



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0048512
(43) 공개일자 2020년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 10/42 (2014.01) H01M 10/052 (2010.01)
H01M 4/13 (2010.01) H01M 4/62 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01M 10/4235 (2013.01)
H01M 10/052 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0130677
(22) 출원일자 2018년10월30일
심사청구일자 2018년10월30일

(71) 출원인
서울대학교산학협력단
서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)
(72) 발명자
박수영
서울특별시 강남구 역삼로 306, 103동 1903호(역삼동, 개나리래미안아파트)
권지언
서울특별시 관악구 호암로 399, 304동 2302호 삼성산주공아파트
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
윤의섭, 김수진

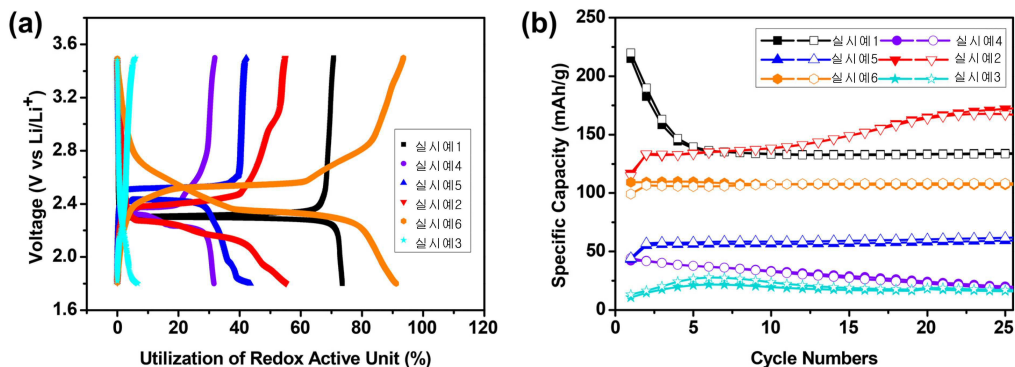
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 안트라퀴논계 배트 염료를 포함하는 리튬 이차전지용 전극 활물질

(57) 요약

본 발명의 이차전지용 전극 활물질은 산화환원 활성을 갖는 퀴논(quinone) 기능단을 1개 이상 포함하고 있는 안트라퀴논계 배트 염료 소재로서, 이차결합력이 있는 기능단을 1개 이상 포함하고 있으며, 나노선 형태의 나노구조체를 형성하는 것을 특징으로 한다. 본 발명의 나노구조체를 이루는 배트 염료는 비 표면적이 매우 커 매우 빠른 속도의 충·방전에도 고유의 용량을 유지할 수 있는 고출력의 이차 전지를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01M 4/13 (2013.01)

H01M 4/62 (2013.01)

(72) 발명자

민동주

서울특별시 관악구 은천로36길 20-4, 201호

이규남

서울특별시 강남구 언주로 110, 경남아파트 8동
1205호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345275616

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학학술연구기반구축(R&D)

연구과제명 에너지 저장장치용 유기 및 유/무기 하이브리드 다공성 나노 구조체 전극 소재 개발

기 여 율 1/1

주관기관 서울대학교

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

안트라퀴논계 배트 염료를 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 안트라퀴논계 배트 염료는 이차결합력이 있는 기능단을 1개 이상 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 이차결합력이 있는 기능단은 수소결합이 가능한 (N-H...O=C) 기능단, 또는 $\pi-\pi$ 결합이 가능한 2 내지 10 개의 벤젠고리(benzene ring)가 융합된 방향족(aromatic) 고리를 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 안트라퀴논계 배트 염료는 나노선 형태의 나노구조체인 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질.

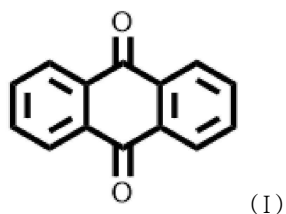
청구항 5

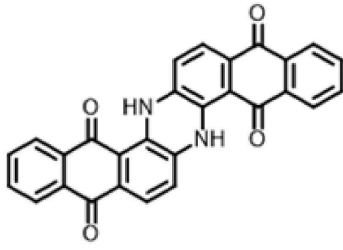
청구항 3에 있어서,

상기 나노구조체는 단축 방향으로 1 내지 100나노미터의 길이를 갖고, 장축 방향으로 10나노미터 내지 100마이크로미터의 길이를 가지고, 단축:장축의 길이 비가 1:1.5 이상인 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질.

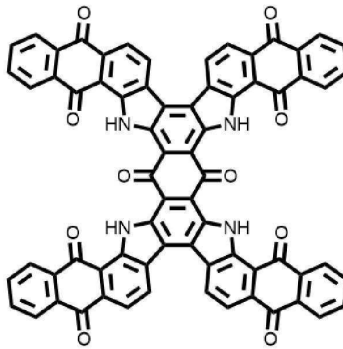
청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 안트라퀴논계 배트 염료는 하기 화학식(I) 내지 (VI)의 화합물로 이루어진 그룹에서 선택된 하나 이상의 화합물을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질:

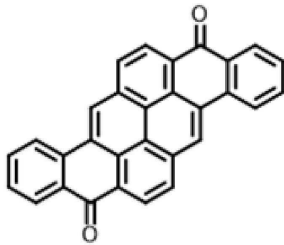




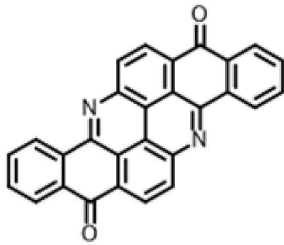
(II)



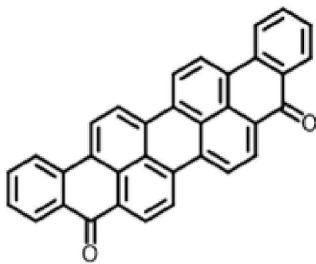
(III)



(IV)



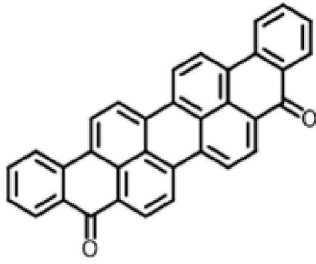
(V)



(VI)

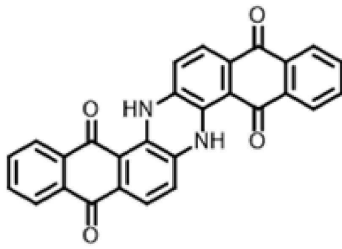
청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 안트라퀴논계 배트 염료는 하기 화학식 (VI)의 화합물인 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질:



청구항 8

청구항 6에 있어서, 상기 안트라퀴논계 배트 염료는 하기 화학식 (II)의 화합물인 것을 특징으로 하는 리튬 이차전지용 전극 활물질:



청구항 9

청구항 1 내지 청구항 8중 어느 한 항의 전극 활물질을 포함하는 리튬 이차 전지용 전극.

청구항 10

청구항 9의 전극을 포함하는 리튬 이차 전지.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 리튬 이차 전지용 전극 활물질에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 안트라퀴논계 배트 염료를 포함하는 리튬 이차전지용 전극 활물질에 관한 것이다.

[0002] 또한, 본 발명은 상기 전극 활물질을 포함하는 전극 및 리튬 이차 전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근에는 휴대전화나 랩탑 컴퓨터 등과 같은 휴대 전자기기를 비롯해 다방면에서 리튬이차전지가 사용되고 있는데, 특히 환경문제에 대한 관심이 커짐에 따라 대기오염의 주요원인 중 하나인 가솔린 차량, 디젤 차량 등 화석 연료를 사용하는 차량을 대체할 수 있는 전기자동차의 구동원으로서 높은 에너지 밀도와 방전 전압을 갖는 리튬 이차전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일부는 상용화 단계에 있다.

[0004] 2차 전지는 산화 환원 반응을 이용하여 전하를 축적한다. 가역적으로 산화 환원 반응을 행하는 물질, 즉, 전하를 축적하는 축전재료가, 2차 전지의 특성에 크게 영향을 미친다. 종래의 2차 전지에서는, 금속, 탄소, 무기 화합물 등이 축전재료(활물질)로서 이용되고 있다. 하지만, 일반적인 리튬 2차 전지에서는, 양극 활물질 및 음극 활물질로서 금속산화물 내지 흑연을 사용하고 있다.

[0005] 종래의 리튬 이차 전지용 양극 소재로는 전이금속 산화물이 주로 사용되어 왔으나, 고용량/고출력을 얻는데 한계가 있고 고가의 중금속을 사용함으로써 생산비용이 높고 환경오염을 발생시키는 문제가 있다. 특히 신재생에너지 발전을 위한 대형 에너지 저장장치(ESS)와 전기자동차의 개발에 따른 리튬 이차 전지에 대한 수요가 급격히 늘어남에 따라 기존 양극재의 핵심소재인 코발트를 포함한 전이금속의 고갈 및 가격 폭등에 대한 우려가 심각해지고 있는 상황이다.

- [0006] 따라서 상대적으로 저렴하고 지각에 풍부한 원소로만 이루어져 있으며, 친환경적인 장점을 가지고 있는 유기화합물 중 산화환원 활성을 가진 소재를 리튬 이차 전지용 전극 활물질로 사용하기 위한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다. 유기 화합물은 무기화합물에 비해 다양한 분자설계가 가능하기 때문에, 유기화합물을 전극 활물질로 이용하는 경우, 분자 설계에 의해 여러 가지 특성을 가지는 전극 활물질을 실현하는 것이 가능하다. 또한, 유기 화합물은 금속에 비해 경량이어서, 경량인 2차 전지를 실현할 수 있다.
- [0007] 유기화합물을 이차 전지 전극 활물질로 사용한 예로는, 일본 특허공개공보 소61-124070호에 게시된 폴리아닐린이나 폴리티오펜 등의 도전성 고분자를 사용하는 것, 일본 특허공개공보 2001-273901호에 게시된 술피드 결합을 포함한 유기황계 화합물을 사용하는 것, 일본특허공개공보 평4-087258, 2007-305430 호 등에 게시된 파라 퀴논 또는 오르쏘 퀴논 골격을 가진 화합물을 이용하는 것, 일본특허공개공보 2012-155884호에 게시된 안트라센테트론 화합물을 이용하는 것 등이 있고, 최근 인단트론 유도체를 활용한 기술이 일본특허공개공보 2016-115584호에 게시된 바 있다.
- [0008] 지금까지 많은 유기화합물 전극 활물질이 개발되어 왔지만, 전해질에의 높은 용해성과 낮은 전기전도도로 인하여 수 사이클 이내에 충·방전 용량이 급격히 감소하고, 매우 낮은 속도로만 충·방전이 가능하여 이를 실제 전극 활물질로 사용하여 리튬 이차 전지를 제작하기에는 무리가 있었다.
- [0009] 이를 해결하기 위하여 다양한 방법들이 연구되고 있으나, 그 중에서도 고분자를 합성하거나, 탄소 나노소재인 탄소 나노튜브(carbon nanotube) 또는 그래핀(graphene) 등을 첨가하여 복합재료를 개발하는 연구가 많이 진행되고 있다(Adv. Funct. Mater. 2017, 27, 1603603 등) 그러나 이러한 방법은 고분자 합성 또는 복합재료 제조를 위한 복잡한 추가 공정 및 고가의 탄소 나노소재가 필수로 요구된다.
- [0010] 또한, 생산 배치(batch)에 따라 특성이 상이하여 대량생산에 부적합하기 때문에 일반적으로 생산단가가 매우 높다는 단점이 있다. 따라서 저렴하게 생산 가능하면서도, 높은 용해 저항성을 지니고 빠른 전하 전달이 가능하여 고안정성, 고출력을 낼 수 있는 새로운 유기 전극 활물질의 개발이 필요한 상황이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 일본 특허공개공보 소61-124070호
(특허문헌 0002) 일본 특허공개공보 2001-273901호
(특허문헌 0003) 일본특허공개공보 평4-087258
(특허문헌 0004) 일본 특허공개공보 2007-305430호
(특허문헌 0005) 일본특허공개공보 2012-155884호
(특허문헌 0006) 일본특허공개공보 2016-115584호

비특허문헌

- [0012] (비특허문헌 0001) Adv. Funct. Mater. 2017, 27, 1603603

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0013] 본 발명은 기존 유기화합물 전극 활물질의 경우, 고안정성과 고출력 특성을 확보하기 위하여 복잡한 제조공정과 고가의 탄소계 나노소재 복합체 도입이 필수적이었던 문제를 극복하고자 하는 것이다. 즉, 본 발명은 고분자 또는 고가의 탄소 나노 복합체 합성과 같은 복잡한 제조공정 없이도 고안정성, 고출력 특성을 보일 수 있는 비용 효과적이며 대량생산이 가능한 유기화합물을 활용한 리튬 이차 전지용 전극 활물질과 이를 포함하는 리튬 이차 전지를 제공하는데 목적이 있다.

[0014] 또한, 본 발명은 여러 사이클로 충·방전을 시켜도 배터리 용량이 보존되며, 고속 충·방전이 가능한 리튬 이차 전지용 전극 활물질과 이를 포함하는 리튬 이차 전지를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

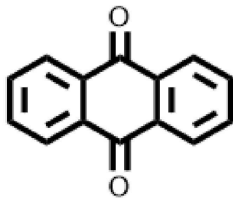
[0015] 본 발명자들은 상기 목적을 달성하기 위하여 여러 유기 물질 후보군에 대해 연구하던 중 안트라퀴논계 배트 염료가 리튬 이차 전지용 전극 활물질로 유용한 특성을 나타낸다는 것을 발견하고 본 발명을 완성하게 되었다.

[0016] 본 발명의 일 구현예에 따른 이차전지용 전극 활물질은 산화환원 활성을 갖는 퀴논(quinone) 기능단을 1개 이상 포함하고 있는 안트라퀴논계 배트 염료 소재로서, 이차결합력이 있는 기능단을 1개 이상 포함하고 있다.

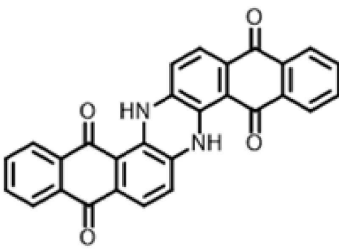
[0017] 본 발명의 일 예에서, 상기 안트라퀴논계 배트 염료는 나노선 형태의 나노구조체를 형성하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 상기 나노 구조체는 단축 방향으로 1 내지 100나노미터의 길이를 갖고, 장축 방향으로 10나노미터 내지 100마이크로미터의 길이를 가지고, 단축:장축의 길이 비가 1:1.5 이상인 것을 특징으로 한다.

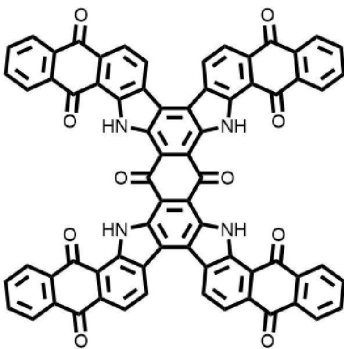
[0019] 본 발명에서 사용되는 안트라퀴논계 배트 염료의 예로는 다음 화학식 (I)~(VI)과 같은 구조의 화합물들이 있다.



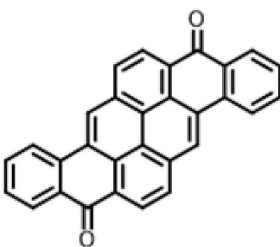
(I)



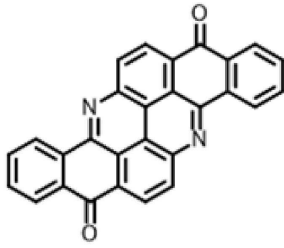
(II)



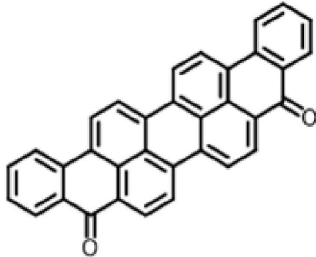
(III)



(IV)



(V)



(VI)

발명의 효과

본 발명은 이차결합력이 있는 기능단을 1개 이상 포함하고 있어 이러한 이차결합력이 분자 간 결합을 강하게 하여 전해질에 대한 용매저항성을 충분히 높여주어 고분자화를 하지 않고도 안정적인 충·방전이 가능한 이차 전지를 제공할 수 있다. 또한, 본 발명의 나노구조체를 이루는 배트 염료는 비 표면적이 매우 커 전해질 및 도전재와의 접촉면적이 극대화됨으로써 탄소 나노소재와의 복합체 형성을 하지 않고도 매우 빠른 속도의 충·방전에도 고유의 용량을 유지할 수 있는 고출력의 이차 전지를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 실시 예에서 제조된 리튬 이차 전지의 충·방전 특성을 나타내는 그래프로서, 도 1(a)는 전류레이트 0.1 C에서 Li/Li⁺ 대 1.8~3.5 V 범위의 실시 예 1 내지 6에서 제조된 전극의 초기 정전류 충·방전 전압을 보여주는 그래프며, 도 1(b)는 충·방전 사이클에 따른 비 용량 변화를 나타낸다.

도 2는 본 발명의 실시 예에서 제조된 리튬 이차 전지의 출력 특성을 나타내는 그래프로서, 도 2(a)는 방전속도에 따른 각 전극의 방전 비 용량을 보여주며, 도 2(b)는 각 방전속도에서 각 전극의 방전 비 용량이 최대 비 용량 대비 몇%인지 나타내는 그래프이다.

도 3과 도 4는 본 발명의 전극 활물질의 SEM 사진과 그로부터 제조된 전극 표면의 SEM 사진을 나타낸 것이다.

도 5는 본 발명의 몇 실시 예의 화합물의 전기화학적 거동을 나타낸 것이다.

도 6은 본 발명의 실시 예에서 제조된 리튬 이차 전지의 충·방전 사이클에 따른 비용량 변화를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

본 발명의 일 구현 예에 따른 이차전지용 전극 활물질은 산화환원 활성을 갖는 퀴논(quinone) 기능단을 1개 이상 포함하고 있는 안트라퀴논계 배트 염료 소재로서, 이차결합력이 있는 기능단을 1개 이상 포함하고 있다.

상기 이차결합력이 있는 기능단은 수소결합이 가능한 (N-H...O=C) 기능단 또는 $\pi-\pi$ 결합이 가능한 2 내지 10 개의 벤젠고리(benzene ring)가 융합된 방향족(aromatic) 고리를 포함한다.

상기 본 발명의 이차전지용 전극 활물질은 적절히 제어된 이차결합력에 의한 분자간 상호작용으로 자기조립을 통해 단축 방향으로 100나노미터 이하, 예를 들어 수 내지 수십 나노미터의 길이를 갖고, 장축 방향으로 10나노미터 이상 100마이크로미터 이하, 예를 들어 수십 나노미터 내지 수십 마이크로미터의 길이를 갖는 나노선 형태의 나노구조체를 형성할 수 있다. 즉, 단축보다 장축의 길이가 긴 나노선 형태를 가지게 되는데, 예를 들어 단축에 비해 장축은 적어도 1.5배 이상 긴 것이 바람직하다.

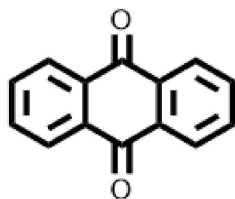
상기 이차결합력은 분자간 결합을 강하게 하여 전해질에 대한 용매저항성을 충분히 높여주어 고분자화를 하지 않고도 안정적인 충·방전이 가능한 이차 전지를 제공할 수 있다. 또한 이렇게 형성된 나노구조체는 비 표면적이 매우 커 전해질 및 도전재와의 접촉면적이 극대화됨으로써 탄소나노소재와의 복합체 형성을 하지 않고도 매

우 빠른 속도의 충·방전에도 고유의 용량을 유지할 수 있는 고출력의 이차 전지를 제공할 수 있다.

[0032] 이하에는, 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세하게 설명하되, 이는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 발명을 용이하게 실시할 수 있을 정도로 상세하게 설명하기 위한 것이지, 이로 인해 본 발명의 기술적인 사상 및 범주가 한정되는 것을 의미하지는 않는다.

[0033] 실시 예 1: 이차 전지용 전극(AQ 전극) 및 이차전지의 제조

[0034] 하기 화합물을 이차 전지용 전극 활물질로 사용하였다. 하기 화합물의 SEM 사진은 도 3의 (a)에 게시하였다.



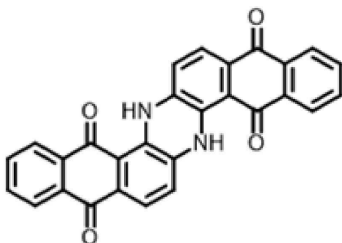
[0035]

[0036] 상기 화합물과 Super-P, 폴리비닐리덴플루오라이드(PVDF)를 4:4:2의 무게비로 N-메틸-2-피롤리돈(N-methylpyrrolidone)에 섞어 슬러리를 만든 후, 이를 알루미늄 포일 위에 도포하고 닥터 블레이딩 방법으로 코팅하였다. 이후, 120℃의 진공오븐에서 8시간 건조하여 전극을 제조하였다.

[0037] 제조된 전극 활물질이 도포된 알루미늄 포일을 양극으로, 리튬 포일을 음극으로, 다공성 폴리프로필렌 막을 전극 분리막으로 하여 CR2032 코인형 전지를 조립하였다. 전해액으로는 1,3-디옥솔란(DOL)/1,2-디메톡시에탄(DME)(1:1 v/v)에 2M의 리튬 비스(트리플루오로메탄)설폰이미드(LiTFSI)와 1 wt%의 리튬니트레이트(LiNO₃)가 사용되었다.

[0038] 실시 예 2: 이차 전지용 전극(IDT 전극) 및 이차전지의 제조

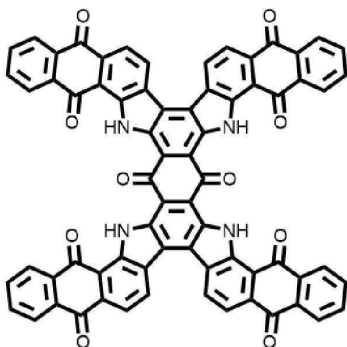
[0039] 하기 구조식의 화합물을 이차 전지용 전극 활물질로 사용한 점을 제외하고는 실시 예 1과 동일한 방법으로, 전극 및 리튬 2차전지를 제조하였다.



[0040]

[0041] 실시 예 3: 이차 전지용 전극(VG8 전극) 및 이차 전지의 제조

[0042] 하기 구조식의 화합물을 이차 전지용 전극 활물질로 사용한 점을 제외하고는 실시 예 1과 동일한 방법으로, 전극 및 리튬 2차전지를 제조하였다.

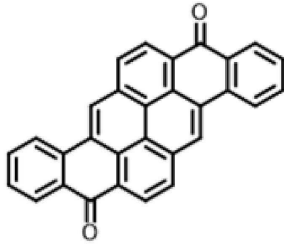


[0043]

[0044] 실시 예 4: 이차 전지용 전극(V09 전극) 및 이차 전지의 제조

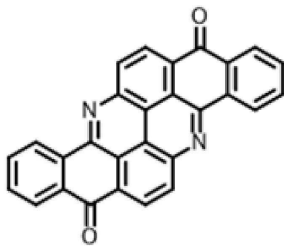
[0045] 하기 구조식의 화합물을 이차 전지용 전극 활물질로 사용한 점을 제외하고는 실시 예 1과 동일한 방법으로, 전

극 및 리튬 2차전지를 제조하였다.



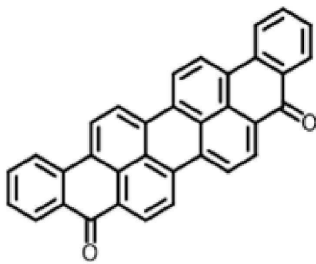
실시 예 5: 이차 전지용 전극(FVT 전극) 및 이차 전지의 제조

하기 구조식의 화합물을 이차 전지용 전극 활물질로 사용한 점을 제외하고는 실시 예 1과 동일한 방법으로, 전극 및 리튬 2차전지를 제조하였다.



실시 예 6: 이차 전지용 전극(VLT 전극) 및 이차 전지의 제조

하기 구조식의 화합물을 이차 전지용 전극 활물질로 사용한 점을 제외하고는 실시 예 1과 동일한 방법으로, 전극 및 리튬 2차전지를 제조하였다.



시험 예 1 충·방전 특성 평가 시험

실시 예 1 내지 6에서 제조된 리튬 이차 전지의 충·방전 특성을 평가하였고, 그 결과를 도 2에 나타내었다.

이때, 도 2에서 (a)의 그래프는 전류 레이트 0.1 C에서 Li/Li⁺ 대 1.8-3.5 V 범위의 실시 예 1 내지 6에서 제조된 전극의 초기 정전류 충·방전 전압을 보여주며, (b)의 그래프는 충·방전 사이클에 따른 비용량 변화를 보여준다. 전류 레이트는 각각의 배트 염료의 이론적 용량에 따라 계산되었다. 모든 배트 염료 전극은 쿨론 단위의 산화환원에 기인한 한 개의 안정된 평탄 영역(plateau)을 나타낸다. 하기 표1은 각 전극의 초기 정전류 충·방전에서 이론적 용량대비 실제 충·방전 용량을 나타낸다.

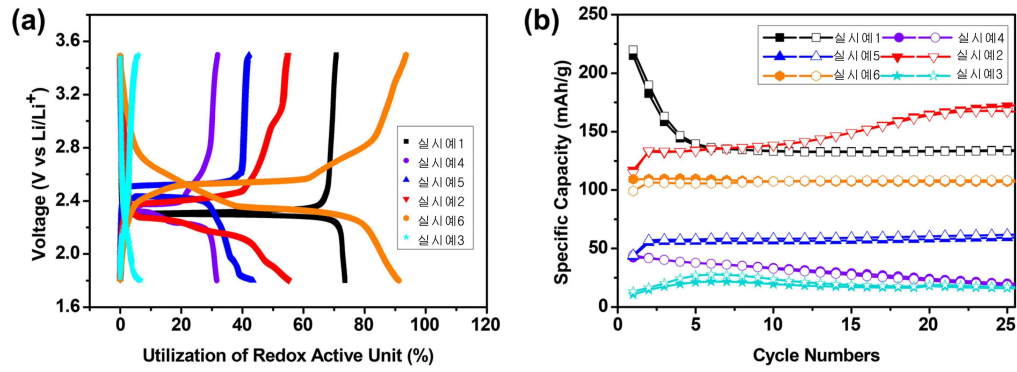
표 1

사용된 화합물	이론 비용량 (mAh/g)	초기 측정된 실제 방전 비용량 (mAh/g)	이론대비 실제 활성 비율 (%)
실시 예 1	258	190	73.6
실시 예 2	242	134	55.1
실시 예 3	247	16.5	6.67
실시 예 4	132	41.7	31.6
실시 예 5	131	57.0	43.5
실시 예 6	117	107	91.1

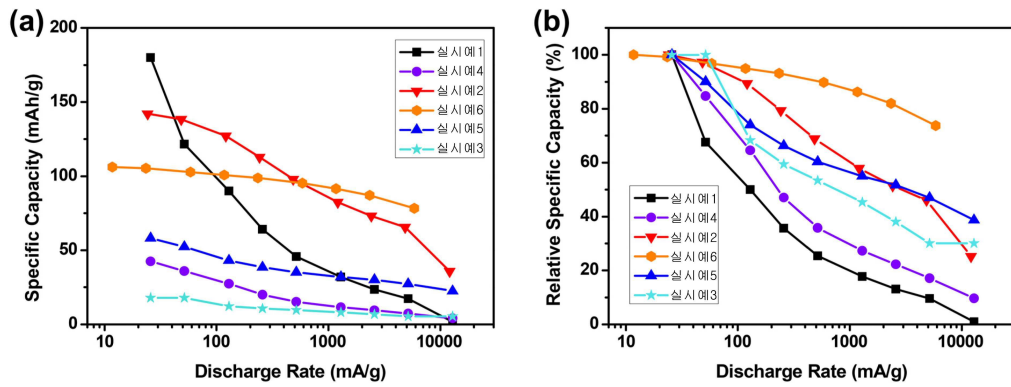
- [0057] 실시 예 1의 전극은 초기 73.6%의 활성화율로 높은 방전용량을 나타내지만, 충·방전이 진행됨에 따라 전해질로의 용해가 진행되어 급격한 용량감소를 보여준다. 실시 예 2의 전극은 초기 55.1%의 활성화율로 134 mAh/g의 방전용량을 보여주지만, 충·방전이 진행됨에 따라 점점 용량이 늘어나며 25번째 사이클에서 최대 164 mAh/g까지 활성화된다. 특히, 실시 예 6의 전극은 91.1%의 활성화율로 배트 염료 전극 중 가장 높은 활성화율을 보여주며 비 용량 감소 없이 가장 안정적인 충·방전을 보여준다. 반면, 실시 예 4의 전극과 실시 예 5의 전극은 50% 이하의 활성화율을 보여준다. 그러나 실시 예 3의 전극은 10% 미만의 활성화율로 거의 충·방전이 일어나지 않는 것을 알 수 있다.
- [0058] **시험 예 2 출력 특성 평가 시험**
- [0059] 실시 예 1 내지 6에서 제조된 리튬 이차 전지의 출력 특성을 평가하였고, 그 결과를 도 2에 나타내었다.
- [0060] 이때, 도 2에서 (a)의 그래프는 방전속도에 따른 각 전극의 방전 비 용량을 보여주며, (b)의 그래프는 각 방전 속도에서 각 전극의 방전 비 용량이 최대 비 용량대비 몇%인지 보여준다. 도 2를 참조하면, 실시 예 6에서 제조된 리튬 이차 전지의 경우 높은 방전속도에서도 다른 전지에 비하여 고유의 비 용량을 잘 유지하고 있음을 알 수 있다. 특히, 실시 예 1 및 실시 예 2에서 제조된 리튬 이차 전지의 경우 낮은 방전속도에서는 실시 예 6의 전지보다 우수한 방전 비 용량을 나타내지만, 높은 속도에서는 급격한 방전 비 용량 감소를 보이는 것을 알 수 있다.
- [0061] **시험 예 3 염료 구조체**
- [0062] 상기 화학식(I) 내지 (VI)의 화합물과 실시 예 1 내지 6에서 제조된 전극 표면을 각각 전자 주사 현미경(SEM)으로 관찰하였고, 그 결과를 도 3 및 도 4에 나타내었다.
- [0063] 도 3에서 (a) 내지 (c)는 실시 예 1 내지 3에서 쓰인 배트 염료 전극 활물질의 표면 SEM 사진이며, 각각 그 아래의 (g) 내지 (i)은 실시 예 1 내지 3에서 제조된 전극 표면의 SEM 사진이다. 또, 도 4에서 (d) 내지 (f) 실시 예 4 내지 6에서 쓰인 배트 염료 전극 활물질의 표면 SEM 사진이며, 각각 그 아래의 (j), (k), (l)은 실시 예 4 내지 6에서 제조된 전극 표면의 SEM 사진이다.
- [0064] 도 3 및 도 4를 참조하면 배트 염료의 분자 구조에 따라 자기조립에 의해 서로 다른 나노구조체를 형성하는 것을 알 수 있다. 이 중, 실시 예 1 및 실시 예 3의 경우 10마이크로미터 이상의 큰 구조체를 형성한다. 반면 실시 예 2 및 실시 예 6의 경우 사진에서 알 수 있듯이 단축 방향으로 수 십 나노미터의 길이를 갖고, 장축 방향으로 수 십 나노미터 내지 수 십 마이크로미터의 길이를 갖는 나노선 형태의 나노구조체를 형성하며, 표면적이 극대화되어 실시 예에 따른 전극 제조 시 도전재와 매우 고르게 섞여 전극을 형성하고 있음을 알 수 있다.
- [0065] 도 1 내지 4를 종합적으로 참조하여 볼 때, 작은 나노구조체를 형성할수록 전극활물질이 가진 이론 비 용량에 가까운 비 용량이 실제 이차 전지에서 활성화됨을 알 수 있다. 또한, 작은 나노구조체의 형성이 도전재와 고른 혼합체를 형성하고, 비 표면적을 넓혀 주어 전해액과 접촉면적을 넓혀줌으로써 빠른 속도의 충·방전에서도 고유의 비용량을 유지할 수 있게 함을 알 수 있었다.
- [0066] 반면, 실시 예 3과 같이 이차결합이 가능한 수소결합 기능단이 많은 경우, 강한 자기조립 특성으로 매우 큰 마이크로미터 크기의 구조체를 형성하므로, 도전재와 불균일하게 섞인 전극이 형성됨으로써 매우 낮은 용량 활성화율과 낮은 출력 특성을 보여주게 된다.
- [0067] 도 5는 본 발명의 몇 실시 예의 화합물의 전기화학적 거동을 나타낸 것으로, 실시 예 6의 화합물이 이차전지 전극 활물질로 우수한 후보가 될 수 있음을 알 수 있고, 이는 위의 실시 예 및 시험 예에서 입증된바와 일치한다.
- [0068] 도 6은 본 발명의 실시 예에서 제조된 리튬 이차 전지의 사이클 성능을 충·방전 사이클에 따른 비용량 변화로 나타낸 것이다. 도 6에서 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 실시 예 2와 실시 예 6의 화합물은 매우 빠른 속도의 충·방전에도 고유의 용량을 유지할 수 있는 고출력의 이차 전지를 제공할 수 있다.

도면

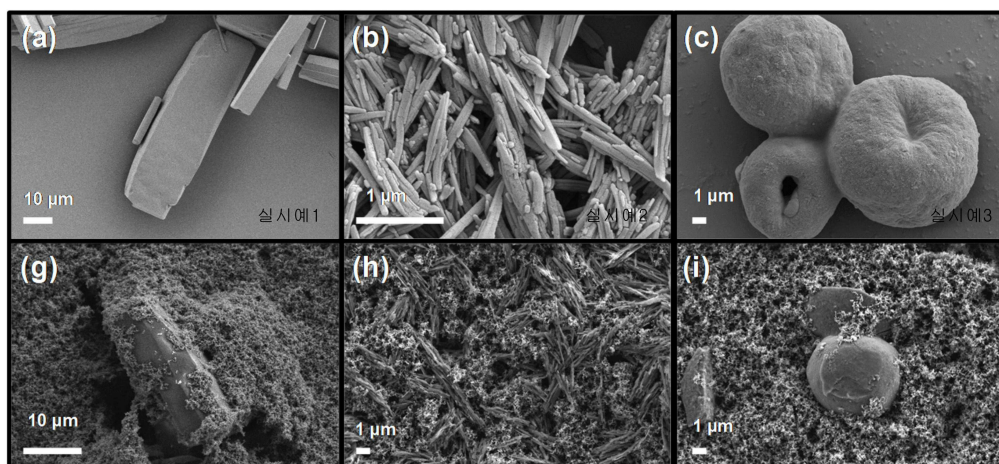
도면1



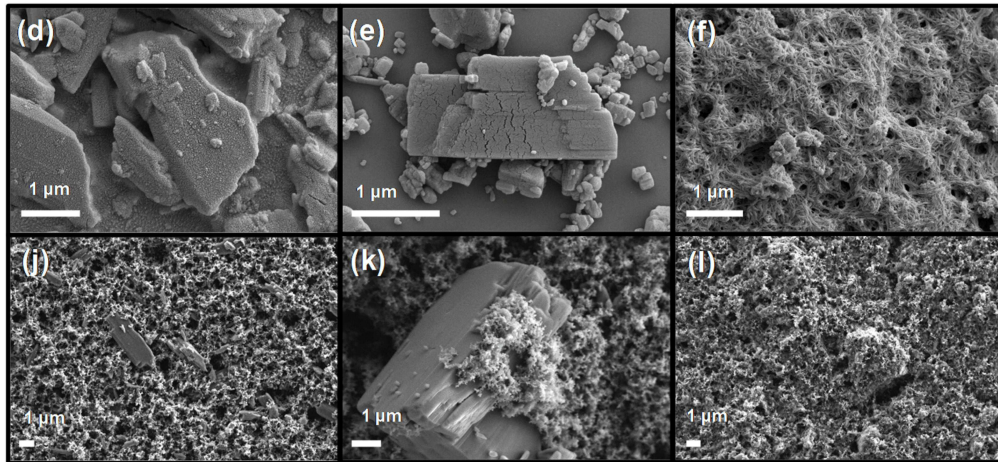
도면2



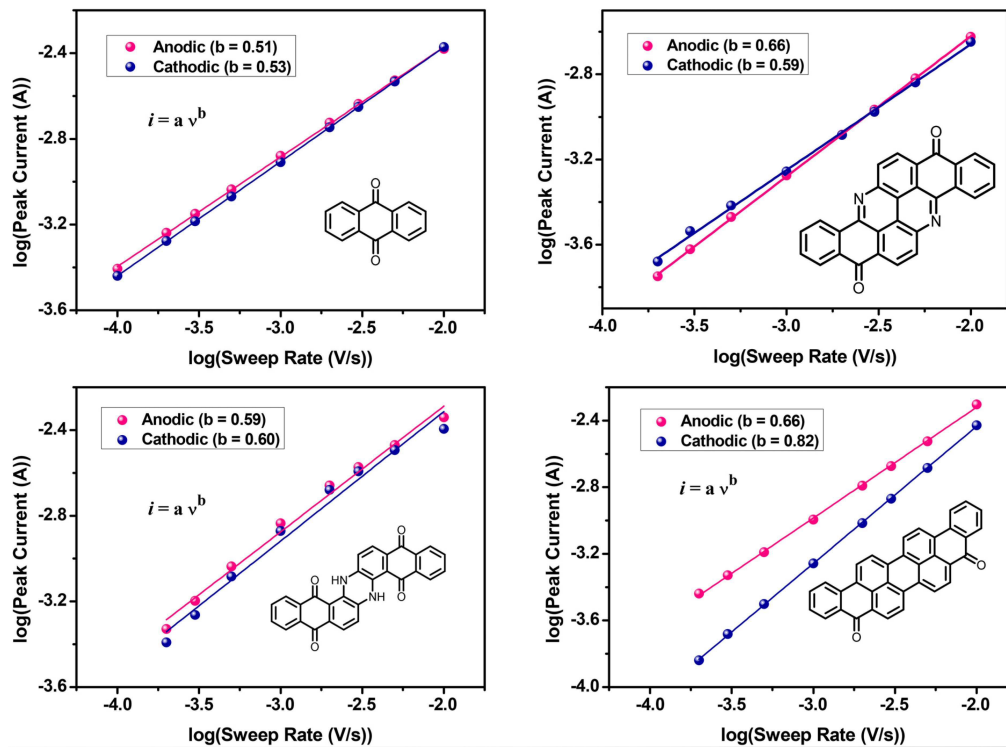
도면3



도면4



도면5



도면6

