



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년09월21일  
(11) 등록번호 10-1185323  
(24) 등록일자 2012년09월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01M 8/12 (2006.01) H01M 8/02 (2006.01)

B82B 3/00 (2006.01) C23C 16/50 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2011-0012323

(22) 출원일자 2011년02월11일

심사청구일자 2011년02월11일

(65) 공개번호 10-2012-0092334

(43) 공개일자 2012년08월21일

(56) 선행기술조사문헌

JP2009289675 A

(73) 특허권자

한국에너지기술연구원

대전 유성구 장동 71-2

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

엄영랑

대전광역시 유성구 가정로 65, 106동 403호 (신성동, 대림두레아파트)

이창규

대전광역시 유성구 엑스포로 448, 109동 403호 (전민동, 엑스포아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인무한

전체 청구항 수 : 총 8 항

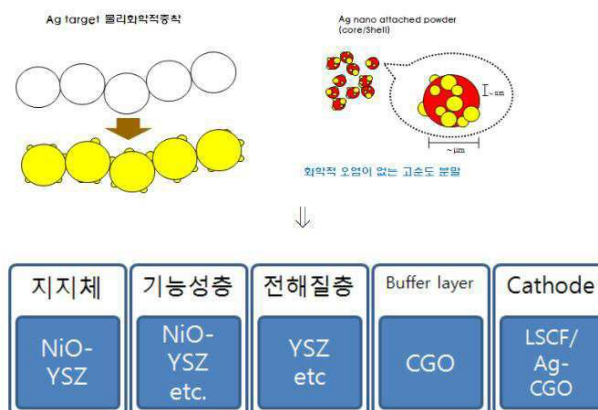
심사관 : 오정아

(54) 발명의 명칭 은 나노입자가 코팅된 소재를 포함하는 고체산화물 연료전지의 공기극 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극은, 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 포함함으로써 저온에서도 사용 가능하고, 저렴한 비용으로 대량생산할 수 있다. 또한, LSCF에 코팅된 은 나노입자는 LSCF 상에서 응집되지 않고 균일하게 분산되어 있기 때문에 고체산화물 연료전지의 출력 효율을 높일 수 있다. 아울러, 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극 제조방법은 공기극 슬러리를 소결하는 온도를 조절함으로써 공기극에 포함되는 은 나노입자의 응집현상을 방지하여 연료전지의 출력 효율을 증가시킬 수 있다. 또한, 간단한 공정으로 공기극을 제조할 수 있으며, 이러한 공기극으로 인해 저온에서도 동작이 가능한 고체산화물 연료전지를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

**전수형**

경상북도 상주시 왕산로 121, 나동 804호 (남성동, 황제맨션)

**송락현**

서울특별시 강남구 남부순환로 3032, 미도아파트 209동 307호 (대치동)

**박석주**

대전광역시 서구 만년남로 8, 102동 304호 (만년동, 상록수아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 C-협동-00-5

부처명 교육과학기술부

연구사업명 협동연구과제/원자력연구개발사업

연구과제명 방사선을 이용한 연료전지 소재개발

주관기관 한국원자력연구원

연구기간 2007.10.01 ~ 2012.06.30

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 포함하는 고체산화물 연료전지의 공기극;

여기서,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 임.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 은(Ag) 나노입자는 플라즈마 증착에 의해 코팅되는 고체산화물 연료전지의 공기극.

### 청구항 3

은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 제조하는 단계;

상기 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 공기극 슬러리(slurry)로 제조하는 단계; 및

상기 공기극 슬러리를 소결하여 공기극을 형성하는 단계를 포함하는 고체산화물 연료전지의 공기극 제조방법;

여기서,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 임.

### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 공기극을 형성하는 단계에서 소결 온도는  $750^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ 인 고체산화물 연료전지의 공기극 제조방법.

### 청구항 5

제3항에 있어서,

상기 공기극을 형성하는 단계는 불활성 가스 또는 환원성 가스 분위기에서 열처리하는 단계를 포함하는 고체산화물 연료전지의 공기극 제조방법.

### 청구항 6

제5항에 있어서,

상기 환원성 가스는 아르곤 가스 및 수소 가스의 혼합물( $\text{Ar}+\text{H}_2$ )인 고체산화물 연료전지의 공기극 제조방법.

### 청구항 7

연료가 공급되는 연료극;

상기 연료극의 일면에 형성된 전해질층; 및

상기 전해질층의 다른 일면에 형성되며, 은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 포함하는 공기극을 포함하는 고체산화물 연료전지;

여기서,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 임

## 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 공기극은, 상기 전해질층에 상기 LSCF를 공기극 슬러리로 제조한 후 딥 코팅법에 의해 코팅하고 750℃ ~ 950℃ 온도 범위에서 소결하여 형성되는 고체산화물 연료전지.

## 명세서

### 기술 분야

[0001] 고체산화물 연료전지의 공기극 및 이의 제조방법이 개시된다. 보다 상세하게는 은 나노입자가 코팅된 소재를 포함하는 고체산화물 연료전지의 공기극 및 이의 제조방법이 개시된다.

### 배경 기술

[0002] 고체산화물 연료전지는, 공기극(cathode)에서의 반응 및 연료극(anode)에서의 반응을 통해 작동된다. 즉, 공기극이 공기극에서 전기화학적으로 환원되면서 산소이온이 생성되고, 생성된 산소이온은 전해질층의 세공을 통하여 확산되고, 수소, 탄화수소, 일산화탄소 등이 연료극에서 산소이온과 결합하여 전기화학적으로 산화되면서 전자를 내어놓고, 물 또는 이산화탄소를 생성함으로써 전기를 발생시킨다.

[0003] 공기극에서의 반응  $O_2 + 4e^- \rightleftharpoons 2O^{2-}$

[0004] 연료극에서의 반응  $2O^{2-} + 2H_2 \rightleftharpoons 2H_2O + 4e^-$

[0005] 고체산화물 연료전지에서 전해질층은 산소이온의 전도성은 크나 전자전도성은 거의 없어야 한다. 또한, 전해질층은 공기극 및 연료극과 잘 접합하여야 하고, 가스가 통과하지 않도록 치밀할 수 있다. 나아가, 전해질층은 고온에서의 산화, 환원 조건에서 화학적 안정성이 우수해야 한다. 전해질층은 산소 음이온(oxide ion)을 선택적으로 투과하는 이트리아 안정화된 지르코니아(Yttria stabilized Zirconia, YSZ)로 이루어질 수 있다.

[0006] 연료극은 수소가 확산되도록 다공성이고, 전자 및 이온전도성이 우수해야 한다. 또한, 연료극은 수소의 산화반응에 분극저항이 작고, 고온의 수소기류하에 상안정성이 우수해야 한다. 나아가, 연료극은 전해질과의 계면에서 화학적으로 안정해야 하며, 열팽창률이 다른 재료와 유사할 수 있다. 연료극은 니켈산화물과 이트리아 안정화된 지르코니아(YSZ)의 혼합물이 소결되어 사용될 수 있다.

[0007] 공기극은 산소가 확산되도록 다공성이고, 전자 및 산소이온 전도성이 우수해야 한다. 또한, 공기극은 산소의 환원반응에 대한 분극 저항이 작고, 고온의 산소기류하에 상안정성이 우수해야 한다. 나아가, 공기극은 전해질과의 계면에서 화학적으로 안정해야 하며, 열팽창률이 다른 재료와 유사할 수 있다.

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0008] 은 나노입자가 코팅된 소재를 포함하는 고체산화물 연료전지의 공기극 및 이의 제조방법이 제공된다.

#### 과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극은, 은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $La_{1-x}Sr_xCo_{1-}$

$y\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 포함하고,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 이다.

- [0010] 본 발명의 일 측에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극에서, 은(Ag) 나노입자는 플라즈마 증착에 의해 코팅될 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극의 제조방법은, 은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 제조하는 단계, 상기 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 공기극 슬러리(slurry)로 제조하는 단계 및 상기 공기극 슬러리를 소결하여 공기극을 형성하는 단계를 포함하고,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 이다.
- [0012] 본 발명의 일 측에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극의 제조방법에서, 공기극을 형성하는 단계에서 소결 온도는  $750^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ 일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 측에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극의 제조방법에서, 공기극을 형성하는 단계는 불활성 가스 또는 환원성 가스 분위기에서 열처리하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 측에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극의 제조방법에서, 환원성 가스는 아르곤 가스 및 수소 가스의 혼합물( $\text{Ar}+\text{H}_2$ )일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지는, 연료가 공급되는 연료극, 상기 연료극의 일면에 형성된 전해질층 및 상기 전해질층의 다른 일면에 형성되며, 은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 포함하는 공기극을 포함하고,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 이다.
- [0016] 본 발명의 일 측에 따른 고체산화물 연료전지에서, 공기극은, 상기 전해질층에 상기 LSCF를 공기극 슬러리로 제조한 후 딥 코팅법에 의해 코팅하고  $750^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$  온도 범위에서 소결하여 형성될 수 있다.

### 발명의 효과

- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극은, 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 포함함으로써 저온에서도 사용 가능하고, 저렴한 비용으로 대량생산할 수 있다.
- [0018] 또한, LSCF에 코팅된 은 나노입자는 LSCF 상에서 응집되지 않고 균일하게 분산되어 있기 때문에 고체산화물 연료전지의 출력 효율을 높일 수 있다.
- [0019] 아울러, 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극 제조방법은 공기극 슬러리를 소결하는 온도를 조절함으로써 공기극에 포함되는 은 나노입자의 응집현상을 방지하여 연료전지의 출력 효율을 증가시킬 수 있다. 또한, 간단한 공정으로 공기극을 제조할 수 있으며, 이러한 공기극으로 인해 저온에서도 동작이 가능한 고체산화물 연료전지를 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 포함하는 공기극을 포함하는 고체산화물 연료전지의 단위셀을 나타내는 도면이다.
- 도 2a는 스퍼터링 방법으로 코팅된 은(함량 0.24 중량%) 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 HRTEM 사진이다. 도 2b는 스퍼터링 방법으로 코팅된 은(함량 0.466 중량%) 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 HRTEM 사진이다. 도 2c는 스퍼터링 방법으로 코팅된 은(함량 1.54 중량%) 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 HRTEM 사진이다.
- 도 3a는 은(함량 0.466 중량%) 나노입자가 코팅된 LSCF/Ag 나노 분말을 아르곤 분위기 하에서  $800^\circ\text{C}$  온도에서 1시간 동안 열처리한 후의 HRTEM 사진이다. 도 3b는 은(함량 1.54 중량%) 나노입자가 코팅된 LSCF/Ag 나노 분말을 아르곤 분위기 하에서  $800^\circ\text{C}$  온도에서 3시간 동안 열처리한 후의 HRTEM 사진이다. 도 3c는 은(함량 2.11 중량%) 나노입자가 코팅된 LSCF/Ag 나노 분말을 아르곤 분위기 하에서  $850^\circ\text{C}$  온도에서 3시간 동안 열처리한 후의 HRTEM 사진이다.

도 4는 Ag, LSCF 및 스퍼터링 방법으로 코팅된 은 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 FT-IR 측정결과이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 LSCF/Ag 나노 분말이 적용된 저온 공기극 소결 단면의 미세조직을 나타내는 사진이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 LSCF/Ag 나노 분말이 적용된 저온 공기극의 소결온도 850℃에서 작동 온도에 따른 단위셀의 성능을 나타내는 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예를 상세하게 설명하기로 한다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극은, 은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 포함하고,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 이다. 바람직하게, 상기 공기극에 포함되는 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )에서  $x$ 는 0.4이고,  $y$ 는 0.7이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 일 수 있다.
- [0023] 공기극은 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 포함하며, 상기 LSCF에 코팅된 은 나노입자는 LSCF 상에서 응집되지 않고 균일하게 분산되어 있기 때문에 고체산화물 연료전지의 출력 효율을 높일 수 있다. 또한, 공기극에 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 포함함으로써 650℃와 같은 저온에서도 사용할 수 있고, 이를 이용함으로써 백금(Pt) 및 팔라듐(Pd) 합금보다도 훨씬 저렴하게 고체산화물 연료전지의 공기극을 제조할 수 있다.
- [0024] 은(Ag) 나노입자는 플라즈마 증착에 의한 스퍼터링 방법으로 코팅될 수 있다. 이를 구체적으로 설명하면, 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 제조하기 위하여, 먼저 고순도 은 타겟을 이용하여 DC 스퍼터링 챔버에 불활성 가스를 공급한다. 이후, 1 ~ 2 kW의 전력을 공급하여 은 타겟에서 은 입자를 떼어내어 챔버 하단에 있는 LSCF 분말 표면에 증착시킨다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지의 공기극의 제조방법은, 은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 제조하는 단계, 상기 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 공기극 슬러리(slurry)로 제조하는 단계 및 상기 공기극 슬러리를 소결하여 공기극을 형성하는 단계를 포함하고,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 이다.
- [0026] 공기극을 형성하는 단계에서 소결 온도는 750℃ ~ 950℃일 수 있다. 바람직하게 소결 온도는 850℃일 수 있다. 또한, 공기극을 형성하는 단계는 불활성 가스 또는 환원성 가스 분위기에서 열처리하는 단계를 포함할 수 있다. 불활성 가스는 아르곤 가스 또는 질소 가스일 수 있다. 환원성 가스는 아르곤 가스 및 수소 가스의 혼합물( $\text{Ar} + \text{H}_2$ )일 수 있다. 또한, 공기극 슬러리 내의 바인더(binder)를 제거하기 위한 열처리 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 고체산화물 연료전지는, 연료가 공급되는 연료극, 상기 연료극의 일면에 형성된 전해질층 및 상기 전해질층의 다른 일면에 형성되며, 은(Ag) 나노입자가 코팅된 LSCF( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-z}$ )를 포함하는 공기극을 포함하고,  $x$ 는  $0.2 \leq x \leq 0.5$ 이며,  $y$ 는  $0.5 \leq y \leq 0.8$ 이며,  $z$ 는  $0 \leq z \leq 0.5$ 이다.
- [0028] 공기극은, 상기 전해질층에 상기 LSCF를 공기극 슬러리로 제조한 후 딥 코팅법에 의해 코팅하고 750℃ ~ 950℃ 온도 범위에서 소결하여 형성될 수 있다.
- [0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 포함하는 공기극을 포함하는 고체산화물 연료전지의 단위셀을 나타내는 도면이다.
- [0030] 도 1을 참조하면, 일반적으로 고체산화물 연료전지의 단위셀은, 연료극 지지체(Anode diffusion layer), 연료극 반응층(Anode active layer), 전해질층(Electrolyte), 버퍼층(Buffer layer), 및 공기극층(Cathode layer)이 포함된다.

- [0031] 상기 고체산화물 연료전지 단위셀을 제조하는 과정을 간략히 설명하면 다음과 같다. 우선, 연료극 지지체 표면에 연료극 반응층 슬러리를 코팅한다. 이후, 상기 연료극 반응층 슬러리를 열처리를 하여 상기 연료극 반응층을 형성한 후, 열처리된 상기 연료극 반응층 표면에 공지의 방법으로 상기 전해질층을 형성할 수 있다.
- [0032] 상기와 같이 플라즈마 증착에 의한 스퍼터링 방법으로, 은 나노입자를 LSCF에 코팅하고, 상기 은 나노입자가 코팅된 LSCF를 이용하여 LSCF/Ag 나노 공기극 슬러리를 제조할 수 있다. 은 나노 공기극 슬러리를 제조한 후 딥 코팅법에 의해 상기 공기극 슬러리를 전해질층에 코팅할 수 있다. 이때, 공기극 내의 고분자 바인더를 연소시키기 위해 열처리할 수 있다.
- [0033] 이후, 저온 공기극 슬러리를 상기 전해질층에 코팅하고, 약 750℃ ~ 950℃에서 약 3시간 동안 소결할 수 있으며, 바람직하게는 약 850℃에서 소결하여 공기극층을 형성할 수 있다.
- [0034] 도 2a는 스퍼터링 방법으로 코팅된 은(함량 0.24 중량%) 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 HRTEM 사진이다. 도 2b는 스퍼터링 방법으로 코팅된 은(함량 0.466 중량%) 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 HRTEM 사진이다. 도 2c는 스퍼터링 방법으로 코팅된 은(함량 1.54 중량%) 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 HRTEM 사진이다.
- [0035] 도 2a ~ 도 2c를 참조하면, 대부분의 은 나노입자들은 10 nm이하의 크기를 갖는 구형의 형태로 존재하고 있으며, LSCF 표면에 은 나노입자들이 서로 이격된 상태로 증착되어 있음을 확인할 수 있다. 즉, LSCF 표면에 은 나노입자들이 고르게 분산되어 있음을 확인할 수 있다.
- [0036] 도 3a는 은(함량 0.466 중량%) 나노입자가 코팅된 LSCF/Ag 나노 분말을 아르곤 분위기 하에서 800℃ 온도에서 1시간 동안 열처리한 후의 HRTEM 사진이다. 도 3b는 은(함량 1.54 중량%) 나노입자가 코팅된 LSCF/Ag 나노 분말을 아르곤 분위기 하에서 800℃ 온도에서 3시간 동안 열처리한 후의 HRTEM 사진이다. 도 3c는 은(함량 2.11 중량%) 나노입자가 코팅된 LSCF/Ag 나노 분말을 아르곤 분위기 하에서 850℃ 온도에서 3시간 동안 열처리한 후의 HRTEM 사진이다.
- [0037] 도 3a ~ 도 3c를 참조하면, 은 나노입자가 코팅된 LSCF 입자를 공기 중에서 10일 정도 노출시킨 후 공기중에서 열처리한 후에 관찰하였으며, 은 나노입자 자체들끼리는 응집되지 않음을 확인할 수 있다. 다만, 850℃로 열처리한 경우 일부의 은 나노입자가 떨어져 나간 상태를 확인할 수 있다.
- [0038] 이들이 열처리 중 탈착되었을 경우 은 나노입자간 응집이 반드시 발생하였을 것이나, 떨어져 나간 은 나노입자 크기가 모두 20 nm 이하의 나노입자 크기를 유지하므로 이는 열처리 중 탈착이 아닌 코팅된 은 나노입자와 지지체인 LSCF간의 결합이 약해져서 HRTEM 측정을 위해 초음파 처리를 할 때 일부의 은 나노입자가 떨어져 나간 상태를 확인할 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 공기극 제조방법은 LSCF/Ag 나노 분말이 소결되는 과정에서 은 나노입자가 응집되는 것을 방지하는 데에 매우 효과적임을 확인할 수 있다.
- [0039] 도 4는 Ag, LSCF 및 스퍼터링 방법으로 코팅된 은 나노입자를 포함하는 LSCF/Ag 나노 분말의 FT-IR 측정결과이다. LSCF-Ag 간의 결합으로 분광흡수선 파수가 미세한 이동을 확인할 수 있다. 이로 인해 LSCF 표면에 Ag 입자가 표면 결합되어 코팅된 것을 확인할 수 있다.
- [0040] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 LSCF/Ag 나노 분말이 적용된 저온 공기극 소결 단면의 미세조직을 나타내는 사진이다.
- [0041] 도 5를 참조하면, 공기극으로 LSCF/Ag-CGO를 사용하고, 은 나노입자의 함량이 0.24 중량% 및 0.466 중량%로 존재하는 경우 850℃에서 3시간 동안 소결하였다. 도 5와 같이 850℃에서는 은이 고르게 분포된 공기극을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 750℃에서는 LSCF가 소결되지 않아 셀 형성이 되지 못하였음을 확인할 수 있었다. 은 나노입자의 함량이 적은 경우에도 은 나노입자의 분포가 고르다는 것을 확인할 수 있었다. 950℃ 이상에서 소결은 은 나노입자가 녹는점에 가까운 온도이므로 휘발된 것으로 판단되었다.
- [0042] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 LSCF/Ag 나노 분말이 적용된 저온 공기극의 소결온도 850℃에서 작동 온도



에 따른 단위셀의 성능을 나타내는 그래프이다.

표 1

| 공기극에서 Ag의 함량(중량%) | 작동 온도600℃                | 작동 온도 650℃               | 작동 온도 700℃                |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 0.24              | 53.48 mW/cm <sup>2</sup> | 83.64 mW/cm <sup>2</sup> | 114.84 mW/cm <sup>2</sup> |
| 0.466             | 59.40 mW/cm <sup>2</sup> | 113.4 mW/cm <sup>2</sup> | 180.0 mW/cm <sup>2</sup>  |

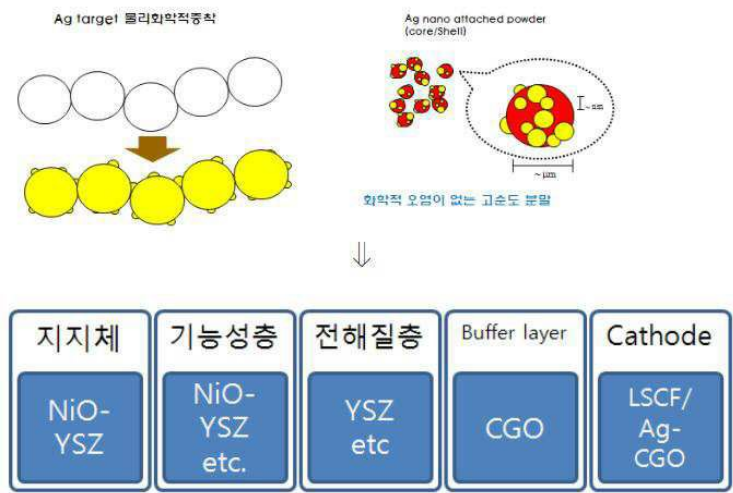
도 6 및 표 1을 참조하면, 고체산화물 연료전지의 단위셀의 연료극에 H<sub>2</sub>를 15 mL/분으로 흘려주었고, 공기극에 1.5 L/분의 공기를 흘려주면서 600℃ ~ 700℃의 작동 온도에서 성능을 측정한 결과, 단위전지의 최대 전력 밀도가 상기와 같이 측정되었다.

은 함량이 매우 낮음에도 불구하고 단위전지의 성능이 비교적 높은 이유는 은 나노입자의 분말이 응집되지 않고 나노입자 크기로 존재하여 산소 촉매 역할이 원활하게 이루어진 것으로 판단된다. 은 나노입자의 함량이 높아지면 촉매 활성이 높아져 더 좋은 성능이 기대된다.

이상에서 실시예를 중심으로 설명하였으나 이는 단지 예시일 뿐 본 발명을 한정하는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성을 벗어나지 않는 범위에서 이상에 예시되지 않은 여러 가지의 변형과 응용이 가능함을 알 수 있을 것이다. 예를 들어, 실시예에 구체적으로 나타난 각 구성요소는 변형하여 실시할 수 있는 것이다. 그리고 이러한 변형과 응용에 관계된 차이점들은 첨부된 청구 범위에서 규정하는 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

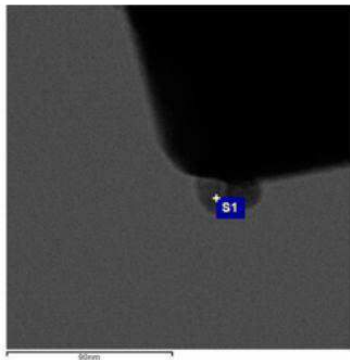
도면

도면1



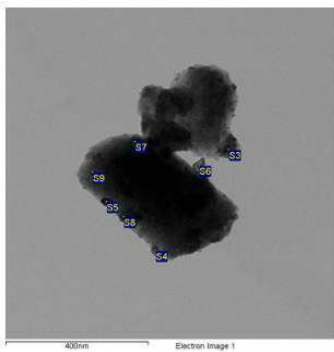


도면2a



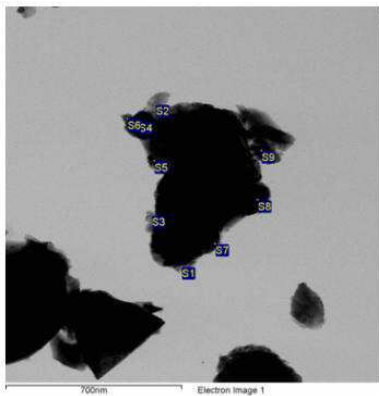
| Matrix Correction:<br>ZAFElement | Wt%   | At%   |
|----------------------------------|-------|-------|
| O K                              | 19.81 | 57.41 |
| AgL                              | 40.73 | 28.05 |
| LaL                              | 17.15 | 8.73  |
| FeK                              | 16.00 | 9.58  |
| CoK                              | 06.31 | 04.96 |
| SrK                              | 00.00 | 00.00 |

도면2b



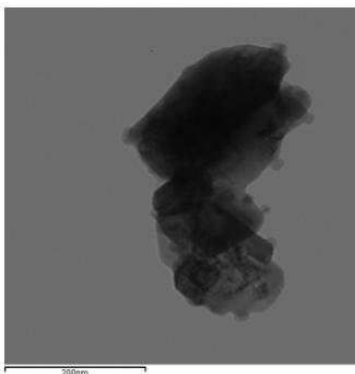
| Spectrum   | C     | O     | Fe    | Co   | Cu    | Sr    | Ag    | La    | Total |
|------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Spectrum 2 | 74.89 |       |       |      | 25.11 |       |       |       | 100   |
| S3         | 16.23 | 16.81 | 5.63  |      | 7.36  | 1.51  | 52.46 | 100   |       |
| S4         | 0.17  | 7.41  | 2.23  |      | 5.62  | 67.57 | 17    | 100   |       |
| S5         | 3.77  | 12.23 | 3.38  |      | 9.9   | 41.36 | 29.36 | 100   |       |
| S6         | 12.77 | 22.19 | 5.45  |      | 13.46 | 1.5   | 44.62 | 100   |       |
| S7         | 16.78 | 19.78 | 5.15  |      | 13.22 | 1.51  | 43.57 | 100   |       |
| S8         | 7.17  | 14.01 | 3.32  |      | 19.48 | 24.61 | 31.42 | 100   |       |
| S9         | 9.01  | 20.54 | 6.49  |      | 14.21 | -0.69 | 50.44 | 100   |       |
| Max.       | 74.89 | 16.78 | 22.19 | 6.49 | 25.11 | 19.48 | 67.57 | 52.46 |       |
| Min.       | 74.89 | 0.17  | 7.41  | 2.23 | 25.11 | 5.62  | -0.69 | 17    |       |

도면2c



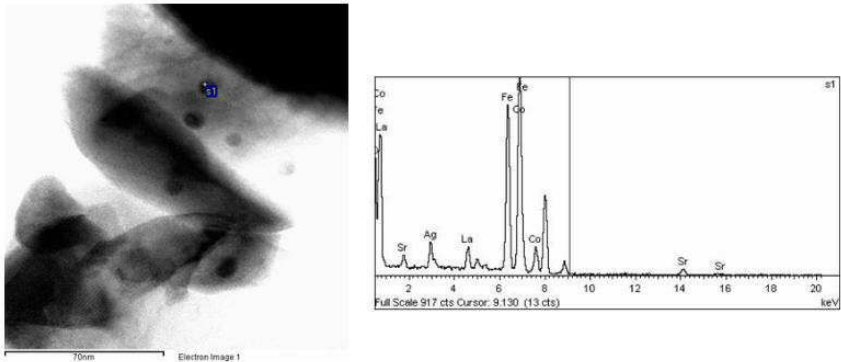
| Spectrum | Fe    | Co    | Sr    | Ag    | La    | Total |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| S1       | 22.47 | 7.85  | 18.1  | 1.22  | 50.36 | 100   |
| S2       | 26.19 | 3.83  | 20.67 | 0.7   | 48.61 | 100   |
| S3       | 25.29 | 5.38  | 14.14 | 0.8   | 54.39 | 100   |
| S4       | 25.01 | 5.48  | 23.18 | 0.64  | 45.69 | 100   |
| S5       | 11.28 | 2.22  | 6.96  | 55.69 | 23.86 | 100   |
| S6       | 9.71  | 20.31 |       | 6.66  | 63.32 | 100   |
| S7       | 20.72 | 4.43  | 16.44 | 19.09 | 39.31 | 100   |
| S8       | 3.24  | 18.85 | 2.26  | 16.21 | 59.43 | 100   |
| S9       | 22.2  | 6.18  | 7.33  | 1.53  | 62.76 | 100   |
| Max.     | 26.19 | 20.31 | 23.18 | 55.69 | 63.32 |       |
| Min.     | 3.24  | 2.22  | 2.26  | 0.64  | 23.86 |       |

도면3a

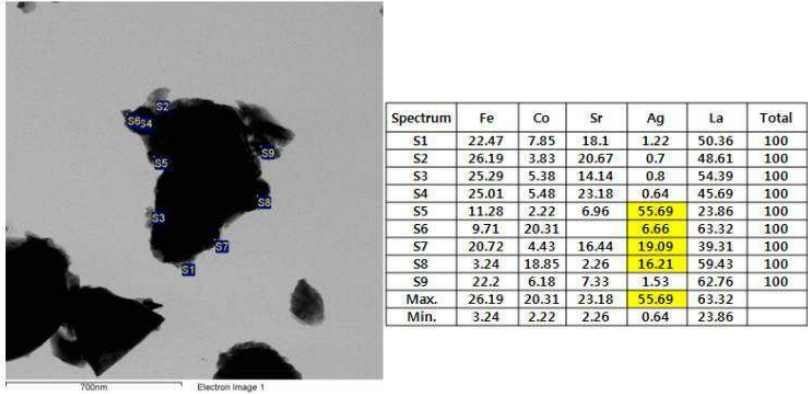


| Spectrum | O     | Fe    | Co    | Sr    | Ag   | La    | Total |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| S4       | 11.71 | 32.38 | 32.12 | 7.01  | 0.79 | 15.99 | 100   |
| S5       | 2.82  | 47.50 | 42.67 | 1.43  | 1.10 | 4.48  | 100   |
| S6       | 6.00  | 27.51 | 14.92 | 10.35 | 0.46 | 40.76 | 100   |
| S9       | 5.33  | 38.40 | 43.98 | 5.07  | 4.21 | 13.67 | 100   |

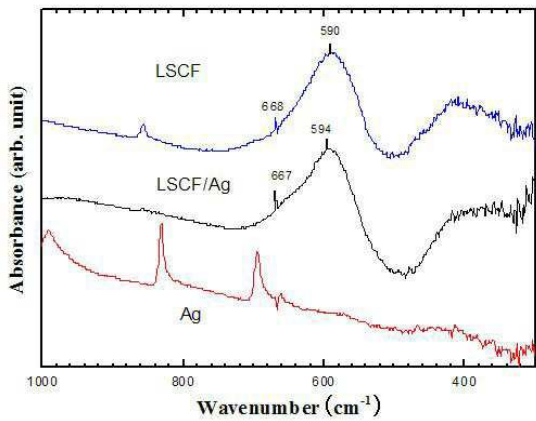
도면3b



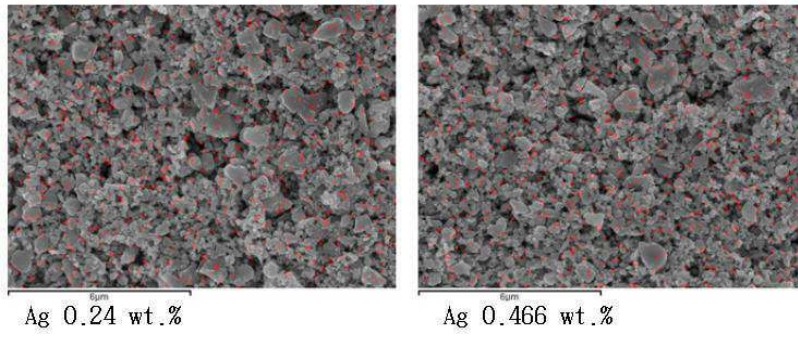
도면3c



도면4



도면5



도면6

