



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0022011
(43) 공개일자 2017년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/134 (2010.01) H01M 10/054 (2010.01)
H01M 10/0568 (2010.01) H01M 10/0569 (2010.01)
H01M 4/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01M 4/134 (2013.01)
H01M 10/054 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0116442
(22) 출원일자 2015년08월19일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
전자부품연구원
경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)
(72) 발명자
우상길
경기도 용인시 기흥구 보정로 26, 102동 1004호
(보정동, 신촌마을 상록데시앙)
김영준
경기도 성남시 분당구 동판교로 155, 706동 301호
(삼평동, 봇들마을7단지아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태선

전체 청구항 수 : 총 7 항

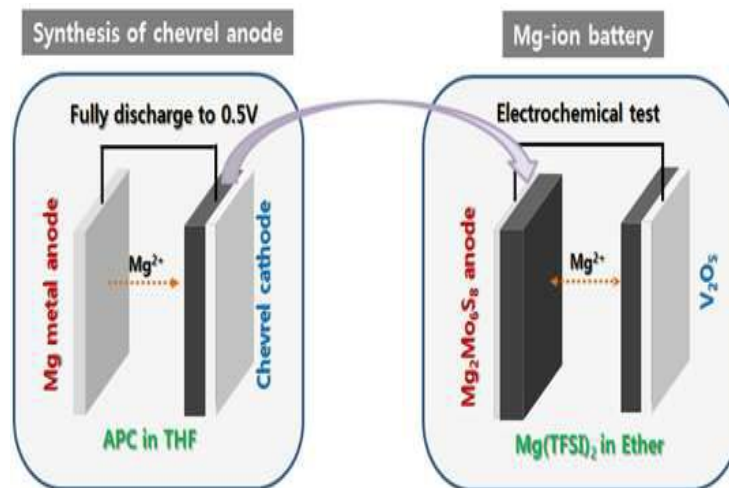
(54) 발명의 명칭 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 마그네슘 전지

(57) 요약

본 발명은 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 새로운 개념의 마그네슘 전지용 음극, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 마그네슘 전지에 관한 것이다.

본 발명에 의한 마그네슘 전지용 음극은 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능하여 종래 마그네슘 전지에서 음극 표면에 형성되는 산화마그네슘 형성을 효과적으로 저해, 제거하여 마그네슘의 증착/용출의 가역성을 높여 이러한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 음극을 포함하는 마그네슘 전지는 수명 특성 및 충방전 특성이 개선될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01M 10/0568 (2013.01)

H01M 10/0569 (2013.01)

H01M 4/0459 (2013.01)

Y02E 60/12 (2013.01)

(72) 발명자

임태은

서울특별시 도봉구 도봉로136길 28, 517동 1602호
(창동, 북한산 아이파크)

조우석

경기도 성남시 분당구 판교로 393, 214동 1202호
(삼평동, 봇들마을2단지이지더원아파트)

박민식

경기도 수원시 영통구 영통로200번길 239, 101동
502호 (영통동, 영통 이-편한세상)

정구진

경기도 성남시 분당구 내정로166번길 42, 124동
2701호 (수내동, 파크타운삼익아파트)

명세서

청구범위

청구항 1

아래 화학식 1로 표시되고 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극

[화학식 1] Mg_xMo_ySz

(상기 화학식 1에서 $1.5 \leq x \leq 2.5$, $5.0 \leq y \leq 7.0$, $6.0 \leq z \leq 9.0$ 임)

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 음극은 XRD 에서 2θ 가 15 내지 25° 범위에서 적어도 2개의 피크가 검출되는 것인

마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극

청구항 3

쉐브렐 구조의 화합물을 제조하는 단계; 및

상기 쉐브렐 구조의 화합물에 마그네슘 이온을 삽입하는 단계;

를 포함하는 제 1 항에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극의 제조 방법

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 쉐브렐 구조의 화합물에 마그네슘 이온을 삽입하는 단계에서는

상기 쉐브렐 구조의 화합물을 양극으로, THF에 $PhMgCl$ 과 $AlCl_3$ 가 용해된 용액을 전해액으로 전지를 구성하고, 충방전에 의하여 쉐브렐 구조의 화합물에 마그네슘 이온을 삽입하는 것인

마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극의 제조 방법

청구항 5

제 1 항에 의한 음극;

Co_3O_4 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , MoO_3 , PbO_2 , Pb_3O_4 , RuO_2 , V_2O_5 , WO_3 , Mg_2MnSiO_4 , TiS_2 , NiS_2 , FeS_2 , VS_2 , ZrS_2 , Mo_3O_4 , Mo_6S_8 , Mo_6Se_8 , MoS_6Se_2 , MoB_2 , TiB_2 및 ZrB_2 로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 양극; 및

마그네슘 염; 및 유기 용매를 포함하는 전해질; 을 포함하는

마그네슘 전지

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 마그네슘염은 $Mg(TFSI)_2$ 이고,

상기 유기 용매는 에틸렌글리콜 디메틸에테르, 디에틸렌글리콜 디메틸에테르, 트리에틸렌글리콜디메틸에테르, 테트라에틸렌글리콜디메틸에테르 또는 이들의 조합으로 이루어진 그룹에서 선택되는 것인

마그네슘 전지

청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 전해질은 첨가제를 더 포함하는 것인

마그네슘 전지

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 마그네슘 전지 에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근, 전력저장용 전지의 소재에 대한 관심이 높아지고 있다.

[0003] 마그네슘 전지는 기존의 리튬 전지, 납 축전지, 니켈-카드뮴 전지, 니켈-수소 전지 및 니켈-아연 전지 등과 비교하여 친환경적이고, 가격경쟁력이 우수하며, 에너지 저장 특성이 높기 때문에 활발히 연구되고 있다.

[0004] 마그네슘 이차전지는 마그네슘 금속을 음극으로 활용하는 것을 기본 시스템으로 한다. 그러나, 일반적으로 마그네슘 금속 표면은 MgO 산화막으로 강하게 덮여 있는데 MgO 산화막은 이온 전도 특성이 없기 때문에 마그네슘의 가역적인 산화/환원 반응을 방해하여 마그네슘 전지의 주요 제약 원인으로 알려져 있다.

[0005] 이를 개선하고자 Grignard reagent, chloride계, borohydride계 물질들에 대한 연구가 2000년대 초반 이후 진행되었다.

[0006] 마그네슘 전지는 일반적으로 양극, 음극 및 이온 전도성 전해액을 포함하고, 이온 전도성 전해액으로는 그리냐드계 마그네슘염($RMgX$ (R = 알킬기 또는 아릴기, X = Cl 또는 Br)의 전해액이 알려져 있다. 그리냐드계 마그네슘염($RMgX$ (R = 알킬기 또는 아릴기, X = Cl 또는 Br)의 전해액이 사용되는 마그네슘 전지의 전기 화학적 반응은, 예를 들어 하기와 같다:

[0007] 양극: $Mg \leftrightarrow Mg^{2+} + 2e^-$

[0008] 음극: $Mg_yM_x + zMg^{2+} \leftrightarrow Mg_y + zM_x + 2e^-$

[0009] 즉, 방전시에 음극에서 외부회로로 전자를 방출하고 발생된 마그네슘 이온이 전해액을 통과하며(산화 반응), 충전시에 마그네슘 이온이 음극으로 이동하여 금속으로 도금되며 전자를 되찾는 반응(환원 반응)이 일어난다.

[0010] 그러나, 이러한 물질들의 낮은 산화전위는 마그네슘 이차전지 양극 활물질들의 용량을 마그네슘 금속 대비 2V 이하에서만 구현 가능하도록 제약하면서 고전압 양극 활물질을 통한 마그네슘 이차전지의 에너지 밀도 향상을 기대하기 어렵게 하고 있다. 즉, 이러한 물질들의 경우 산화 전위가 낮아 마그네슘용 고전압 양극 소재에 ($>2.0V$) 적용 시 전기화학적 부반응으로 인하여 마그네슘 전지의 정상적인 거동이 어렵다는 기술적인 한계가 노출되었다.

[0011] 한편, 마그네슘 금속과 합금이 가능한 Bi , Sb , Sn 등의 금속을 사용하여 전기화학적으로 마그네슘 합금을 만들고 이를 음극으로 활용하는 시도가 연구되었다. 그러나, 합금 금속의 특성상 높은 무게로 인한 음극 자체의 낮은

은 에너지 밀도와 반복되는 충전에서의 낮은 수명 특성으로 인하여 마그네슘 전지로의 적용은 매우 제한적이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 상기와 같은 종래 마그네슘 음극 소재의 문제점을 해결하기 위해 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 새로운 개념의 마그네슘 전지용 음극, 및 이의 제조 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0013] 본 발명은 또한, 본 발명에 의한 마그네슘 전지용 음극을 포함하는 마그네슘 전지를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명은 상기와 같은 과제를 해결하기 위하여 아래 화학식 1로 표시되고 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극을 제공한다.

[0015] [화학식 1] Mg_xMo_ySz

[0016] (상기 화학식 1에서 $1.5 \leq x \leq 2.5$, $5.0 \leq y \leq 7.0$, $6.0 \leq z \leq 9.0$ 임)

[0017] 본 발명에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극은 XRD 에서 2θ 가 15 내지 25 ° 범위에서 적어도 2개의 피크가 검출되는 것을 특징으로 한다.

[0018] 본 발명은 또한,

[0019] 쉼브렐 구조의 화합물을 제조하는 단계; 및

[0020] 상기 쉼브렐 구조의 화합물에 마그네슘 이온을 삽입하는 단계;

[0021] 를 포함하는 본 발명에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극의 제조 방법을 제공한다.

[0022] 도 1에 본 발명에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극의 제조 방법을 모식적으로 나타내었다.

[0023] 도 1에서 보는 바와 같이 본 발명에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극의 제조 방법에 있어서, 상기 쉼브렐 구조의 화합물에 마그네슘 이온을 삽입하는 단계에서는 전기 화학적인 방법을 활용한 다.

[0024] 즉, 첫번째 단계로 마그네슘 금속을 음극으로, 상기 쉼브렐 구조의 화합물을 양극으로 하고, THF에 $PhMgCl$ 과 $AlCl_3$ 가 용해된 용액을 전해액으로 전지를 구성한 후, 2V 까지 충전하여 양극의 쉼브렐 구조의 화합물에 마그네슘이 삽입된 $Mg_2Mo_6S_8$ 을 형성한다. 이후 이와 같이 형성된 $Mg_2Mo_6S_8$ 을 분리한 후 음극으로 사용한다.

[0025] 본 발명은 또한,

[0026] 본 발명에 의하여 제조된 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극;

[0027] Co_3O_4 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , MoO_3 , PbO_2 , Pb_3O_4 , RuO_2 , V_2O_5 , WO_3 , Mg_2MnSiO_4 , TiS_2 , NiS_2 , FeS_2 , VS_2 , ZrS_2 , Mo_3O_4 , Mo_6S_8 , Mo_6Se_8 , MoS_6Se_2 , MoB_2 , TiB_2 및 ZrB_2 로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 양극; 및

[0028] 마그네슘 염; 및 유기 용매를 포함하는 전해질; 을 포함하는 마그네슘 전지를 제공한다.

[0029] 도 3은 일 구현예에 따른 마그네슘 전지(1)의 개략도이다. 도 3에서 보여지는 바와 같이 상기 마그네슘 전지(1)는 양극(3), 음극(2) 및 세퍼레이터(4)를 포함한다. 전술한 양극(3), 음극(2) 및 세퍼레이터(4)가 와인딩되거나 접혀서 전지케이스(5)에 수용된다. 이어서, 상기 전지케이스(5)에 유기전해액이 주입되고 캡(cap) 어셈블리(6)로 밀봉되어 마그네슘 전지(1)가 완성된다. 상기 전지케이스는 원통형, 각형, 박막형 등일 수 있다. 예를 들어, 상기 마그네슘 전지는 대형박막형 전지일 수 있다. 상기 마그네슘 전지는 마그네슘이온 전지일 수 있다.

[0030] 상기 양극 활물질은 예를 들어, 금속 원소의 옥사이드 화합물, 할로젠 화합물, 셀레나이드 화합물, 셀레늄 화합물, 포스페이트 화합물, 포스파이드 화합물 및 다이보라이드 화합물로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이

상을 포함할 수 있다. 상기 금속 원소는 예를 들어, 스칸듐(Sc), 티타늄(Ti), 바나듐(V), 크롬(Cr), 망간(Mn), 철(Fe), 코발트(Co), 몰리브데넘(Mo), 납(Pb), 루테튬(Ru), 텅스텐(W), 지르코늄(Zr), 니켈(Ni), 구리(Cu) 및 아연(Zn)으로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

- [0031] 상기 양극은 전술한 양극 활물질 외에 종래의 일반적인 양극 활물질 또는 마그네슘 복합금속 산화물을 추가적으로 포함할 수 있다. 상기 마그네슘 복합금속 산화물의 예로는 $Mg(M1-xAx)O_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$, M은 Ni, Co, Mn, Cr, V, Fe, Cu 또는 Ti이며, A는 Al, B, Si, Cr, V, C, Na, K 또는 Mg)로 표시되는 마그네슘계 화합물이 사용될 수 있다.
- [0032] 상기 도전재로는 고비표면적의 탄소재료, 예를 들면 카본블랙, 활성탄, 아세틸렌블랙, 흑연 미립자의 1종 또는 2종 이상을 혼합물을 사용할 수 있다. 또한, 기상성장 탄소, 또는 피치(석유, 석탄, 콜타르 등의 부생성물)를 고온에서 탄화시켜 제조한 섬유, 아크릴 섬유(Polyacrylonitrile)로부터 제조한 탄소섬유 등의 전기전도성 섬유도 도전재로서 사용할 수 있다. 탄소섬유와 고비표면적의 탄소재료를 동시에 사용할 수 있다. 탄소섬유와 고비표면적의 탄소재료를 동시에 사용함에 의하여 전기 전도성이 더욱 향상될 수 있다. 또한, 양극의 충방전 범위에서 산화되어 용해하지 않는 재료이며, 양극 활물질에 비하여 전기저항의 낮은 금속계 도전재를 사용할 수 있다. 예를 들어 티탄, 금 등의 내식성 금속, SiC나 WC등의 카바이드, Si₃N₄, BN등의 질화물을 사용할 수 있으나 반드시 이들로 한정되지 않으며 당해 기술분야에서 도전재로 사용할 수 있는 것이라면 모두 가능하다.
- [0033] 상기 바인더로는 비닐리덴 플루오라이드/헥사플루오로프로필렌 코폴리머, 폴리비닐리덴플루오라이드(PVDF), 폴리아크틸로니트릴, 폴리메틸메타크릴레이트, 폴리테트라플루오로에틸렌 및 그 혼합물 또는 스티렌 부타디엔 고무계 폴리머 등이 사용될 수 있으나, 이들로 한정되지 않으며 당해 기술분야에서 바인더로 사용될 수 있는 것이라면 모두 사용될 수 있다.
- [0034] 상기 용매로는 N-메틸피롤리돈, 아세톤 또는 물 등이 사용될 수 있으나, 이들로 한정되지 않으며 당해 기술분야에서 사용될 수 있는 것이라면 모두 사용될 수 있다.
- [0035] 상기 금속 집전체로는 재질, 형상, 제조방법 등에 제한됨이 없이, 전기화학적으로 안정물질을 이용할 수 있다. 상기 금속 집전체는, 두께 10~100 μ m의 알루미늄박, 두께 10~100 μ m, 구멍 지름 0.1~10 mm의 알루미늄 천공박, 확장 메탈, 발포 금속판 등이 사용될 수 있다. 금속 집전체의 재질은, 알루미늄 외에 스테레스, 티탄 등도 사용될 수 있다.
- [0036] 상기, 양극 활물질, 도전재, 바인더 및 용매의 함량은 마그네슘 전지에서 통상적으로 사용되는 수준이다. 마그네슘 전지의 용도 및 구성에 따라 상기 도전재, 바인더 및 용매 중 하나 이상이 생략될 수 있다.
- [0037] 본 발명에 의한 마그네슘 전지에 있어서, 상기 마그네슘염은 $Mg(TFSI)_2$ 이고,
- [0038] 상기 유기 용매는 에틸렌글리콜 디메틸에테르, 디에틸렌글리콜 디메틸에테르, 트리에틸렌글리콜디메틸에테르, 테트라에틸렌글리콜디메틸에테르 또는 이들의 조합으로 이루어진 그룹에서 선택되는 것을 특징으로 한다.
- [0039] 상기 양극 및 음극 사이에 함침된 전술한 전해액에 포함된 마그네슘염의 산화 전위는 2.5V 내지 4.5V(vs. Mg/Mg^{2+})의 범위를 가질 수 있다. 예를 들어, 상기 전해액에 포함된 마그네슘염의 산화 전위는 2.8V 내지 3.3V(vs. Mg/Mg^{2+})의 범위를 가질 수 있다. 상기 마그네슘염은 넓은 범위의 산화 전위를 가져 마그네슘의 증착/용출의 가역성을 높여 수명 특성이 개선될 수 있다.
- [0040] 상기 양극과 음극 사이에 세퍼레이터가 추가적으로 배치될 수 있다.
- [0041] 상기 세퍼레이터는 마그네슘 전지의 사용 환경에 견딜 수 있는 조성이라면 한정되지 않으며, 예를 들어 폴리프로필렌 소재의 부직포나 폴리페닐렌 설파이드 소재의 부직포 등의 고분자 부직포, 폴리에틸렌이나 폴리프로필렌 등의 올레핀계 수지의 다공성 필름을 예시할 수 있으며, 이들을 2종 이상 병용하는 것도 가능하다.
- [0042] 또한, 상기 세퍼레이터는 전해질의 이온 이동에 대하여 저저항이면서 전해액 흡습 능력이 우수한 것이 사용될 수 있다. 예를 들어, 유리 섬유, 폴리에스테르, 테프론, 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE) 또는 이들의 조합물 중에서 선택된 것으로서, 부직포 또는 직포 형태이어도 무방하다.
- [0043] 상기 양극 및 음극 사이에 세퍼레이터가 배치되어 전지구조체가 형성될 수 있다. 상기 전지구조체가 바이셀 구조로 적층된 다음, 유기 전해액에 함침되고, 얻어진 결과물이 파우치에 수용되어 밀봉되면 마그네슘 폴리머전지가 완성된다.

[0044] 도 3에서 보여지는 바와 같이 상기 마그네슘 전지(1)는 양극(3), 음극(2) 및 세퍼레이터(4)를 포함한다. 전술한 양극(3), 음극(2) 및 세퍼레이터(4)가 와인딩되거나 접혀서 전지케이스(5)에 수용된다. 이어서, 상기 전지케이스(5)에 유기전해액이 주입되고 캡(cap) 어셈블리(6)로 밀봉되어 마그네슘 전지(1)가 완성된다. 상기 전지케이스는 원통형, 각형, 박막형 등일 수 있다. 예를 들어, 상기 마그네슘 전지는 대형박막형 전지일 수 있다. 상기 마그네슘 전지는 마그네슘이온전지일 수 있다.

[0045] 상기 양극 및 음극 사이에 세퍼레이터가 배치되어 전지구조체가 형성될 수 있다. 상기 전지구조체가 바이셀 구조로 적층된 다음, 유기 전해액에 함침되고, 얻어진 결과물이 파우치에 수용되어 밀봉되면 마그네슘 폴리머전지가 완성된다.

[0046] 또한, 상기 전지구조체는 복수 개 적층되어 전지팩을 형성하고, 이러한 전지팩이 고용량이 요구되는 모든 기기에 사용될 수 있다. 예를 들어, 노트북, 스마트폰, 전기차량 등에 사용될 수 있다.

[0047] 또한, 상기 마그네슘 전지는 저장 안정성이 및 열안정성이 우수하므로 전기저장장치(Energy Storage System, ESS), 전기차량(electric vehicle, EV)에 사용될 수 있다. 예를 들어, 플러그인하이브리드차량(plug-in hybrid electric vehicle, PHEV) 등의 하이브리드차량에 사용될 수 있다.

발명의 효과

[0048] 본 발명에 의한 마그네슘 전지용 음극은 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능하여 종래 마그네슘 전지에서 음극 표면에 형성되는 산화마그네슘 형성을 효과적으로 저해, 제거하여 마그네슘의 증착/용출의 가역성을 높여 이러한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 음극을 포함하는 마그네슘 전지는 수명 특성 및 충방전 특성이 개선될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0049] 도 1은 본 발명에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극의 제조 방법을 나타낸다.

도 2는 본 발명에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극을 포함하는 전지의 충방전 특성을 측정한 결과를 나타낸다.

도 3은 본 발명에 의한 마그네슘 전지의 모식도를 나타낸다.

도 4는 본 발명에 의한 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 전지용 음극의 XRD 측정 결과를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0050] 이하에서는 본 발명을 실시예에 의하여 더욱 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명이 이하의 실시예에 의하여 한정되는 것은 아니다.

[0051] <실시예 1> 마그네슘 음극의 제조

[0052] 웨브렐 구조의 화합물로 Mo₆S₈을 준비하고, PhMgCl과 AlCl₃가 염이 녹아있는 THF 용액을 전해액으로 하여 웨브렐 구조의 화합물 Mo₆S₈와 마그네슘 금속을 침지시켜서 상기 웨브렐 구조 화합물 Mo₆S₈에 마그네슘 이온을 삽입하여 Mg₂Mo₆S₈로 표시되는 음극을 제조하였다.

[0053] <실험예> XRD 측정

[0054] 상기 실시예 1에서 제조된 마그네슘 음극에 대해 XRD를 측정하고 그 결과를 도 4에 나타내었다.

[0055] 도 4에서 상기 음극은 XRD에서 2θ가 15 내지 25° 범위에서 2개의 피크가 검출되는 것을 알 수 있다.

[0056] <실시예 2> 마그네슘 전지 제조

[0057] 상기 실시예 1에서 제조된 마그네슘 음극을 포함하는 마그네슘 전지를 제조하였다.

[0058] 양극으로는 웨브렐 구조를 갖는 V₂O₆를 사용하였고, 전해액으로는 비수계 DME/DGM (1/1) 혼합 용매에 마그네슘 염으로 Mg(TFSI)₂를 0.5 M 넣어 마그네슘 이차전지를 구성하였다.

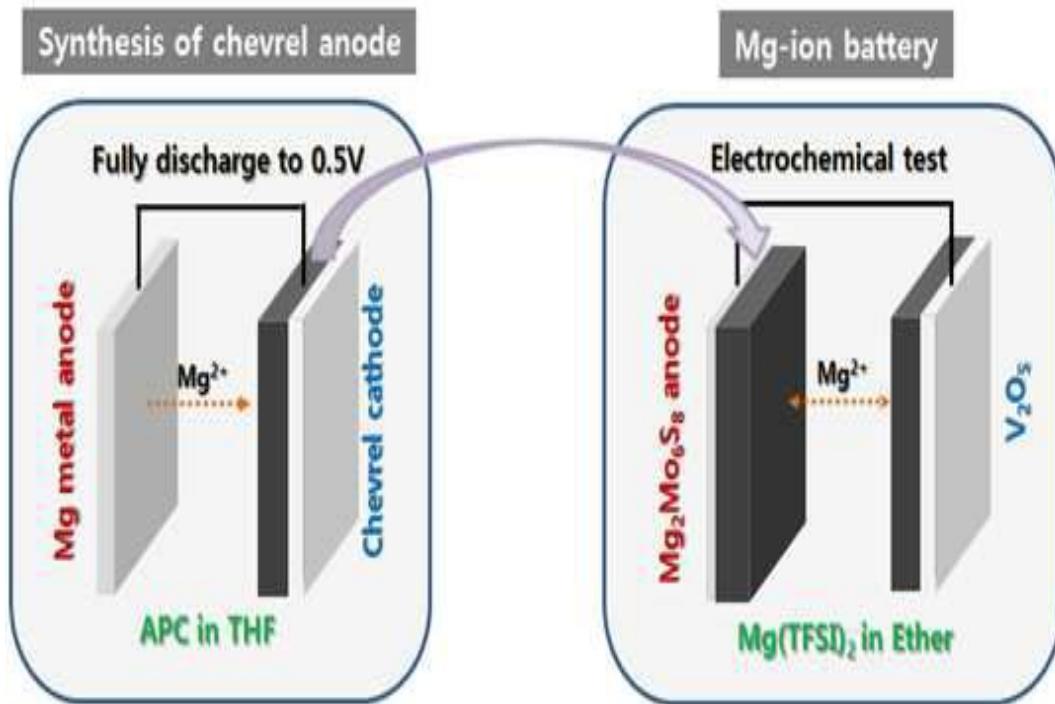
[0059] <실험예> 전기 화학 특성 평가

[0060] 이렇게 준비된 코인셀을 0.5 ~ 2.65 V까지 충/방전을 진행하였고, 전지 특성 평가 결과를 도 2에 나타내었다.

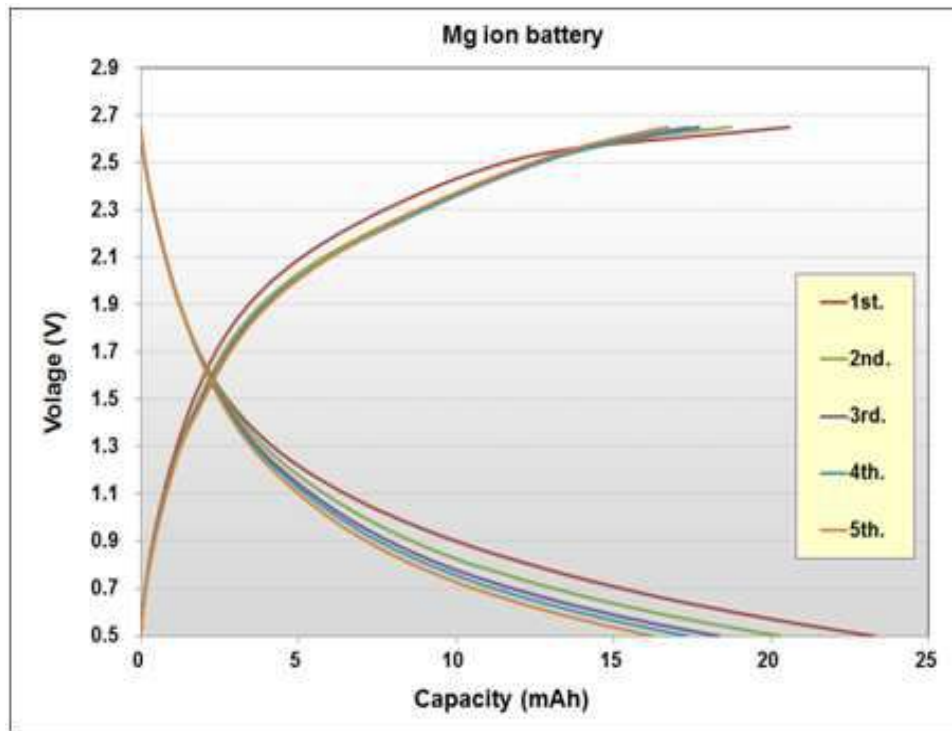
[0061] 본 발명에 의하여 제조된 마그네슘 이온의 흡장 탈리가 가능한 마그네슘 음극을 적용함으로써 초기 방전 특성이 나타나는 것을 확인하였고 이후 우수한 산화 전위를 기초로 안정적인 충/방전 거동이 나타나는 것을 확인하였다.

도면

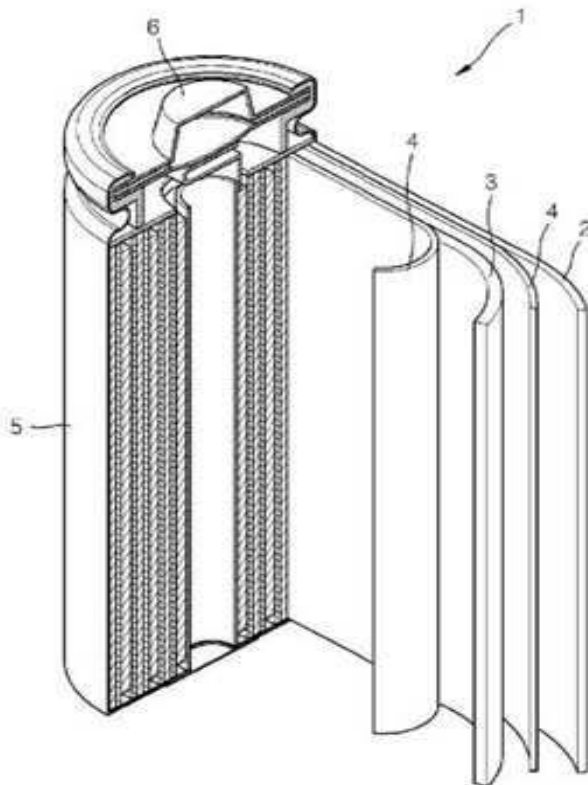
도면1



도면2



도면3



도면4

