



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0004667
(43) 공개일자 2017년01월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/587 (2010.01) H01M 4/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01M 4/587 (2013.01)
H01M 4/38 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0095346
(22) 출원일자 2015년07월03일
심사청구일자 2015년07월03일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
윤우영
서울특별시 서초구 사평대로55길 104 서초그린빌
라 401
손병대
서울특별시 동대문구 안암로18길 16, 302호
(74) 대리인
이동건

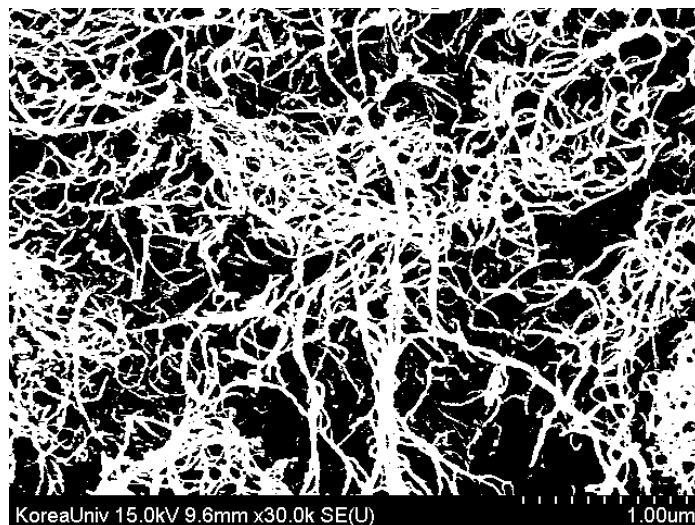
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 리튬 이차 전지용 양극 활물질 구조물의 제조 방법

(57) 요약

양극 활물질 구조물의 제조 방법에 있어서, 탄소 나노 튜브를 산성을 갖는 활성화 용액 내에서 분산시켜 탄소 나노 튜브를 활성화시킨다. 상기 활성화된 탄소 나노 튜브가 내부에 분산된 활성화 용액을 제1 중성화 공정을 통하여 중성화시켜, 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 획득한다. 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 중성 용액 내에 싸이오황산 나트륨 및 염산과 함께 첨가하는 황 석출 공정을 수행하여, 황 원자 및 탄소 원자가 상호 화학적으로 결합된 황-탄소나노튜브 복합체를 형성한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

Y02E 60/122 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2014045751

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원

연구과제명 리튬분말을 이용한 고용량 고효율 리튬 이차전지 연구

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교

연구기간 2014.09.01 ~ 2015.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

탄소 나노 튜브를 산성을 갖는 활성화 용액 내에서 분산시켜 탄소 나노 튜브를 활성화시키는 단계;

상기 활성화된 탄소 나노 튜브가 내부에 분산된 활성화 용액을 제1 중성화 공정을 통하여 중성화시켜, 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 획득하는 단계; 및

상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 중성 용액 내에 싸이오황산 나트륨 및 염산과 함께 첨가하는 황 석출 공정을 수행하여, 황 원자 및 탄소 원자가 상호 화학적으로 결합된 황-탄소나노튜브 복합체를 형성하는 단계를 포함하는 양극 활물질 구조물의 제조 방법

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 중성화 공정은,

- 상기 활성화 용액에 중성액을 공급하는 단계;
- 상기 중성액이 공급된 상기 활성화 용액 내에 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 초음파를 이용하여 파쇄하는 단계;
- 상기 활성화 용액 내에 파쇄된 탄소 나노 튜브를 원심 분리 공정을 통하여 분리하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 양극 활물질 구조물의 제조 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 단계 a) 내지 단계 c)를 사이클로 하여 상기 사이클을 반복하는 것을 특징으로 하는 양극 활물질 구조물의 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 산성을 갖는 활성화 용액은 염산 용액을 포함하는 것을 특징으로 하는 양극 활물질 구조물의 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 황 석출 공정을 수행한 후,

제2 중성화 공정 및 건조 공정을 순차적으로 수행하는 것을 특징으로 하는 양극 활물질 구조물의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 리튬 이차 전지용 양극 활물질 구조물의 제조 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 충전 및 방전이 가능한 리튬 이차 전지에 적용될 수 있는 양극 활물질 구조물의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 리튬 이차 전지(Lithium secondary battery)는 전지 내에서 전해질을 경유하여 리튬 이온이 양 전극들 사이에 가역적으로 이동함으로써 충전과 방전이 이루어진다.

[0003] 상기 리튬 이차 전지는 통상 음극, 양극, 분리판 및 전해질을 포함한다. 음극은 리튬메탈이 음극 활물질로 쓰이며, 양극은 탄소(carbon) 도전체와 전기화학 반응을 용이하게 발생하기 위한 촉매가 양극 활물질로서 이용된다. 분리판(separator)은 양극과 음극 사이에서 물리적인 전지 접촉을 억제한다. 다만, 분리판을 통한 이온의 이동은 자유롭다. 전해액은 양극과 음극 사이에서 이온이 자유롭게 이동할 수 있는 통로 역할을 한다.

- [0004] 이러한 리튬이차전지는 높은 에너지 밀도와 큰 기전력 제공이 가능하다는 장점을 가지고 있어 현재 휴대폰이나 노트북 등의 휴대용 장비나 기타 에너지 저장장치로 많이 활용되고 있다.
- [0005] 현재 상용화된 리튬이차전지에 있어서, 음극으로 이용되는 재료로는 흑연 등의 탄소계 물질이, 양극으로 이용되는 재료로는 LiCoO_2 가 많이 쓰이고 있다. 양극 물질로서의 LiCoO_2 는 자체의 층상구조형상을 가짐에 따라 그 층상들 사이 공간에 리튬 이온이 이동함에 따라서 리튬이차전지의 충방전 과정에서의 저장매체로 작용하게 된다.
- [0006] 양극을 이루는 재료로는 LiCoO_2 가 구비된 리튬이차전지는 산화, 환원 반응에서의 우수한 화학적 안정성 및 내구성을 그 특징으로 하며 현재 가장 활발히 활용되고 있다. 하지만 우수한 안정성과는 별개로, 자체가 지닌 낮은 이론 용량이라는 한계점은 고용량을 요구하는 여러 분야로의 리튬이차전지 활용을 막고 있다.
- [0007] 이러한 양극 활물질의 대안으로서, 황을 전극활물질로 활용하는 연구가 많이 이루어져왔다. 양극 전극활물질로써의 황은 높은 $1,672\text{mAh/g}$ 이라는 높은 이론 용량과 더불어 지구에 널리 있는 소재라라는 이유로 차세대 양극 소재로 기대 받고 있다.
- [0008] 하지만 상기 황에 있어서, 물질 고유의 특성상 전기 전도성이 낮다는 문제로 인하여, 양극 활물질 전체의 산화, 환원 반응이 저해되고 활물질 전체를 활용하는데 어려움이 있다.
- [0009] 따라서, 상기 황의 전기전도성을 높이기 위한 도전재가 반드시 필요하다. 또 리튬이온이 이동하여 황과 반응하는 데에 전해질에 용출되는 리튬 폴리설파이드(lithium polysulfide)가 생성된다는 문제점이 있다. 이는 황과 리튬이 반응했을 때에 화학반응을 통해서 순차적으로 S_8 에서 Li_2S 로 반응하는 데에 Li_2S_x ($1 \leq x \leq 8$)을 생성하며 리튬이온을 저장한다는 메커니즘에 기인한다. 특히, Li_2S_x ($x=3\sim 8$)분자들이 전해질로 용출되는데, 이는 활물질 손실에 영향을 미칠 뿐만 아니라 이러한 리튬 폴리설파이드(lithium polysulfide)들이 음극으로까지 이동하여 음극 표면에서 부가적인 반응이 발생함으로써 리튬 이차 전지를 오염시키는 문제가 발생할 수 있다.
- [0010] 상술한 문제들을 해결하기 위하여 낮은 전기전도성을 증대시키고 리튬 폴리설파이드(lithium polysulfide)의 전해질 내에서 용출되는 것을 억제하기 위한 연구가 진행되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명의 일 목적은 개선된 전기 전도성을 가지며 나아가 폴리설파이드의 전해질 내로의 용출을 효과적으로 억제할 수 있는 리튬 이차 전지용 양극 활물질 구조물의 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 양극 활물질 구조물의 제조 방법에 있어서, 탄소 나노 튜브를 산성을 갖는 활성화 용액 내에서 분산시켜 탄소 나노 튜브를 활성화시킨다. 상기 활성화된 탄소 나노 튜브가 내부에 분산된 활성화 용액을 제1 중성화 공정을 통하여 중성화시켜, 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 획득한다. 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 중성 용액 내에 싸이오황산 나트륨 및 염산과 함께 첨가하는 황 석출 공정을 수행하여, 황 원자 및 탄소 원자가 상호 화학적으로 결합된 황-탄소나노튜브 복합체를 형성한다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따른 상기 제1 중성화 공정에 있어서, a) 상기 활성화 용액에 중성액을 공급하고, b) 상기 중성액이 공급된 상기 활성화 용액 내에 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 초음파를 이용하여 파쇄하고, c) 상기 활성화 용액 내에 파쇄된 탄소 나노 튜브를 원심 분리 공정을 통하여 분리할 수 있다.
- [0014] 여기서, 상기 단계 a) 내지 단계 c)를 사이클로 하여 상기 사이클을 반복할 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 산성을 갖는 활성화 용액은 염산 용액을 포함할 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 황 석출 공정을 수행한 후, 제2 중성화 공정 및 건조 공정이 순차적으로 수행될 수 있다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명에 따른 양극 활물질 구조물의 제조 방법에 있어서, 황 원자 및 탄소 원자가 상호 화학적으로 결합된 황-탄소나노튜브 복합체가 안정적으로 형성될 수 있다.

[0018] 나아가, 폴리설파이드의 전해질 내의 용출이 억제됨으로써 폴리설파이드와 리튬 음극과의 부반응을 막아주어 리튬금속전지의 수명이 개선될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양극 활물질 구조물의 제조 방법에 따라 제조된 양극 활물질 구조물에 대한 주사전자현미경 사진이다.

도 2는 도1에 따른 양극 활물질 구조물에 대한 EDX 데이터를 표시한 그래프이다.

도 3은 도1에 따른 양극 활물질 구조물에 대한 TGA 데이터를 표시한 그래프이다.

도 4a 및 도 4b는 활성화된 탄소나노튜브(a) 및 도1에 따른 황-탄소나노튜브 복합체(b)에 대한 FT-IR 데이터를 표시한 그래프들이다.

도 5a 및 도 5b는 일반 황전지(a) 및 도 1의 양극 활물질 구조물을 포함하는 리튬 이차 전지(b)에 대한 측방전 특성을 나타낸 그래프들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 첨부된 도면에 있어서, 대상물들의 크기와 양은 본 발명의 명확성을 기하기 위하여 실제보다 확대 또는 축소하여 도시한 것이다.

[0021] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.

[0022] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "구비하다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 단계, 기능, 구성요소 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 다른 특징들이나 단계, 기능, 구성요소 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0023] 한편, 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

양극 활물질 구조물의 제조 방법

[0025] 본 발명의 실시예에 따른 제조된 양극 활물질 구조물의 제조 방법에 있어서, 탄소 나노 튜브를 산성을 갖는 활성화 용액 내에서 분산시켜 탄소 나노 튜브를 활성화시킨다. 즉, 상기 탄소 나노 튜브를 산성을 띠는 활성화 용액 내에 분산시킴으로써 상기 탄소 나노 튜브의 말단들이 서로 분리되어 상기 탄소 나노 튜브에 포함된 결합기들이 활성화는 활성화 공정이 수행될 수 있다. 이로써, 후속하는 황-탄소 나노 튜브 복합체를 형성하는 공정에서, 황 원자 및 상기 탄소 나노 튜브에 포함된 탄소 원자 간에 화학 결합이 효과적으로 이루어질 수 있다.

[0026] 상기 활성화 용액의 예로는 염산으로 희석된 염산 용액을 들 수 있다.

[0027] 상기 활성화 공정에 따르면, 상기 탄소 나노 튜브를 상기 활성화 용액 내에 공급하고, 상온에서 저어줌으로써 상기 탄소 나노 튜브를 활성화할 수 있다.

[0028] 이어서, 상기 활성화된 탄소 나노 튜브가 내부에 분산된 활성화 용액을 제1 중성화 공정을 통하여 중성화시킨다. 이로써, 상기 활성화된 탄소 나노 튜브가 분산된 중성 용액을 수득한다. 결과적으로, 상기 탄소

나노 튜브의 표면이 개질될 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 중성화 공정에 있어서, 상기 활성화 용액에 중성화 용액을 공급한다. 이때, 중성화 용액은 탈이온수를 들 수 있다. 이후, 상기 중성화 용액이 첨가된 활성화 용액 내에 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 초음파를 이용하여 파쇄하는 초음파(sonication) 공정이 수행된다. 이후, 상기 활성화 용액 내에 파쇄된 탄소 나노 튜브를 원심 분리 공정을 통하여 분리한 후, 상기 활성화 용액으로부터 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 획득한다.

[0030] 한편, 상기 제1 중성화 공정은 상술한 세부 공정들을 포함하는 하나의 사이클로 정의될 수 있다. 이 경우, 상기 사이클이 복수로 수행됨으로써, 상기 활성화 용액이 보다 효과적으로 중성화 될 수 있다.

[0031] 이후, 상기 활성화된 탄소 나노 튜브를 중성 용액 내에 싸이오황산 나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 및 염산을 함께 첨가하는 황 석출 공정을 수행한다. 즉, 활성화된 탄소 나노 튜브를 탈이온수와 같은 중성 용액에 공급한 후, 충분히 분산될 수 있도록 교반한다. 이어서, 싸이오황산 나트륨 및 염산을 상기 중성 용액에 첨가하여 싸이오황산 나트륨 및 염산이 반응함으로써 상기 중성 용액 내에 황이 석출하는 황 석출 공정이 아래의 화학식1과 같이 수행된다.

[0032] **화학식1**

[0033] $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{S} \downarrow$

[0034] 상기 석출된 황은 활성화된 탄소 나노 튜브에 포함된 탄소 원자와 화학적으로 결합됨으로써 황-탄소나노튜브 복합체가 형성될 수 있다. 상기 황 및 탄소 간의 화학 결합에 있어서, 단일 결합 또는 이중 결합이 이루어질 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 황 석출 공정을 수행한 후, 제2 중성화 공정 및 건조 공정이 추가적으로 수행될 수 있다. 상기 제2 중성화 공정은 제1 중성화 공정과 실질적으로 동일하게 수행될 수 있다. 이후, 상기 건조공정이 수행됨으로써 획득된 황-탄소나노튜브 복합체에 잔류하는 수분을 제거할 수 있다.

[0036] 본 발명의 실시예들에 따라 제조된 황-탄소나노튜브 복합체는 우수한 전기 전도성을 갖는 탄소나노튜브를 포함함으로써, 별도의 도전제 없이 개선된 전기전도성을 확보할 수 있다.

[0037] 한편, 산성을 갖는 활성화 용액을 이용하여 탄소나노튜브를 사전에 활성화시킴으로써 활성화된 결합기를 갖는 탄소나노튜브가 형성될 수 있다. 결과적으로 황 원자 및 활성화된 탄소 나노 튜브에 포함된 탄소 원자 간에 화학 결합이 이루어짐으로써 황-탄소나노튜브 복합체가 안정적인 황-탄소 결합 구조를 가질 수 있다.

[0038] **양극 활물질 구조물의 실시예**

[0039] 다중벽 탄소나노튜브(Multi walled carbon nanotube, CNT)의 결합기들을 활성화하기 위하여 37% 농도를 갖는 HCl 용액을 활성화 용액으로 CNT를 풀고 2시간동안 상온에서 400 rpm의 회전 속도로 교반하였다.

[0040] 이후 CNT를 세척하기 위하여 탈이온수(DI water)를 공급하고 초음파 분쇄 공정(sonication process) 및 원심분리 공정을 수행하여 상기 CNT의 표면을 개질하는 제1 중성화 공정을 수행하였다. 중성화 공정을 수차례 반복하며 pH가 7에 가까워지도록 하였다. 이로써 활성화된 탄소 나노 튜브가 형성되었다.

[0041] 이후, 활성화된 CNT는 다시 200ml의 부피를 갖는 중성 용액(탈이온수, DI water) 내에 투입하여 400 rpm의 회전 속도에서 2시간 동안 교반 공정을 수행하였다. 이후 싸이오황산 나트륨($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)을 CNT의 질량대비 6배(CNT 1mg당 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 6mg)가 되도록 상기 중성 용액 내에 공급하였다. 이어서, 상기 중성 용액 내의 온도를 70℃로 조절한 후 염산(HCl) 10ml를 상기 중성 용액 내에 공급하여 황 석출 공정을 수행함으로써 황-탄소나노튜브 복합체를 형성하였다. 상기 황 석출 공정의 반응 시간은 1시간 동안 수행하였다.

[0042] 이어서, 제2 중성화 공정 및 48시간동안 건조 공정이 추가적으로 수행됨으로써, 황-탄소나노튜브 복합체를 확보하였다. 상기 황-탄소나노튜브 복합체는 리튬 태양 전지의 양극 활물질 구조물로 적용될 수 있다.

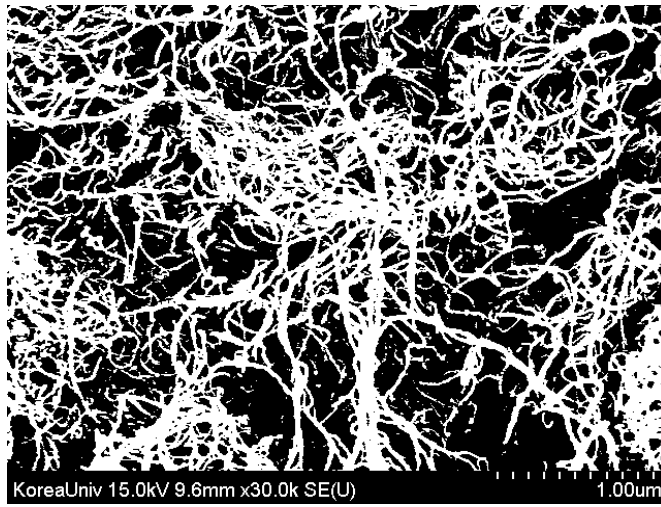
[0043] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 양극 활물질 구조물의 제조 방법에 따라 제조된 양극 활물질 구조물에 대한

주사전자현미경 사진이다.

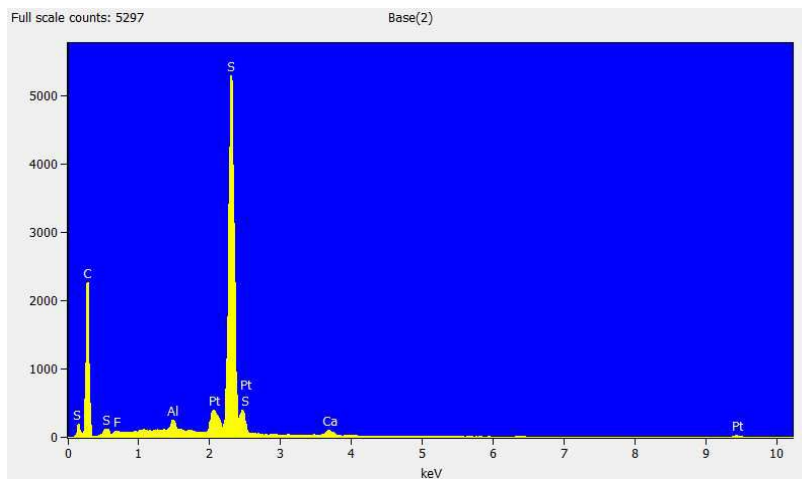
- [0044] 도 1을 참조하면, 탄소 나노 튜브에 황이 결합되어 있음을 확인할 수 있다. 대략 두께를 비교하자면 20~30nm의 활성화된 CNT위에 황이 결합되어 50~60nm의 황-탄소나노튜브 복합체가 형성됨을 알 수 있다.
- [0045] 도 2는 도1에 따른 양극 활물질 구조물에 대한 EDX 데이터를 표시한 그래프이다.
- [0046] 도 2를 참조하면, 탄소나노튜브의 표면에서 황이 검출되고 있음을 확인할 수 있다.
- [0047] 도 3은 도1에 따른 양극 활물질 구조물에 대한 TGA 데이터를 표시한 그래프이다.
- [0048] 도 3을 참조하면, 대략 250~260℃의 온도에서 황이 검출되는 것을 확인할 수 있다. 즉, 황과 탄소가 결합된 황-탄소나노튜브 복합체의 경우 황의 증발이 160~280℃에서 발생한다는 기존의 실험 결과들과 일치된다. 이 결과 수치상으로 황과 탄소나노튜브가 대략 1:1의 비율로 합성된 것을 알 수 있다.
- [0049] 도 4a 및 도 4b는 활성화된 탄소나노튜브(a) 및 도1에 따른 황-탄소나노튜브 복합체(b)에 대한 FT-IR 데이터를 표시한 그래프들이다.
- [0050] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 황-탄소나노튜브 복합체(b)에 $1,215\text{cm}^{-1}$ 및 700cm^{-1} 이하에서 피크(peak)가 존재한다는 것이다. 이는 $1,230\sim 1,030\text{cm}^{-1}$ 의 위치에서 C=S 결합의 진동으로 인하여 peak이 존재한다는 문헌 결과와 일치하고, C-S 결합의 진동의 경우 $710\sim 570\text{cm}^{-1}$ 의 위치에서 공명(resonance)을 발현한다는 문헌 결과와도 일치한다. 따라서 위 발명을 통하여 황과 CNT가 단순한 물리적인 결합이 아니라 화학적으로 안정하게 결합하고 있음을 확인할 수 있다.
- [0051] 리튬 이차 전지의 평가
- [0052] 추가적으로 전기화학적 테스트를 통하여 리튬이온전지의 전극 활물질로써의 작용을 하는지 확인하였다. 합성한 황-탄소나노튜브 복합체를 활물질로 하여 추가적인 도전재의 사용 없이 바인더로서 CMC(Carboxymethyl Cellulose)를 4:1비율로 양극을 제작하고, 음극으로 리튬 foil을 사용하여 cell test를 실행하였다.
- [0053] 도 5a 및 도 5b는 일반 황전지(a) 및 도 1의 양극 활물질 구조물을 포함하는 리튬 이차 전지(b)에 대한 측방전 특성을 나타낸 그래프들이다.
- [0054] 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 기존 황전지의 전기화학적 반응을 나타내는 것(a)과 같이, 2.1V, 2.4V에서 각각 Plateau구간이 발현됨을 확인할 수 있다. 이는, 다른 황 전지들과 마찬가지로 방전 과정에서 리튬과 결합하면서 순차적으로 Lithium sulfide들을 형성하는 반응에서 발견되는 전압구간과 같으며, 양극 활물질로서 황 전지 자체의 특성을 갖고 있음을 증명한다.
- [0055] 또한 초기용량이 이론용량인 1672 mAh/g 에 가깝게 1440 mAh/g 값을 나타내고 있다. 이는, 기존 마이크로미터 단위의 황 입자와 비정질 탄소 도전재로 이루어진 황 전극의 경우는 입자간 접촉이 좋지 않아 전자의 이동도가 제한되어 반응이 원활하게 일어나지 못한 반면에, 본 발명의 경우는 나노단위의 수준의 입자들이 도전성 물질인 카본나노튜브에 직접적으로 화학 결합을 하고 있어 반응 사이트에서 전자를 주고 받는 반응이 원활히 일어남에 따라 용량 활용을 거의 최대한으로 활용 가능하였기 때문이다.

도면

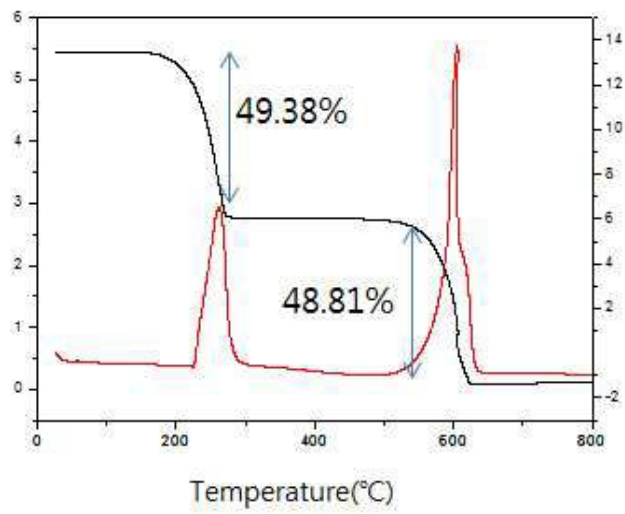
도면1



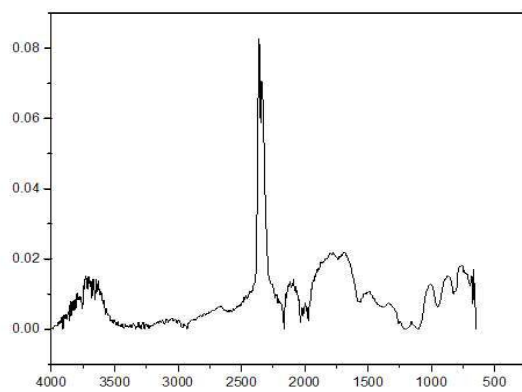
도면2



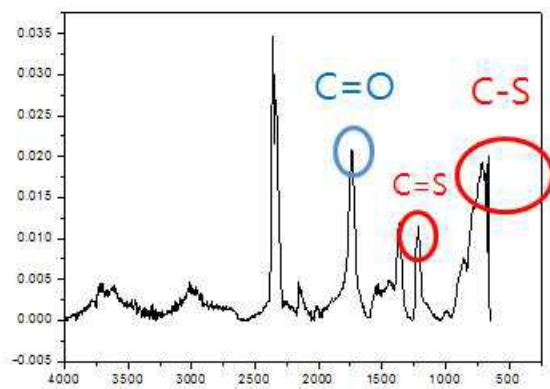
도면3



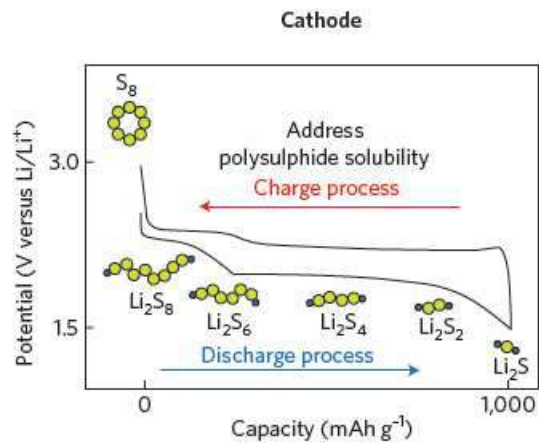
도면4a



도면4b



도면5a



도면5b

