



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년05월04일

(11) 등록번호 10-1517717

(24) 등록일자 2015년04월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B22F 1/00 (2006.01) B22F 9/14 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0005159

(22) 출원일자 2014년01월15일

심사청구일자 2014년01월15일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020120027720 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인화로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

최진섭

경기 부천시 원미구 중동로 187, 1212동 401호 (중동, 무지개마을)

박동화

서울 서초구 잠원로 88, 303동 204호 (잠원동, 신반포아파트)

이동은

경기 부천시 원미구 도약로 146, 205동 1104호 (중동, 덕유마을아파트)

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 4 항

심사관 : 우경필

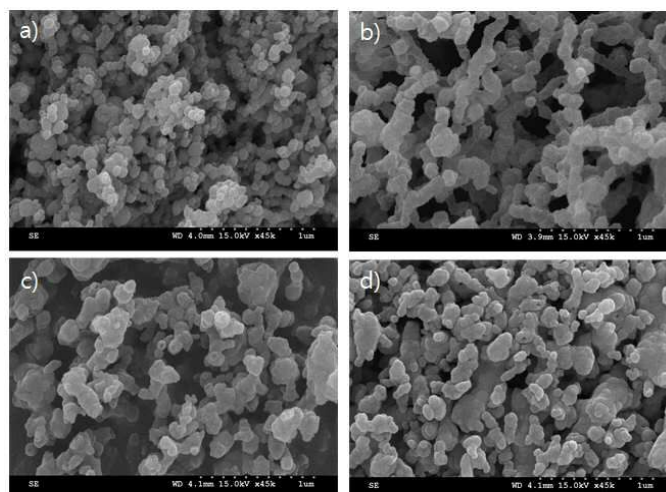
(54) 발명의 명칭 헤마타이트 함유 철나노입자 제조방법

(57) 요약

본 발명은 열플라즈마 장치 내에서 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(제1단계); 마이크로 사이즈의 철분말을 캐리어 가스로 유동시켜 상기 열플라즈마 장치로 흘려보내는 단계(제2단계); 상기 열플라즈마 제트를 이용하여 상기 철분말을 기상반응 시키는 단계(제3단계); 상기 기상반응이 완료된 입자를 급냉하여 포집하는 단계(제4단계); 및 상기 포집된 입자를 열처리하는 단계(제5단계)를 포함하는 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자 제조방법을 제공한다.

따라서 본 발명의 열플라즈마 장치를 사용하여 간단한 방법으로 대량의 나노입자를 형성하고, 열처리를 통하여 상기 철나노입자가 헤마타이트를 함유하도록 하여 고효율의 물분해용 전극을 제조할 수 있다. 상기 헤마타이트 함유 철나노입자로 제조된 물분해용 전극은 높은 전류 밀도와 낮은 과전압을 갖는다.

대표도 - 도9



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415127559

부처명 지식경제부

연구관리전문기관 한국산업기술진흥원

연구사업명 지역특화산업육성

연구과제명 열플라즈마 환경기술 지역혁신센터

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2012.03.01 ~ 2013.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

열플라즈마 장치 내에서 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(제1단계);

마이크로 사이즈의 철분말을 캐리어 가스로 유동시켜 상기 열플라즈마 장치로 흘려보내는 단계(제2단계);

상기 열플라즈마 제트를 이용하여 상기 철분말을 기상반응 시키는 단계(제3단계);

상기 기상반응이 완료된 입자를 급냉하여 포집하는 단계(제4단계); 및

상기 포집된 입자를 450 내지 650℃에서 열처리하는 단계(제5단계)를 포함하는 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자 제조방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1단계의 열플라즈마 제트는, 10.4 내지 12 kW의 전력을 유지한 상태로 아르곤 가스를 발생가스로 하여 생성되는 것을 특징으로 하는 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자 제조방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 아르곤 가스는, 15 L/min으로 상기 열플라즈마 장치에 공급되는 것을 특징으로 하는 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자 제조방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 제2단계의 캐리어 가스는, 아르곤 가스이고, 9 L/min으로 유입되어 상기 마이크로 사이즈 철분말을 유동시키는 것을 특징으로 하는 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자 제조방법.

청구항 5

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전기화학적 물분해 촉매로 사용되는 철나노입자의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 열플라즈마 장치를 이용한 철나노입자의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 탄소기반 에너지의 고갈 및 연료가스 배출로 인한 환경문제를 해결하기 위한 대책으로서 수소 경제 시대가 도래하면서, 태양으로부터의 무한 에너지를 이용하는 물분해에 의해 수소를 생산하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 수소를 얻기 위해 화합물 형태로 존재하는 수소를 분리하여야 하는데 현재 가장 널리 사용되는 방법은 천연가스에 포함된 메탄의 수증기 개질법이다.

[0003] 한편 광촉매를 이용한 전기분해를 통하여 수소를 생산할 수 있으며, 이 때 물에 1.75 V이상의 전류를 흘리면 양극에서 산소가 발생하고 음극에서 수소가 발생한다. 광촉매는 태양에너지를 흡수하여 전자(electron)와 정공(hole)을 생성하고, 상기 전자와 정공을 이용하여 수소와 산소를 발생시키는데, 산소의 발생 속도를 증가시키기 위해서는 과전압을 갖는 정공이 요구된다. 광촉매에서 생성된 정공이 충분한 과전압을 갖지 못하면 산소 발생이

어려워진다. 따라서 산소 발생 반응을 위한 전기촉매가 요구된다.

[0004] 지금까지 알려진 물분해 산소 발생 촉매는 크게 유기계 촉매와 무기계 촉매로 구분될 수 있는데, 유기계 촉매는 빛에 의해 분해될 가능성이 있어서 안정성에 문제가 있다. 무기계 촉매는 다시 비균질 벌크 산화물(heterogeneous bulk oxides)계 촉매와, 균질 폴리옥소메탈레이트(homogeneous polyoxometalate)계 촉매(A Fast Soluble Carbon-Free Molecular Water Oxidation Catalyst Based on Abundant Metals, Science Vol.328, 342 (2010) Hill)로 구분될 수 있다. 비균질 벌크 산화물계 촉매는 촉매 활성도의 증가를 위해 표면적을 높여야 하고, 균질 폴리옥소메탈레이트계 촉매는 전해질에 균일하게 용해되어 있으므로, 전극과 떨어져 있는 부분이 많아 단위무게당 효율성이 높지 않은 문제점이 있다.

[0005] 한편 대한민국 공개특허공보 제10-2004-0087814호는 나노 산화철 화이버 및 그 제조방법에 관한 것으로, 좀 더 상세하게는 나노 분말화된 산화철을 화이버로 제조시 나노 크기의 입자를 그대로 유지함에 따라 큰비표면적을 가질 수 있으며, 따라서 매우 우수한 촉매활성을 나타내어 우수한 기록매체성능을 가지는 자기기록매체 및 석유화학 촉매의 제조가 가능하고 아울러 환경오염유기물분해, 고기능필터 등에 유용하게 사용할 수 있을 뿐만 아니라 제조공정이 간단하고, 저에너지 방법으로 제조단가가 낮아 경제적이어서 산업발전에 이바지할 수 있다는 효과를 가져오는 나노 산화철 화이버 및 그 제조방법을 개시하고 있다.

[0006] 상기 발명은 산화철을 포함하는 나노입자를 제조하는 방법을 개시하고 있으나, 상기 철나노입자를 광촉매로 사용할 수는 없으며, 또한 물분해 전극으로 다수 사용하고 있는 이산화티타늄(TiO_2)은 높은 밴드갭 에너지 때문에 자외선 영역에서만 제한적으로 물분해가 일어나는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은, 열플라즈마 장치를 이용하여 물분해전극에 사용될 수 있는 철나노입자를 제조하는 방법을 제공하는 데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은, 열플라즈마 장치 내에서 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(제1단계); 마이크로 사이즈의 철분말을 캐리어 가스로 유동시켜 상기 열플라즈마 장치로 흘려보내는 단계(제2단계); 상기 열플라즈마 제트를 이용하여 상기 철분말을 기상반응 시키는 단계(제3단계); 상기 기상반응이 완료된 입자를 급냉하여 포집하는 단계(제4단계); 및 상기 포집된 입자를 열처리하는 단계(제5단계)를 포함하는 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자 제조 방법을 제공한다.

[0009] 또한 상기 제1단계의 열플라즈마 제트는, 10 내지 12 kW의 전력을 유지한 상태로 아르곤 가스를 발생가스로 하여 생성될 수 있다.

[0010] 또한 상기 아르곤 가스는, 15 L/min으로 상기 열플라즈마 장치에 공급될 수 있다.

[0011] 또한 상기 제2단계의 캐리어 가스는, 아르곤 가스이고, 9 L/min으로 유입되어 상기 마이크로 사이즈 철분말을 유동시킬 수 있다.

[0012] 또한 상기 제5단계의 열처리는, 450 내지 650℃에서 수행될 수 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명에 따른 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자에 의하면 열플라즈마 장치를 사용하여 간단한 방법으로 대량의 나노입자를 형성하고, 열처리를 통하여 상기 철나노입자가 헤마타이트를 함유하도록 하여 고효율의 물분해용전극을 제조할 수 있다. 상기 헤마타이트 함유 철나노입자로 제조된 물분해용 전극은 높은 전류 밀도와 낮은 과전압을 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 철나노입자 제조하는 열플라즈마 장치를 나타낸 모식도이고,

도 2는 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자의 SEM 이미지이며,

도 3은 열플라즈마 장치의 전원공급장치의 전력을 변화시켜 제조된 철나노입자의 XRD 그래프이고,
 도 4는 열플라즈마 장치의 전원공급장치의 전력을 변화시켜 제조된 철나노입자의 XPS 분석 그래프이며,
 도 5는 초음파 처리를 거친 용액의 사진 및 니켈 메쉬 위에 도포된 철나노입자의 사진이고,
 도 6은 열플라즈마 장치의 전원공급장치의 전력을 변화시켜 제조된 철나노입자로 제조된 전극의 LSV 그래프이며,
 도 7은 열플라즈마 장치의 10.4kw 토치부로 제조된 철나노입자와 양극산화하여 제조된 전극의 물분해 실험을 비교한 LSV 그래프이고,
 도 8은 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자의 열처리 온도에 따른 성분을 나타낸 그래프이며,
 도 9는 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자를 열처리한 이후의 철나노입자의 SEM 이미지이고,
 도 10은 열처리 온도의 변화에 따른 철나노입자의 입자크기를 분석한 그래프이며,
 도 11은 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자의 열처리 온도에 따른 XRD 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.
- [0016] 본 발명은 열플라즈마 장치를 사용하여 고온의 열플라즈마 제트를 발생시키고, 열플라즈마 장치 내로 공급되는 마이크로 사이즈의 철분말을 철나노입자로 제조한다. 나노입자는 일반적으로 1 내지 100 nm크기를 갖는 미립자로서 부피대비 높은 표면적을 가지고 있기 때문에 물리적, 화학적 특성이 벌크상태와는 크게 다르다. 따라서 나노입자를 사용하여 물분해전극을 제조하는 경우 표면적의 극대화를 통해 전극의 활성을 크게 증가시킬 수 있다.
- [0017] 상기 열플라즈마 장치는 도 1에 나타낸 바와 같이 텅스텐 음극과 구리 양극으로 구성된 플라즈마 토치부, 이중관을 구비한 반응챔버, 토치부에 전원을 공급하는 전원공급장치 및 상기 토치부에 플라즈마를 발생시키기 위한 플라즈마 가스 라인을 구비할 수 있다.
- [0018] 열플라즈마 장치 내에서 열플라즈마 제트를 발생시키는 단계(제1단계)는 아르곤 가스를 발생가스로 하여 플라즈마를 발생시킬 수 있다. 아르곤 가스는 고온에서도 불활성이므로, 이것은 분자량이 작고 열이 확산되기 쉽기 때문에 아크의 전류밀도를 높여 고온의 플라즈마를 얻을 수 있다.
- [0019] 상기 플라즈마 가스 라인에서 상기 플라즈마 토치부로 유입되는 상기 아르곤 가스는 10 내지 15 L/min으로 공급되는 것이 바람직하다.
- [0020] 아르곤 가스의 유량이 분당 15L를 초과하는 경우 플라즈마 장치의 온도의 조절이 어렵다.
- [0021] 여기서 제1단계의 열플라즈마 제트는, 10.4 내지 12 kW의 전력을 유지한 상태로 열플라즈마가 생성될 수 있다.
- [0022] 상기 열플라즈마는 직류 아크나 고주파 유도결합 방전을 이용하는 플라즈마 토치에서 발생시킨 전자, 이온, 원자와 분자로 구성된 이온화 기체로 수천에서 수만도(K)에 이르는 초고온과 높은 활성을 가진 고속 제트이다. 상기 열플라즈마 제트를 발생시키기 위하여, 10 내지 12 kW의 전력을 유지하는 경우 초고온의 열플라즈마가 생성되며, 열처리방식이나 연소방식에 의해 발생된 열플라즈마보다 높은 온도에서 발생할 수 있다.
- [0023] 전원공급장치에서 공급되는 전력이 10 kW 미만에서는 산화철 성분 중에서 마그네타이트(Magnetite, Fe_3O_4)와 헤마타이트(Hematite, Fe_2O_3) 함량의 차이가 크기않으며, 12 kW를 초과하는 경우 마그네타이트가 헤마타이트보다 더 많은 함량으로 산출된다.
- [0024] 헤마타이트 성분으로 제조된 전극은 종래의 이산화티타늄(TiO_2) 소재의 물분해 전극 보다 낮은 밴드갭 에너지(2.2eV)를 가지고 있으므로, 산화철성분에서 헤마타이트 함량이 높을수록 물분해전극으로 사용되기에 적합하다.
- [0025] 제2단계는 마이크로 사이즈의 철분말을 캐리어 가스(Carrier gas)로 유동시켜 상기 열플라즈마 장치로 흘려보낸다. 여기서 상기 철분말을 유동시키는 캐리어 가스(Carrier gas)로 아르곤 가스로 선택하는 것이 바람직하다.
- [0026] 원료물질인 상기 철분말이 상기 열플라즈마 장치로 도입됨과 동시에 엑스트라 가스로 산소(O_2)를 5 L/min 의 속

도로 주입할 수 있다.

- [0027] 제3단계는 상기 열플라즈마 제트를 이용하여 상기 철분말을 기상반응 시킨다.
- [0028] 상기 철분말이 도입되고, 공급된 아르곤 및 산소 하에서 상기 전원공급장치에서 전력을 공급하면 상기 플라즈마 토치부에서 불꽃이 생성되며, 상기 원료물질들이 기상반응을 하게 된다.
- [0029] 상기 기상반응은 유기용매를 사용하지 않기 때문에 후처리가 필요 없으며, 고순도의 생성물을 얻을 수 있는 장점이 있다. 나노입자의 제조를 위한 열플라즈마 공정에 있어 원료 물질은 고열에 의해 기화되고, 상기 열플라즈마 장치의 분위기 제어에 따라 기상 상태에서 반응하게 된다.
- [0030] 제4단계는 상기 기상반응이 완료된 입자를 급냉하여 포집할 수 있다. 기상반응 상기 입자를 급냉함으로써 분발 형태의 산화철을 제조할 수 있으며, 상기 마이크로 사이즈의 철분말은 상기 열플라즈마 장치를 통하여 나노 사이즈의 입자가 된다.
- [0031] 제5단계는 상기 포집된 입자를 열처리할 수 있다. 이때 상기 열처리는, 450 내지 650℃에서 수행되는 것이 바람직하다.
- [0032] 상기 열처리 온도가 650℃를 초과하는 경우 철산화물 끼리 뭉침현상이 커져서 표면적이 감소하므로 물분해전극에 사용되는 경우에 효율이 떨어지며, 450℃ 미만이면, 입자 사이즈가 작아 물분해전극으로 제조하기에 어려움이 있다.
- [0033] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실시예를 제시하나, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0034] **<실시예 1> 열플라즈마 장치를 이용한 철나노입자제조**

- [0035] 본 실시예에서는 도 1과 같이 텅스텐 음극과 구리 양극으로 구성된 플라즈마 토치부, 이중관을 구비한 반응챔버, 토치부에 전원을 공급하는 전원공급장치 및 상기 토치부에 플라즈마를 발생시키기 위한 플라즈마 가스 라인을 구비한 열플라즈마 장치를 준비하였다.
- [0036] 플라즈마 발생가스로 아르곤을 15 L/min으로 주입하였다. 마이크로 사이즈의 철분말을 준비하고, 아르곤 가스를 캐리어 가스로 하여 열플라즈마 장치에 유입하였다. 이때 캐리어 아르곤 가스는 9 L/min으로 하였다. 엑스트라 가스로 산소를 사용하였으며, 산소는 5 L/min의 속도로 상기 플라즈마 토치부 측면으로 도입하였다.
- [0037] 상기 전원공급장치에 전력을 가하여 방전시키고, 철분말을 기상반응 시켰다. 이때 전력 값을 변수로 하여 10.4 내지 12kW로 변화시켜 상기 토치부에 전력을 공급하였다.
- [0038] 기상반응이 완료된 입자는 급냉하여 포집하고, 나노사이즈의 철입자를 수득하였다.

[0039] **<실시예 2> 열처리 공정을 통한 헤마타이트 함유 철나노입자 제조**

- [0040] 실시예 1과 동일한 조건에서 산화철이 아닌 순수한 철 나노입자를 제조하기 위하여 열플라즈마 반응기에 도입되는 엑스트라 가스를 차단하였다. 제조된 철나노입자는 산화되지 않았으며, 순수한 철나노입자로 제조하였다.
- [0041] 제조된 상기 철나노입자를 전기로에서 도입한 후에 각각 450℃, 550℃ 및 650℃의 온도에서 2시간 동안 분간 열처리하여 헤마타이트함유 철나노입자를 제조하였다.

[0042] **<실험예 1> 열플라즈마 장치를 이용한 산화철의 물성**

- [0043] 도 2는 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자의 SEM 이미지이고, 도 3은 열플라즈마 장치의 전원공급 장치의 전력을 변화시켜 제조된 철나노입자의 XRD 그래프이다.
- [0044] 도 2의 a)는 10.4 kW의 토치부에서 합성된 철나노입자이고, b)는 10.4 kW의 반응챔버에서 합성된 철나노입자이며, c)는 12kW의 토치부에서 합성된 철나노입자이고, b)는 12 kW의 반응챔버에서 합성된 철나노입자이다. 도 2를 확인하면 열플라즈마 장치에 도입된 철분말은 모두 플라즈마 제트에 의한 기상 반응에 의해 나노입자로 생성된 것을 확인하였다.

[0045] 도 3을 참조하면 10.4 kW와 12kW의 전력을 인가하였을 때 모두 마그네타이트와 헤마타이트의 피크를 갖는 것을 확인하였다.

[0046] 도 4는 열플라즈마 장치의 전원공급장치의 전력을 변화시켜 제조된 철나노입자의 XPS 분석 그래프이다.

[0047] 표 1은 XPS 분석을 통한 헤마타이트와 마그네타이트의 조성을 나타낸 표이다.

[0048] <표 1>

조건	성분	At%
10.4kw torch	Fe ₂ O ₃	56.72
	Fe ₃ O ₄	43.28
10.4kw chamber	Fe ₂ O ₃	41.68
	Fe ₃ O ₄	58.32
12kw torch	Fe ₂ O ₃	39.22
	Fe ₃ O ₄	60.78
12kw chamber	Fe ₂ O ₃	35.61
	Fe ₃ O ₄	64.39

[0049]

[0050] XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)분석을 통하여 열플라즈마 장치를 통하여 제조된 철나노입자는 헤마타이트를 함유하고, 제조된 철나노입자 성분 중에서 마그네타이트와 헤마타이트 함량비율을 비교하면 10.4 kW에서 헤마타이트의 비율이 가장 높은 것을 확인하였다.

[0051] 한편 제조된 철나노입자의 물분해 성능을 평가하기 위해 전극을 제조하였다. 제조된 철나노입자와 폴리염화비닐리덴(polyvinylidene chloride)을 7 : 3의 비율로 혼합하고, 1-메틸-2-피롤리돈(1-methyl-2-pyrrolidinone) 2ml를 용매로 추가하였다. 제조한 용액을 2시간동안 초음파(sonication)로 처리하고, 니켈 메쉬(nikel mesh)에 골고루 도포하여 80℃ 오븐에서 건조하였다.

[0052] 도 5는 초음파 처리를 거친 용액의 사진 및 니켈 메쉬 위에 도포된 철나노입자의 사진이다.

[0053] 도 6은 열플라즈마 장치의 전원공급장치의 전력을 변화시켜 제조된 철나노입자로 제조된 전극의 LSV 그래프이다.

[0054] 개시전위(Onset potential) 값을 알아보기 위하여 리니어 스위프 볼트암페트리(Linear sweep voltammetry; LSV)를 측정하였다. 동작전극 전위를 초기 전위로부터 최종전위까지 일정한 속도로 변화를 주면서 그에 대응하는 전류를 기록하였다.

[0055] 1mol의 NaOH 전해질 조건에서 제작된 철나노입자로 제조된 전극은 음극(anode)으로 사용하고, 양극(cathode)으로는 Pt를 사용하여 실험하였다. 위의 XPS결과와 비교했을 때, 헤마타이트 성분이 가장 많이 들어있는 10.4kw 토치부에서의 과전압이 가장 낮은 결과로 나왔다. 또한 반대로 헤마타이트의 성분이 가장 낮은 12kw 반응챔버 같은 경우에는, 과전압이 가장 높은 것으로 나타났다. 물분해 성능은 헤마타이트의 조성이 높아질수록 좋다는 것을 확인하였다.

[0056] 도 7은 열플라즈마 장치의 10.4kw 토치부로 제조된 철나노입자와 양극산화하여 제조된 전극의 물분해 실험을 비교한 LSV 그래프이다.

[0057] 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자로 만들어진 전극과 종래의 양극산화에 의해 제조된 전극을 효율을 비교하였다. 철의 양극산화는 5V, 25℃, 25%의 NaOH 전해질을 사용하여 1 시간 동안 반응시켜 합성하였다.

[0058] 예상했던 결과와 같이 표면적이 상대적으로 큰 열플라즈마 장치로 제조한 산화철 전극의 전류 밀도가 상대적으로 높았고, 과전압 또한 낮게 측정이 되었다.

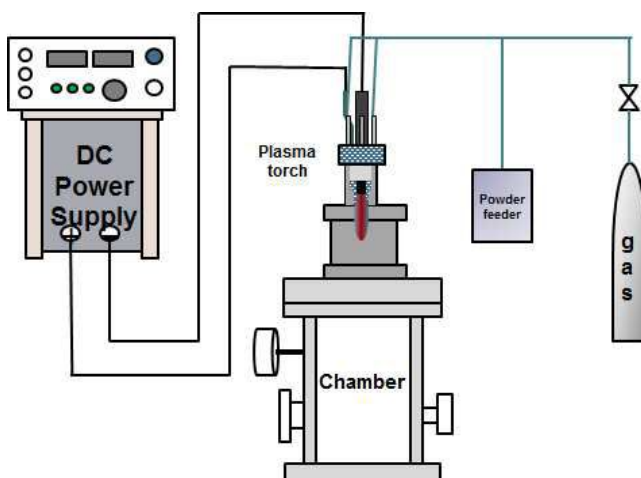
[0059] <실험예 2> 열처리 공정을 통한 헤마타이트 함유 철나노입자의 물성

[0060] 열플라즈마 장치에서 산소를 차단하여 제조된 순수한 철나노입자를 열처리하고 헤마타이트의 함유량을 측정하였다.

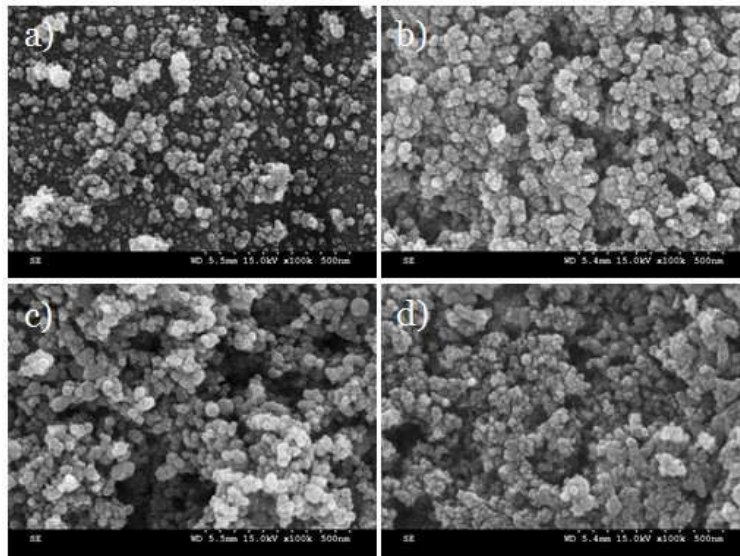
- [0061] 도 8은 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자의 열처리 온도에 따른 성분을 나타낸 그래프이다. 그래프를 확인하면 헤마타이트와 마그네타이트의 합성 온도를 알 수 있다. 열플라즈마 장치로 제조된 철나노입자는 3000K 이상에서 반응이 진행되었다. 그 결과 XPS분석에서 높은 함량의 마그네타이트와 낮은 함량의 헤마타이트가 나올 수밖에 없었다.
- [0062] 도 9는 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자를 열처리한 이후의 철나노입자의 SEM 이미지이다.
- [0063] 도 9의 a)는 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자이고, b)는 450 °C에서 열처리한 철나노입자이고, c)는 550 °C에서 열처리한 철나노입자며, d)는 650 °C에서 열처리한 철나노입자이다.
- [0064] 도 9를 참조하면, 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자를 열처리하는 경우에도 나노입자가 생성되는 것을 확인하였다.
- [0065] 도 10은 열처리 온도의 변화에 따른 철나노입자의 입자크기를 분석한 그래프이다.
- [0066] 450°C에서 평균 크기는 225.9 nm이었으며, 550°C에서 열처리된 철나노입자는 323.5nm이고, 650 °C에서 열처리된 철나노입자의 평균크기는 368.4nm이었다.
- [0067] 도 11은 열플라즈마 장치를 이용하여 제조된 철나노입자의 열처리 온도에 따른 XRD 그래프이다. 열플라즈마를 이용하여 제조한 철나노입자 보다, 열플라즈마 공정 및 열처리 공정을 통한 철나노입자에서 훨씬 깔끔하게 헤마타이트 피크(hematite peak)가 관찰되었다. 이는 열처리 공정을 통한 산화철 나노 입자에서의 헤마타이트 함량이 증가된 것으로 분석 될 수 있다.
- [0068] 이상과 같은 본 발명을 요약하면 다음과 같다.
- [0069] 철분말을 열플라즈마 장치를 통하여 나노입자 형태로 제조한 이후에 열처리공정을 통하여 헤마타이트의 함량이 크게 증가된 헤마타이트 함유 철나노입자를 제조할 수 있다. 제조된 헤마타이트(Hematite) 함유 철나노입자는 물분해 전극으로 사용하는 경우 종래의 이산화티타늄 전극에 비하여 높은 전류 밀도와 낮은 과전압을 갖는다.
- [0070] 이상과 같이, 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술 사상과 아래에 기재될 특허 청구범위의 균등 범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

도면

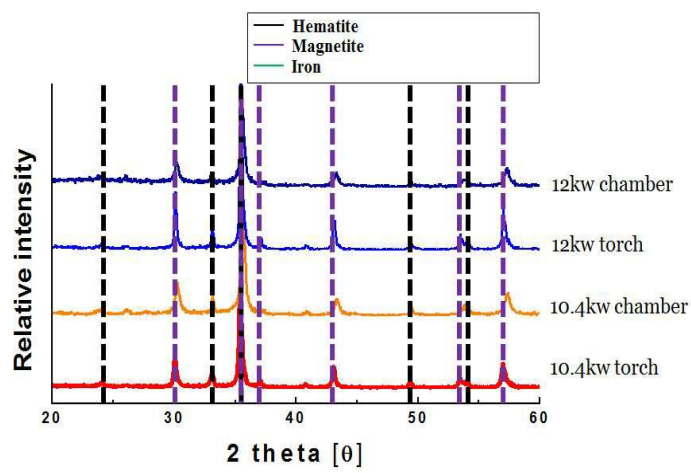
도면1



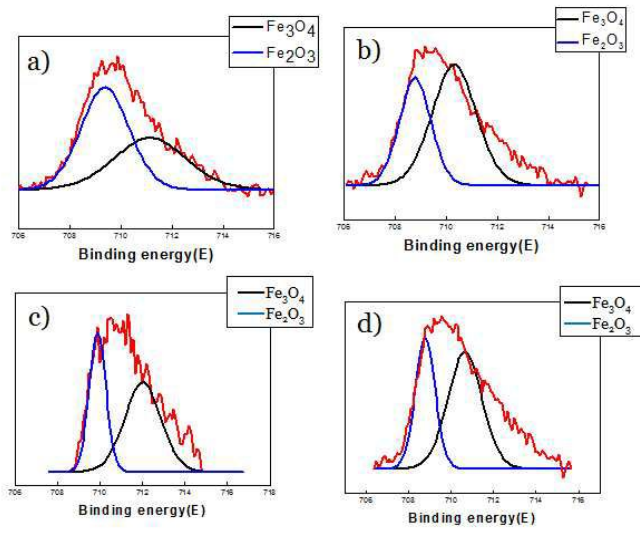
도면2



도면3



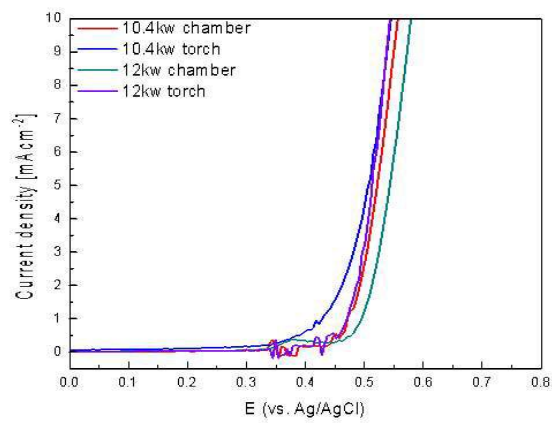
도면4



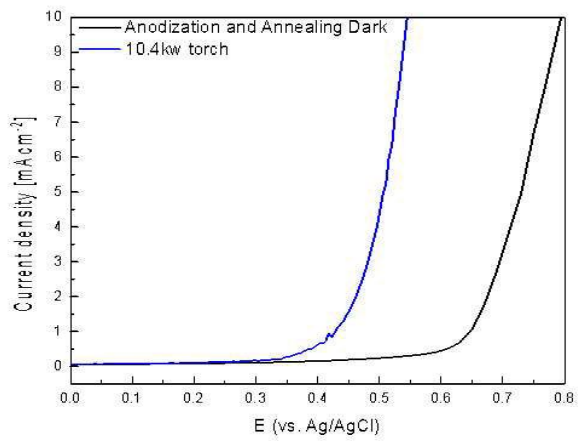
도면5



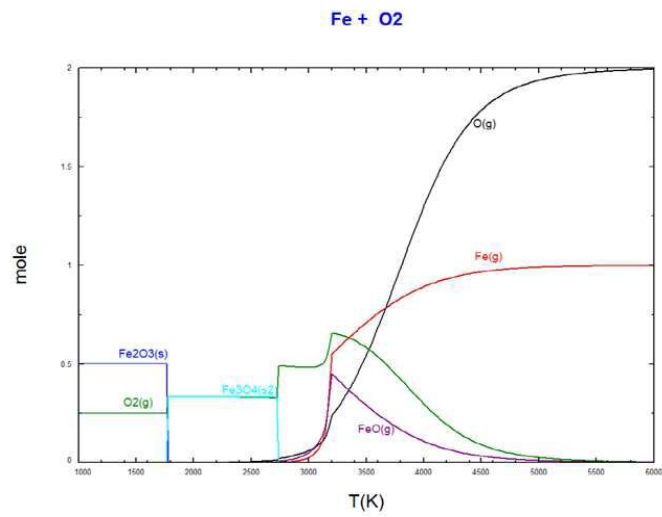
도면6



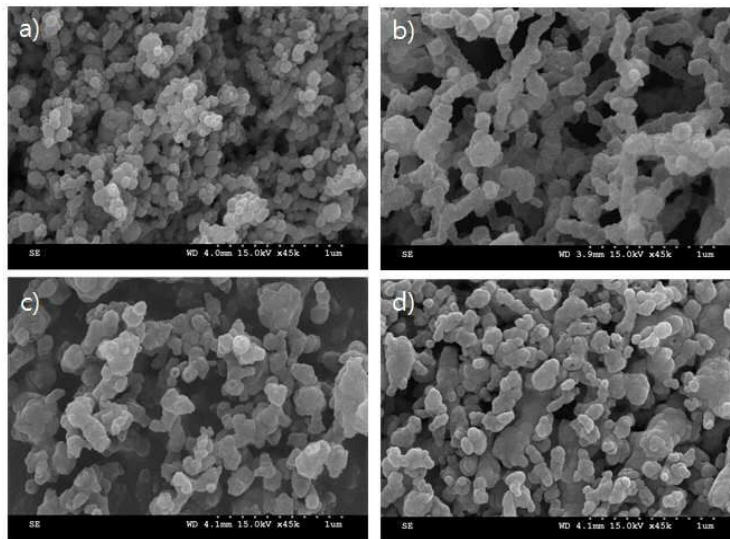
도면7



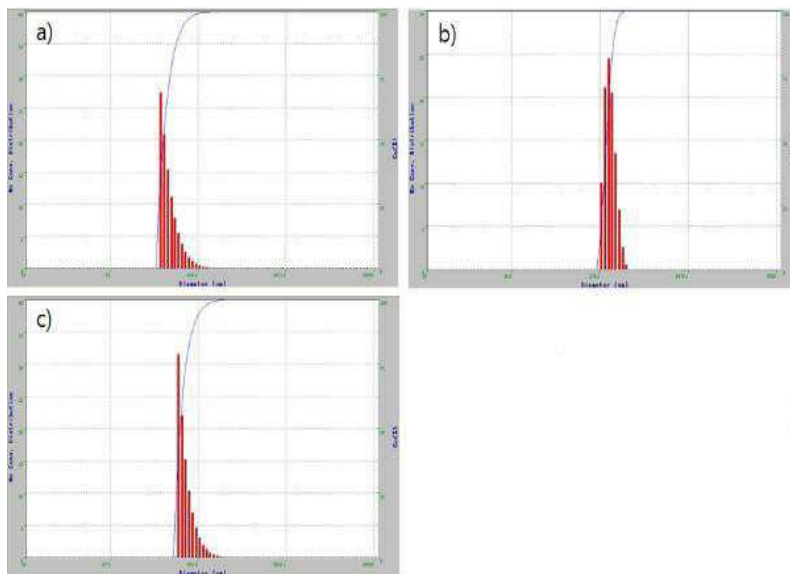
도면8



도면9



도면10



도면11

