(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0010373
(43) 공개일자 2015년01월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/58 (2015.01)
(21) 출원번호 10-2013-0085327
(22) 출원일자 2013년07월19일
심사청구일자 2013년07월19일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
명승택
서울 광진구 능동로 209, 광개토관 626호 (군자동, 세종대학교)
박재상
서울 광진구 능동로 209, 광개토관 706호 (군자동, 세종대학교)
(74) 대리인
특허법인이상

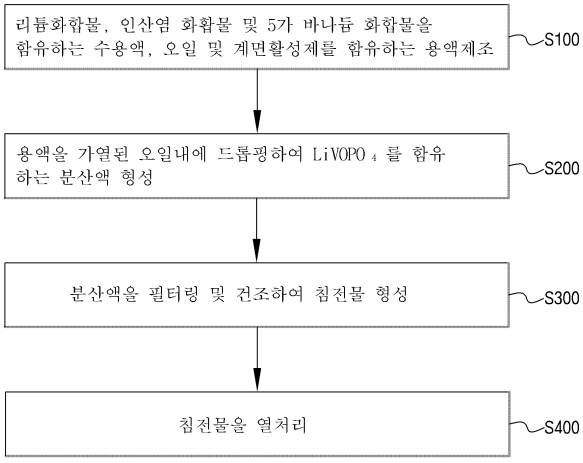
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **$LiVOPO_4$ 를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 $LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 올리빈 구조를 갖는$LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질을 제공함에 따라 안정적이고 이차전지의 용량 손실을 감소시킨 고용량의 리튬이차전지의 음극활물질 및 제조방법을 제공할 수 있는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345191761

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기후변화대응 기초원천기술개발사업

연구과제명 그린에너지 저장장치를 위한 고용량, 고출력, 고안전성 올리빈계 LiMn1-xFexPO4 양극활물질 개발

기 여 율 1/1

주관기관 강원대학교 산학협력단

연구기간 2012.09.30 ~ 2013.09.29

특허청구의 범위

청구항 1

올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 $LiVOPO_4$는 단일상인 것을 특징으로 하는 리튬 이차 전지용 음극활물질.

청구항 3

리튬 화합물, 인산염 화합물 및 5가 바나듐 화합물을 재료로 에멀젼합성법을 사용하여 올리빈구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 제조하는 단계를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질의 제조방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 제조하는 단계는,

리튬 화합물, 인산염 화합물 및 5가 바나듐 화합물을 함유하는 수용액, 오일 및 계면활성제를 함유하는 용액을 제조하는 단계;

상기 용액을 가열된 오일 내에 드롭핑하여 $LiVOPO_4$를 함유하는 분산액을 형성하는 단계;

상기 분산액을 필터링 및 건조하여 침전물을 형성하는 단계; 및

상기 침전물을 열처리하는 단계를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질의 제조방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 용액을 제조하는 단계에서,

상기 오일 및 계면활성제를 7:5의 비율로 첨가하는 리튬 이차 전지용 음극활물질의 제조방법.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 침전물을 열처리하는 단계는 700℃ 내지 1700℃에서 수행하는 리튬 이차 전지용 음극활물질의 제조방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 리튬 이차 전지용 음극활물질 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 $LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 들어 전 세계적으로 대체 에너지 및 에너지 저장장치에 대한 관심이 급증하고 있다. 그 중에서도 리튬 이차전지는 모바일 기기, 휴대용 장치, 전자기기, 전기자동차(EV, HEV 등) 및 더 나아가 전력저장 장치 등까지 활용분야가 더 넓어져감에 따라 수요가 증가하고 있다.

[0003] 리튬 이차전지의 음극활물질로는 보편적으로 흑연이 사용되고 있다. 하지만, 흑연은 용량이 낮아 새로운 음극활

물질의 개발이 시급한 실정이다.

[0004] 이에 따라, 최근 들어 새로운 음극활물질로 전이금속 산화물이 거론되고 있다. 전이금속 산화물은 흑연의 3배에 달하는 이론용량을 지니고 있어, 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 현재 가장 많이 연구가 되고 있는 물질들은 층상구조를 갖는 물질이다. 층상구조의 물질이 많이 연구가 되고 있는 이유는 구조적 특성 때문이다. 층상구조는 그 구조가 갖는 특수성에 의해 고속 충/방전이 가능한 이점이 있다. 하지만 구조적 안정성이 떨어지고 비가역적인 용량 손실이 발생하게되는 단점이 있다.

[0005] 또한, 리튬 전이금속 산화물을 합성하는 방법으로 주로 고상반응법이 사용되고 있으나, 균일하지 않은 반응 및 조성의 차로 특성의 저하시킬 수 있다. 또한, 졸-겔법을 사용할 경우, 값비싼 금속 알콕시드를 사용해야하고 공기 중의 수분에 민감하여 취급이 어려우며, 단일상의 합성이 어렵고 균질한 혼합용액을 제조하는 데 어려움이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 이에 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위하여 착안된 것으로서, 기존의 낮았던 구조적 안정성을 향상시키고, 비가역적인 용량 손실을 감소시키기 위하여 $LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질을 제공하는 데 그 목적이 있다.

[0007] 또한, 리튬 전이금속 산화물의 균일성을 향상시키고자 리튬 이차 전지용 음극활물질의 제조방법을 제공하는 데 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 일 측면은 $LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질을 제공한다.

[0009] 상기 리튬 이차 전지용 음극활물질은 올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 포함한다. 또한, 상기 $LiVOPO_4$는 단일상인 것을 특징으로 할 수 있다.

[0010] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명의 다른 측면은 $LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질의 제조방법을 제공한다.

[0011] 상기 제조방법은 리튬 화합물, 인산염 화합물 및 5가 바나듐 화합물을 재료로 에멀젼합성법을 사용하여 올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 제조하는 단계를 포함한다. 이때, 상기 올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 제조하는 단계는, 리튬 화합물, 인산염 화합물 및 5가 바나듐 화합물을 함유하는 수용액, 오일 및 계면활성제를 함유하는 용액을 제조하는 단계, 상기 용액을 가열된 오일 내에 드롭핑하여 $LiVOPO_4$를 함유하는 분산액을 형성하는 단계, 상기 분산액을 필터링 및 건조하여 침전물을 형성하는 단계 및 상기 침전물을 열처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 이 때, 상기 용액을 제조하는 단계는 오일 및 계면활성제를 7:5의 비율로 첨가하는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 상기 침전물을 열처리하는 단계는 700℃ 내지 1700℃에서 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0013] 본 발명을 따르면 구조적으로 안정적이고, 이차전지의 비가역적 용량손실이 감소되고, 또한, 균일성이 향상된 고용량의 리튬이차전지의 음극활물질 및 제조방법을 제공할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법을 나타낸 공정흐름도이다.

도 2a는 제조예 4에 따른 $LiVOPO_4$의 리트벨트 구조검증(Rietveld-refinement) 결과 데이터이다.

도 2b은 제조예 4에 따른 $LiVOPO_4$의 리트벨트 구조검증 그래프이다.

도 3는 제조예 1 내지 4에 따른 $LiVOPO_4$의 SEM사진들이다.

도 4은 제조예 4에 따른 $LiVOPO_4$를 전극으로 사용한 반전지의 충/방전 용량그래프이다.

도 5은 제조예 4에 따른 $LiVOPO_4$를 전극으로 사용한 반전지의 율특성을 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 이하, 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0016] 본 발명은 올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 포함하는 리튬 이차 전지용 음극활물질을 제공한다.

[0017] 올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$는 층상계 전극 활물질과는 달리 매우 안정적인 구조를 가지고 있으며, 이는 상기 인산염의 P-O의 강한 결합력으로부터 기인한 것으로 예측되고 있다. 이에 따라, 구조적 안정성 향상되고 가역적인 충/방전 사이클이 가능해질 수 있다.

[0018] 또한, 상기 $LiVOPO_4$을 음극활물질료 사용함에 따라 리튬의 삽입 및 방출 반응시 나타나는 체적변화를 수용하여 초기 쿨롱효율이 향상되고, 이 때 발생하는 음극의 열화가 감소될 수 있다. 이에 따라 이차전지의 수명이 향상되고 안정한 음극을 제공할 수 있다.

[0019] 이 때, 상기 $LiVOPO_4$는 단일상일 수 있다. 상기 $LiVOPO_4$가 단일상일 경우, 재료에 불순물이 포함되지 않아 강도와 같은 재료의 기계적인 특성 및 전기적 성질을 향상시킬 수 있다.

[0020] 본 발명의 리튬 이차 전지용 음극활물질의 제조방법은 리튬 화합물, 인산염 화합물 및 5가 바나듐 화합물을 재료로 에멀젼합성법을 사용하여 올리빈구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 제조하는 단계를 포함한다.

[0021] 상기 에멀젼합성법을 사용하여 $LiVOPO_4$를 제조할 경우, 제조공정을 간소화시킬 수 있고, 에멀젼을 형성시킴에 따라 사용되는 재료들의 용해도 차이로 발생하는 재료의 불균일을 막을 수 있다. 때문에 미세하고 균일한 $LiVOPO_4$를 제공할 수 있다.

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 제조방법을 나타낸 공정흐름도이다.

[0023] 도 1을 참조하면, 상기 올리빈 구조를 갖는 $LiVOPO_4$를 제조하는 단계는 먼저, 리튬 화합물, 인산염 화합물 및 5가 바나듐 화합물을 함유하는 수용액, 오일 및 계면활성제를 함유하는 용액을 제조한다(S100).

[0024] 이 때, 상기 계면활성제는 상기 에멀젼 용액 내에 있는 상기 화합물들의 분산을 활성화한다. 상기 오일로는 등유(kerosene), 계면활성제로는 폴리옥시에틸렌 솔비탄 트리올에이트(tween #85, Polyoxyethylene sorbitan trioleate)를 사용할 수 있으나 이에 한정되지 않는다.

[0025] 또한, 상기 리튬 화합물로는 $LiNO_3$, $LiPF_6$, $LiBF_4$, $LiSbF_6$, $LiAsF_6$, $LiClO_4$, $LiCF_3SO_3$, $Li(CF_3SO_2)_2N$, $LiC_4F_9SO_3$, $LiSbF_6$, $LiAlO_4$, $LiAlCl_4$, $LiN(C_xF_{2x+1}SO_2)(C_yF_{2y+1}SO_2)$(단, x, y는 자연수), LiCl 및 LiI로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나를 포함하여 사용하는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다.

[0026] 상기 인산염 화합물은 $NH_4H_2PO_4$, H_3PO_4, KH_2PO_4, NaH_2PO_4 및 $CaHPO_4$로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나를 포함하여 사용하는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다. 또한, 상기 5가 바나듐 화합물은 V_2O_5, NH_4VO_3로 이루어진 군으로부터 선택되는 적어도 하나를 포함하여 사용하는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다.

[0027] 상기 오일 및 계면활성제를 7:5의 비율로 첨가하는 것이 바람직하다.

[0028] 상기 오일 및 계면활성제를 상기 비율에서 계면활성제의 비율이 5 미만일 경우, 상기 침전물의 형성이 어려울 수 있고, 상기 계면활성제의 비율이 5 초과일 경우, 단일상보다는 혼합상 $LiVOPO_4$의 형성 가능성이 커지기 때문에, 음극활 물질로 사용될 경우 기계적 혹은 전기적 특성이 저하될 수 있다.

[0029] 이 후, 상기 용액을 가열된 오일 내에 드롭핑하여 $LiVOPO_4$를 함유하는 분산액을 형성한다(S200).

[0030] 상기 가열된 오일을 사용함에 따라 $LiVOPO_4$의 합성 속도가 빨라질 수 있다. 또한, 상기 용액을 드롭핑하여 $LiVOPO_4$를 함유하는 분산액을 형성함에 따라 상기 리튬 화합물, 인산염 화합물 및 5가 바나듐 화합물을 함유하는 수용액과 오일이 서서히 혼합되어 재료를 한꺼번에 교반했을 때와 비교하여 더 균질한 분산액을 형성할 수 있다.

[0031] 이 후, 상기 분산액을 필터링 및 건조하여 침전물을 형성한다(S300).

[0032] 이 단계에서는 상기 분산액에 포함되어 있는 잔여 오일과 수분을 제거하기 위하여 필터링 및 건조과정을 거친다. 필터링을 통하여 잔여 오일을 일정 부분 제거하고 건조를 통하여 흡착된 수분을 건조시킨다. 이 때, 상기 건조 시에는 70℃ 내지 90℃의 온도로 수행되는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다.

[0033] 마지막으로, 상기 침전물을 열처리한다(S400).

[0034] 상기 침전물을 열처리함에 따라 분말 형태의 $LiVOPO_4$ 이 제조될 수 있다.

[0035] 상기 열처리는 700℃ 내지 1700℃에서 수행하는 것이 바람직하다. 상기 온도 범위에서 열처리를 함에 따라 단일상을 갖는 $LiVOPO_4$ 이 제조될 수 있다. 또한, 상기 열처리 온도가 700℃ 미만일 경우, 상기 침전물로부터 분말 형태의 $LiVOPO_4$ 형성이 어려우며, 균일한 열처리가 어려울 수 있고, 상기 열처리 온도가 1700℃를 초과할 경우, $LiVOPO_4$의 결정 구조가 파괴될 수 있다.

[0036] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실험예(example)를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0037] $LiVOPO_4$의 제조

[0038] <제조예 1>

[0039] 화학양론적으로 적절한 양의 오산화바나듐(V_2O_5)과 제일인산암모늄($NH_4H_2PO_4$), 질산리튬($LiNO_3$)을 증류수에 용해시킨다. 단, 오산화바나듐(V_2O_5)의 경우 증류수에 녹지 않으므로, 일정량의 질산을 사용하여 용해한다. 질산(HNO_3)을 사용하여 용해시킨 오산화바나듐(V_2O_5)과 제일인산암모늄($NH_4H_2PO_4$), 질산리튬($LiNO_3$)을 증류수에 용해시킨 후 충분히 섞일 수 있도록 마그네틱 바를 이용하여 교반하여 준다. 교반한 용액은 오일인 등유(kerosene)와 계면활성제(Tween #85)를 교반한 용액과 혼합하여 에멀젼 용액을 만든다. 이 때, 등유와 계면활성제는 7 : 5의 비율로 교반하여 준다. 교반한 에멀젼 용액은 약 150℃ 로 가열하는 1.5 L의 등유에 일정한 속도로 떨어뜨리며, 이를 교반하며 합성하여 준다. 이 후, 합성이 완료된 용액은 침전 과정을 통하여 리튬 바나딜 인산염($LiVOPO_4$, 이하 LVP)를 얻는다. 얻어진 LVP 침전물을 필터링 및 건조과정을 거친다. 이 때, 상기 건조과정은 80℃ 의 온도로 오븐에서 건조시킨다. 건조가 완료된 침전물은 500℃ 의 온도에서 열처리하여 LVP 분말을 얻는다.

[0040] <제조예 2>

[0041] 550℃의 온도에서 열처리 한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법을 사용하였다.

[0042] <제조예 3>

[0043] 600℃의 온도에서 열처리 한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법을 사용하였다.

[0044] <제조예 4>

[0045] 750℃의 온도에서 열처리 한 것을 제외하고는 제조예 1과 동일한 방법을 사용하였다.

[0046] $LiVOPO_4$의 특성 분석

[0047] 도 2a는 제조예 4에 따른 $LiVOPO_4$의 리트벨트 구조검증(Rietveld-refinement) 결과 데이터이고, 도 2b은 제조예 4에 따른 $LiVOPO_4$의 리트벨트 구조검증 그래프이다.

[0048] 상기 리트벨트 구조검증 결과 데이터는 상기 제조예 4에서 얻어진 $LiVOPO_4$ 분말을 사용하여 반전지(Half Cell)을 제작한 뒤 리트벨트 구조검증(Rietveld-refinement)법을 사용하여 구조분석을 위하여 특성평가를

진행하였다. 또한, 상기 리트벨트 구조검증 그래프는 상기 제조예 4에서 얻어진 $LiVOPO_4$ 분말을 사용하여 XRD분석했다.

[0049] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 에멀젼법으로 합성한 $LiVOPO_4$를 분석한 결과 R_{wp}값이 15%이하(10.1%)의 불순물이 없고, 2Θ=25~30 범위에서 피크를 나타내는 단일상의 $LiVOPO_4$임을 확인할 수 있었다. 결론적으로, 본 발명에 따른 $LiVOPO_4$는 단일상의 형상을 갖는 것을 알 수 있다.

[0050] 도 3는 제조예 1 내지 4에 따른 $LiVOPO_4$의 SEM사진들이다. 도 4의 a), b), c) 및 d)는 각각 제조예 1, 제조예 2, 제조예 3 및 제조예 4의 SEM사진들이다.

[0051] 상기 SEM사진들은 상기 제조예 1 내지 4에서 얻어진 LVP 분말들을 열처리 온도에 따라 결정 성장 및 모폴로지 변화를 확인하기 위하여 온도에 따라 SEM사진을 촬영했다.

[0052] 도 3를 참조하면, 750℃ 의 온도로 열처리한 $LiVOPO_4$는 구형의 1차 입자를 갖는 것을 알 수 있다. 결론적으로, 750℃ 이상의 온도로 열처리한 $LiVOPO_4$ 분말이 구형의 미세한 입자들을 형성함에 따라 고밀도의 음극활재료를 형성함을 알 수 있다.

[0053] 도 4은 제조예 4에 따라 제조된 $LiVOPO_4$ 분말을 전극으로 사용한 반전지의 충/방전 용량그래프이다. 상기 충/방전 용량 그래프는 상기 제조예 4로부터 제조한 $LiVOPO_4$ 분말들을 사용하여 Li 금속을 이용한 반전지(Half Cell)로 제작하여 전기화학적 성능을 측정하였다.

[0054] 도 4를 참조하면, 에멀젼법 사용하여 안정성 등 여러 방면에서 월등히 우수한 성능을 나타내었다. 평균충전용량은 430 내지 450mAg^{-1}로 큰 용량을 보이고, 큰 폭의 용량감소도 보이지 않는다. 결론적으로, 본 발명에 따른 $LiVOPO_4$는 가역적인 충/방전이 가능함을 알 수 있다.

[0055] 도 5은 제조예 4에 따라 제조된 $LiVOPO_4$ 분말을 전극으로 사용한 반전지의 율특성을 나타낸 그래프이다. 상기 율특성을 나타낸 그래프는 상기 제조예 4로부터 제조한 $LiVOPO_4$ 분말을 사용하여 제작한 반전지(Half Cell)를 이용하여 율특성(C-rate)을 측정하였다. 상기 특성은 고속 충, 방전 특성을 알아 볼 수 있는 데이터로서 0.2 C, 1 C, 2 C, 3 C, 5 C, 10 C, 20 C, 30 C의 특성을 측정하였으며, 각 C-rate별로 3회의 충/ 방전 용량을 측정하였다. 각 3회의 충, 방전이 끝난 후 100 mAg^{-1}의 buffer를 주었다.

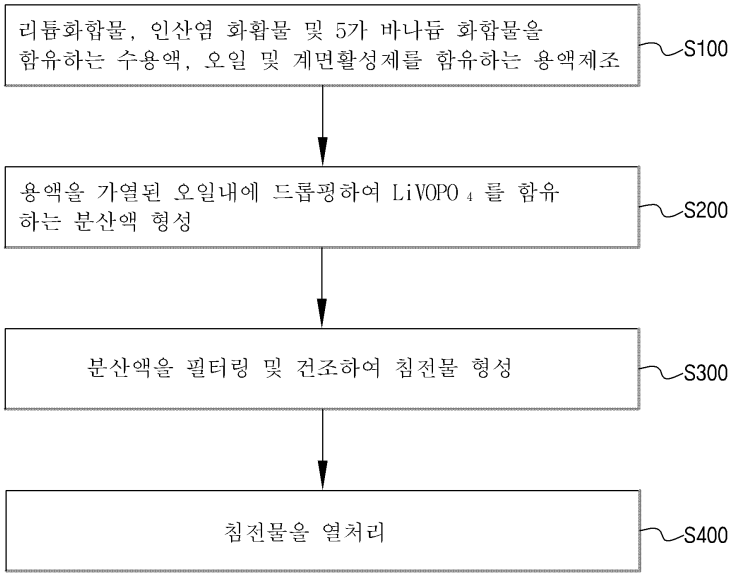
[0056] 도 5을 참조하면, 30 C가 끝난 후 0.2 C 대비 약 50 %의 용량 유지율을 보여주었으며, 다시 100 mAg^{-1}의 buffer를 준 후 용량이 회복되는 모습을 보였다. 결론적으로, 본 발명에 따른 $LiVOPO_4$는 높은 수명을 가질 수 있음을 알 수 있다.

[0057] 정리하면, 본 발명에 따른 $LiVOPO_4$는 안정적이며 가역적인 충/방전 용량변화를 갖고 긴 수명을 가질 수 있다. 또한 이렇게 제조된 $LiVOPO_4$를 음극활물질로 사용함에 따라, 리튬의 삽입 및 방출 반응시 나타나는 체적변화를 감소시켜 리튬이차전지의 수명을 길게하고 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0058] 이상, 본 발명을 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않고, 본 발명의 기술적 사상 및 범위 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 변형 및 변경이 가능하다.

도면

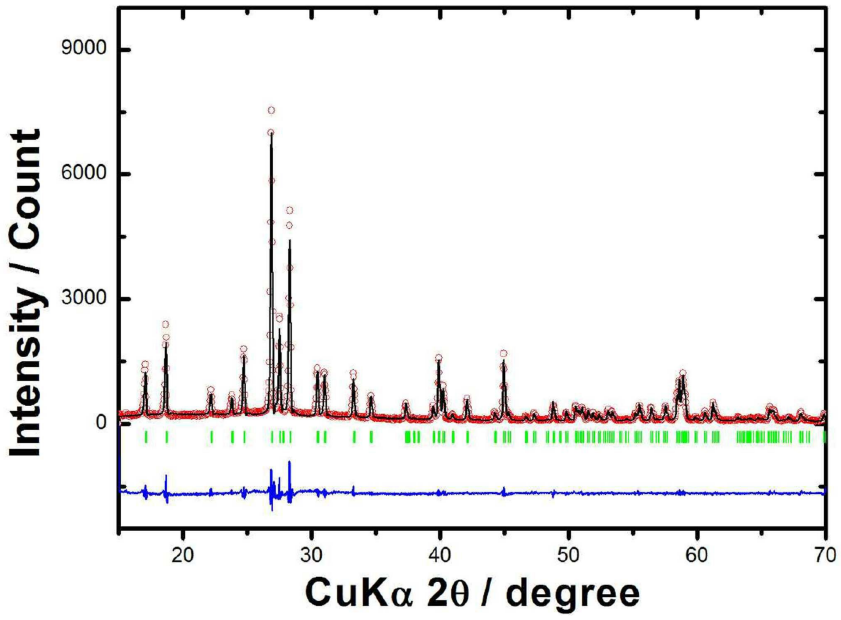
도면1



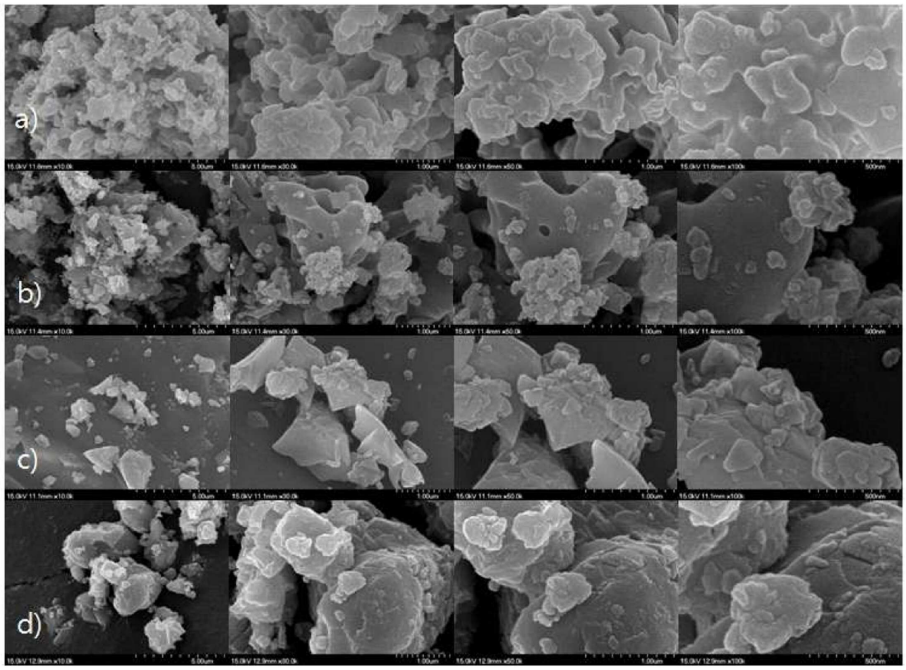
도면2a

Formula				$LiVOPO_4$		
Crystal system				Orthorhombic		
Space group				*Pnma*		
Atom	Site	x	y	z	g	B/Å^2
Li	4a	0.5000(0)	0	0	1	**1.4(2)**
V	4c	0.3249(5)	0.25	0.7198(4)	1	0.50(3)
P	4c	0.6234(6)	0.25	0.3748(9)	1	0.44(4)
O1	4c	0.4527(16)	0.25	0.4892(14)	1	0.92(9)
O2	4c	0.3706(6)	0.9421(12)	0.7546(9)	2	0.64(5)
O3	4c	0.2939(15)	0.25	0.9988(13)	1	0.78(8)
O3	8d	0.1198(14)	0.25	0.6505(14)	1	0.89(8)
Cell parameters			a=7.4569(2)			
			b=6.2955(2)			
			c=7.1834(2)			
Distance			M-O1 = 1.9108 Å			
			M-O2 = 1.9839 Å			
			M-O3 = 2.0181 Å			
			M-O3 = 1.6082 Å M-O3 = 2.3880 Å			
R_{wp}			10.1%			
R_p			8.06%			

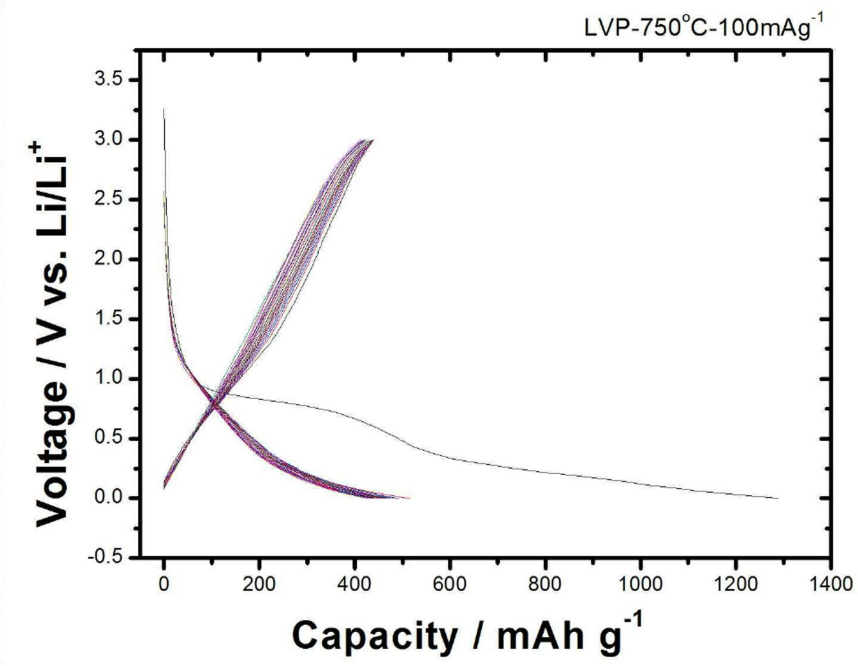
도면2b


9000
6000
3000
0
Intensity / Count
20
30
40
50
60
70
CuKα 2θ / degree

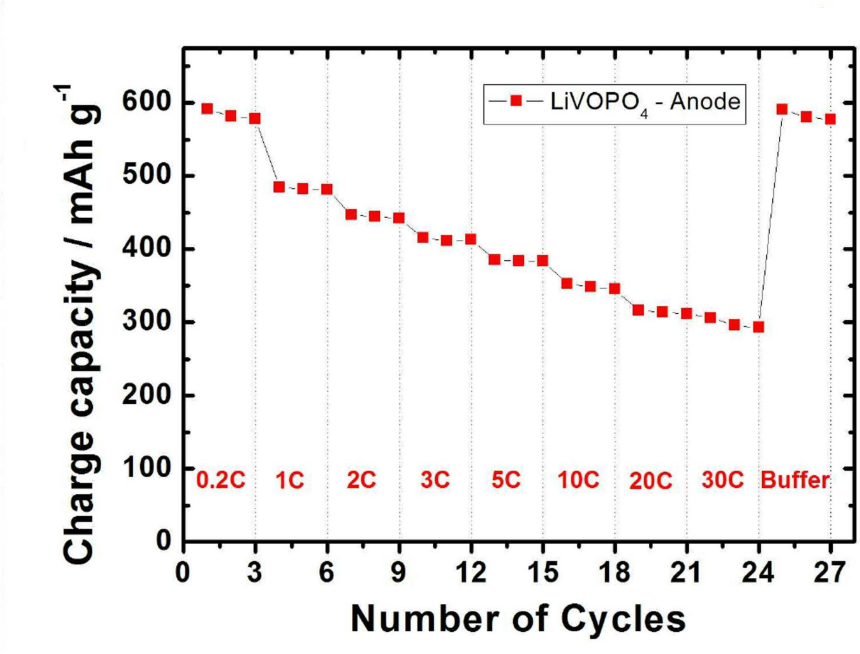
도면3


a)
b)
c)
d)

도면4


LVP-750°C-100mAg-1
Voltage / V vs. Li/Li+
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Capacity / mAh g-1

도면5


LiVOPO4 - Anode
Charge capacity / mAh g-1
600
500
400
300
200
100
0
0.2C
1C
2C
3C
5C
10C
20C
30C
Buffer
0
3
6
9
12
15
18
21
24
27
Number of Cycles