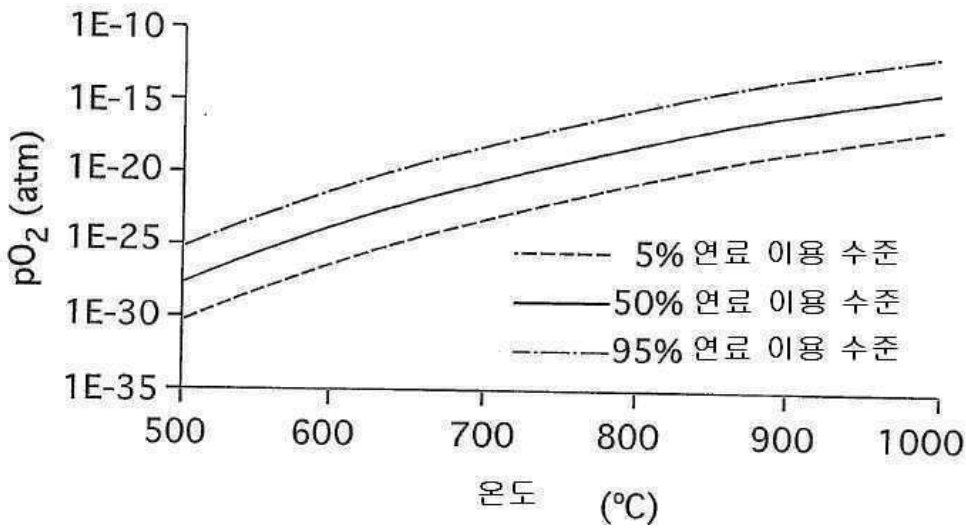
도면3b



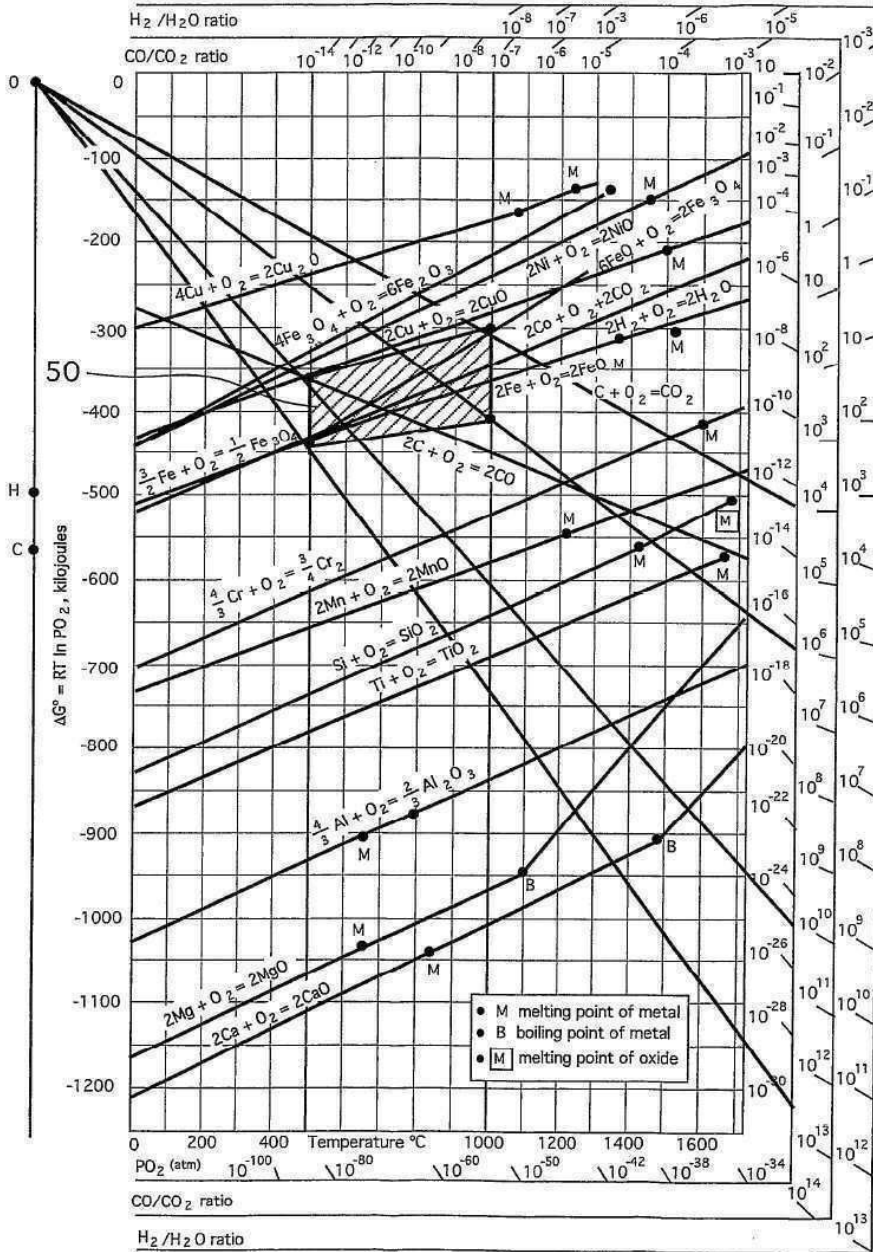
도면3c



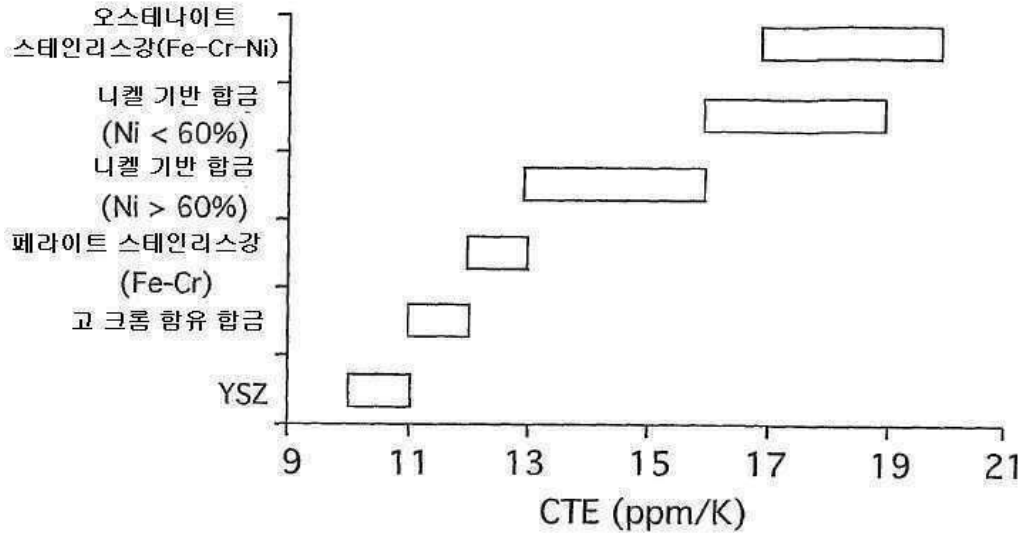
도면4



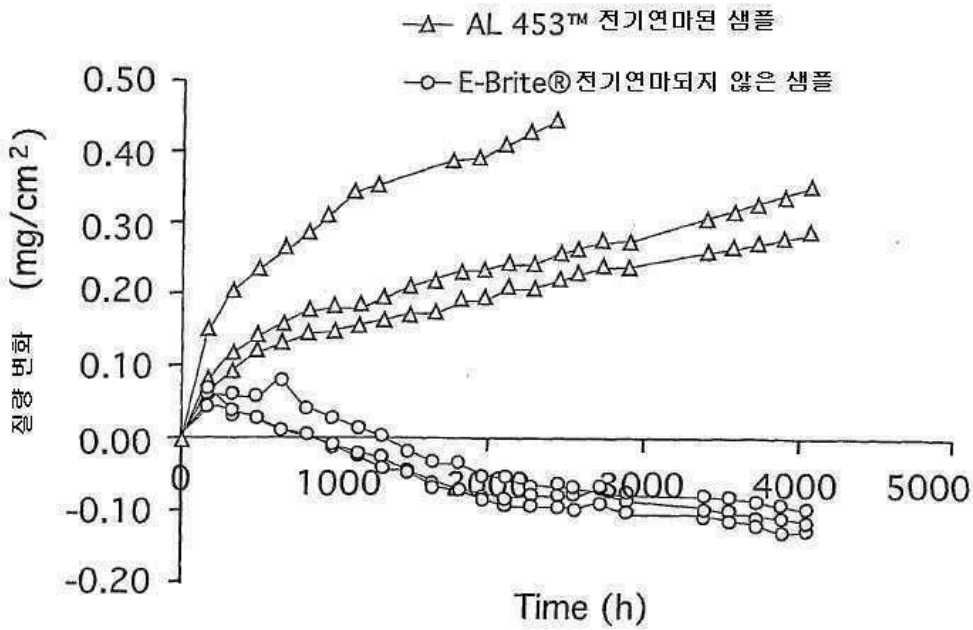
도면5



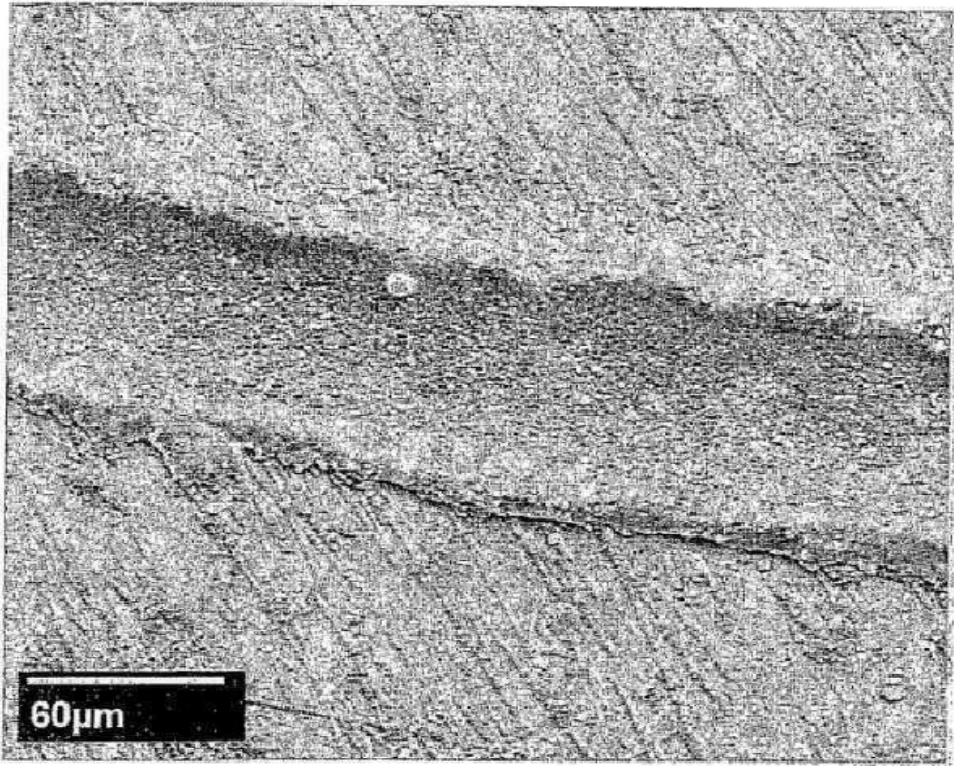
도면6



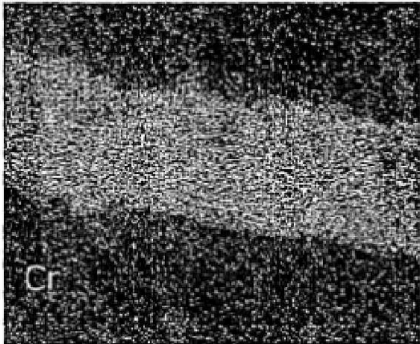
도면7



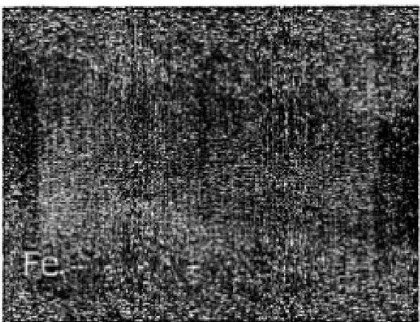
도면8a



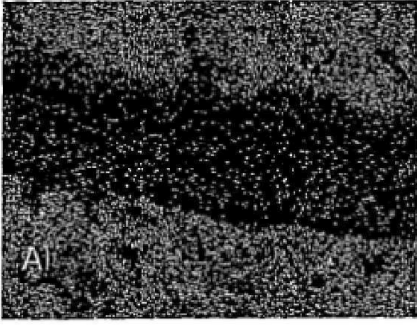
도면8b



도면8c



도면8d



도면8e

