(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0054238
(43) 공개일자 2015년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/58 (2015.01) *H01M 10/0525* (2010.01)
H01M 4/583 (2010.01)
(21) 출원번호 10-2013-0136431
(22) 출원일자 2013년11월11일
심사청구일자 2013년11월11일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
진형준
서울 양천구 목동동로 100, 1305동 206호 (신정동, 목동13단지아파트)
윤영수
인천 남구 인주대로137번길 23-4, (용현동)
(74) 대리인
이은철

전체 청구항 수 : 총 4 항

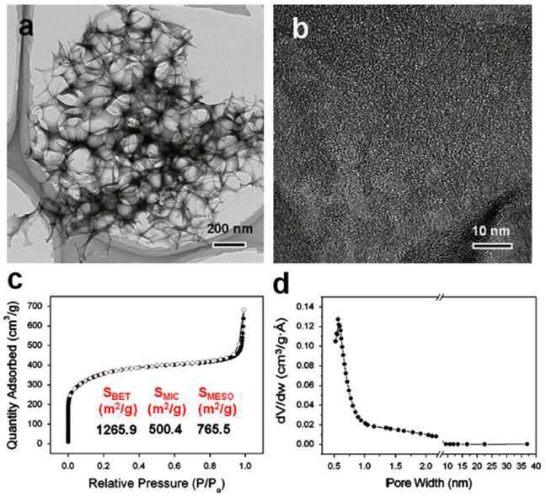
(54) 발명의 명칭 **비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료**

(57) 요 약

본 발명은 비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료 및 이를 포함하는 리튬이온전지에 관한 것으로서, 종래 음극재료에 비하여 높은 용량과 우수한 가역 특성 및 사이클 안정성을 갖는 리튬이온전지용 음극재료에 관한 것이다.

상기와 같은 본 발명에 따르면, 큰 비표면적과 비정질 구조를 가지며 풍부한 헤테로 원소를 포함하고 작은 기공부터 큰 기공까지 계층적 다공성 구조를 갖는 탄소재료를 리튬이온전지용 음극재료로 이용함으로써, 높은 용량 및 가역용량을 갖고 가역 특성, rate 특성 및 사이클 안정성이 우수하여 전기화학적 성능이 향상되는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NRF-2010-C1AAA001-0029018
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기후변화대응기초원천기술개발사업
연구과제명 바이오 소재를 이용한 고효율 탄소전극의 개발 및 응용
기 여 율 1/2
주관기관 동국대학교
연구기간 2013.09.30 ~ 2014.09.29이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 NRF-2013R1A1A2A10008534
부처명 교육과학기술부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기본연구
연구과제명 나노구조화된 바이오소재 기반 고에너지 탄소 전극의 개발
기 여 율 1/2
주관기관 인하대학교
연구기간 2013.06.01 ~ 2016.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

탄화된 비정질 탄소에 황을 도입시킨 비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 비정질 탄소는 질소를 함유하며, 수크로오스(sucrose), 폴리비닐 알코올(polyvinyl alcohol; PVA), 페놀 수지(phenol resin), 퓨란 수지(furan resin), 퍼푸릴 알코올(furfuryl alcohol), 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile), 셀룰로오스(cellulose), 스티렌(styrene), 폴리이미드(polyimide) 및 에폭시 수지(epoxy resin)를 포함하는 군에서 선택되는 1 이상의 전구체로부터 제조된 것을 특징으로 하는 비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 리튬이온전지용 음극재료는 탄화된 비정질 탄소와 황을 혼합하여 비활성 기체 하에서 열처리하여 제조된 것을 특징으로 하는 비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항의 리튬이온전지용 음극재료를 포함하는 리튬이온전지.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료 및 이를 포함하는 리튬이온전지에 관한 것으로서, 종래 음극재료에 비하여 높은 용량과 우수한 가역 특성 및 사이클 안정성을 갖는 리튬이온전지용 음극재료에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 리튬이온전지의 음극 활물질로 기전력이 높고 에너지 밀도가 높은 리튬 금속을 사용하여 왔으나, 리튬 금속은 리튬이온전지의 충전과 방전을 반복함에 따라 리튬 금속의 용해와 석출이 반복되어 수지상(dendrite) 형성으로 인해 안정성 및 충방전 효율 면에서 문제점을 나타낸다.

[0003] 이에, 음극 활물질로 리튬 대신 탄소재료를 이용하는 것이 제안되어 왔으며, 탄소재료는 결정격자의 층간에 리튬이온이 삽입되고 방전반응에 의해 쉽게 리튬이온이 방출되기 때문에 리튬 금속보다 안전성이 높고 충방전에 의한 열화도 적어 긴 수명을 기대할 수 있는 장점을 가지고 있다. 리튬이온전지의 음극재로 사용될 수 있는 탄소재료는 크게 흑연계와 비정질탄소재로 분류되는데, 흑연계는 전위평탄성이 우수하고 낮은 전위를 갖는 장점이 있으나 방전용량의 한계를 나타내며 비정질탄소재는 전위평탄성이 상대적으로 떨어져 대용량 전지를 제조하기에 문제점이 있지만 방전용량이 크고 형상 및 물리적인 성질의 제어가 용이한 장점을 갖는다. 따라서, 종래 두 종

류 이상의 탄소재료를 혼합하여 음극재를 제조하여 단점을 보안하려는 방법이 제안되어 왔지만 단순 혼합에 의한 일본특허공개 평8-222206호, 평7-326343호 등은 균일한 특성이 얻어지기 어려운 문제가 있다.

[0004] 상업적으로 사용되는 리튬이온전지 음극재료인 흑연 기반의 전극재료는 흑연 층 사이에서 리튬이온의 탈, 삽입에 따른 키네틱 문제로 인하여 상대적으로 낮은 rate 특성을 가지며, sp^2 탄소 육면체 안에 리튬이온저장 영역(LiC_6)이 제한되는 이유로 372 mAh/g의 낮은 리튬저장용량을 갖는다. 때문에 이러한 단점을 개선하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 비정질 결정구조를 갖는 탄소재료가 상대적으로 높은 리튬저장능력으로 인해 대안적인 애노드 재료로써 고려되고 있다.

[0005] 비정질 탄소의 전기화학적 특성은 다음과 같은 측면에서 흑연과 다르다. (ⅰ) 산화환원반응에 따른 비정질 탄소의 전압범위는(1.2~0.0 V) 흑연전극의 전압범위(0.5~0 V)보다 넓다. (ii) 비정질 탄소의 충방전곡선은 리튬이온이 저장되는 특별한 plateau 구간 없이 연속적으로 전압이 감소하는 특성을 가지는 반면에 흑연의 충방전곡선은 리튬의 탈, 삽입 단계에 해당하는 영역을 갖는다. (iii) 비정질 탄소는 리튬이온이 비체계적인 탄소영역 안에 저장됨에 따라 충전과 방전 곡선 사이에 큰 이력현상을 갖는다. (iv) 비정질 탄소는 초기 충방전시에 SEI 필름이 크게 형성되기 때문에 상대적으로 큰 비가역용량을 갖는다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 최근 에너지 저장 장치의 대용량화 및 잦은 충방전에 따라 고용량화 및 사이클 특성 향상 등 전기화학적 성능을 향상시키기 위해 큰 비표면적과 비정질 구조를 가지며 풍부한 헤테로 원소를 포함하고 작은 기공부터 큰 기공까지 계층적 다공성 구조를 갖는 탄소재료를 이용하여 리튬이온전지용 음극재료 및 이를 포함하는 리튬이온전지를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 탄화된 비정질 탄소에 황을 도입시킨 비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료을 제공한다.

[0008] 상기 비정질 탄소는 질소를 함유하며, 수크로오스(sucrose), 폴리비닐 알코올(polyvinyl alcohol; PVA), 페놀 수지(phenol resin), 퓨란 수지(furan resin), 퍼푸릴 알코올(furfuryl alcohol), 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile), 셀룰로오스(cellulose), 스티렌(styrene), 폴리이미드(polyimide) 및 에폭시 수지(epoxy resin)를 포함하는 군에서 선택되는 1 이상의 전구체로부터 제조된 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 리튬이온전지용 음극재료는 탄화된 비정질 탄소와 황을 혼합하여 비활성 기체 하에서 500 내지 1000 ℃로 열처리하여 제조된 것을 특징으로 한다.

[0010] 또한, 본 발명은 상기와 같은 리튬이온전지용 음극재료를 포함하는 리튬이온전지를 제공한다.

발명의 효과

[0011] 상기와 같은 본 발명에 따르면, 탄화된 비정질 탄소에 황을 도입시켜 큰 비표면적과 비정질 구조를 가지며 풍부한 헤테로 원소를 포함하고 작은 기공부터 큰 기공까지 계층적 다공성 구조를 갖는 탄소재료를 리튬이온전지용 음극재료로 이용함으로써, 높은 용량 및 가역용량을 갖고 가역 특성, rate 특성 및 사이클 안정성이 우수하여 전기화학적 성능이 향상되는 효과가 있다.

[0012] 더욱 구체적으로, 계층적 다공성 구조를 갖는 비정질 탄소 구조체가 리튬이온의 이동을 빠르게 하고 전해질이 쉽게 접근할 수 있는 통로를 제공함으로써 높은 rate 특성을 갖게 하며, 큰 비표면적으로 인하여 전극과 전해질 계면 사이에 리튬이온이 충분히 흡수되고 충전 반응을 빠르고 원활하게 진행시켜 준다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 (a), (b) 다른 배율에서 관찰한 HAC-HPS의 TEM 사진, (c) 질소 흡착 탈착 등온선, (d) HAC-HPS의 기공 사이즈 분포를 나타냄.

도 2는 HAC-HPS의 EDX 맵핑 데이터를 나타냄.

도 3은 HAC-HPS의 XPS 스펙트럼을 나타냄.

도 4는 전류밀도 50 mA/g에서 HAC-HPS(a)와 HAC-HPS1000(b)의 0.01 ~ 3.0 V vs. Li/Li^+ 갈바노스태틱 충/방전 곡선, (c) 다양한 전류밀도 100 ~ 2000 mA/g에서 HAC-HPS(검정색 원형)와 HAC-HPS1000(빨간색 사각형)의 rate 특성, (d) 전류밀도 200 mA/g에서 275 충/방전 사이클 동안 HAC-HPS의 사이클 안정성을 나타냄.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 본 발명을 상세히 설명한다.

[0015] 본 발명에서 NAC-HPS(Nitrogen-enriched amorphous carbon with hierarchical porous structure)는 질소가 도입된 계층적 다공성 구조를 갖는 탄화된 비정질 탄소, HAC-HPS(Heteroatom-enriched amorphous carbon with hierarchical porous structure)는 열처리를 통해 NAC-HPS에 황을 도입시킨 리튬이온전지용 음극소재를 의미하며, 상기 HAC-HPS는 헤테로 원소가 풍부하며 작은 크기의 기공부터 큰 기공까지 계층적 다공성 구조를 갖는다.

[0016] 본 발명은 탄화된 비정질 탄소(NAC-HPS)에 황을 도입시킨 비정질 탄소를 이용한 리튬이온전지용 음극재료(HAC-HPS)를 제공한다.

[0017] 상기 비정질 탄소는 질소를 함유하며, 수크로오스(sucrose), 폴리비닐 알코올(polyvinyl alcohol; PVA), 페놀 수지(phenol resin), 퓨란 수지(furan resin), 퍼푸릴 알코올(furfuryl alcohol), 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile), 셀룰로오스(cellulose), 스티렌(styrene), 폴리이미드(polyimide) 및 에폭시 수지(epoxy resin)를 포함하는 군에서 선택되는 1 이상의 전구체로부터 제조될 수 있다.

[0018] 상기 리튬이온전지용 음극재료는 탄화된 비정질 탄소와 황을 혼합하여 비활성 기체 하에서 300 내지 1400 ℃로 열처리하여 제조된 것이 바람직하다. 더욱 구체적으로, 탄화된 비정질 탄소와 황을 1 : 1의 질량비로 혼합한 후, 비활성 기체 하에서 승온 속도 10 ℃/min으로 600 ℃까지 승온시켜 2시간 동안 열처리하는 것이 좋다.

[0019] 본 발명에 따른 리튬이온전지용 음극재료(HAC-HPS)는 작은 크기의 기공부터 큰 기공까지 계층적 다공성 구조를 갖는 비정질 탄소 구조체이다. 총 비표면적은 1265.9 m^2/g(sub-nanometer 크기의 기공은 500.4 m^2/g, 메조기공은 765.5 m^2/g로 구성)이며, 표면은 주로 5.6 Å 사이즈의 나노 기공으로 이루어진다. 또한, 9.8 at%의 산소, 7.3 at%의 질소 및 7.6 at%의 황을 포함하는 매우 많은 양의 헤테로 원소를 함유함으로써 활성화된 영역이 증가하여 50 mA/g의 전류밀도에서 935 mAh/g의 높은 가역용량과 높은 용량을 나타내고, 우수한 가역 특성과 사이클 안정성 등 우수한 전기화학적 성능을 갖는다.

[0020] 또한, 본 발명은 상기와 같은 리튬이온전지용 음극재료를 포함하는 리튬이온전지를 제공한다.

[0021] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 예시하기 위한 것으로서, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되는 것으로 해석되지 않는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.

[0022] **실시예 1.**

[0023] NAC-HPS는 다음과 같이 제조하였다.

[0024] 7 wt% NaOH, 12 wt% 요소, 81 wt% 증류수를 포함한 용액은 2시간 동안 영하 12도에서 제조하였고, 수용액 형태로 강하게 휘저으면서 용액대비 4 wt% 셀룰로오스를 수용액에 넣은 후 5분간 용해시켰다. 다음으로 액체질소에서 셀룰로오스가 용해되어 있는 용액을 동결시킨 후 Freeze-dryer를 이용하여 3일간 건조시켰다. 건조 후 얻어진 물질은 아르곤가스를 200 mL/min로 흘려주며 승온 속도는 10 ℃/min으로 상온에서 700 ℃로 승온 과정을 거

쳤고, 700 ℃에서 2시간 동안 탄화시켰다. 탄화과정 후, 탄화된 생성물(NAC-HPS)은 증류수와 에탄올 등으로 세척하고 24시간 동안 30 ℃에서 진공 건조 과정을 거쳤다.

[0025] 제조된 NAC-HPS에 황 원소가 다음과 같이 도입되었다.

[0026] 제조된 NAC-HPS 100 mg을 가루형태의 황(시그마알드리치 99.98%) 100 mg과 함께 막자사발로 갈면서 섞어준 후, 섞인 혼합물을 튜브관 퍼니스(로)에서 아르곤 가스 200 mL/min, 승온 속도 10 ℃/min를 적용하여 상온에서 600 ℃ 또는 1000 ℃로 열처리하였다. 반응된 혼합물은 2시간 동안 상기 온도(600 ℃ 또는 1000 ℃)에서 유지시켜 주었다. 얻어진 생성물은 불순물을 세척하는 과정 없이 30 ℃ 진공 오븐에서 저장하였고, 600 ℃ 및 1000 ℃로 각각 담금질하여 얻어진 샘플을 HAC-HPS 및 HAC-HPS1000으로 명명하였다.

[0027] **실험예.**

[0028] 상기 실시예에서 제조된 샘플의 형태는 전계 방사형 투과전자현미경(FE-TEM; JEM2100F, JEOL, Japan)을 통해 관찰하였고, 샘플의 비표면적과 다공도는 표면적 다공도분석기(ASAP 2020, Micromeritics, USA)를 통해 -196 ℃에서 질소 흡착 탈착 등온선으로 분석하였으며, X선 광전자 분광법(XPS; PHI5700 ESCA, Korea)으로 Al Kα 광선(hv=1486.6 eV)을 통해 분석하였다.

[0029] HAC-HPS와 HAC-HPS1000의 전기화학적 성능은 원아텍 자동 배터리 사이클러와 CR2016-type 코인 셀을 통해 측정하였다. 코인 셀은 아르곤가스로 채워져 있는 글러브 박스에서 제조하였고, 전해질은 에틸렌카보네이트/디메틸카보네이트/디에틸카보네이트(1:2:1 v/v) 수용액에다 1 M $LIPF_6$을 녹여 만들었으며, 금속리튬호일로 혼합물과 함께 전극으로 만들었다. 제조된 셀은 다양한 전류밀도로 0.01에서 3.0 V 사이의 전압범위에서 갈바노스태틱 사이클로 측정하였다.

[0030] ⅰ) 도 1의 (a), (b)는 제조된 HAC-HPS를 각기 다른 배율에서 TEM을 통해 얻은 사진이다. TEM 사진으로부터 HAC-HPS는 약 200 나노미터의 지름을 갖는 기공들이 포함된 다공성 구조체임을 알 수 있다. 게다가, 고배율 TEM 사진에서는 HAC-HPS가 비정질 탄소 구조를 가지고 있음을 알 수 있었다.

[0031] HAC-HPS의 비표면적과 다공도를 질소 흡착, 탈착 등온선을 이용하여 분석한 결과, 도 1(c)에서 보는 바와 같이 질소 흡착, 탈착 등온선은 IUPAC type I과 type IV의 형태를 가지며 흡탈착 곡선 사이에 이력현상을 나타냈다. 이는 sub-nanometer 크기의 매우 작은 기공과 메조포어(2-50 nm) 기공 구조가 함께 존재한다는 것을 의미한다. HAC-HPS의 총 비표면적은 1265.9 m^2/g이고 그 중 sub-nanometer 크기의 기공은 500.4 m^2/g, 메조기공은 765.5 m^2/g로 구성되며, HAC-HPS의 기공 사이즈 분포를 나타내는 도 1(d)에서 보는 바와 같이 HAC-HPS의 표면은 주로 5.6 Å 사이즈의 나노 기공으로 이루어진 것을 알 수 있었다.

[0032] 도 2의 EDX 맵핑 데이터는 NAC-HPS의 표면에 균일하게 붙어있는 황 원소를 보여준다.

[0033] ⅱ) 도 3은 HAC-HPS의 화학적 원소 구성을 XPS를 이용하여 분석한 결과를 나타낸다. HAC-HPS의 XPS C 1s 스펙트럼은 주된 284.6 eV C-C 피크, C-O, C-N, C-S의 존재를 나타내는 285.5 eV 피크를 나타냈다. 이와는 반대로, O 1s 스펙트럼은 카르복실 그룹과 다양한 다른 산소 그룹 등을 포함한 산소 원자에 상응하는 531, 532.4 eV의 명확한 두 피크를 나타냈다. 더욱이, 질소 원자의 화학적 원소 구성에서 N 1s 스펙트럼은 피리딘 N(398.2 eV), 피롤릭 N(400.4 eV) 형태를 나타냈다.

[0034] NAC-HPS를 황 원소와 함께 열처리하기 전에 NAC-HPS의 산소와 질소 함량은 각각 9.9 at%와 8.0 at%를 보였다. 600 ℃에서 황과 열처리한 후 7.6 at%의 황이 첨가되었지만, 열처리하기 전과 비슷하게 산소와 질소 함량은 각각 9.8 at%, 7.3 at%를 보였다. NAC-HPS와 비교하여 600 ℃에서 황과 열처리한 후에 C-O 결합의 피크 세기가 증가한 것을 제외하고는 HAC-HPS의 XPS C 1s, O 1s, 그리고 N 1 스펙트럼에서는 큰 변화가 없었다. 이는 산소와 황 사이 C-SO_x 결합이 형성된 것이 기여된 것이라 볼 수 있고 HAC-HPS의 XPS S 2p 스펙트럼에서 C-SO_x 결합인 167.9 eV 피크를 통해서도 확인할 수 있다. 또한, C-S, C=S 결합에 해당되는 164.2, 165.8 eV 두 개의 다른 피크가 관찰되었다. 헤테로 원소의 영향을 조사하기 위해, 600 ℃보다 높은 온도(1000 ℃, HAC-HPS1000)에서 황 원소와 함께 열처리한 결과, HAC-HPS1000의 XPS 스펙트럼에서 HAC-HPS와 비교하여 볼 때 적은 양의 산소, 질소,

황(각각 6.4, 3.2, 2.5 at%)을 갖는 것으로 나타났다.

[0035] iii) HAC-HPS와 HAC-HPS1000 모두 전기화학적 성능은 0.01 ~ 3.0 V 전압범위의 다양한 전류밀도에서 정전류 충/방전 사이클로 측정하였다. HAC-HPS(도 4a)와 HAC-HPS1000(도 4b)의 충/방전 곡선은 상대적으로 큰 전압 이력현상을 보이며 비슷한 형태를 나타냈으며, 전압이 plateau를 이루는 부분이 없이 연속적으로 감소되는 형태를 나타냈다. 이는 비정질 탄소의 전형적인 충/방전 곡선의 형태이다. 그러나, HAC-HPS의 산화/환원 전압범위는 HAC-HPS1000보다 더 넓게 나타났고, HAC-HPS의 충/방전 곡선 사이의 이력현상 또한 HAC-HPS1000보다 더 높게 나타났다. 상기 결과로부터 HAC-HPS의 표면에서의 반응이 HAC-HPS1000보다 크게 일어난다는 것을 알 수 있다.

[0036] HAC-HPS와 HAC-HPS1000의 첫 충/방전 곡선은 전류밀도 50 mA/g에서 각각 대략 1230과 935 mAh/g의 큰 용량을 나타냈고, $Li_{2.5}C_6$에 대응하는 HAC-HPS의 가역적인 용량은 HAC-HPS1000(415 mAh/g)보다 두 배 이상의 값을 나타냈다. 이러한 높은 가역적인 용량은 헤테로 원소에 의해 활성화된 영역이 증가했기 때문에 나타난 결과이다. 또한, HAC-HPS의 비가역 용량은 두드러지게 HAC-HPS1000과 비교하였을 때보다 감소하였는데, 이는 두 샘플의 가장 큰 차이는 헤테로 원소의 양이므로 비가역 용량이 줄어든 이유는 헤테로 원소의 함량 차이인 것으로 보여진다.

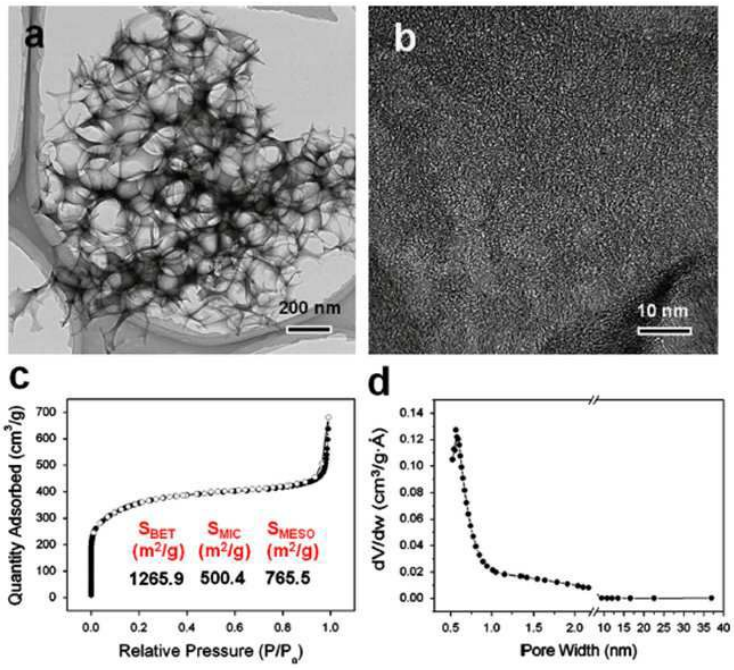
[0037] 도 4(c)는 HAC-HPS와 HAC-HPS1000의 100에서 2000 mA/g까지의 rate 특성을 나타낸다. HAC-HPS의 경우 2000 mA/g의 전류밀도에서 240 mAh/g의 용량을 나타내는데, 이는 대략적으로 HAC-HPS1000보다 네 배 가량 높은 값이다. 게다가, 25 사이클 후 전류밀도가 2000 mA/g에서 100 mA/g으로 줄었을 때 HAC-HPS는 초기 가역적인 용량을 회복했고, 이는 우수한 가역 특성을 나타낸다.

[0038] 도 4(d)는 전류밀도 200 mA/g에서 275 충/방전 사이클 동안 HAC-HPS의 사이클 안정성을 나타낸다. 사이클 안정성은 275 사이클 이상을 유지하고 사이클이 지속되면서 용량이 증가하였다. 용량 값은 270 사이클 동안 510 mAh/g에서 시작하여 1090 mAh/g에 도달했고, 이와 같은 용량의 증가는 반복되는 사이클 동안 리튬이온이 내부 나노기공으로 확산되기 때문에 활성화 영역에 저장되는 리튬이온이 많아지므로 증가하였을 것으로 판단된다. HAC-HPS의 전기화학적 성능은 HAC-HPS1000보다 우수한 것으로 나타났다.

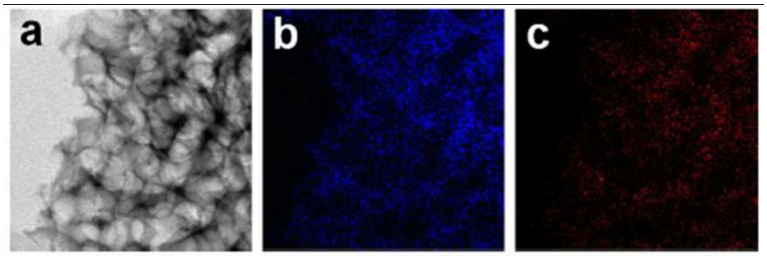
[0039] 이상, 본 발명내용의 특정한 부분을 상세히 기술하였는바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서, 이러한 구체적인 기술은 단지 바람직한 실시태양일 뿐이며, 이에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백할 것이다. 따라서 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항들과 그것들의 등가물에 의해 정의된다고 할 것이다.

도면

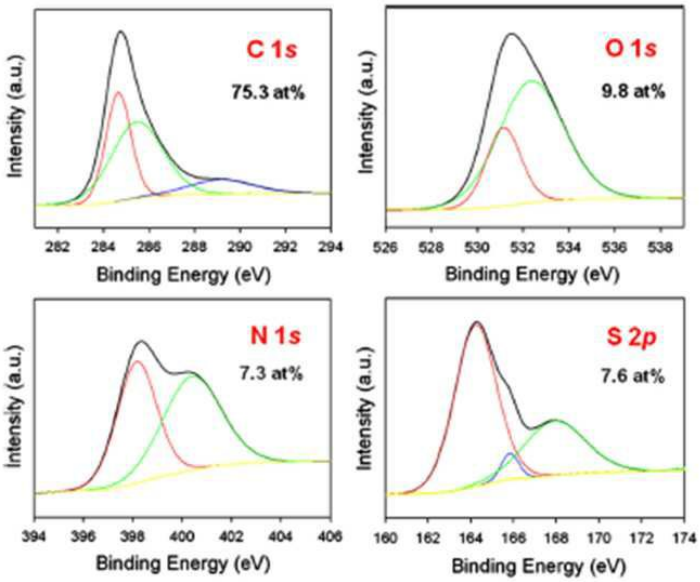
도면1


a
200 nm
b
10 nm
c
Quantity Adsorbed (cm³/g)
S_BET (m²/g)
S_MIC (m²/g)
S_MESO (m²/g)
1265.9
500.4
765.5
Relative Pressure (P/P_o)
d
dV/dw (cm³/g·Å)
Pore Width (nm)

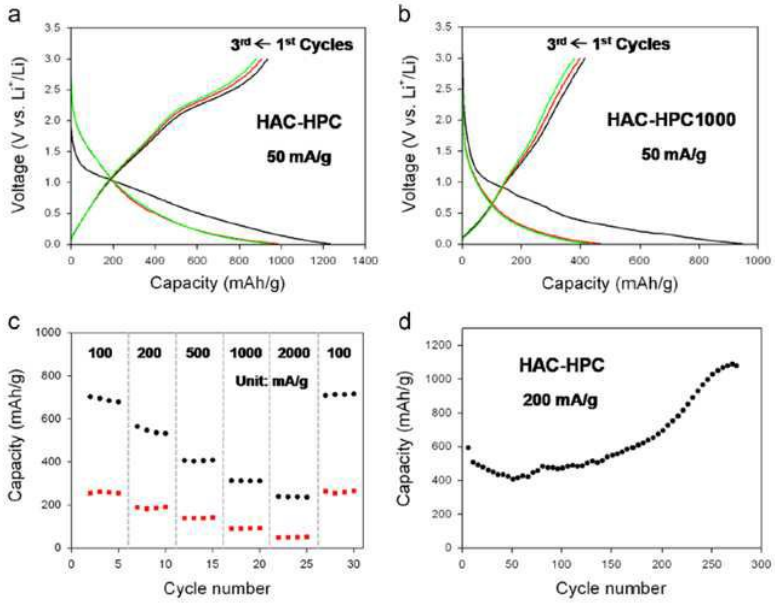
도면2


a
b
c

도면3


C 1s
75.3 at%
O 1s
9.8 at%
N 1s
7.3 at%
S 2p
7.6 at%
Intensity (a.u.)
Binding Energy (eV)

도면4


a
b
c
d
3rd ← 1st Cycles
HAC-HPC
50 mA/g
HAC-HPC1000
50 mA/g
Voltage (V vs. Li+/Li)
Capacity (mAh/g)
100
200
500
1000
2000
100
Unit: mA/g
Cycle number
HAC-HPC
200 mA/g