(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0113884
(43) 공개일자 2024년07월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/1391 (2010.01) *H01M 10/052* (2010.01)
H01M 4/1395 (2010.01) *H01M 4/38* (2006.01)
H01M 4/587 (2010.01) *H01M 4/62* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01M 4/1391 (2013.01)
H01M 10/052 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-0092151(분할)
(22) 출원일자 2024년07월12일
심사청구일자 2024년07월12일
(62) 원출원 특허 10-2018-0036387
원출원일자 2018년03월29일
심사청구일자 2021년03월05일

(71) 출원인
현대자동차주식회사
서울특별시 서초구 헌릉로 12 (양재동)
기아 주식회사
서울특별시 서초구 헌릉로 12 (양재동)
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 갯벌로 27, 인천대학교 이노베이션센터(송도동)
(72) 발명자
오승민
경기도 화성시 남양읍 현대연구소로 150
여열매
경기도 화성시 남양읍 현대연구소로 150
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인세림

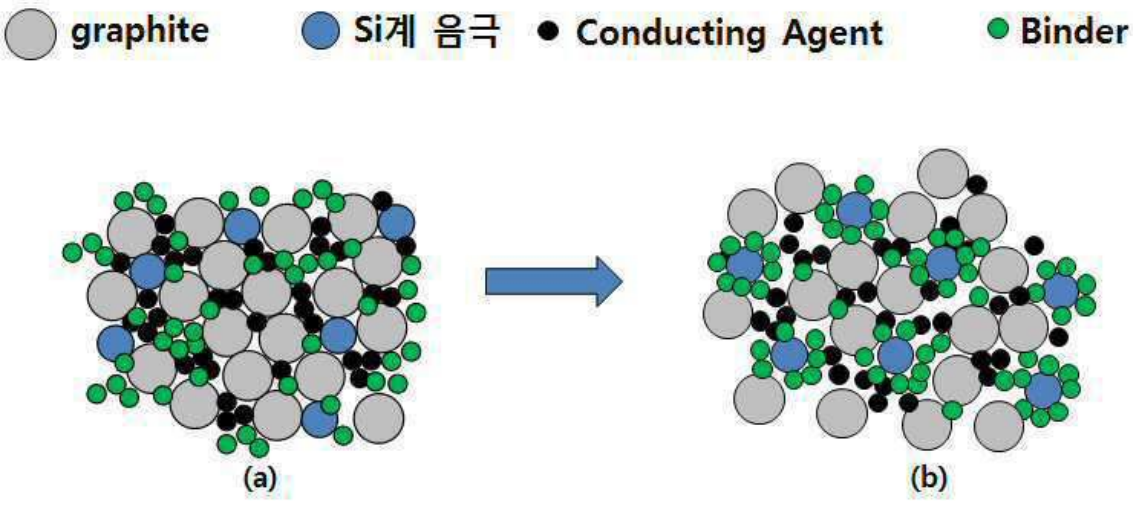
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 **리튬 이차전지 및 그 제조방법**

(57) 요 약

개시된 실시예는 헤파린 또는 LiPAA(Lithium polyacrylate)를 포함하는 음극용 바인더를 사용하여 출력특성, 수명특성 및 전극접착 안정성이 향상된 리튬 이차전지를 제공하고자 한다. 개시된 실시예에 따른 리튬 이차전지는 양극; 음극; 상기 양극 및 음극 사이에 위치하는 분리막; 및 전해질;을 포함하고, 상기 음극은 실리콘계 물질 및 흑연을 포함하는 전극활물질, 바인더 및 도전재를 포함하고, 상기 바인더는 헤파린 및 LiPAA(Lithium polyacrylate) 중 어느 하나를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01M 4/1395 (2013.01)
H01M 4/386 (2013.01)
H01M 4/587 (2013.01)
H01M 4/621 (2013.01)
H01M 4/625 (2013.01)
Y02E 60/10 (2020.08)

(72) 발명자
고기석
경기도 화성시 남양읍 현대연구소로 150
이윤성
경기도 화성시 남양읍 현대연구소로 150
김태현
인천광역시 연수구 컨벤시아대로130번길 32(송도동, 송도자이하버뷰2단지아파트) 203동 1101호
문준영
인천광역시 연수구 컨벤시아대로42번길 77 (송도동, 더샵 엑스포) 903동 1204호
고낙규
경기도 고양시 일산동구 숲속마을1로 115 (풍동, 숲속마을8단지아파트) 808동 302호

명 세 서

청구범위

청구항 1

실리콘 계열 물질을 포함하는 전극활물질 및 바인더에 대해 볼밀 장치(ball mill device)를 이용하여 1차 밀링(milling)을 수행하고;

상기 밀링이 수행된 전극활물질 및 바인더 복합체에 도전재를 추가하여 상기 볼밀 장치를 이용하여 2차 밀링을 수행하고;

상기 2차 밀링을 통해 획득된 전극활물질, 바인더 및 도전제 복합체에 열처리를 수행하는 것;을 포함하여 제조되며,

상기 바인더는 상기 바인더는 Carboxymethyl cellulose(CMC) 또는 Styrene-butadiene Rubber(SBR)과 도파민이 중합된 해파린이 혼합된 바인더를 포함하는 리튬 이차전지의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

1차 밀링을 수행하는 것은,

상기 전극활물질 및 바인더를 상기 볼밀장치에 투입하고;

ZrO_2볼 및 파우더가 20:1(wt%) 비율로 혼합된 혼합제를 상기 볼밀 장치에 투입하고;

500rpm의 회전속도로 1시간동안 밀링을 수행하는 공정을 30분의 휴식시간을 두고 3회 반복하는 것;을 포함하는 리튬 이차전지의 제조방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 열처리를 수행하는 것은,

300℃에서 1시간동안 아르곤(Ar) 분위기에서 열처리를 수행하는 것;을 포함하는 리튬 이차전지의 제조방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 도전재는 카본블랙 및 기상법 탄소섬유(VGCF(Vapor Grown Carbon Fiber) 중 적어도 하나를 포함하는 리튬 이차전지의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 리튬 이차전지에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 리튬 이차전지는 전기 활성 물질을 수용함으로써 납전지나 니켈/카드뮴전지에 비해 작동 전압이 높고 에너지 밀도가 크다. 이에 따라, 리튬 이차전지는 전기자동차(Electric Vehicle, EV), 하이브리드 전기차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)의 에너지 저장수단으로 사용되고 있다.

[0003] 전기자동차의 주행거리 향상을 위해 전지 에너지 고밀도화가 요구되고 있고, 이를 달성하기 위해서는 사용되는 소재의 에너지밀도가 향상되어야 한다. 현재는 Ni, Co, Mn계열 양극소재 및 흑연 음극을 사용한 리튬 이차전지

가 개발되고 있으나, 에너지밀도의 한계성을 극복하기 위해 이를 대체할 만한 소재들이 개발되고 있다. 그 중 실리콘의 경우 4000mAh/g이 넘는 용량으로 기존 흑연 (360mAh/g)대비 높은 에너지밀도를 가지고 있어 이를 개발하는 것이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 개시된 실시예는 헤파린 또는 LiPAA(Lithium polyacrylate)를 포함하는 음극용 바인더를 사용하여 출력특성, 수명특성 및 전극접착 안정성이 향상된 리튬 이차전지를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 개시된 실시예에 따른 리튬 이차전지는 양극; 음극; 상기 양극 및 음극 사이에 위치하는 분리막; 및 전해질;을 포함하고, 상기 음극은 실리콘계 물질 및 흑연을 포함하는 전극활물질, 바인더 및 도전재를 포함하고, 상기 바인더는 헤파린 및 LiPAA(Lithium polyacrylate) 중 어느 하나를 포함한다.

[0006] 또한, 상기 실리콘계 물질은 50nm이상 10um미만의 크기를 가질 수 있다.

[0007] 또한, 상기 음극은 상기 바인더를 1wt% 이상 50wt% 미만으로 포함할 수 있다.

[0008] 또한, 상기 도전재는 카본블랙 및 기상법 탄소섬유(VGCF(Vapor Grown Carbon Fiber) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0009] 또한, 상기 음극은 상기 도전재와 바인더를 1:1 내지 1:10의 비율로 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 바인더는 도파민이 중합된 헤파린을 더 포함할 수 있다.

[0011] 개시된 실시예에 따른 리튬 이차전지의 제조방법은 실리콘 계열 물질을 포함하는 전극활물질 및 바인더에 대해 볼밀 장치(ball mill device)를 이용하여 1차 밀링(milling)을 수행하고; 상기 밀링이 수행된 전극활물질 및 바인더 복합체에 도전재를 추가하여 상기 볼밀 장치를 이용하여 2차 밀링을 수행하고; 상기 2차 밀링을 통해 획득된 전극활물질, 바인더 및 도전제 복합체에 열처리를 수행하는 것;을 포함한다.

[0012] 또한, 1차 밀링을 수행하는 것은, 상기 전극활물질 및 바인더를 상기 볼밀장치에 투입하고; ZrO_2볼 및 파우더가 20:1(wt%) 비율로 혼합된 혼합제를 상기 볼밀 장치에 투입하고; 500rpm의 회전속도로 1시간동안 밀링을 수행하는 공정을 30분의 휴식시간을 두고 3회 반복하는 것;을 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 열처리를 수행하는 것은, 300℃에서 1시간동안 아르곤(Ar) 분위기에서 열처리를 수행하는 것;을 포함할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 도전재는 카본블랙 및 기상법 탄소섬유(VGCF(Vapor Grown Carbon Fiber) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 바인더는 헤파린, LiPAA(Lithium polyacrylate) 및 도파민이 중합된 헤파린 중 어느 하나를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 개시된 실시예에 따른 바인더는 우수한 출력특성 및 수명특성과 우수한 전극접착 안정성을 제공할 수 있다.

[0017] 또한, 개시된 실시예에 따른 바인더는 흑연과 실리콘 복합전극의 실리콘의 부피 팽창을 억제할 수 있다.

[0018] 또한, 개시된 실시예에 따른 바인더는 리튬이온의 이온전도도를 상승시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 개시된 실시예에 따른 음극을 도시한다.

도 2는 개시된 실시예에 따른 음극의 충방전시 변화를 개념적으로 도시한다.

도 3은 개시된 실시예에 따른 음극의 사이클 성능 프로파일을 도시한다.

도 4는 개시된 실시예에 따른 음극의 방전 사이클 성능을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다. 본 명세서가 실시 예들의 모든 요소들을 설명하는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 일반적인 내용 또는 실시 예들 간에 중복되는 내용은 생략한다.

[0021] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0022] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 예외가 있지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

[0023] 이하에서는 본 발명에 따른 실시예를 첨부된 도면 및 표를 참조하여 상세히 설명한다. 우선 리튬 이차전지에 대해 설명한 후, 개시된 실시예에 따른 바인더에 대해 설명한다.

[0024] 리튬 이차전지는 일반적으로, 양극, 음극, 분리막 및 전해질을 포함한다. 전극 구조체를 이루는 양극, 음극 및 분리막은 리튬 이차전지 제조에 통상적으로 사용되던 것들이 모두 사용될 수 있다.

[0025] 전극은 전극 활물질 및 개시되는 실시예에 따른 바인더를 포함한다. 구체적으로는 개시된 실시예에 따른 전극은 전극 집전체 위에 전극 활물질, 바인더 및 용매, 도전재를 혼합한 전극 슬러리를 일정 두께로 도포한 후, 그것을 건조 및 압연하여 형성될 수 있다. 개시된 실시예에 따른 바인더는 음극용 바인더로 구체적인 내용은 후술된다.

[0026] 음극 제조에 사용되는 음극 활물질은 리튬 이온을 삽입 및 탈리할 수 있는 음극활물질이면 어느 것이나 가능하다. 음극 활물질은 리튬을 가역적으로 흡장, 탈리할 수 있는 물질과, 리튬과 합금화가 가능한 금속물질 및 이들의 혼합물로 이루어진 군에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 조합으로 이루어질 수 있다.

[0027] 리튬을 가역적으로 흡장, 탈리할 수 있는 물질로는 인조흑연, 천연흑연, 흑연화탄소 섬유, 흑연화 메조카본 마이크로비드, 플러렌(fullerene) 및 비정질탄소로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 물질이 예시될 수 있다.

[0028] 비정질탄소로는 하드카본, 코크스, 1500℃ 이하에서 소성한 MCMB, MPCF 등이 있다. 또한, 리튬과 합금화가 가능한 금속은 Al, Si, Sn, Pb, Zn, Bi, In, Mg, Ga, Cd, Ni, Ti, Mn 및 Ge로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 하나의 금속이 예시될 수 있다. 이들 금속 재료는 단독 또는 혼합 또는 합금화하여 사용될 수 있다. 또한, 상기 금속은 탄소계 물질과 혼합된 복합물로써 사용될 수 있다.

[0029] 개시된 실시예에 따르면, 음극 활물질은 전술한 흑연계 음극활물질과 실리콘(Si)계 음극 활물질의 복합체를 포함한다. 실리콘계 음극 활물질은 고용량이나, 충방전시 과도하게 팽창하여 바인더의 접착력에 영향을 미쳐, 수명특성이 낮아지는 문제점이 있다. 그러나, 개시된 실시예에 따른 바인더는 전술한 문제를 해결하여, 출력특성, 수명특성 및 전극접착 안정성이 우수한 리튬 이온 전지를 제공할 수 있다.

[0030] 실리콘계 음극 활물질은, 실리콘 산화물, 실리콘 입자 및 실리콘 합금 입자 등을 포함하는 의미이다. 상기 합금의 대표적인 예로는 실리콘 원소에 알루미늄(Al), 망간(Mn), 철(Fe), 티타늄(Ti) 등의 고용체, 금속간 화합물, 공정합금 등을 들 수 있지만, 이들에 한정되는 것은 아니다.

[0031] 개시된 실시예에 따른 양극 제조시 사용되는 양극 활물질은, 리튬의 가역적인 인터칼레이션 및 디인터칼레이션이 가능한 화합물을 포함한다. 구체적으로 양극활물질은 코발트, 망간, 니켈, 및 이들의 조합으로부터 선택되는 금속과 리튬과의 복합 산화물 중 1종 이상의 것이 사용될 수 있다.

[0032] 개시된 실시예에 따른 전극에는 전술한 전극 활물질과 바인더 이외에도, 첨가제로서 분산매, 도전재, 점도 조절제, 충진제 등의 기타의 성분들이 더 포함될 수 있다.

[0033] 분리막은 양극 및 음극 사이의 단락을 방지하고 리튬 이온의 이동통로를 제공한다. 이러한 분리막은 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리에틸렌/폴리프로필렌, 폴리에틸렌/폴리프로필렌/폴리에틸렌, 폴리프로필렌/폴리에틸렌/폴리프로필렌 등의 폴리올레핀계 고분자막 또는 이들의 다중막, 미세다공성 필름, 직포 및 부직포와 같은 공지된 것이 사용될 수 있다. 또한 다공성의 폴리올레핀 필름에 안정성이 우수한 수지가 코팅된 필름이 사용될 수도 있다. 전해질로서 폴리머 등의 고체 전해질이 사용되는 경우에는 고체 전해질이 분리막을 겸할 수도 있다.

[0034] 전해질은 리튬염과 비수성 유기 용매를 포함하며, 충방전 특성 개량, 과충전 방지 등을 위한 첨가제를 더 포함

할 수 있다. 상기 리튬염으로는, 예를 들면, $LiPF_6$, $LiBF_4$, $LiClO_4$, LiCl, LiBr, LiI, $LiB_{10}Cl_{10}$, $LiCF_3SO_3$, $LiCF_3CO_2$, $LiAsF_6$, $LiSbF_6$, $LiAlCl_4$, CH_3SO_3Li, CF_3SO_3Li, $LiN(SO_2C_2F_5)_2$, $Li(CF_3SO_2)_2N$, $LiC_4F_9SO_3$, $LiB(C_6H_5)_4$, $Li(SO_2F)_2N$ (LiFSI) 및 $(CF_3SO_2)_2NLi$로 이루어진 군에서 선택되는 1종 또는 2종 이상이 혼합되어 사용될 수 있다.

[0035] 상기 비수성 유기용매로는 카보네이트, 에스터, 에테르 또는 케톤을 단독 또는 혼합하여 사용할 수 있다. 상기 카보네이트로는 디메틸 카보네이트(DMC), 디에틸 카보네이트(DEC), 디프로필 카보네이트(DPC), 메틸프로필 카보네이트(MPC), 에틸프로필 카보네이트(EPC), 에틸메틸 카보네이트(EMC) 에틸렌 카보네이트(EC), 프로필렌 카보네이트(PC), 부틸렌 카보네이트(BC), 플루오로에틸렌 카보네이트(FEC), 비닐렌 카보네이트(VC) 등이 사용될 수 있으며, 상기 에스터로는 γ-부티로락톤(GBL), n-메틸 아세테이트, n-에틸 아세테이트, n-프로필 아세테이트 등이 사용될 수 있으며, 상기 에테르로는 디부틸 에테르 등이 사용될 수 있으나 이들에 한정되는 것은 아니다.

[0036] 또한, 상기 비수성 유기 용매는 방향족 탄화수소계 유기 용매를 더 포함할 수 있다. 상기 방향족 탄화수소계 유기 용매의 구체적인 예로는 벤젠, 플루오로벤젠, 브로모벤젠, 클로로벤젠, 사이클로헥실벤젠, 이소프로필벤젠, n-부틸벤젠, 옥틸벤젠, 톨루엔, 자일렌, 메시틸렌 등이 사용될 수 있으며, 단독 또는 혼합하여 사용될 수 있다.

[0037] 이하, 개시된 실시예에 따른 리튬 이차전지의 음극이 구체적으로 설명된다. 이하에서는 특별한 언급이 없는 한 단위는 중량%(wt%)이다.

[0038] 개시된 실시예에 따른 음극의 전극활물질로 사용되는 실리콘 계열 물질은 50nm 이상 10um미만의 크기를 가질 수 있다. 또한, 음극은 바인더를 1~50wt%로 포함할 수 있고, 보다 바람직하게는, 5~30wt%로 포함할 수 있다. 또한, 도전재와 바인더는 1:1 내지 1:10의 비율로 음극에 포함될 수 있다.

[0039] 전극활물질로 사용되는 실리콘 계열 물질은 앞서 설명한 바와 같고, 도전재로는 카본 블랙 또는 기상법 탄소섬유(VGCF(Vapor Grown Carbon Fiber)가 사용될 수 있다.

[0040] 개시된 실시예에 따른 바인더로는, Heparin, Dopamine이 중합된 Heparin 및 LiPAA(Lithium polyacrylate)이 사용될 수 있다.

[0041] 개시된 실시예에 따른 리튬 이차전지는 음극으로 흑연과 실리콘 복합체를 포함하고, 흑연 및 실리콘 복합체를 포함하는 음극의 접착성 향상을 위해, 흑연계 음극에 사용되는 수계 바인더인 Carboxymethyl cellulose(이하 CMC)/ Styrene-butadiene Rubber(이하 SBR)과 실리콘계 음극의 접착강도 및 부피팽창 억제를 위한 전술한 Heparin, Dopamine이 중합된 Heparin 및 LiPAA(Lithium polyacrylate)와 같은 고분자 바인더가 혼합된 바인더를 포함한다.

[0042] 개시된 실시예에 따른 리튬 이차전지는 에너지 밀도의 증가를 위해 흑연보다 에너지 밀도가 높은 실리콘을 음극 재료로 포함한다. 그러나 실리콘은 충방전 과정에서 부피가 팽창하는 문제가 있다. 실리콘의 경우 $Li_{4.4}Si$까지 충전이 될 경우, 그 부피가 약 4배까지 팽창하게 되는데, 이는 전극의 탈리 및 크랙을 발생시키고, 전극의 수명뿐만 아니라 안정성까지 위협하는 요소로 작용할 수 있다. 이에 개시된 실시예는 전술한 것처럼, CMC/SBR과 함께 헤파린이나 도파민이 중합된 헤파린 또는 LiPAA를 바인더로 포함하여, 실리콘의 부피팽창을 억제함으로써 흑연과 실리콘의 복합체를 음극으로 포함하는 리튬 이차전지를 제공한다.

[0043] 헤파린은 CMC와 수소결합 또는 공유결합을 할 수 있는 사이트들이 다수 존재하며, 이는 가교제의 역할을 수행할 수 있다. 또한, SO_3^- 작용기는 리튬 이온의 전달을 도울 수 있는 장점이 있다. 또한, 도파민의 카테콜 작용기는 실리콘 소재와의 강한 접착력을 지니고 있으므로, 도파민을 헤파린에 중합함으로써, 물리적으로 향상된 접착력이 제공될 수 있다. 또한, LiPAA의 Li+ 작용기도 실리콘과 도전재 간의 리튬 이온 전도도 향상에 기여할 수 있다.

[0044] 이하, 개시된 실시예에 따른 실리콘, 바인더 및 도전재 복합체를 제조하는 방법을 포함하는 리튬 이차전지의 전극의 제조방법이 설명된다.

[0045] <실시예1>

[0046] 실시예 1은 실리콘, 바인더 및 도전재 복합체를 제조하기 위해, 에탄올에 분산된 실리콘 산화물과 LiPAA를 볼밀 장치(ball mill device)에 투입하고, ZrO_2볼 및 파우더가 20:1(wt%) 비율로 혼합된 혼합제를 볼밀 장치에 투입한다. 실리콘 산화물과 바인더가 볼과 함께 볼밀 장치에 투입되면, 볼밀 장치는 500rpm의 속도로 1시간 동안 밀

링을 수행하고 30분 휴식시간을 갖는 공정을 3회 반복한다. 3회에 걸쳐 이루어지는 1차 밀링 공정이 완료되면, 카본블랙을 추가적으로 투입하여 2차 밀링 공정을 수행한다. 2차 밀링 공정 또한 1차 밀링 공정과 동일한 방식으로 수행될 수 있다. 2차 밀링 공정을 거친 후 획득되는 실리콘, 바인더 및 도전재 복합 파우더를 300℃에서 1시간동안 아르곤(Ar) 분위기에서 열처리를 수행하여, 최종 파우더를 획득할 수 있다.

[0047] <실시예 2>

[0048] 실시예 2는 실시예 1에 따라 합성된 최종 파우더를 이용하여 음극을 제조한다. 음극은 전극활물질, 도전재 및 바인더의 비율이 94:3:3이 되도록 마련될 수 있고, 전극활물질은 그래파이트(graphite)와 실리콘 산화물의 비율이 91.5:8.5가 되도록 마련될 수 있다. 도전재의 경우, 기상법 탄소섬유가 포함된 경우, 기상법 탄소섬유과 카본블랙이 1:1의 비율로 포함될 수 있고, 기상법 탄소섬유가 포함되지 않은 경우, 카본블랙만 포함될 수 있다. 바인더는CMC와SBR이 1:1의 비율로 포함될 수 있다. 전술한 비율로 마련된 전극활물질, 도전재 및 바인더는 증류수에 분산되어 슬러리로 준비될 수 있고, 집전체인 구리 호일에 상기 전극 슬러리가 도포될 수 있다. 전극 슬러리가 도포된 후 건조 과정을 거쳐 리튬 이차전지용 음극이 제조될 수 있다.

[0049] 도 1은 개시된 실시예에 따른 음극을 도시하고, 도 2는 개시된 실시예에 따른 음극의 충방전시 변화를 개념적으로 도시한다.

[0050] 도 1 및 도 2의 (a)에 도시된 것처럼, 기존의 실리콘-그래파이트 복합음극의 경우, 바인더의 분포가 균일한 것을 알 수 있다. 그러나, 기존 그래파이트 음극의 경우 충방전 과정에서 부피 팽창이 크지 않아 바인더 및 도전재 비율을 낮게 가져가도 문제가 없었던 반면, 실리콘 계열 음극은 충방전시 부피팽창과 낮은 전도성으로 인해 바인더 및 도전재의 비율이 높을 필요가 있었다.

[0051] 이에 개시된 실시예에 따른 음극은, 부피 변화가 큰 실리콘 계열 소재에 볼 밀링 공정을 통해 도전재 및 바인더를 집중함으로써, 같은 양의 바인더를 사용하는 조건에서 기존의 음극에 비해 전극의 수명향상을 도모할 수 있었다. 도 1 및 도 2의 (b)를 보면, 바인더가 실리콘 계열 소재에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있다.

[0052] 도 2의 (a)를 보면, 기존의 음극의 경우, 충방전 과정에서 실리콘 계열 물질(c)이 전자 전달 단절로 용량을 발현하지 못하는 데드 파티클(c)(dead particle)이 될 수 있었으나, 개시된 실시예에 따른 음극을 도시한 도 2의 (b)를 보면, 실리콘 계열 물질 주변에 바인더를 집중시킴으로써, 그러한 문제를 해결할 수 있었다.

[0053] 도 3은 개시된 실시예에 따른 음극의 사이클 성능 프로파일을 도시하고, 도 4는 개시된 실시예에 따른 음극의 방전 사이클 성능을 도시한다.

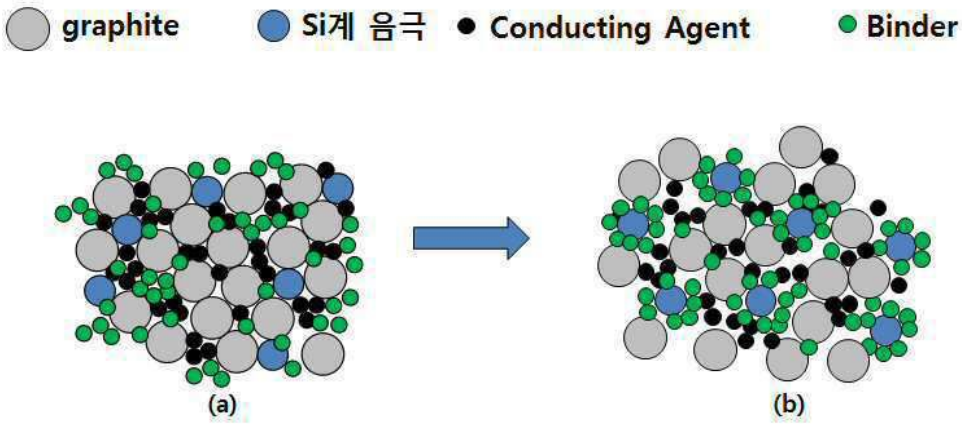
[0054] 도 3에 도시된 것처럼, 실시예 2에 따른 비율을 갖는 음극 중 기상법 탄소섬유를 도전재로 포함하는 음극(BM w VGCF)과 카본블랙을 도전재로 포함하는 음극(BM w Super-P)이 다른 제조조건에 따라 제조된 음극에 비해 가장 안정적인 성능을 보여준다.

[0055] 도 6은 0.5C 내지 20C 범위의 방전 C 레이트에서 음극의 방전 사이클 성능을 나타내는데, 도 6에 도시된 것처럼, 실시예 2에 따른 비율을 갖는 음극 중 기상법 탄소섬유를 도전재로 포함하는 음극(BM w VGCF)과 카본블랙을 도전재로 포함하는 음극(BM w Super-P)이 다른 제조조건에 따라 제조된 음극에 비해 우수한 rate performance를 보여준다.

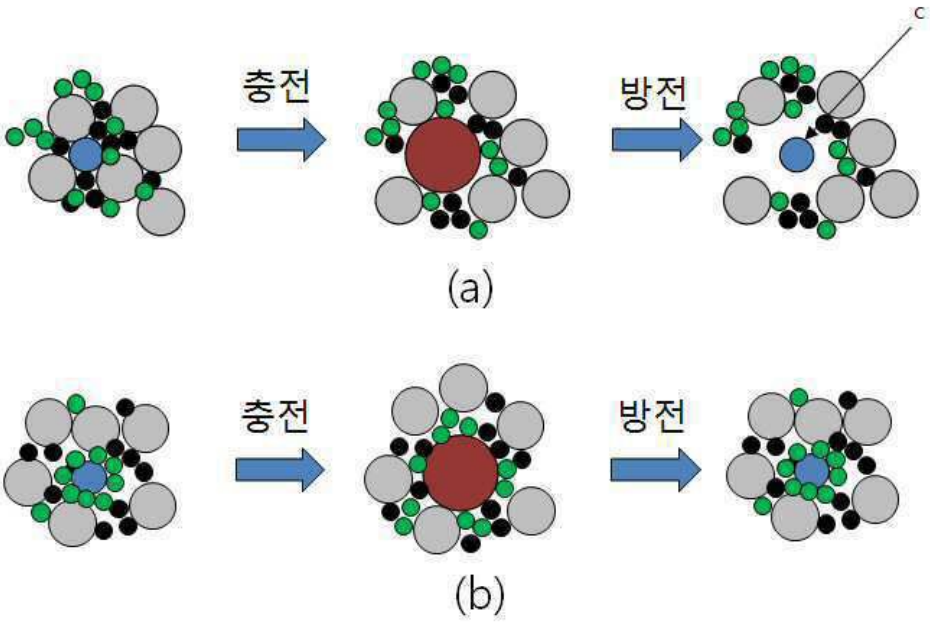
[0056] 이상에서와 같이 첨부된 도면을 참조하여 개시된 실시 예들을 설명하였다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고도, 개시된 실시예들과 다른 형태로 본 발명이 실시될 수 있음을 이해할 것이다. 개시된 실시예들은 예시적인 것이며, 한정적으로 해석되어서는 안 된다.

도면

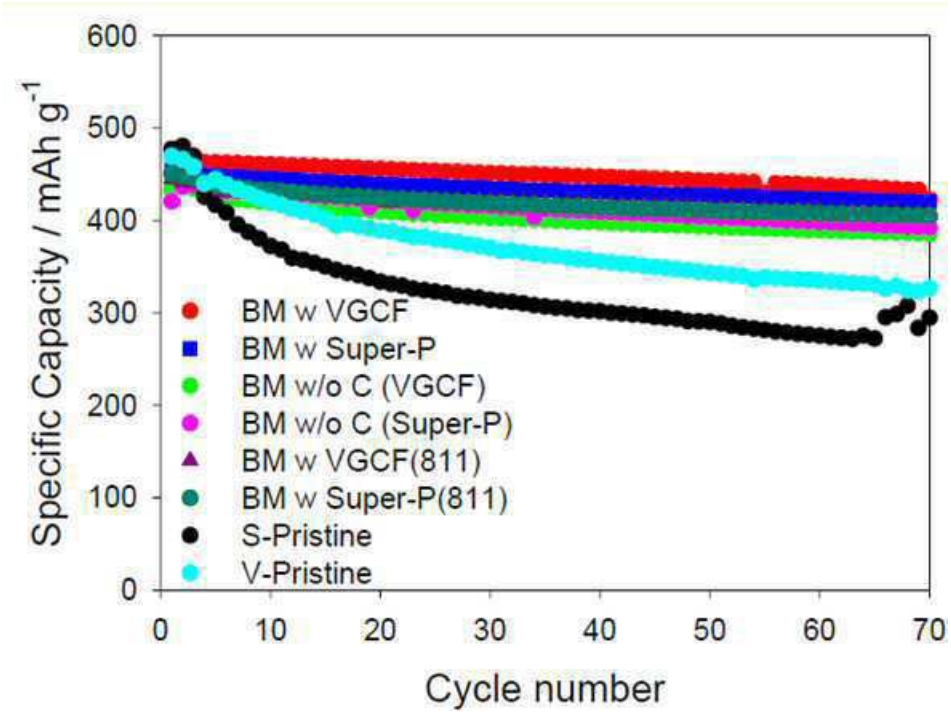
도면1



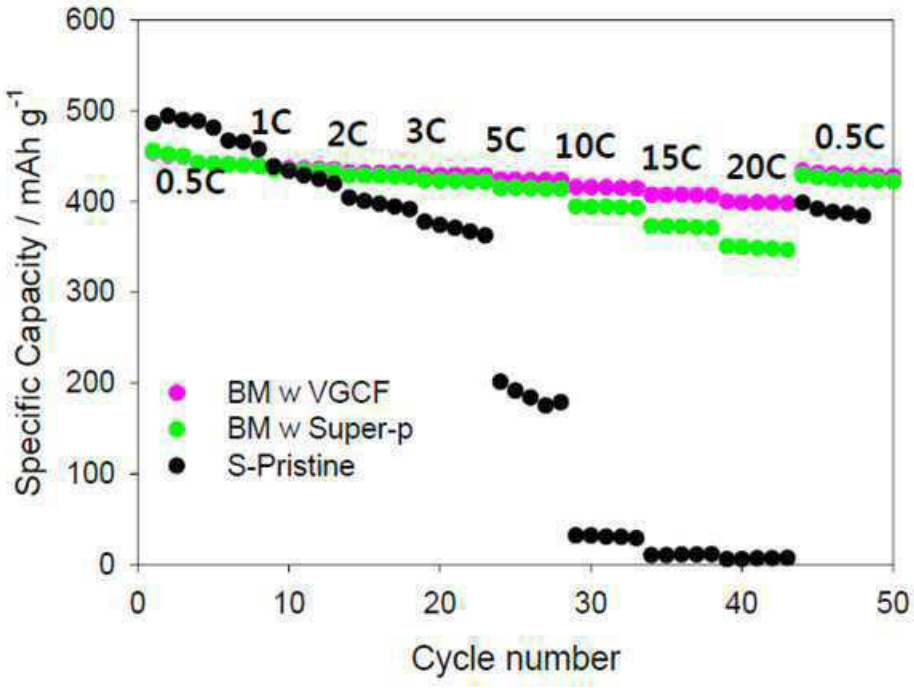
도면2



도면3


Specific Capacity / mAh g-1
Cycle number
BM w VGCF
BM w Super-P
BM w/o C (VGCF)
BM w/o C (Super-P)
BM w VGCF(811)
BM w Super-P(811)
S-Pristine
V-Pristine

도면4


Specific Capacity / mAh g-1
Cycle number
1C
2C
3C
5C
10C
15C
20C
0.5C
0.5C
BM w VGCF
BM w Super-p
S-Pristine