(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0071150
(43) 공개일자 2023년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 4/36 (2006.01) *H01M 4/02* (2006.01)
H01M 4/131 (2010.01) *H01M 4/505* (2010.01)
H01M 4/525 (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01M 4/366 (2022.01)
H01M 4/131 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7011962
(22) 출원일자(국제) 2021년09월08일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년04월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/049528
(87) 국제공개번호 WO 2022/056039
국제공개일자 2022년03월17일
(30) 우선권주장
63/075,800 2020년09월08일 미국(US)
(뒷면에 계속)

(71) 출원인
퀀텀스케이프 배터리, 인코포레이티드
미국 95110 캘리포니아 산 호세 테크놀로지 드라이브 1730
(72) 발명자
위 전평
미국 95110 캘리포니아주 산 호세 테크놀로지 드라이브 1730 퀀텀스케이프 배터리 인코포레이티드 내
쉬 버질
미국 95110 캘리포니아주 산 호세 테크놀로지 드라이브 1730 퀀텀스케이프 배터리 인코포레이티드 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
양영준, 류현경

전체 청구항 수 : 총 31 항

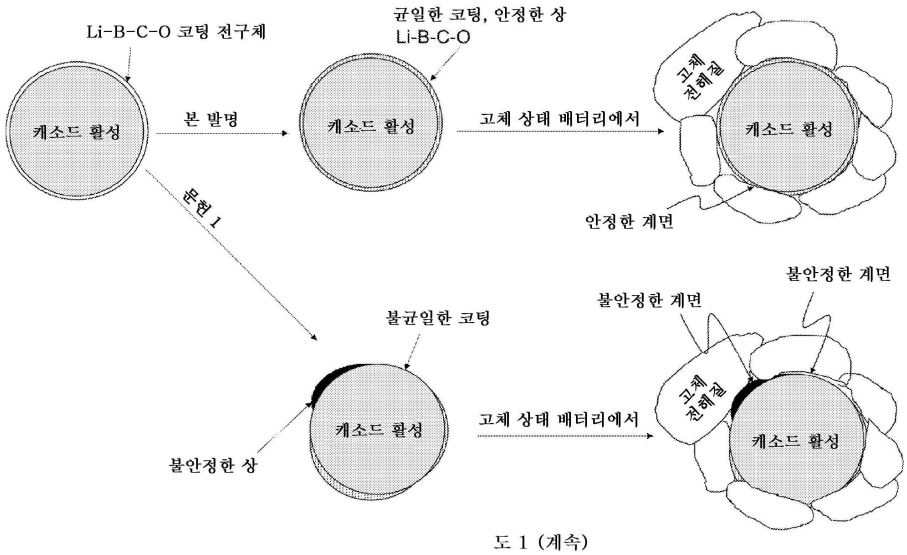
(54) 발명의 명칭 **캐소드 코팅**

(57) 요 약

캐소드 활성 물질을 리튬 및 임의적으로 붕소를 포함하는 용액으로 코팅하기 위한 신규 공정이 본원에 제공된다. 또한 리튬 카르보네이트 및 리튬 보레이트를 포함하는 코팅을 갖는 신규 캐소드 활성 물질이 본원에 제공된다. 또한 고전압에서 캐소드 활성 물질의 안정성을 증가시키는, 그 위에 1개 또는 2개의 코팅을 갖는 신규 캐소드 활

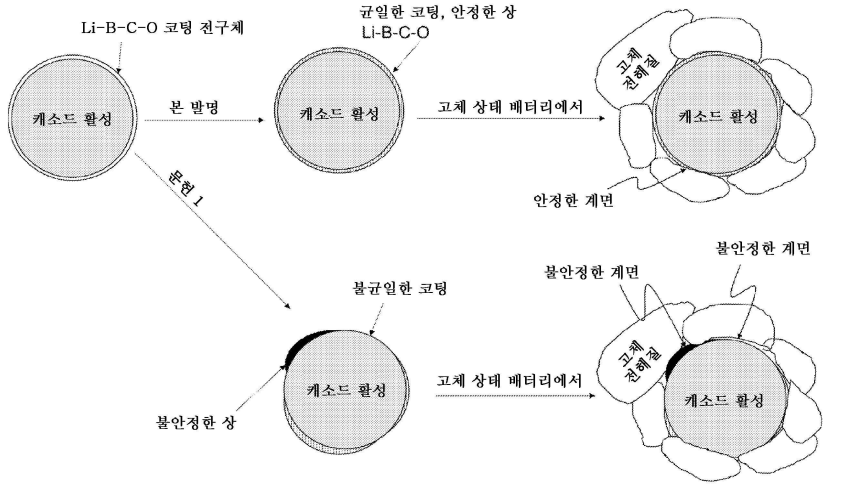
(뒷면에 계속)

대 표 도

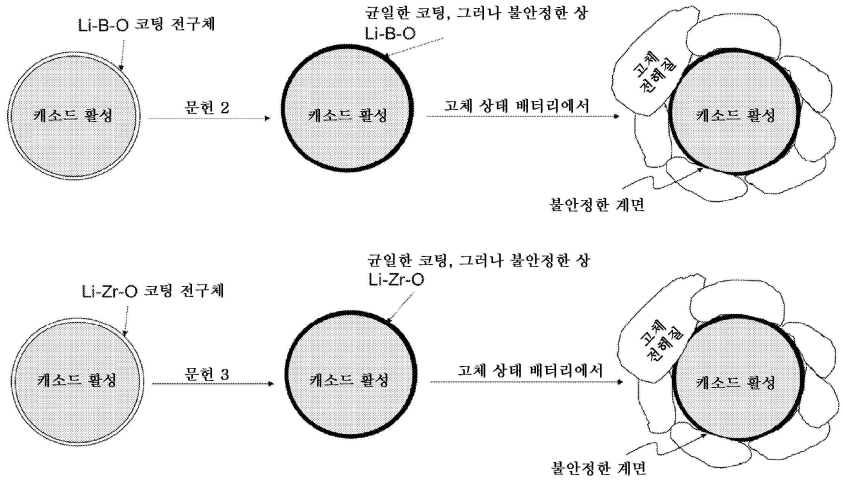


도 1 (계속)

성 물질이 본원에 제공된다. 일부 예에서, 코팅 중 하나는 $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; 또는 $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$이다.



도 1 (계속)



도 1

(52) CPC특허분류
H01M 4/505 (2013.01)
H01M 4/525 (2013.01)
H01M 2004/028 (2013.01)
Y02E 60/10 (2020.08)

(72) 발명자
덴 야오썬
미국 95110 캘리포니아주 산 호세 테크놀로지 드라이브 1730 퀀텀스케이프 배터리 인코포레이티드 내
가토 유키
미국 95110 캘리포니아주 산 호세 테크놀로지 드라이브 1730 퀀텀스케이프 배터리 인코포레이티드 내
차오 청-츠에
미국 95110 캘리포니아주 산 호세 테크놀로지 드라이브 1730 퀀텀스케이프 배터리 인코포레이티드 내

(30) 우선권주장
63/161,388 2021년03월15일 미국(US)
63/170,321 2021년04월02일 미국(US)
63/173,184 2021년04월09일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

캐소드 활성 물질; 및

캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅

을 포함하는 조성물이며,

여기서

코팅은 리튬, 탄소, 산소, 지르코늄, 인, 또는 이들의 조합을 포함하고;

코팅은 x-선 회절 패턴 분석에 기초한 무정형이며;

코팅은 투과 전자 현미경검사 (TEM) 분석에 기초한 결정질 도메인을 포함하는 것인,

조성물.

청구항 2

제1항에 있어서, 코팅이 하기 화학식을 갖는 것인 조성물:

$Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

$Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

$Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$;

또는

$Li_xC_yO_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 1.8$, $0.1 \leq y \leq 1$, 및 $1 \leq z \leq 1.8$.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 코팅이 투과 전자 현미경검사 분석에 기초한 결정질 도메인에 더하여 TEM 분석에 기초한 무정형 도메인을 추가로 포함하는 것인 조성물.

청구항 4

제3항에 있어서, 결정질 도메인이 캐소드 활성 물질과 접촉하는 것인 조성물.

청구항 5

제4항에 있어서, 무정형 도메인이 캐소드 활성 물질과 접촉하지 않는 것인 조성물.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 코팅이 TEM 분석에 의해 결정 시, $1\ nm \leq T \leq 20\ nm$인 두께 T를 갖는 것인 조성물.

청구항 7

제82항에 있어서, T가 약 1 nm, 약 5 nm, 또는 약 10 nm인 조성물.

청구항 8

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, TEM 분석에 의해 결정 시, 코팅 결정질 도메인이 캐소드 활성 물질의 결정질 도메인과 격자 매칭되지 않는 것인 조성물.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 코팅과 접촉하는 제2 코팅을 추가로 포함하는 조성물.

청구항 10

제9항에 있어서, 제2 코팅이 상기 코팅의 화학식과 동일하지 않은 화학식을 갖는 것인 조성물.

청구항 11

제9항 또는 제10항에 있어서, 제2 코팅이 하기 화학식을 갖는 것인 조성물:

$Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$;

또는

$Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $2 \leq x \leq 4$, $0 \leq y \leq 2$, 및 $5 \leq z \leq 7$.

청구항 12

제9항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 제2 코팅이 TEM 분석에 의해 결정 시 무정형인 조성물.

청구항 13

제9항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 제2 코팅이 TEM 분석에 의해 결정 시 결정질인 조성물.

청구항 14

제9항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 제2 코팅이 Li_3BO_3인 조성물.

청구항 15

제9항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 코팅이 Li_3InCl_6인 조성물.

청구항 16

제9항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 제1 코팅이 $Li_xZr_yO_z$이며, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$인 조성물.

청구항 17

제16항에 있어서, 제1 코팅이 리튬 지르코늄 옥시드인 조성물.

청구항 18

제16항 또는 제17항에 있어서, 제1 코팅이 Li_2ZrO_3인 조성물.

청구항 19

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 제1 코팅이 $Li_xP_yO_z$이며, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$인 조성물.

청구항 20

제19항에 있어서, 제1 코팅이 $Li_3(PO_4)$인 조성물.

청구항 21

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 제1 코팅이 $Li_xZr_y(PO_4)_z$이며, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$인 조성물.

청구항 22

제21항에 있어서, 제1 코팅이 $LiZr_2(PO_4)_3$인 조성물.

청구항 23

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 코팅 또는 제2 코팅, 또는 이들 둘 다가 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_2ZrO_3, Li_3PO_4, Li_2SO_4, $LiNbO_3$, $Li_4Ti_5O_{12}$, $LiTi_2(PO_4)_3$, $LiZr_2(PO_4)_3$, LiOH, LiF, Li_4ZrF_8, $Li_3Zr_4F_{19}$, Li_3TiF_6, $LiAlF_4$, $LiYF_4$, $LiNbF_6$, ZrO_2, Al_2O_3, TiO_2, ZrF_4, AlF_3, TiF_4, YF_3, NbF_5, 및 이들의 조합으로 이루어지는 군으로부터 선택된 구성원을 추가로 포함하는 것인 조성물.

청구항 24

제1항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서, 캐소드 활성 물질이 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 x+y+z=1, 및 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$로부터 선택된 것인 조성물.

청구항 25

제24항에 있어서, 캐소드 활성 물질이 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x+y+z=1, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$인 조성물.

청구항 26

제24항에 있어서, 캐소드 활성 물질이 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1인 조성물.

청구항 27

제24항에 있어서, 캐소드 활성 물질이 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2인 조성물.

청구항 28

제24항에 있어서, 캐소드 활성 물질이 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2인 조성물.

청구항 29

제24항에 있어서, 캐소드 활성 물질이 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3인 조성물.

청구항 30

제24항에 있어서, 캐소드 활성 물질이 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된 것인 조성물.

청구항 31

제1항 내지 제30항 중 어느 한 항의 코팅된 캐소드 활성 물질을 포함하는 고체-상태 캐소드.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] **관련 출원에 대한 상호-참조**

[0002] 본 출원은 2020년 9월 8일에 제출되고 발명의 명칭이 캐소드 코팅인 미국 가특허 출원 번호 63/075,800; 2021년 3월 15일에 제출되고 발명의 명칭이 캐소드 코팅인 63/161,388; 2021년 4월 2일에 제출되고 발명의 명칭이 캐소드 코팅인 63/170,321; 및 2021년 4월 9일에 제출되고 발명의 명칭이 캐소드 코팅인 63/173,184에 대한 우선권 및 그의 이익을 청구하며, 각 특허 출원의 전체 내용은 모든 목적을 위해 그의 전문이 본원에 참조로 포함된다.

[0003] **분야**

[0004] 본 개시내용은 리튬 이온 (Li^+)을 가역적으로 저장하기 위한 재충전식 리튬-배터리의 캐소드 (즉, 양극)에 유용한 캐소드 활성 물질용 화학적 코팅에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 고전압 (예를 들어, 리튬 금속에 대해 4.2 V) 및/또는 고온 (예를 들어, 60℃)에서 안정한 캐소드 활성 물질에 관한 재충전식 리튬 배터리 분야에서 현재 충족되지 않은 요구가 있다. 불안정성은 배터리를 보관할 때 또는 배터리를 사용할 때 또는 이들 둘 다에서 배터리의 내부 저항을 증가시키는 경향이 있다.

[0006] 고체 전해질 물질은 고전압 또는 고온에서 안정하지 않은 경향이 있다. 고체 전해질 물질은 캐소드 활성 물질과 반응할 수 있다. 캐소드 활성 물질은 또한 고전압 또는 고온에 노출될 때 산화될 수 있다. 이들은 배터리 성능 저하에 대한 몇 가지 원인이 된다. 일부 연구자들은 이러한 산화를 방지하기 위해 캐소드 활성 물질을 $LiNbO_3$, Li_2ZrO_3, 및 $LiTaO_3$로 코팅하려고 시도하였다. 예를 들어, US 2016/0156021 A1; US 2019/0044146 A1; 및 US 9,692,041 B2 참조. 또한 문헌 [Chem. Mater. 2018, 30, 22, 8190-8200, (doi.org/10.1021/acs.chemmater.8b03321)]; [*Adv. Energy Mater.* 2020, 1903778 (doi.org/10.1002/aenm.201903778)]; 및 [*Journal of Power Sources* Volume 248, 15 February 2014, Pages 943-950, (doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.005)] 참조. 그러나, 이전에 보고된 이러한 코팅은 안정성이 불량하고/거나 다른 단점이 있었다. 예를 들어, 4.2V (vs Li/Li+)만큼 높은 전위에서, 이러한 코팅의 내부 저항은 충전 상태일 때 급격히 증가하였다. 이러한 이유 및 기타 이유로, 이전에 보고된 이러한 코팅은 여러 측면에서 열등하였다.

[0007] 관련 분야에서의 이러한 문제 및 다른 문제에 대한 해결책이 본원에 제시된다.

발명의 내용

[0008] **요약**

[0009] 캐소드 활성 물질; 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 조성물이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은 리튬, 산소, 지르코늄, 인, 또는 이들의 조합으로부터 선택된 구성원을 포함하고; 코팅은 x-선 회절 패턴 분석에 기초한 무정형이며; 코팅은 투과 전자 현미경검사 (TEM) 분석에 기초한 결정질 도메인을 포함한다.

[0010] 캐소드 활성 물질 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 및 31.7 ° (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 하고; 여기서 31.7 ° (2Θ)에서의 피크에 대한 30.3 ° (2Θ)에서의 피크의 피크 강도 비 (k)는 1 초과 또는 2 미만이다.

[0011] 캐소드 활성 물질을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, $Li_xB_yO_z$, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하고; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다. 화학식 $Li_xB_yO_z$에서, x는 0.2 이상 내지 0.75 이하이고; y는 0.5 이상 내지 1.6 이하이며; z는 1.5 이상 내지 2.6 이하이다. 이는 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$과 동일하게 표현된다.

[0012] 또한 하기 단계를 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질을 제조하기 위한 공정이 본원에 제시된다: 캐소드 활성 물질을 LiOH의 용액으로 코팅하는 단계; 캐소드 활성 물질을 코팅한 용액으로부터 용매를 제거하여 제1 물질을 제공하는 단계; 제1 물질을 건조 공기 조건 하에 가열하여 가열된 제1 물질을 형성하는 단계; 가열된 제1 물질을 LiOH의 용액 및 붕소 공급원으로 코팅하여 제2 물질을 형성하는 단계; 및 제2 물질을 가열하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 형성하는 단계.

[0013] 또한 하기 단계를 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질을 제조하기 위한 공정이 본원에 제시된다: 캐소드 활성 물질을 LiOH의 용액 및 붕소 공급원으로 코팅하는 단계; 캐소드 활성 물질을 코팅한 용액으로부터 용매를 제거하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 제공하는 단계; 및 코팅된 캐소드 활성 물질을 건조 공기 조건 하에 가열하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 형성하는 단계.

[0014] 또한 캐소드 활성 물질 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제

시되며, 여기서 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 26.2 ° 및 27.4 ° (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 개시내용의 특정 측면과 이전에 공개된 문서 사이의 특정 차이점을 설명하는 개략도이다.

도 2는 실시예 A, B, C, D, 및 비교 실시예 E의 x-선 분말 회절 패턴이다.

도 3은 실시예 14에서의 안정성 시험으로부터의 시험 결과이다.

도 4는 실시예 14 및 15에서 시험한 배터리 셀에 대한 면적-비 저항의 변화(ΔR)를 요약한 플롯이다.

도 5는 실시예 3으로부터의 주사 전자 현미경 이미지를 보여준다.

도 6은 실시예 11에서 제작된 결정질 LZO 코팅에 대한 x-선 회절 (XRD) 패턴을 보여준다.

도 7은 실시예 15에서 제작된 무정형 LZO 코팅에 대한 x-선 회절 패턴을 보여준다.

도 8은 실시예 15에서의 LZO-코팅된 활성 물질에 대한 투과 전자 현미경검사 (TEM) 이미지를 보여준다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] **상세한 설명**

[0017] 캐소드 활성 물질용 코팅이 본원에 제시된다. 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 하나의 코팅을 갖는다. 다른 예에서, 캐소드 활성 물질은 2개의 코팅을 갖는다. 특정 예에서, 하나의 코팅을 갖는 캐소드 활성 물질은 XRD에 의해 결정 시 결정질 코팅을 갖는다. 또 다른 예에서, 하나의 코팅을 갖는 캐소드 활성 물질은 XRD에 의해 결정 시 무정형 코팅을 갖는다. 일부 예에서, 캐소드 활성 물질 상의 코팅은 리튬, 붕소, 산소 또는 이들의 조합을 함유한다. 일부 다른 예에서, 캐소드 활성 물질 상의 코팅은 리튬, 붕소, 탄소, 산소 또는 이들의 조합을 함유한다. 일부 다른 예에서, 캐소드 활성 물질 상의 코팅은 리튬, 산소, 지르코늄, 인 또는 이들의 조합을 함유한다. 이들 코팅 중 특정한 것은 배터리 성능 저하에 대한 원인으로 언급된 상기 언급된 산화 반응을 방지하거나 지연시킬 수 있다. 배터리에서 사용될 때, 본원에 제시된 신규 개시된 코팅된 캐소드 활성 물질은 보다 안정한 배터리를 생성한다.

[0018] **정의**

[0019] 본원에서 사용된, 용어 "약"은, 수치, 예를 들어 약 15 % w/w를 한정할 때, 한정된 수치 및 임의적으로 수치의 ± 10%를 포함하는 한정된 수치 주위의 범위에 포함된 수치를 지칭한다. 예를 들어, 약 15 % w/w는 15 % w/w 뿐만 아니라 13.5 % w/w, 14 % w/w, 14.5 % w/w, 15.5 % w/w, 16 % w/w, 또는 16.5 % w/w를 포함한다. 예를 들어, "약 75 ℃"는 75 ℃ 뿐만 아니라 68 ℃, 69 ℃, 70 ℃, 71 ℃, 72 ℃, 73 ℃, 74 ℃, 75 ℃, 76 ℃, 77 ℃, 78 ℃, 79 ℃, 80 ℃, 81 ℃, 82 ℃, 또는 83 ℃를 포함한다.

[0020] 본원에서 사용된, "~로 이루어진 군으로부터 선택된"은 군으로부터의 단일 구성원, 군으로부터의 하나 초과의 구성원, 또는 군으로부터의 구성원들의 조합을 지칭한다. A, B 및 C로 이루어진 군으로부터 선택된 구성원은 예를 들어 A 단독, B 단독, 또는 C 단독, 뿐만 아니라 A와 B, A와 C, B와 C, 뿐만 아니라 A, B 및 C를 포함한다.

[0021] 본원에서 사용된 어구 "건조 공기"는 감소된 양의 습도를 포함하는 공기를 지칭한다. 건조 공기는 클린 룸에서 공급될 수 있다. 건조 공기는 -70℃ 미만의 이슬점을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0022] 본원에서 사용된 어구 "캐소드 활성 물질"은 리튬 이온을 인터칼레이팅하거나 리튬 이온과 가역적인 방식으로 반응할 수 있는 물질을 지칭한다. 예는 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, 0≤x≤1, 0≤y≤1, 및 0≤z≤1; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 x+y+z=1, 및 0≤x≤1, 0≤y≤1, 및 0≤z≤1을 포함한다. 이들 화학식에서, x, y 및 z는 식이 중성 전하가 되도록 선택된다.

[0023] 본원에서 사용된 어구 "적어도 ~에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 하는"은, 실시예에서의 기술에 따라, 물질이 x-선 분말 회절을 사용하여 분석될 때, 샘플이 적어도 인용된 XRD 피크 및 가능하게는 다른 피크를 갖는 것으로 관찰될 것임을 의미한다. 피크는 XRD에 의해 분석되는 물질에 x-선이 입

사될 때 관찰된 XRD 패턴을 유도하는 결정질 유닛 셀의 d-간격 (격자 간격)을 나타내는 XRD 패턴에서 높은 강도의 위치이다.

[0024] 본원에서 사용된 어구 "30.3 ° (2Θ)에서의 피크의 31.7 ° (2Θ)에서의 피크에 대한 피크 강도 비 (k)는 1 초과 또는 2 미만임"은 30.3 ° (2Θ)에서의 XRD 피크 강도 (I)의 31.7 ° (2Θ)에서의 피크 강도에 대한 비: k= I (30.3) / I (31.7)을 지칭한다.

[0025] 본원에서 사용된 어구 "고체-상태 캐소드"는 어떠한 액상 전해질도 포함하지 않는 캐소드를 지칭한다. 본원에서 사용된, 용어 "캐소드" 및 "애노드"는 배터리의 전극을 지칭한다. 캐소드 및 애노드는 종종 관련 기술 분야에서 각각 양극 및 음극으로 지칭된다. Li-2차 배터리에서 충전 주기 동안, Li 이온은 캐소드를 떠나 전해질을 통해 애노드로 이동한다. 충전 주기 동안, 전자는 캐소드를 떠나 외부 회로를 통해 애노드로 이동한다. Li-2차 배터리에서 방전 주기 동안, Li 이온은 전해질을 통해 애노드로부터 캐소드를 향해 이동한다. 방전 주기 동안, 전자는 애노드를 떠나 외부 회로를 통해 캐소드로 이동한다. 본원에서 사용된, 어구 "양극"은 양이온, 예를 들어 Li^+가 배터리의 방전 동안 그를 향해 전도하거나 흐르거나 이동하는 2차 배터리 내 전극을 지칭한다. 본원에서 사용된, 어구 "음극"은 양이온, 예를 들어 Li^+가 배터리의 방전 동안 그로부터 흐르거나 이동하는 2차 배터리 내 전극을 지칭한다. Li-금속 전극 및 전환 화학, 인터칼레이션 화학, 또는 전환/인터칼레이션 화학 조합-포함 전극 (즉, 캐소드 활성 물질; 예를 들어 NiF_x, NCA, $LiNi_xMn_yCo_zO_2$ [NMC] 또는 $LiNi_xAl_yCo_zO_2$ [NCA], 여기서 x+y+z =1)으로 구성된 배터리에서, 전환 화학, 인터칼레이션 화학, 또는 전환/인터칼레이션 화학 물질 조합을 갖는 전극이 양극으로서 지칭된다. 일부 사용법에서, 캐소드가 양극 대신에 사용되고, 애노드가 음극 대신에 사용된다. Li-2차 배터리가 충전될 때, Li 이온은 양극 (예를 들어, NiF_x, NMC, NCA)으로부터 음극 (예를 들어, Li-금속)을 향해 이동한다. Li-2차 배터리가 방전될 때, Li 이온은 음극으로부터 양극을 향해 이동한다.

[0026] 본원에서 사용된 어구 "고체 분리막"은 전자에 대해 실질적으로 절연성이고 (예를 들어, 리튬 이온 전도성은 전자 전도성보다 적어도 10^3 배, 및 종종 10^6 배 더 큼), 전기화학 셀에서 양극과 음극 사이의 물리적 배리어 또는 스페이서로서 작용하는 Li^+ 이온-전도 물질을 지칭한다.

[0027] 본원에서 사용된, 용어 "LPSI"는 Li, P, S, 및 I를 포함하는 리튬 전도 전해질을 지칭한다. 보다 일반적으로, $aLi_2S+bP_2S_y+cLiX$ 여기서 X=Cl, Br, 및/또는 I, 및 y=3-5, 및 a/b=2.5-4.5, 및 (a+b)/c=0.5-15를 포함하는 것으로 이해된다.

[0028] 본원에서 사용된, "LSTPS"는 화학식 $Li_aMP_bS_c$, 여기서 M은 Si, Ge, Sn, 및/또는 Al이고, $2 \leq a \leq 8$, $0.5 \leq b \leq 2.5$, $4 \leq c \leq 12$를 특징으로 하는 물질을 지칭한다. "LSPS"는 화학식 $L_aSiP_bS_c$, 여기서 $2 \leq a \leq 8$, $0.5 \leq b \leq 2.5$, $4 \leq c \leq 12$를 특징으로 하는 전해질 물질을 지칭한다. LSPS는 화학식 $L_aSiP_bS_c$, 여기서 $2 \leq a \leq 8$, $0.5 \leq b \leq 2.5$, $4 \leq c \leq 12$, $d<3$을 특징으로 하는 전해질 물질을 지칭한다. 예시적인 LSTPS 물질은, 예를 들어 2014년 5월 15일에 제출된, 발명의 명칭이 $Li_AMP_BS_C$ (M = SI, GE, 및/또는 SN)를 사용하는 배터리용 고체 상태 캐소드액 또는 전해질인 국제 특허 출원 번호 PCT/US14/38283, 및 전문이 본원에 참조로 포함된 2014년 11월 20일에 공개된 WO 2014/186634에서 발견된다. 예시적인 LSTPS 물질은, 예를 들어 2015년 2월 10일에 제출된 US 특허 출원 번호 14/618,979 및 본원에 전문이 참조로 포함된 2015년 6월 18일에 공개된 특허 출원 공개 번호 2015/0171465에서 발견된다. M이 Sn 및 Si일 때 -- 둘 다 존재한다. 본원에서 사용된, "LSTPSO"는 존재하는 O로 도핑되거나 이를 갖는 LSTPS를 지칭한다. 일부 예에서, "LSTPSO"는 산소 함량이 0.01 내지 10 원자 %인 LSTPS 물질이다. "LSPS"는 Li, Si, P, 및 S 화학 성분을 갖는 전해질 물질을 지칭한다. 본원에서 사용된 "LSTPS"는 Li, Si, P, Sn, 및 S 화학 성분을 갖는 전해질 물질을 지칭한다. 본원에서 사용된, "LSPSO"는 존재하는 O로 도핑되거나 이를 갖는 LSPS를 지칭한다. 일부 예에서, "LSPSO"는 산소 함량이 0.01 내지 10 원자 %인 LSPS 물질이다. 본원에서 사용된, "LATP"는 Li, As, Sn, 및 P 화학 성분을 갖는 전해질 물질을 지칭한다. 본원에서 사용된 "LAGP"는 Li, As, Ge, 및 P 화학 성분을 갖는 전해질 물질을 지칭한다. 본원에서 사용된, "LSTPSO"는 화학식 $Li_aMP_bS_cO_d$, 여기서 M은 Si, Ge, Sn, 및/또는 Al이고, $2 \leq a \leq 8$, $0.5 \leq b \leq 2.5$, $4 \leq c \leq 12$, $d < 3$을 특징으로 하는 캐소드액 물질을 지칭한다. LSTPSO는 0.1 내지 약 10 원자 %의 산소 도핑을 갖는 상기 정의된 LSTPS를 지칭한다. LPSO는 0.1 내지 약 10 원자 %의 산소 도핑을 갖는 상기 정의된 LPS를 지칭한다.

[0029] 본원에서 사용된, "LTS"는 Li_2S-SnS_2, Li_2S-SnS, Li-S-Sn으로 기재될 수 있는 리튬 주석 술피드 화합물, 및/또는 본질적으로 Li, S, 및 Sn으로 이루어지는 캐소드액을 지칭한다. 조성물은 $Li_xSn_yS_z$, 여기서 $0.25 \leq x \leq 0.65$, $0.05 \leq y \leq 0.2$, 및 $0.25 \leq z \leq 0.65$일 수 있다. 일부 예에서, LTS는 비율 80:20, 75:25, 70:30, 2:1, 또는 1:1 몰비의 Li_2S 및 SnS_2의 혼합물이다. LTS는 최대 10 원자 % 산소를 포함할 수 있다. LTS는 Bi, Sb, As, P, B, Al, Ge, Ga, 및/또는 In으로 도핑될 수 있다. 본원에서 사용된, "LATS"는 비소 (As)를 추가로 포함하는, 상기 사용된 바와 같은 LTS를 지칭한다.

[0030] 본원에서 사용된 어구 "어닐링"은 물질을 조절된 분위기, 예를 들어 건조 공기에서, 예를 들어 100℃ 내지 400℃, 또는 예를 들어 100℃, 150℃, 200℃, 250℃, 300℃, 또는 350℃로 가열하는 것을 지칭한다.

[0031] 본원에서 사용된 어구 "고전압에서 안정한"은 적어도 3일 동안 고전압이 유지될 때 물질의 이온 전도도 또는 저항을 현저하게 또는 상당하게 저하시키는 방식으로 고전압 (Li 금속에 대해 4.2 V 이상)에서 반응하지 않는 물질 (예를 들어, 코팅된 캐소드 활성 물질)을 지칭한다. 본원에서, 이온 전도도 또는 저항의 현저한 또는 상당한 저하는 한 자릿수 이상의 이온 전도도의 감소 또는 저항의 증가이다. 본원에서 사용된, 용어 "고전압"은 리튬 금속에 대해 적어도 4.2V (즉, v. Li)를 의미한다. 고전압은 또한 더 높은 전압, 예를 들어 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 5.0 V 또는 그 초과를 지칭할 수 있다.

[0032] 본원에서 사용된, 고전압은 달리 명시하지 않는 한 리튬 금속 기준 전극 (0V에 있음)에 대해 4.2 V 이상을 의미한다.

[0033] 본원에서 사용된 어구 "고온에서 안정한"은 적어도 3일 동안 고온에서 유지될 때 물질의 이온 전도도 또는 저항을 현저하게 또는 상당하게 저하시키는 방식으로 고온 (60 ℃ 이상)에서 반응하지 않는 물질 (예를 들어, 코팅된 캐소드 활성 물질)을 지칭한다.

[0034] 본원에서 사용된, 면적-비 저항 (ASR)은 달리 명시되지 않는 한, 아르빈(Arbin) 또는 바이올로직(Biologic) 기구를 사용하여 전기화학 사이클링에 의해 측정된다.

[0035] 본원에서 사용된, 이온 전도도는 관련 기술 분야에 공지된 전기 임피던스 분광분석법 방법에 의해 측정된다.

[0036] 본원에서, 용어 "Li-B-C-O"는 경험적인 화학식 $Li_{(3-x)}B_{(1-x)}C_xO_3$, 여기서 $0<x<0.65$를 가질 수 있고, 결정질 Li_2CO_3와 등구조인 물질을 지칭한다. 일부 예에서, Li-B-C-O에 대한 XRD 패턴은 주요(major) 상에 분포된 부(minor) 상을 갖는 고용체의 형성을 지칭한다.

[0037] 본원에서 사용된, 용어 "LZO"는 Li_2ZrO_3, ZrO_2, 또는 이들의 조합을 지칭한다. LZO는 결정질, 무정형, 또는 이들의 조합일 수 있다. 예를 들어, LZO는 결정질 ZrO_2 및 무정형 Li_2ZrO_3를 포함할 수 있다. 예를 들어, LZO는 ZrO_2를 포함할 수 있다. 예를 들어, LZO는 Li_2ZrO_3를 포함할 수 있다.

[0038] **물질의 조성**

[0039] 특정 예에서, 캐소드 활성 물질; 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 조성물이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은 리튬, 산소, 지르코늄, 인, 또는 이들의 조합으로부터 선택된 구성원을 포함하고; 여기서 코팅은 투과 전자 현미경검사 (TEM) 분석에 기초한 결정질 도메인을 포함한다.

[0040] 이들 예의 일부에서, 캐소드 활성 물질; 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 조성물이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은 리튬, 산소, 지르코늄, 인, 또는 이들의 조합으로부터 선택된 구성원을 포함하고; 코팅은 x-선 회절 패턴 분석에 기초한 무정형이며; 코팅은 투과 전자 현미경검사 (TEM) 분석에 기초한 결정질 도메인을 포함한다. 예는 도 8에 나타낸다. 도 8에서, NMC 활성 물질 상의 코팅은 TEM에 의해 결정 시 결정질 체계를 갖는다. 이 결정질 체계는 NMC 활성 물질에 인접해 있다. 도 8은 또한 이러한 코팅에 대한 무정형 요소를 보여준다. 결정질 및 무정형 요소 둘 다 도 8에 표시되어 있다. 무정형 요소는 결정질 요소를 둘러싸고 있다. 도 7에 의해 입증된 바와 같이, 코팅이 XRD에 의해 분석될 때, 코팅은 잘-정의된, 고-강도 XRD 피크의 부족으로 인해 무정형로 나타난다.

[0041] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 하기 화학식을 갖는다:

[0042] $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0043] $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

[0044] $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$; 또는

[0045] $Li_xC_yO_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 1.8$, $0.1 \leq y \leq 1$, 및 $1 \leq z \leq 1.8$.

[0046] 특정 예에서, 코팅은 $Li_xZr_yO_z$이고, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$이다.

[0047] 특정 다른 예에서, 코팅은 $Li_xP_yO_z$이고, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$이다.

[0048] 또 다른 예에서, 코팅은 $Li_xZr_y(PO_4)_z$이고, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$이다.

[0049] 또 다른 예에서, 코팅은 $Li_xC_yO_z$이고, 여기서 $0.4 \leq x \leq 1.8$, $0.1 \leq y \leq 1$, 및 $1 \leq z \leq 1.8$이다.

[0050] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 투과 전자 현미경검사 분석에 기초한 결정질 도메인에 더하여 TEM 분석에 기초한 무정형 도메인을 추가로 포함한다.

[0051] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결정질 도메인은 캐소드 활성 물질과 접촉한다.

[0052] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 무정형 도메인은 캐소드 활성 물질과 접촉하지 않는다.

[0053] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 TEM 분석에 의해 결정 시, $1\ nm \leq T \leq 20\ nm$인 두께 T를 갖는다.

[0054] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 약 1, 약 5 nm, 또는 약 10 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 1 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 2 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 3 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 4 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 5 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 6 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 7 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 8 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 9 nm이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, T는 10 nm이다.

[0055] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅 결정질 도메인은 TEM 분석에 의해 결정 시, 캐소드 활성 물질의 결정질 도메인과 격자 매칭되지 않는다.

[0056] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 조성물은 코팅과 접촉하는 제2 코팅을 추가로 포함한다.

[0057] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제2 코팅은 코팅의 화학식과 동일하지 않는 화학식을 갖는다.

[0058] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제2 코팅은 하기 화학식을 갖는다:

[0059] $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$; 또는

[0060] $Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $2 \leq x \leq 4$, $0 \leq y \leq 2$, 및 $5 \leq z \leq 7$.

[0061] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제2 코팅은 TEM 분석에 의해 결정 시 무정형이다.

[0062] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제2 코팅은 TEM 분석에 의해 결정 시 결정질이다.

[0063] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제2 코팅은 Li_3BO_3이다.

[0064] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_3InCl_6이다.

[0065] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제1 코팅은 $Li_xZr_yO_z$이고, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$이다.

[0066] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제1 코팅은 리튬 지르코늄 옥시드이다.

[0067] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제1 코팅은 Li_2ZrO_3이다.

[0068] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제1 코팅은 $Li_xP_yO_z$이고, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq$

1.4, 및 2.0 ≤ z ≤ 3.7이다.

[0069] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제1 코팅은 $Li_3(PO_4)$이다.

[0070] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제1 코팅은 $Li_xZr_y(PO_4)_z$이고, 여기서 0.05 ≤ x ≤ 1.5, 1 ≤ y ≤ 3, 및 2.0 ≤ z ≤ 4.0이다.

[0071] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 제1 코팅은 $LiZr_2(PO_4)_3$이다.

[0072] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅 또는 제2 코팅, 또는 이들 둘 다는 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_2ZrO_3, Li_3PO_4, Li_2SO_4, $LiNbO_3$, $Li_4Ti_5O_{12}$, $LiTi_2(PO_4)_3$, $LiZr_2(PO_4)_3$, LiOH, LiF, Li_4ZrF_8, $Li_3Zr_4F_{19}$, Li_3TiF_6, $LiAlF_4$, $LiYF_4$, $LiNbF_6$, ZrO_2, Al_2O_3, TiO_2, ZrF_4, AlF_3, TiF_4, YF_3, NbF_5, 및 이들의 조합으로 이루어지는 군으로부터 선택된 구성원을 추가로 포함한다.

[0073] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이고, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, 0≤x≤1, 0≤y≤1, 및 0≤z≤1; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 x+y+z=1, 및 0≤x≤1, 0≤y≤1, 및 0≤z≤1로부터 선택된다.

[0074] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, 0≤x≤1, 0≤y≤1, 및 0≤z≤1이다.

[0075] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이며, y는 0.1이고, z는 0.1이다.

[0076] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이며, y는 0.2이고, z는 0.2이다.

[0077] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이며, y는 0.3이고, z는 0.2이다.

[0078] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이며, y는 1/3이고, z는 1/3이다.

[0079] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0080] 일부 예에서 본원에 제시된 코팅된 캐소드 활성 물질을 포함하는 고체-상태 캐소드가 본원에 제시된다.

[0081] 일부 예에서 캐소드 활성 물질 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되고, 여기서 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4 °, 30.3 °, 및 31.7 ° (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 하고; 그리고 여기서 30.3 ° (2Θ)에서의 피크의 31.7 ° (2Θ)에서의 피크에 대한 피크 강도 비 (k)가 1 초과 또는 2 미만이다.

[0082] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 또는 1.9이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.1이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.2이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.3이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.4이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.5이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.6이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.7이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.8이다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, k는 1.9이다.

[0083] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_{(3-x)}B_{(1-x)}C_xO_3$을 포함하고 여기서 0<x<0.65이다. 일부 예에서 x는 0.01이다. 일부 예에서 x는 0.05이다. 일부 예에서 x는 0.10이다. 일부 예에서 x는 0.15이다.

일부 예에서 x는 0.20이다. 일부 예에서 x는 0.25이다. 일부 예에서 x는 0.30이다. 일부 예에서 x는 0.35이다. 일부 예에서 x는 0.4이다. 일부 예에서 x는 0.45이다. 일부 예에서 x는 0.5이다. 일부 예에서 x는 0.55이다. 일부 예에서 x는 0.6이다. 일부 예에서 x는 0.65 미만이다.

[0084] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은: $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.75$, $0.5 \le y \le 1.6$, 및 $1.5 \le z \le 2.6$; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \le x \le 1.6$, $0.2 \le y \le 1.0$, 및 $2 \le z \le 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \le x \le 1.5$, $0.5 \le y \le 1.4$, 및 $2.0 \le z \le 3.7$; $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \le x \le 1.5$, $0.5 \le y \le 1.5$, 및 $2 \le z \le 4$; $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \le x \le 1.6$, $0.2 \le y \le 1.0$, 및 $2 \le z \le 1.2$; $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \le x \le 2$, $1 \le y \le 3$, $1 \le w \le 4$, 및 $2 \le z \le 20$; $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \le x \le 2$, $1 \le y \le 3$, $1 \le w \le 4$, 및 $2 \le z \le 20$; $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.75$, $0.25 \le y \le 0.8$, 및 $1.75 \le z \le 3.4$; $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.75$, $0.25 \le y \le 0.8$, 및 $1.75 \le z \le 3.4$; $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \le x \le 0.8$, $0.2 \le y \le 0.6$, 및 $1.4 \le z \le 2.2$; $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \le x \le 0.8$, $0.2 \le y \le 0.6$, 및 $1.4 \le z \le 2.2$; $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.8$, $0.2 \le y \le 0.8$, 및 $1.8 \le z \le 4.2$; $Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $0.5 \le x \le 1$, $0 \le y \le 0.5$, 및 $1 \le z \le 2$; $Li_xAl_yCl_z$, 여기서 $0.5 \le x \le 1$, $0 \le y \le 0.5$, 및 $1 \le z \le 2$; $Li_xY_yCl_z$, 여기서 $0.5 \le x \le 1$, $0 \le y \le 0.5$, 및 $1 \le z \le 2$; $Li_xFe_yCl_z$, 여기서 $0.5 \le x \le 1$, $0 \le y \le 0.5$, 및 $1 \le z \le 2$; $Li_xZr_yCl_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.75$, $0.25 \le y \le 0.8$, 및 $1.75 \le z \le 3.4$; $Li_xGe_yP_wO_z$, 여기서 $0 \le x \le 2$, $1 \le y \le 3$, $1 \le w \le 4$, 및 $2 \le z \le 20$; $Li_xSn_yP_wO_z$, 여기서 $0 \le x \le 2$, $1 \le y \le 3$, $1 \le w \le 4$, 및 $2 \le z \le 20$; 또는 이들의 조합을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0085] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅이 $Li_{(3-x)}B_{(1-x)}C_xO_3$, 여기서 $0<x<0.65$를 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시된다.

[0086] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.75$, $0.5 \le y \le 1.6$, 및 $1.5 \le z \le 2.6$을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0087] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \le x \le 1.6$, $0.2 \le y \le 1.0$, 및 $2 \le z \le 1.2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0088] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \le x \le 1.5$, $0.5 \le y \le 1.4$, 및 $2.0 \le z \le 3.7$을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0089] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \le x \le 1.5$, $0.5 \le y \le 1.5$, 및 $2 \le z \le 4$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0090] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \le x \le 1.6$, $0.2 \le y \le 1.0$, 및 $2 \le z \le 1.2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0091] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \le x \le 2$, $1 \le y \le 3$, $1 \le w \le 4$, 및 $2 \le z \le 20$을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0092] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \le x \le 2$, $1 \le y \le 3$, $1 \le w \le 4$, 및 $2 \le z \le 20$을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0093] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.75$, $0.25 \le y \le 0.8$, 및 $1.75 \le z \le 3.4$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0094] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \le x \le 0.75$, $0.25 \le y \le 0.8$, 및 $1.75 \le z \le 3.4$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0095] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \le x \le 0.8$, $0.2 \le y \le 0.6$, 및

$1.4 \leq z \leq 2.2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0096] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0097] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.8 \leq z \leq 4.2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0098] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0099] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xAl_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0100] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xY_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0101] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xFe_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0102] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xZr_yCl_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0103] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xGe_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0104] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 $Li_xSn_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0105] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_2ZrO_3, Li_3PO_4, Li_2SO_4, $LiNbO_3$, $Li_4Ti_5O_{12}$, $LiTi_2(PO_4)_3$, $LiZr_2(PO_4)_3$, LiOH, LiF, Li_4ZrF_8, $Li_3Zr_4F_{19}$, Li_3TiF_6, $LiAlF_4$, $LiYF_4$, $LiNbF_6$, ZrO_2, Al_2O_3, TiO_2, ZrF_4, AlF_3, TiF_4, YF_3, NbF_5, 또는 이들의 조합을 포함하거나 추가로 포함한다.

[0106] 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, 본원에서 변수는 화학식이 중성 전하가 되도록 선택된다.

[0107] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, $Li_xB_yO_z$, 또는 이들의 조합을 포함한다. 화학식 $Li_xB_yO_z$에서, $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$이다.

[0108] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, $Li_xB_yO_z$, Li_2ZrO_3, Li_3PO_4, Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함한다. 특정 예에서, Li_2CO_3는 활성 물질과 접촉한다. 특정 예에서, Li_3BO_3는 활성 물질과 접촉한다. 특정 예에서, $Li_3B_{11}O_{18}$는 활성 물질과 접촉한다. 특정 예에서, LZO는 활성 물질과 접촉한다. 특정 예에서, Li_2ZrO_3는 활성 물질과 접촉한다. 특정 예에서, Li_3PO_4는 활성 물질과 접촉한다. 특정 예에서, Li_2SO_4는 활성 물질과 접촉한다. 특정 예에서, $Li_xB_yO_z$는 활성 물질과 접촉한다.

[0109] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_2ZrO_3, Li_3PO_4, Li_2SO_4, $LiNbO_3$, $Li_4Ti_5O_{12}$, $LiTi_2(PO_4)_3$, $LiZr_2(PO_4)_3$, LiOH, LiF, Li_4ZrF_8, $Li_3Zr_4F_{19}$, Li_3TiF_6, $LiAlF_4$, $LiYF_4$, $LiNbF_6$, ZrO_2, Al_2O_3, TiO_2, ZrF_4, AlF_3, TiF_4, YF_3, NbF_5, 또는 이들의 조합을 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Li_2CO_3를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Li_3BO_3를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $Li_3B_{11}O_{18}$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Li_2ZrO_3를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Li_3PO_4를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Li_2SO_4를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $LiNbO_3$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $Li_4Ti_5O_{12}$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $LiTi_2(PO_4)_3$를 포함하거나 추가로 포함한

다. 특정 예에서, 코팅은 $LiZr_2(PO_4)_3$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 LiOH를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 LiF를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Li_4ZrF_8를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $Li_3Zr_4F_{19}$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Li_3TiF_6를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $LiAlF_4$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $LiYF_4$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 $LiNbF_6$를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 ZrO_2를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 Al_2O_3를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 TiO_2를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 ZrF_4를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 AlF_3를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 TiF_4를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 YF_3를 포함하거나 추가로 포함한다. 특정 예에서, 코팅은 NbF_5를 포함하거나 추가로 포함한다.

[0110] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0111] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 및 31.7° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0112] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 및 37.2° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0113] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 및 37.2° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0114] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0115] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 및 39.8° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0116] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 및 39.8° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0117] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0118] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7° (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0119] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 2에 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0120] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 2에서 실시예 D로서 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0121] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 6에 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0122] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 7에 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절(XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0123] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_3BO_3 및 Li_2CO_3를 포함하고 및 Li_2CO_3에 대한 $Li_xB_yO_z$의 몰비는 1 초과이다. 화학식 $Li_xB_yO_z$에서, $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$이다.

[0124] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_3BO_3 및 Li_2CO_3를 포함하고 Li_2CO_3에 대한 $Li_xB_yO_z$의 몰비는 1 초과 내지 2 미만이다.

[0125] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_3BO_3 및 Li_2CO_3를 포함하고 Li_2CO_3에 대한 Li_3BO_3의 몰비는 1 초과이다.

[0126] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_3BO_3 및 Li_2CO_3를 포함하고 Li_2CO_3에 대한 Li_3BO_3의 몰비는 1 초과 내지 2 미만이다.

[0127] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 결정질 Li_3BO_3 및 결정질 Li_2CO_3를 포함하고 Li_2CO_3에 대한 Li_3BO_3의 몰비는 1 초과 내지 2 미만이다.

[0128] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn), $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임, $LiMn_2O_4$, $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, $Li(NiCoAl)O_2$, 및 니켈 코발트 알루미늄 옥시드로부터 선택된다.

[0129] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $x+y+z=1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 $x+y+z=1$, 및 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$로부터 선택된다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $x+y+z=1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$이다. 특정 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1이다. 특정 다른 예에서, 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2이다. 일부 예에서 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2이다. 일부 다른 예에서, 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3이다. 특정 예에서, 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0130] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $x+y+z=1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$이다. 특정 예에서, 캐소드 활성 물질 중 리튬의 양은 배터리의 충전 상태에 따라 달라질 것이다. 예를 들어, 리튬의 양은 $Li_{0.95-1.1}(Ni_xMn_yCo_z)O_2$의 범위일 것이며, 여기서 x, y 및 z는 상기 정의된 바와 같다. 특정 다른 예에서, 리튬의 양은 $Li_{0.2-1.1}(Ni_xMn_yCo_z)O_2$의 범위일 것이며, 여기서 x, y 및 z는 상기 정의된 바와 같다. 리튬의 다른 범위는 본원에서 고려된다.

[0131] 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, 본원에서 변수는 화학식이 중성 전하가 되도록 선택된다.

[0132] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하고; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0133] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0134] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0135] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0136] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_2ZrO_3, Li_3PO_4, Li_2SO_4, $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0137] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0138] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, LZO, Li_3PO_4, Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0139] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2ZrO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_3PO_4, Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0140] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 LZO를 포함하며; 제2 코팅은 Li_2CO_3, Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_3PO_4, Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0141] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2ZrO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3를 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0142] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 LZO를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3를 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0143] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0144] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은

제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 $Li_2Zr_2O_3$를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0145] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 LZO를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0146] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_3BO_3를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0147] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$을 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3; $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0148] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_3BO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_2CO_3, Li_2ZrO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, Li_3PO_4, Li_2SO_4, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0149] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 LZO를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3PO_4를 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0150] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2ZrO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3PO_4를 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0151] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$을 포함하며; 제2 코팅은 Li_2SO_4를 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0152] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_3BO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_2SO_4를 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0153] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_2SO_4를 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0154] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 코팅 LZO를 포함하며; 여기서 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉한다.

[0155] 또한 캐소드 활성 물질을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은

코팅 Li_2ZrO_3를 포함하며; 여기서 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉한다.

[0156] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, Li_2CO_3에 대한 Li_3BO_3의 몰비가 1 초과이다.

[0157] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, Li_2CO_3에 대한 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$의 몰비가 1 초과이다.

[0158] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, 결정질 Li_2CO_3에 대한 결정질 $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$의 몰비가 1 초과 내지 2 미만이다.

[0159] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, Li_2CO_3에 대한 Li_3BO_3의 몰비가 1 초과 내지 2 미만이다.

[0160] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, 결정질 Li_2CO_3에 대한 결정질 Li_3BO_3의 몰비가 1 초과 내지 2 미만이다.

[0161] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 각각의 코팅의 두께는 약 1 nm 내지 50 nm이다. 이는 캐소드 활성 물질이 2개의 코팅을 갖는 예에서, 2개의 코팅 각각이 두께 1 nm 내지 50 nm를 가질 수 있음을 의미한다. 각각의 코팅은 다른 코팅과 동일하거나 상이한 두께를 가질 수 있다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 1 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 2 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 3 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 4 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 5 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 6 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 7 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 8 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 9 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 10 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 11 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 12 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 13 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 14 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 15 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 16 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 17 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 18 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 19 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 20 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 21 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 22 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 23 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 24 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 25 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 26 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 27 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 28 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 29 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 30 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 31 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 32 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 33 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 34 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 35 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 36 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 37 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 38 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 39 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 40 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 41 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 42 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 43 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 44 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 45 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 46 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 47 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 48 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 49 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 하나는 50 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 1 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 2 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 3 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 4 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 5 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 6 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 7 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 8 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는

9 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 10 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 11 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 12 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 13 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 14 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 15 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 16 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 17 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 18 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 19 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 20 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 21 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 22 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 23 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 24 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 25 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 26 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 27 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 28 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 29 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 30 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 31 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 32 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 33 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 34 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 35 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 36 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 37 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 38 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 39 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 40 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 41 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 42 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 43 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 44 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 45 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 46 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 47 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 48 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 49 nm의 두께를 갖는다. 일부 예에서 2개의 코팅 중 두번째는 50 nm의 두께를 갖는다.

[0162] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 21.4, 30.3, 및 31.7 (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 하며; 여기서 30.3 ° (2Θ)에서의 피크의 31.7 ° (2Θ)에서의 피크에 대한 피크 강도 비 (k)가 1 초과 또는 2 미만이다.

[0163] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0164] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 및 31.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0165] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 및 37.2에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0166] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 및 37.2에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0167] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0168] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 및 39.8에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0169] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 및 39.8에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖

는 것을 특징으로 한다.

[0170] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0171] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0172] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 2에 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0173] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 2에서 실시예 D로서 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0174] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 6에 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0175] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 7에 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0176] 일부 예에서 캐소드 활성 물질 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때 적어도 21.4 °, 30.3 °, 및 31.7 ° (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 하고; 여기서 30.3 ° (2Θ)에서의 피크의 31.7 ° (2Θ)에서의 피크에 대한 피크 강도 비 (k)는 1 초과 또는 2 미만이며; 임의적으로 여기서 코팅은 $Li_{(3-x)}B_{(1-x)}C_xO_3$, 여기서 0<x<0.65를 포함하고; 여기서 코팅은 하기로부터 선택된 구성원을 포함하거나 추가로 포함한다:

[0177] $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$;

[0178] $Li_xC_yO_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 1.8$, $0.1 \leq y \leq 1$, 및 $1 \leq z \leq 1.8$;

[0179] $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0180] $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$;

[0181] $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

[0182] $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.5$, 및 $2 \leq z \leq 4$;

[0183] $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0184] $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0185] $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0186] $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0187] $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0188] $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0189] $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0190] $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.8 \leq z \leq 4.2$;

[0191] $Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0192] $Li_xAl_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0193] $Li_xY_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0194] $Li_xFe_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0195] $Li_xZr_yCl_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0196] $Li_xGe_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0197] $Li_xSn_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$; 또는

[0198] 이들의 조합.

[0199] 일부 예에서 캐소드 활성 물질을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하고; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉하며; 제2 코팅은 하기로부터 선택된 구성원을 포함하거나 추가로 포함한다:

[0200] $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$;

[0201] $Li_xC_yO_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 1.8$, $0.1 \leq y \leq 1$, 및 $1 \leq z \leq 1.8$;

[0202] $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0203] $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

[0204] $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$;

[0205] $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.5$, 및 $2 \leq z \leq 4$;

[0206] $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0207] $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0208] $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0209] $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0210] $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0211] $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0212] $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0213] $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.8 \leq z \leq 4.2$; 또는

[0214] 이들의 조합.

[0215] 일부 예에서 캐소드 활성 물질을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉하고; 제1 코팅, 제2 코팅 중 어느 하나, 또는 이들 둘 다는 각각의 경우에 개별적으로 하기를 포함한다:

[0216] $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$;

[0217] $Li_xC_yO_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 1.8$, $0.1 \leq y \leq 1$, 및 $1 \leq z \leq 1.8$;

[0218] $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0219] $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

[0220] $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$;

[0221] $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.5$, 및 $2 \leq z \leq 4$;

[0222] $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0223] $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0224] $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0225] $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0226] $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0227] $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0228] $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0229] $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.8 \leq z \leq 4.2$;

[0230] $Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0231] $Li_xAl_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0232] $Li_xY_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0233] $Li_xFe_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0234] $Li_xZr_yCl_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0235] $Li_xGe_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0236] $Li_xSn_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$; 또는

[0237] 이들의 조합.

[0238] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn), $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8, y는 1 내지 12, z는 1 내지 24임, $LiMn_2O_4$, $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, $Li(NiCoAl)O_2$, 및 니켈 코발트 알루미늄 옥시드로부터 선택된다.

[0239] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 코팅 또는 코팅 계면에서 $Li_{(3-x)}B_{(1-x)}C_xO_3$, 여기서 $0<x<0.65$를 포함한다.

[0240] 일부 다른 예에서, 본원에 제시된 코팅된 캐소드 활성 물질을 포함하는 고체-상태 캐소드가 본원에 제시된다.

[0241] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 고체-상태 캐소드는 Li_2S-SiS_2, Li_2S-SiS_2-LiI, Li_2S-SiS_2-Li_3MO_4, Li_2S-SiS_2-Li_3MO_3, Li_2S-P_2S_5-LiI, 및 LATS로 이루어지는 군으로부터 선택된 고체-상태 전해질을 포함하며, 여기서 M은 Si, P, Ge, B, Al, Ga, 및 In으로 이루어지는 군으로부터 선택된 구성원이다.

[0242] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 고체-상태 캐소드는 LSTPS 또는 LPSI를 포함한다.

[0243] 일부 다른 예에서, 본원에 제시된 고체-상태 캐소드, 고체 분리막 및 애노드를 포함하는 배터리가 본원에 제시된다.

[0244] 또한 캐소드 활성 물질 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 26.2 ° 및 27.4 ° (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0245] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn), $Li_xTi_yO_z$, 여기

서 x는 0 내지 8, y는 1 내지 12, z는 1 내지 24임, $LiMn_2O_4$, $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, $Li(NiCoAl)O_2$, 및 니켈 코발트 알루미늄 옥시드로부터 선택된다.

[0246] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$, 및 $0\leq z\leq 1$; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 x+y+z=1, 및 $0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$, 및 $0\leq z\leq 1$로부터 선택된다. 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$, 및 $0\leq z\leq 1$이다. 특정 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1이다. 특정 다른 예에서, 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2이다. 일부 다른 예에서, 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2이다. 다른 예에서, 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3이다. 일부 예에서 코팅된 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0247] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$, 및 $0\leq z\leq 1$; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 x+y+z=1, 및 $0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$, 및 $0\leq z\leq 1$로부터 선택된다.

[0248] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$, 및 $0\leq z\leq 1$이다.

[0249] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1이다.

[0250] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2이다.

[0251] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2이다.

[0252] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3이다.

[0253] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0254] 일부 예에서 캐소드 활성 물질을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 Li_3BO_3, $Li_3B_{11}O_{18}$, 또는 이들의 조합을 포함하고; 여기서 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉한다.

[0255] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, Li_2CO_3에 대한 Li_3BO_3의 몰비는 1 초과이다.

[0256] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, Li_2CO_3에 대한 Li_3BO_3의 몰비는 1 초과 내지 2 미만이다.

[0257] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 결합된 제1 코팅 및 제2 코팅에서, 결정질 Li_2CO_3에 대한 결정질 Li_3BO_3의 몰비는 1 초과 내지 2 미만이다.

[0258] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때

21.4, 30.3, 및 31.7 (± 0.5 °) (2Θ)에서의 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 하며; 여기서 30.3 ° (2Θ)에서의 피크의 31.7 ° (2Θ)에서의 피크에 대한 피크 강도 비 (k)는 1 초과 또는 2 미만이다.

[0259] 일부 예에서 캐소드 활성 물질을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제2 코팅은 $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$; $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$; 또는 $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$를 포함한다.

[0260] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn), $Li_xT_iyO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임, $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임, 및 니켈 코발트 알루미늄 옥시드로부터 선택된다.

[0261] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $x+y+z=1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$이다.

[0262] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1이다.

[0263] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2이다.

[0264] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2이다.

[0265] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3이다.

[0266] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0267] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은, 코팅 또는 코팅 계면에서 $Li_{(3-x)}B_{(1-x)}C_xO_3$, 여기서 $0 \leq x \leq 0.65$를 포함한다.

[0268] 일부 다른 예에서, 본원에 제시된 코팅된 캐소드 활성 물질을 포함하는 고체-상태 캐소드가 본원에 제시된다.

[0269] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 고체-상태 캐소드는 Li_2S-SiS_2, Li_2S-SiS_2-LiI, Li_2S-SiS_2-Li_3MO_4, Li_2S-SiS_2-Li_3MO_3, Li_2S-P_2S_5-LiI, 및 LATS로 이루어지는 군으로부터 선택된 고체-상태 전해질을 추가로 포함하고, 여기서 M은 Si, P, Ge, B, Al, Ga, 및 In으로 이루어지는 군으로부터 선택된 구성원이다.

[0270] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 고체 전해질은 LSTPS 또는 LPSI를 포함한다.

[0271] 특정 예에서, 본원에 제시된 고체-상태 캐소드, 고체 분리막 및 애노드를 포함하는 배터리가 본원에 제시된다.

[0272] 특정 예에서, 캐소드 활성 물질 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 26.2 ° 및 27.4 ° (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0273] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_3BO_3 및 Li_2CO_3를 포함한다.

[0274] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_2ZrO_3 및 Li_3PO_4를 포함한다.

[0275] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, Li_2ZrO_3는 활성 물질과 접촉한다.

[0276] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_3BO_3 및 Li_2SO_4를 포함한다.

[0277] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, Li_3BO_3는 활성 물질과 접촉한다.

[0278] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_2CO_3 및 Li_2SO_4를 포함한다.

[0279] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, Li_2CO_3는 활성 물질과 접촉한다.

[0280] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 Li_2ZrO_3를 포함한다.

[0281] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, Li_2ZrO_3는 활성 물질과 접촉한다.

[0282] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 각각의 코팅의 두께는 약 1 nm 내지 50 nm이다.

[0283] 일부 예에서 캐소드 활성 물질 및 캐소드 활성 물질과 접촉하는 코팅을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며, 여기서 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4 °, 30.3 °, 및 31.7 ° (± 0.5 °) (2Θ)에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 하고; 여기서 30.3 ° (2Θ)에서의 피크의 31.7 ° (2Θ)에서의 피크에 대한 피크 강도 비 (k)는 1 초과 또는 2 미만이고; 임의적으로 여기서 코팅은 $Li_{(3-x)}B_{(1-x)}C_xO_3$, 여기서 $0<x<0.65$를 포함하며; 여기서 코팅은 하기를 포함하거나 추가로 포함한다:

[0284] $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$;

[0285] $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0286] $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$;

[0287] $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

[0288] $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.5$, 및 $2 \leq z \leq 4$;

[0289] $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0290] $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0291] $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0292] $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0293] $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0294] $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0295] $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0296] $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.8 \leq z \leq 4.2$;

[0297] $Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0298] $Li_xAl_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0299] $Li_xY_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0300] $Li_xFe_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0301] $Li_xZr_yCl_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0302] $Li_xGe_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0303] $Li_xSn_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$; 또는

[0304] 이들의 조합.

[0305] 일부 예에서 캐소드 활성 물질을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질이 본원에 제시되며; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 Li_2CO_3를 포함하며; 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하고; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉하며; 제2 코팅은 하기를 포함하거나 추가로 포함한다:

[0306] $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$;

[0307] $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0308] $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

[0309] $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$;

[0310] $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.5$, 및 $2 \leq z \leq 4$;

[0311] $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0312] $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0313] $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0314] $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0315] $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0316] $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0317] $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0318] $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.8 \leq z \leq 4.2$; 또는 이들의 조합.

[0319] 캐소드 활성 물질을 포함하는 코팅된 캐소드 활성 물질; 여기서 캐소드 활성 물질은 제1 코팅 및 제2 코팅을 포함하고; 제1 코팅은 캐소드 활성 물질과 접촉하며; 제2 코팅은 제1 코팅과 접촉하고; 제1 코팅, 제2 코팅 중 어느 하나, 또는 이들 둘 다는 각각의 경우에 개별적으로 하기를 포함한다:

[0320] $Li_xB_yO_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.5 \leq y \leq 1.6$, 및 $1.5 \leq z \leq 2.6$;

[0321] $Li_xZr_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0322] $Li_xP_yO_z$, 여기서 $0.6 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.4$, 및 $2.0 \leq z \leq 3.7$;

[0323] $Li_xZr_y(PO_4)_z$, 여기서 $0.05 \leq x \leq 1.5$, $1 \leq y \leq 3$, 및 $2.0 \leq z \leq 4.0$;

[0324] $Li_xNb_yO_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1.5$, $0.5 \leq y \leq 1.5$, 및 $2 \leq z \leq 4$;

[0325] $Li_xTi_yO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 1.6$, $0.2 \leq y \leq 1.0$, 및 $2 \leq z \leq 1.2$;

[0326] $Li_xTi_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0327] $Li_xZr_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0328] $Li_xZr_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0329] $Li_xTi_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0330] $Li_xAl_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0331] $Li_xY_yF_z$, 여기서 $0.4 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.6$, 및 $1.4 \leq z \leq 2.2$;

[0332] $Li_xNb_yF_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.8$, $0.2 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.8 \leq z \leq 4.2$;

[0333] $Li_xIn_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0334] $Li_xAl_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0335] $Li_xY_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0336] $Li_xFe_yCl_z$, 여기서 $0.5 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 0.5$, 및 $1 \leq z \leq 2$;

[0337] $Li_xZr_yCl_z$, 여기서 $0.2 \leq x \leq 0.75$, $0.25 \leq y \leq 0.8$, 및 $1.75 \leq z \leq 3.4$;

[0338] $Li_xGe_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0339] $Li_xSn_yP_wO_z$, 여기서 $0 \leq x \leq 2$, $1 \leq y \leq 3$, $1 \leq w \leq 4$, 및 $2 \leq z \leq 20$;

[0340] 또는 이들의 조합.

[0341] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $x+y+z=1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 $x+y+z=1$, 및 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$로부터 선택된다.

[0342] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, $x+y+z=1$, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$이다.

[0343] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1이다.

[0344] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2이다.

[0345] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2이다.

[0346] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3이다.

[0347] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0348] **제조를 위한 공정**

[0349] 도 1은 본원에 개시된 특정한 신규 방법 및 조성물과 하기 인용문의 것 사이의 차이점 중 일부를 예시한다: 문헌 1은 [*Chem. Mater.* 2018, 30, 22, 8190-8200,(https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.8b03321)]이다. 문헌 2는 [*Adv. Energy Mater.* 2020, 1903778 (https://doi.org/10.1002/aenm.201903778)]이다. 문헌 3은 [*Journal of Power Sources* Volume 248, 15 February 2014, Pages 943-950 (https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.005)]이다.

[0350] 본원에 개시된 특정한 것은 캐소드 활성 물질의 보다 균일한 커버리지를 초래한다. 이는 캐소드 활성 물질과 함께 캐소드에 포함되는 고체-상태 전해질과 캐소드 활성 물질 사이의 보다 안정한 계면을 초래한다.

[0351] 또한 하기 단계를 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질을 제조하기 위한 공정이 본원에 제시된다: 캐소드 활성 물질을 LiOH의 용액으로 코팅하는 단계; 캐소드 활성 물질을 코팅한 용액으로부터 용매를 제거하여 제1 물질을 제공하는 단계; 제1 물질을 건조 공기 조건 하에 어닐링하여 어닐링된 제1 물질을 형성하는 단계; 어닐링된 제1 물질을 LiOH의 용액 및 붕소 공급원으로 코팅하여 제2 물질을 형성하는 단계; 및 제2 물질을 어닐링하여 코팅된

캐소드 활성 물질을 형성하는 단계.

[0352] 또한 하기 단계를 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질을 제조하기 위한 공정이 본원에 제시된다: 캐소드 활성 물질을 LiOH의 용액 및 붕소 공급원으로 코팅하는 단계; 캐소드 활성 물질을 코팅한 용액으로부터 용매를 제거하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 제공하는 단계; 및 코팅된 캐소드 활성 물질을 건조 공기 조건 하에 어닐링하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 형성하는 단계.

[0353] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 붕소의 공급원은 H_3BO_3를 포함하나, 이에 제한되지는 않는다.

상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 붕소의 공급원은 메탄올에 가용성인 붕소-함유 화합물을 포함하나, 이에 제한되지는 않는다.

[0354] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, LiOH의 공급원은 LiOH를 포함하나, 이에 제한되지는 않는다.
상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, LiOH의 공급원은 메탄올에 가용성인 리튬-함유 화합물을 포함하나, 이에 제한되지는 않는다.

[0355] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0356] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 및 31.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0357] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 및 37.2에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0358] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 및 37.2에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0359] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0360] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 및 39.8에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0361] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 및 39.8에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0362] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0363] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은, Cu (Kα) 방사선을 사용하여 25 ℃에서 측정했을 때, 적어도 18.9, 21.4, 30.3, 31.7, 33.6, 36.7, 37.2, 39.8, 44.1, 44.9, 및 48.7에서 피크를 갖는 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0364] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 2에 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0365] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 코팅은 실질적으로 도 2에서 실시예 D로서 나타낸 바와 같은 x-선 분말 회절 (XRD) 패턴을 갖는 것을 특징으로 한다.

[0366] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 어닐링은 최대 350℃의 온도에서 적어도 10분 동안 수행된다.

[0367] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 어닐링은 최대 350℃의 온도에서 적어도 10분 동안 수행된다.

[0368] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 용매는 메탄올이다.

[0369] 특정 예에서, 하기 작업을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질을 제조하기 위한 공정이 본원에 제시된다: 캐소드 활성 물질을 LiOH의 용액으로 코팅하는 작업; 캐소드 활성 물질을 코팅한 용액으로부터 용매를 제거하여 제1 물질을 제공하는 작업; 제1 물질을 건조 공기 조건 하에 가열하여 가열된 제1 물질을 형성하는 작업; 가열된 제1 물질을 LiOH의 용액 및 붕소 공급원으로 코팅하여 제2 물질을 형성하는 작업; 및 제2 물질을 가열하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 형성하는 작업.

[0370] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 x+y+z=1, 및 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$로부터 선택된다.

[0371] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$이다.

[0372] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1이다.

[0373] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2이다.

[0374] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2이다.

[0375] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3이다.

[0376] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0377] 특정 예에서, 하기 작업을 포함하는, 코팅된 캐소드 활성 물질을 제조하기 위한 공정이 본원에 제시된다: 캐소드 활성 물질을 LiOH의 용액 및 붕소 공급원으로 코팅하는 작업; 캐소드 활성 물질을 코팅한 용액으로부터 용매를 제거하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 제공하는 작업; 및 코팅된 캐소드 활성 물질을 건조 공기 조건 하에 가열하여 코팅된 캐소드 활성 물질을 형성하는 작업.

[0378] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 가열은 최대 350℃의 온도에서 적어도 10분 동안 수행된다.

[0379] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 가열은 최대 350℃의 온도에서 적어도 10분 동안 수행된다.

[0380] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 용매는 메탄올이다.

[0381] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMPO_4$ (M=Fe, Ni, Co, Mn); $Li_xTi_yO_z$, 여기서 x는 0 내지 8이고, y는 1 내지 12이며, z는 1 내지 24임; $LiMn_{2a}Ni_aO_4$, 여기서 a는 0 내지 2임; 니켈 코발트 알루미늄 옥시드; $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$; 및 $LiNi_xCo_yAl_zO_2$, 여기서 x+y+z=1, 및 $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$로부터 선택된다.

[0382] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$, x+y+z=1, $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, 및 $0 \leq z \leq 1$이다.

[0383] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.8이고, y는 0.1이며, z는 0.1이다.

[0384] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.6이고, y는 0.2이며, z는 0.2이다.

[0385] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 0.5이고, y는 0.3이며, z는 0.2이다.

[0386] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiNi_xMn_yCo_zO_2$이고, x는 1/3이고, y는 1/3이며, z는 1/3이다.

[0387] 상기한 것 중 임의의 것을 포함한 일부 예에서, 캐소드 활성 물질은 $LiMn_2O_4$, $LiCoO_2$, $Li(NiCoMn)O_2$, 및 $Li(NiCoAl)O_2$로부터 선택된다.

[0388] **실시예**

[0389] 시약, 화학물질, 및 물질은, 달리 명시되지 않는 한, 상업적으로 구입하였다.

[0390] 파우치 셀 컨테이너는 쇼와 덴코(Showa Denko)로부터 구입하였다.

[0391] 사용된 전기화학 정전위기는 아르빈 정전위기였다.

[0392] 전기 임피던스 분광분석법 (EIS)은 바이올로직 VMP3, VSP, VSP-300, SP-150, 또는 SP-200으로 수행하였다.

[0393] 전자 현미경검사는 FEI 퀀타(Quanta) SEM, 헬리오스(Helios) 600i, 또는 헬리오스 660 FIB-SEM에서 수행하였다.

[0394] 투과 전자 현미경검사는 아래와 같이 수행하였다.

[0395] 샘플 제작: TEM 측정을 위한 샘플은 Ga 이온 공급 집중 이온 빔 (나노듀엣(nanoDUE'T) NB5000, 히타치 하이-테크놀로지스(Hitachi High-Technologies))을 사용하여 제작하였다. Ga 이온 빔으로부터 물질의 표면을 보호하기 위해, 샘플링 전에 다수의 보호 층을 침착시켰다; 먼저, 금속 층을 플라즈마 코터에 의해 침착시키고 이어서 탄소 보호 층 및 텅스텐 층을 각각 고 진공 증발 및 집중 이온 빔에 의해 침착시켰다. 얇은 슬라이스 샘플링을 집중 이온 빔에 의해 수행하였다. 제작된 샘플을 TEM에서 측정하였다.

[0396] TEM 측정: 전계 방출 전자 현미경 (JEM-2100F, JEOL)에 의해 코팅된 NMC의 TEM 이미지를 수득하였다. 가속 전압은 200kV로 설정하였다. 전자 빔 반경은 약 0.7 내지 1 nm로 설정하였다.

[0397] x-선 분말 회절 (XRD)은 브루커(Bruker) D8 어드밴스(Advance) A25에서 Cu K-α 방사선으로 실온 (예를 들어, 21 ℃ 내지 23 ℃)에서 수행하였다. 공급원은 파장 1.54 Å에서 Cu-Ka이었다. 40.kV 및 25 mA에서 x-선. 검출기: PSD 개구부 2.843을 갖는 LYNXEYE_XE. 0.6mm에서 발산 슬릿 및 5.0mm에서 비산방지기를 고정시켰다.

[0398] 레츠쉬(Retsch) PM 400 플라네터리 볼 밀(Planetary Ball Mill)을 사용하여 밀링을 수행하였다. 피셔 사이언티픽 볼텍스(Fischer Scientific vortex) 혼합기, 플락테크 스피드(Flaktek speed) 혼합기 또는 프리믹스 필믹스(Primix filmix) 균질화기를 사용하여 혼합을 수행하였다.

[0399] 주조는 TQC 드로우다운 테이블에서 수행하였다. 캘린더링은 IMC 캘린더에서 수행하였다,

[0400] 광 산란은 호리바(Horiba), 모델: 파르티카(Partica), 모델 번호: LA-950V2, 일반 용어: 레이져 산란 입자 크기 분포 분석기에서 수행하였다.

[0401] 실시예에서 사용한 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드(NMC)는, 달리 명시하지 않는 한 $LiNi_{0.85}Co_{0.1}Mn_{0.05}O_2$였다.

[0402] **실시예 1 - Li_3BO_3로 코팅되고 250 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0403] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0404] 0.600g의 LiOH (스펙트럼 케미칼(Spectrum Chemical))를 0.515g의 H_3BO_3 (시그마(Sigma))와 400g의 메탄올 (시그마)에 조합하여 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 아르곤 (Ar) 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0405] **단계 2: 코팅 단계**

[0406] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프(BASF)로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액

을 제거하였다.

[0407] **단계 3: 어닐링 단계**

[0408] 단계 2로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0409] 코팅된 캐소드 물질의 XRD 패턴에 대한 도 2 참조.

[0410] **실시예 2 - Li_2CO_3 및 Li_3BO_3로 코팅되고 250 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0411] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0412] 0.07 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼)를 400g의 메탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12 시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0413] **단계 2: 코팅 단계**

[0414] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0415] **단계 3: 어닐링 단계**

[0416] 단계 2로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 Li_2CO_3의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0417] 단계 1에서 전구체 용액으로부터 수득한 분말을 또한 250 ℃에서 1시간 동안 가열하여 그의 x-선 회절 패턴을 관찰할 수 있었다.

[0418] 코팅된 캐소드 물질의 XRD 패턴에 대한 도 2 참조.

[0419] **단계 4: 코팅 용액 제작**

[0420] 0.194 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼)를 0.167 g의 H_3BO_3 (시그마)와 400g의 메탄올 (시그마)에 조합하여 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12 시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0421] **단계 5: 코팅 단계**

[0422] 단계 3으로부터의 Li_2CO_3-코팅된 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (단계 3에서 제작함) (40g)을 단계 4 (400g)에서 제작한 용액에 넣고 0.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0423] **단계 6: 어닐링 단계**

[0424] 단계 5로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 Li_2CO_3의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_3BO_3의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0425] 단계 1에서 전구체 용액으로부터 수득한 분말을 또한 250 ℃에서 1시간 동안 가열하여 그의 x-선 회절 패턴을 관찰할 수 있었다.

[0426] 코팅된 캐소드 물질의 XRD 패턴에 대한 도 2 참조.

[0427] **실시예 3 - LZO /Li_3BO_3로 코팅되고 250 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0428] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0429] 0.10 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼) 및 지르코늄 부톡시드 80% 용액 (시그마) 0.96mL를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0430] **단계 2: 코팅 단계**

[0431] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제조한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하고, 이어서 DI 워터 (0.11 mL)을 첨가하였다. 용액을 추가로 1.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0432] **단계 3: 어닐링 단계**

[0433] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0434] 단계 1 및 2에서 전구체 용액으로부터 수득한 분말을 또한 375℃에서 1시간 동안 가열하여 그의 x-선 회절 패턴을 관찰할 수 있었다.

[0435] **단계 4: 코팅 용액 제작**

[0436] 0.285g의 LiOH (스펙트럼 케미칼)를 0.25g의 H_3BO_3 (시그마)와 400g의 메탄올 (시그마)에 조합하여 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12 시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0437] **단계 5: 코팅 단계**

[0438] LZO-코팅된 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (단계 3에서 제작함) (40g)을 단계 4에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0439] **단계 6: 어닐링 단계**

[0440] 단계 5로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_3BO_3 (LBO)의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0441] 투과 전자 현미경은 NMC의 상부 위의 LZO/LBO의 깨끗한 2개 층을 보여준다. 도 5 참조.

[0442] **실시예 4 - 고체-상태 반응을 사용하여 LZO /Li_3PO_4로 코팅되고**

[0443] **375 ℃에서 어닐링된 NMC의 제조**

[0444] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0445] 0.10 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼) 및 지르코늄 부톡시드 80% 용액 (시그마) 0.96mL를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0446] **단계 2: 코팅 단계**

[0447] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5 시간 동안 교반하고, 이어서 0.11 밀리리터 (mL) DI 워터를 첨가하였다. 용액을 추가로 1.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0448] **단계 3: 어닐링 단계**

[0449] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0450] **단계 4: 고체-상태 반응**

[0451] 2차 코팅 층을 고체-상태 반응으로 제작하였다. 단계 3에 의해 수득한 분말을 0.173g의 $NH_4H_2PO_4$와 10분 동안 마노 유발에서 Ar 충전 글로브 박스에서 혼합하였다.

[0452] **단계 5: 어닐링 단계**

[0453] 단계 4로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한

LZO의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_3PO_4 (LPO)의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0454] **실시예 5 - 실시예 4보다 높은 농도에서 고체-상태 반응을 사용하여**

[0455] **LZO/Li_3PO_4로 코팅되고 375 ℃에서 어닐링된 NMC의 제조**

[0456] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0457] 0.10 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼) 및 지르코늄 부톡시드 80% 용액 (시그마) 0.96mL를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0458] **단계 2: 코팅 단계**

[0459] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5 시간 동안 교반하고, 이어서 증류수 (DI) 워터 0.11mL를 첨가하였다.

[0460] 용액을 추가로 1.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0461] **단계 3: 어닐링 단계**

[0462] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0463] **단계 4: 코팅 용액 제작**

[0464] 2차 코팅 층을 고체 상태 반응으로 제작하였다. 단계 3에 의해 수득한 분말을 0.345g의 $NH_4H_2PO_4$와 10분 동안 마노 유발에서 Ar 충전 글로브 박스에서 혼합하였다.

[0465] **단계 5: 어닐링 단계**

[0466] 단계 4로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_3PO_4의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0467] **실시예 6 - Li_3BO_3/ Li_2SO_4로 코팅되고 250℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0468] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0469] 0.285g의 LiOH (스펙트럼 케미칼)를 0.25g의 H_3BO_3 (시그마)와 400g의 메탄올 (시그마)에 조합하여 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0470] 화학양론적 양의 증류수를 용액에 첨가하였다. 용액을 건조시켜 분말 전구체를 얻었다.

[0471] **단계 2: 코팅 단계**

[0472] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0473] **단계 3: 어닐링 단계**

[0474] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 Li_3BO_3의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0475] **단계 4: 코팅 용액 제작**

[0476] 0.02 mL의 H_2SO_4 (95%, 수성)를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12 시간 동안 20 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0477] **단계 5: 코팅 단계**

[0478] Li_3BO_3-코팅된 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (단계 3에서 제작함) (40g)을 단계 4에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0479] **단계 6: 어닐링 단계**

[0480] 단계 5에서 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 Li_3BO_3의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_2SO_4의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0481] **실시예 7 - Li_2CO_3/ Li_2SO_4로 코팅되고 250℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0482] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0483] 0.1g의 LiOH (스펙트럼 케미칼)를 400g의 메탄올 (시그마)에 조합하여 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0484] 화학양론적 양의 증류수를 용액에 첨가하였다. 용액을 건조시켜 분말 전구체를 얻었다.

[0485] **단계 2: 코팅 단계**

[0486] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0487] **단계 3: 어닐링 단계**

[0488] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 Li_2CO_3의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0489] **단계 4: 코팅 용액 제작**

[0490] 0.02 mL의 H_2SO_4 (95%, 수성)를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12 시간 동안 20 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0491] **단계 5: 코팅 단계**

[0492] Li_3BO_3-코팅된 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (단계 3에서 제작함) (40g)을 단계 4에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0493] **단계 6: 어닐링 단계**

[0494] 단계 5로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 Li_2CO_3의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_2SO_4의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0495] **실시예 8 - 산 처리를 사용하여 높은 농도에서 LZO/Li_3PO_4로 코팅되고**

[0496] **375 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0497] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0498] 0.10 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼) 및 지르코늄 부톡시드 80% 용액 (시그마) 0.96mL를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0499] 화학양론적 양의 증류수를 용액에 첨가하였다. 용액을 건조시켜 분말 전구체를 얻었다.

[0500] **단계 2: 코팅 단계**

[0501] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)

에 넣고 0.5 시간 동안 교반하고, 이어서 DI 워터 0.11 mL를 첨가하였다. 용액을 추가로 1.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0502] **단계 3: 어닐링 단계**

[0503] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0504] **단계 4: 코팅 용액 제작**

[0505] 0.2 mL의 H_3PO_4 (85%, 수성)를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 20 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0506] **단계 5: 코팅 단계**

[0507] LZO-코팅된 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (단계 3에서 제작함) (40g)을 단계 5에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0508] **단계 6: 어닐링 단계**

[0509] 단계 5로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_3PO_4의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0510] **실시예 9 - 산 처리를 사용하여 낮은 농도에서 LZO/Li_3PO_4로 코팅되고**

[0511] **375 ℃에서 어닐링된 NMC의 제조**

[0512] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0513] 0.10 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼) 및 지르코늄 부톡시드 80% 용액 (시그마) 0.96mL를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0514] 화학양론적 양의 증류수를 용액에 첨가하였다. 용액을 건조시켜 분말 전구체를 얻었다.

[0515] **단계 2: 코팅 단계**

[0516] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5 시간 동안 교반하고, 이어서 DI 워터 0.11 mL를 첨가하였다. 용액을 추가로 1.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0517] **단계 3: 어닐링 단계**

[0518] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0519] **단계 4: 코팅 용액 제작**

[0520] 0.02 mL의 H_3PO_4 (85%, 수성)를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 20 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0521] **단계 5: 코팅 단계**

[0522] LZO-코팅된 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (단계 3에서 제작함) (40g)을 단계 5에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0523] **단계 6: 어닐링 단계**

[0524] 단계 5로부터 수득한 분말을 건조 공기 하에 250 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_3PO_4의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0525] **실시예 10 - 분무 건조기를 사용하여 LZO로 코팅되고**

[0526] **375 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0527] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0528] 19.45 g의 $LiOCH_3$ 및 11.98g의 $Zr(OC_3H_7)_4$를 781g의 이소프로판올에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 25 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0529] **단계 2: 코팅 단계**

[0530] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) 500g을 단계 1에서 제작한 용액 (781g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다.

[0531] 분무 건조 방법을 사용함으로써 코팅을 제작하였다. 코팅 용액을 고온 건조 챔버 (120 ℃)에 운반하고 아토마이징하여, 용액 중 용매의 증발 및 고체 입자의 형성을 가능하게 하였다. N_2를 운반 가스로서 사용하여 코팅 용액의 액체 스트림을 아토마이징하였다. 코팅 용액의 액체 스트림은 사이클론을 통과하여 홀딩 챔버에 수집되는 입자를 생성한다.

[0532] **단계 3: 어닐링 단계**

[0533] 단계 3으로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0534] **실시예 11 - LZO로 코팅되고 375 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0535] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0536] 0.375 g의 LiOH 및 3.57 mL의 지르코늄 부톡시드 ($Zr(OBu)_4$)를 1000 mL의 무수 에탄올에 첨가함으로써 코팅 용액을 제작하였다. 용액을 밤새 실온에서 아르곤 하에 교반시켰다.

[0537] **단계 2: 코팅 단계**

[0538] 건조 룸에서, 150 g의 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함)을 단계 1의 코팅 용액에 첨가하였다. 생성된 혼합물을 30분 동안 교반시켰다. 0.425 mL의 증류수를 용액에 적하 첨가하여 졸-겔 반응을 개시하였다. 교반 하에 1.5시간 초과 동안 반응을 진행시켰다. 교반을 중단한 후, 용액을 디캔팅하였고 초음파 처리 수조를 사용하여 65 ℃에서 회전식 증발기(Rotovap)를 사용하여 활성 물질을 건조하였다.

[0539] **단계 3: 어닐링 단계**

[0540] 단계 3으로부터 수득한 분말을 알루미나 또는 석영 도가니에서 흐르는 깨끗한 건조 공기 하에 (CDA, 250 sccm) 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO를 포함하는 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다. LZO 코팅의 x-선 회절 패턴은 도 6에 나타낸다. x-선 회절 패턴이 주로 결정질 물질에 대한 정보를 제공한다는 점을 감안할 때 추가적인 무정형 상이 코팅에 존재할 수 있다.

[0541] **실시예 12 - 고체 전해질의 제작**

[0542] 제1 고체 전해질을 제작하였다. $Li_{10}Si_{0.5}Sn_{0.5}P_2S_{12}$ (이하 "LSTPS")를 습식 밀링하여 약 50 nm 내지 500 nm의 d_{50} 입자 직경을 갖는 LSTPS 입자를 생성하였다. 본 실시예에서, LSTPS는 화학식 $Li_{10}Si_{0.5}Sn_{0.5}P_2S_{12}$를 특징으로 하는 화합물을 지칭한다. 미국 특허 번호 9,172,114 및 10,535,878 참조, 이들은 모든 목적을 위해 이들의 전문이 본원에 참조로 포함된다.

[0543] 제2 고체 전해질을 제작하였다: 리튬 술피드 (Li_2S), 인 펜타술피드 (P_2S_5), 및 리튬 아이오다이드 (LiI)를 미리 결정한 비율로 혼합하였다. 한 샘플에서, 리튬 술피드 (Li_2S), 인 펜타술피드 (P_2S_5), 및 리튬 아이오다이드 (LiI)를 혼합하였다. $LiI:Li_2S:P_2S_5$의 몰비는 (3 내지 4):(0.1 내지 1):(0.5 내지 1.5)이었다. 밀링 매체:분말 질량비가 >7.5인 1 mm 지르코니아 밀링 매체를 포함하는 500 ml 지르코니아 밀링 병(jar)에 혼합물을 넣었다. 혼합물을 플라네터리 밀 (레츠쉬 PM400, 150 mm 회전 반경, 1:2 속도비)에서 16 내지 36 16-32시간 동안 교반하였다.

[0544] 이 절차를 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1ppm, O_2 < 0.1ppm)에서 수행하였다.

[0545] **실시예 13 - 배터리 셀의 제조**

[0546] 배터리 셀 제작은 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1ppm, O_2 < 0.1ppm)에서 수행하였다.

[0547] 실시예 1 내지 11 중 하나로부터의 코팅된 NMC 물질을 실시예 12로부터의 제1 고체 전해질과 혼합함으로써 캐소드 층을 제조하였다.

[0548] 앞선 단락에서 언급한 캐소드 층 및 실시예 12로부터의 제2 고체 전해질로 제조된 분리막을 사용하여 전체-고체-상태 배터리를 제조하였다.

[0549] 캐소드 층 및 분리막을 700MPa에서 가압하여 이 둘을 펠릿형 배터리로 치밀화하였다. 캐소드 층에 인접하여 알루미늄 집전 장치를 사용하였다. 애노드 층에 인접하여 니켈 집전 장치를 사용하였다. 애노드 층을 리튬 금속으로 제조하였다. 배터리 셀이 충전될 때 애노드로서 금속성 리튬이 도금되었다.

[0550] **실시예 14 - 배터리 시험**

[0551] 본 실시예는 실시예 13에 따라 제조된 배터리의 안정성을 시험하였다.

[0552] 안정성 시험은 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1ppm, O_2 < 0.1ppm)에서 수행하였다.

[0553] 배터리 셀을 30 ℃에서, 정전류밀도 0.4 mA/cm^2에서, 작동 전압 3 V 내지 4.2 V 내에서 충전 및 방전하였다. 방전 동안, 이완 단계 동안의 전압 강하를 판독함으로써 배터리 셀의 면적-비 저항 (ASR)을 수득하였다. 수득한 ASR은 여기서 R_1로 명명하였다.

[0554] 30 ℃에서 사이클링한 후, 온도를 60 ℃로 올렸다. 온도가 60 ℃에서 안정화된 후, 배터리 셀을 다시 0.4 mA/cm^2의 전류 밀도로 4.2 V로 충전하였다. 배터리 셀을 4.2V에서 3일 동안 유지한 다음 셀을 3V로 방전하였다.

[0555] 배터리 셀의 온도를 30 ℃로 낮추었다. 배터리 셀을 0.4 mA/cm^2의 전류 밀도에서 3 V와 4.2 V 사이에서 충전 및 방전하였다. 이로부터, ASR (R_2)을 결정하였다.

[0556] 안정성은 $\triangle R=R_2-R_1$에 의해 평가하였다.

[0557] 실시예 11의 코팅된 캐소드 활성 물질을 사용하여 제조된 배터리를 본 실시예에 나타낸 바와 같이 시험하였다. 이 배터리는 30 ℃에서 15 Ωcm^2의 dcASR 성장을 나타냈다.

[0558] 실시예 11의 코팅된 캐소드 활성 물질을 사용하여 제조된 배터리를 -15 ℃에서 본 실시예에 나타낸 바와 같이 유사하게 시험하였다. 이 배터리는 전기화학적 임피던스 분광기에서 - 15 ℃에서 590 Ωcm^2의 임피던스 성장을 나타냈다. 하기 데이터를 또한 수집하였다.

초기 ASR^2와 대조군의 차이 ($ohm*cm^2$)	최종 ASR^2 와 대조군의 차이 ($ohm*cm^2$)	ASR^2 성장과 대조군의 차이 ($ohm*cm^2$)
+10	-730	-740

[0559]

[0560] **실시예 15 - LZP로 코팅되고 375 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0561] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0562] 0.031 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼), 지르코늄 부톡시드 80% 용액 (시그마) 1.18mL 및 0.274g의 P_2O_5 (시그마)를 263g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0563] **단계 2: 코팅 단계**

[0564] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (50g)을 단계 1에서 제작한 용액 (263g)에 넣고 1.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0565] **단계 3: 어닐링 단계**

[0566] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZP 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다. 여기서 LZP는 $LiZr_2(PO_4)_3$이다.

[0567] 투과 전자 현미경은 NMC의 상부 위에 깨끗한 2개의 LZP 층을 보여준다. 도 8 참조.

[0568] **실시예 16 - LZO/Li_3InCl_6로 코팅되고 250 ℃에서 어닐링된 NMC의 제작**

[0569] **단계 1: 코팅 용액 제작**

[0570] 0.10 g의 LiOH (스펙트럼 케미칼) 및 지르코늄 부톡시드 80% 용액 (시그마) 0.96mL를 400g의 에탄올 (시그마)에 넣어 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 12시간 동안 45 ℃에서 Ar 충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 교반하였다.

[0571] **단계 2: 코팅 단계**

[0572] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (바스프로부터 구입함) (40g)을 단계 1에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5 시간 동안 교반하고, 이어서 탈이온수 (DI) 워터 (0.11 mL)를 첨가하였다. 용액을 추가로 1.5 시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0573] **단계 3: 어닐링 단계**

[0574] 단계 2로부터 수득한 분말을 깨끗한 건조 공기 하에 375 ℃에서 1시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다.

[0575] **단계 4: 코팅 화학물질 제작**

[0576] 고 에너지 볼-밀링 고체-상태 합성에 의해 코팅 화학물질 (Li_3InCl_6)을 제작하였다. 1.6956 g의 LiCl (시그마) 및 2.9491 g의 $InCl_3$ (시그마)를 Ar-충전 글로브박스 (H_2O < 0.1 ppm, O_2 < 0.1 ppm)에서 직경 10 mm의 40개의 ZrO_2 볼을 포함한 125 ml ZrO_2 볼-밀링 병에 로딩하였다. 이 혼합물을 에맥스(emax)(레츠쉬)를 사용하여 50℃ 이하의 제어된 온도 하에 5시간 동안 1200 rpm의 속도로 밀링하였다. 생성된 분말을 Ar-충전 글로브박스에서 수집하고, 이어서 Ar에서 300℃에서 5시간 동안 열처리하였다.

[0577] **단계 5: 코팅 용액 제작**

[0578] 0.3479g의 열 처리된 Li_3InCl_6 (단계 4에서 제작함)를 400g의 메탄올 (시그마)에 조합하여 코팅 용액을 제작하였다. 이 혼합물을 10분 동안 25 ℃에서 주위 공기에서 교반하였다.

[0579] **단계 6: 코팅 단계**

[0580] 리튬 니켈 코발트 망가니즈 옥시드 (NMC) 분말 (단계 3에서 제작함) (25 g)을 단계 5에서 제작한 용액 (400g)에 넣고 0.5시간 동안 교반하였다. 교반 후, 회전식 증발기를 사용하여 65 ℃에서 분말을 건조하여 용액을 제거하였다.

[0581] **단계 7: 어닐링 단계**

[0582] 단계 6으로부터 수득한 분말을 진공 하에 250 ℃에서 10시간 동안 가열하였다. 그 결과 활성 물질과 접촉한 LZO의 제1 코팅 및 제1 코팅과 접촉한 Li_3InCl_6의 제2 코팅을 갖는 코팅된 캐소드 물질이 생성되었다. 여기서, LZO는 Li_2ZrO_3이다.

[0583] **실시예 17 - 배터리 시험**

[0584] 일련의 배터리 셀을 표 1에 상세히 기재한 바와 같이 제작하였다. 표 1은 출발 물질의 비율, 코팅된 캐소드 물

질의 질량 및 어닐링 온도를 명시한다.

[0585] **표 1**

샘플	NMC wt. (g)	어닐링 T (°C)	코팅 용액에 대한 전구체							
			LiOH (g)	$LiOCH_3$ (g)	H_3BO_3 (g)	ZrBuOt (g)	$Zr(OC_3H_7)_4$ (g)	$NH_4H_2PO_4$ (g)	85% H_3PO_4 aq(mL)	95% H_2SO_4 aq(mL)
실시예 A	40	250	0.600	0	0.515	0	0	0	0	0
실시예 B	80	200	0.600	0	0.515	0	0	0	0	0
실시예 C	40	350	0.600	0	0.515	0	0	0	0	0
실시예 D	40	250	0.07	0	0	0	0	0	0	0
	40	250	0.194	0	0.167	0	0	0	0	0
비교 실시예 E	40	600	0.600	0	0.515	0	0	0	0	0
비교 실시예 F	40	350	0.296	0	2.805	0	0	0	0	0
비교 실시예 G	40	375	0.374	0	0	3.569	0	0	0	0
실시예 3	40	375	0.1	0	0	0.95	0	0	0	0
		250	0.285	0	0.25	0	0	0	0	0
실시예 4	40	375	0.1	0	0	0.95	0	0	0	0
		250	0	0	0	0	0	0.173	0	0
실시예 5	40	375	0.1	0	0	0.95	0	0	0	0

[0586]

	40	250	0	0	0	0	0	0.345	0	0
실시예 6	40	250	0.285	0	0.25	0	0	0	0	0
	40	250	0	0	0	0	0	0	0	0.02
실시예 7	40	250	0.1	0	0	0	0	0	0	0
	40	250	0	0	0	0	0	0	0	0.02
실시예 8	40	375	0.1	0	0	0.95	0	0	0	0
	40	250	0	0	0	0	0	0	0.2	0
실시예 9	40	375	0.1	0	0	0.95	0	0	0	0
	40	250	0	0	0	0	0	0	0.02	0
실시예 10	500	375	0	19.45	0	0	11.98	0	0	0

[0587]

[0588] 상기 표 1에서, 실시예 D, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 및 10은 2개의 다른 온도에서 별도로 실행하였다. 이는 상기 표 1에서 이들 실시예 옆에 2개의 행으로 표시하였다.

[0589] 여기서 실시예 A와 실시예 E의 차이는 어닐링 온도이다.

[0590] 실시예 B - Li_3BO_3를 200 ℃에서 가열하였다. 표 1 및 실시예 1에 따라 제조하였다.

[0591] 실시예 C - Li_3BO_3를 350 ℃에서 가열하였다. 표 1 및 실시예 1에 따라 제조하였다.

[0592] 실시예 D - Li_2CO_3 - Li_3BO_3 이중 코팅을 250 ℃에서 가열하였다. 표 1 및 실시예 2에 따라 제조하였다.

[0593] 비교 실시예 E - Li_3BO_3를 600 ℃에서 가열하였다. 실시예 1에서와 같이 250 ℃가 아닌 600 ℃에서 가열한 것을 제외하고는 표 1 및 실시예 1에 따라 제조하였다. 실시예 E는 문헌 [Chem. Mater. 2018, 30, 22, 8190-8200,(https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.8b03321)]에서의 합성의 재현이다.

[0594] 비교 실시예 F - $Li_3B_{11}O_{18}$을 350 ℃에서 가열하였다. 실시예 1에서와 같이 250 ℃가 아닌 350 ℃에서 가열한 것을 제외하고는 표 1 및 실시예 1에 따라 제조하였다. 실시예 F는 문헌 [*Adv. Energy Mater.* 2020, 1903778 (https://doi.org/10.1002/aenm.201903778)]의 재현이다.

[0595] 비교 실시예 G - LZO를 375 ℃에서 가열하였다. 표 1에 따라 제조하였고 건조 공기 하에 375 ℃에서 가열하였다. 실시예 G는 문헌 [*Journal of Power Sources*, Volume 248, 15 February 2014, Pages 943-950 (https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.005)]의 재현이다.

[0596] 여기서 (예를 들어 실시예 3) 결과는, $LiBO_3$의 층을 LZO의 층의 상부에 추가하였을 때; 코팅되지 않은 캐소드 활성 물질과 비교하여; 캐소드 활성 물질의 안정성이 극적으로 개선되었음을 입증한다. 예를 들어, 비교 실시예 G 참조.

[0597] 여기서 (예를 들어 실시예 10, 분무 건조 LZO) 결과는, LZO를 캐소드 활성 물질 상에서 분무 건조하였을 때, LZO를 졸-겔 코팅 기술 및 회전식 증발을 사용하여 도포하였을 때와 비교하여, 캐소드 활성 물질의 안정성이 개선되었음을 입증한다. 비교 실시예 10 참조. 분무 건조기는 일부 경우에 보다 균일한 코팅을 생성할 수 있다. 이중 코팅 도포의 경우, 분무 건조가 유리할 수 있다.

[0598] 여기서 (예를 들어 실시예 3, 8) 결과는, 이중 코팅의 안정성 성능은 그것이 제조되는 공정에 따라 달라진다는 것을 입증한다.

[0599] **안정성 시험 결과**

[0600] 도 3은 실시예 14에서의 셀의 충전 및 방전을 보여준다.

[0601] 실시예 A, B, C, 및 D는 비교 실시예의 것보다 60 ℃에서 3일 동안 유지한 4.2V에서 더 작은 분극을 보여준다. 이는 비교 실시예 E, F, 및 G와 비교하여 실시예 A, B, C, 및 D의 안정성이 더 크다는 것을 나타낸다.

[0602] △R은 안정성의 지표이다.

[0603] △R 값은 도 4에서 보여진다.

[0604] 셀 저항 값은 아래 표 2에 열거되어 있다.

[0605] 실시예 A, B, C, 및 D에서, △R 값은 19 내지 86 범위였다.

[0606] 비교 실시예 E, F, 및 G에서, △R 값은 178 내지 356 범위였다.

[0607] **x-선 회절 (XRD)**

[0608] 실시예 1의 단계 1로부터 분말을 수득하였고 상이한 온도에서 가열하였다.

[0609] 도 2는 실시예 A, B, C, D 및 비교 실시예 E의 XRD 패턴이다.

[0610] 비교 실시예 E는 문헌 [*Chem. Mater.* 2018, 30, 22, 8190-8200]에서의 Li_3BO_3-Li_2CO_3 물질의 재현이다. 문헌 [*Chem. Mater.* 2018, 30, 22, 8190-8200]에서, 물질을 600 ℃에서 가열하였다. 이러한 고온은 코팅 층의 수축 및 불-균일한 커버리지를 유발한다. 또한, 고온 어닐링 후에 불안정한 상이 관찰되었다. 이러한 불안정한 상은 불량한 안정성을 초래하였다.

[0611] 실시예 A, B, 및 C와 비교 실시예 E의 차이는 아래와 같다.

[0612] 신규 실시양태의 주요 상의 피크 폭은 문헌 조건보다 훨씬 더 넓다. 이러한 피크 폭은 더 많은 무정형 물질 및/또는 덜 치밀한 상태를 나타낸다. 이러한 무정형 물질 및/또는 덜 치밀한 상태는 균일한 코팅에 바람직하다. 예를 들어, 코팅이 너무 결정질인 경우, 코팅이 치밀해질 수 있으며 이는 더 적은 커버리지를 초래할 수 있다.

[0613] 피크 강도 차이는 어닐링 온도에 따라 변한다. 이는 코팅 화학물질 중 Li_3BO_3 및 Li_2CO_3의 비율의 차이 때문이다.

[0614] 30.3 ° (2Θ) 및 31.7 ° (2Θ)에서의 피크 강도 비 (k)는 다음과 같다: 신규 실시양태의 경우 k= I (30.3) / I (31.7) > 1. 문헌 [*Chem. Mater.* 2018, 30, 22, 8190-8200]에서 k<1.

[0615] k는 Li_3BO_3와 Li_2CO_3의 비를 나타낸다. k가 클수록, Li_3BO_3가 많다.

[0616] 실시예 A는 1.85의 k 값을 갖는 것으로 관찰되었다.

[0617] 실시예 B는 1.25의 k 값을 갖는 것으로 관찰되었다.

[0618] 실시예 C는 1.27의 k 값을 갖는 것으로 관찰되었다.

[0619] 비교 실시예 E는 0.89의 k 값을 갖는 것으로 관찰되었다.

[0620] 이는 비교 실시예 E와 비교하여, 실시예 A, B, 및 C의 경우 더 안정한 상 및 더 우수한 커버리지를 나타낸다.

[0621] 비교 실시예 F는 문헌 [Adv. Energy Mater. 2020, 1903778]로부터의 $Li_3B_{11}O_{18}$ 물질을 사용하였다. 이 물질은 낮은 리튬 함량을 갖고, 이는 높은 ASR을 초래한다.

[0622] 비교 실시예 G는 문헌 [Journal of Power Sources 248, 2014, 943-950]로부터의 Li_2O-ZrO_2 물질의 재현이다. Li-Zr-O 시스템의 불량한 안정성으로 인해, 이 물질을 사용하는 배터리는 충전 상태에서 증가하는 높은 ASR을 갖는 것으로 관찰된다.

[0623] 비교 실시예 F 및 G는 실시예 A, B, C, 또는 D 각각에서보다 더 높은 △R을 보여준다. 이는 실시예 A, B, C, 또는 D보다 안정성이 낮은 $Li_3B_{11}O_{18}$ 및 Li_2ZrO_3 때문인 것으로 생각된다.

[0624] 도 2를 참고하여, 확인된 주요 상은 Li, B, C 및 O를 포함하는 상이다. 이는 도 2에서 다이아몬드로 표시된다.

[0625] 어닐링 온도가 증가함에 따라 결정도가 증가하였다.

[0626] 600 ℃에서 (비교 실시예 E; 문헌 [Chem. Mater. 2018, 30, 22, 8190-8200,(https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.8b03321)]에 따라 제조함), 물질은 2차 상도 존재하는 Li-B-C-O의 고도로 결정질인 상이었다.

[0627] 비교 실시예 E에 대한 안정성 시험에서 불량한 안정성이 나타났다. 이는 2차 상이 안정하지 않을 수 있음을 나타낸다. 너무 큰 결정도는 코팅의 치밀화를 유발할 수 있고 (무정형 물질과 비교하여 결정의 밀도가 더 높기 때문) 불-균일한 코팅을 초래할 수 있다.

[0628] 어닐링 온도가 감소하면 결정도가 감소하였다. 무정형 물질의 밀도가 낮을 수록 코팅이 더 균일해질 수 있다. 또한, 비교 실시예 E에 비해 더 낮은 어닐링 온도에서 더 적은 2차 상이 관찰되었다.

[0629] **표 2**

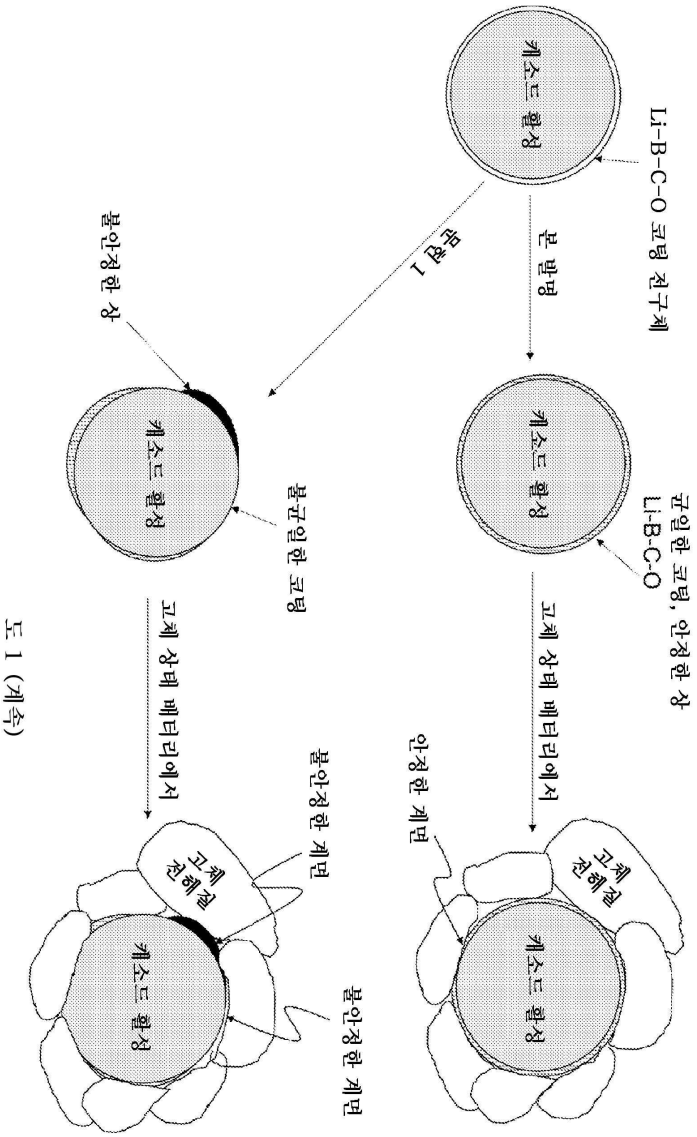
샘플	R1 / Ωcm^2	R2 / Ωcm^2	ΔR / Ωcm^2
실시예 A	40	91	51
실시예 B	57	104	47
실시예 C	45	131	86
실시예 D	32	51	19
비교 실시예 E	54	410	356
비교 실시예 F	59	237	178
비교 실시예 G	36	339	303
실시예 3	42	60	18
실시예 4	79	226	147
실시예 5	76	385	309
실시예 6	61	-	-
실시예 7	-	-	-
실시예 8	-	-	-
실시예 9	97	383	286
실시예 10	53	219	166
실시예 15	28	53	25
실시예 16	69	96	27

[0630]

[0631] 상기 기재된 실시양태 및 실시예는 단지 예시적이며 비-제한적인 것으로 의도된다. 관련 기술분야의 통상의 기술자는 단지 상용 실험을 사용하여, 구체적 화합물, 물질 및 절차의 수많은 등가물을 인식할 것이거나 또는 확인할 수 있을 것이다. 모든 이러한 등가물은 첨부된 청구범위의 범주 내에 포함되는 것으로 간주되며 그에 의해 포괄된다.

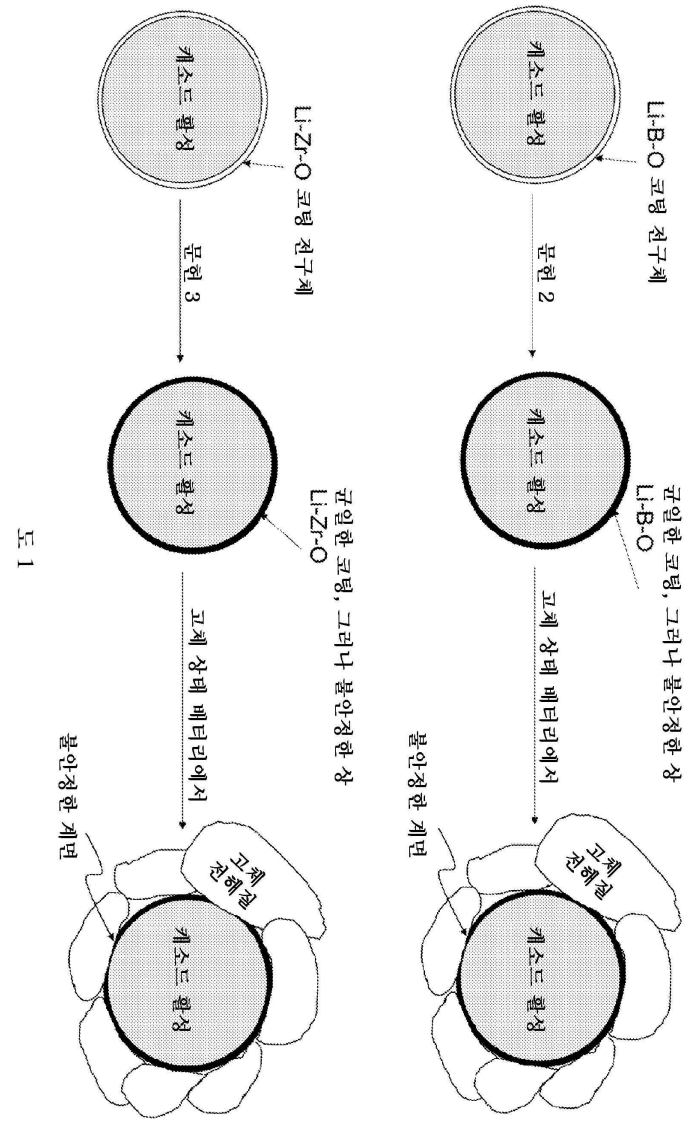
도면

도면1i


Li-B-C-O 코팅 전구체
캐소드 활성
본 발명
비교 1
균일한 코팅, 안정한 상
Li-B-C-O
캐소드 활성
불균일한 코팅
불안정한 상
캐소드 활성
고체 상태 배터리에서
안정한 계면
고체 전해질
캐소드 활성
고체 상태 배터리에서
불안정한 계면
고체 전해질
캐소드 활성
불안정한 계면

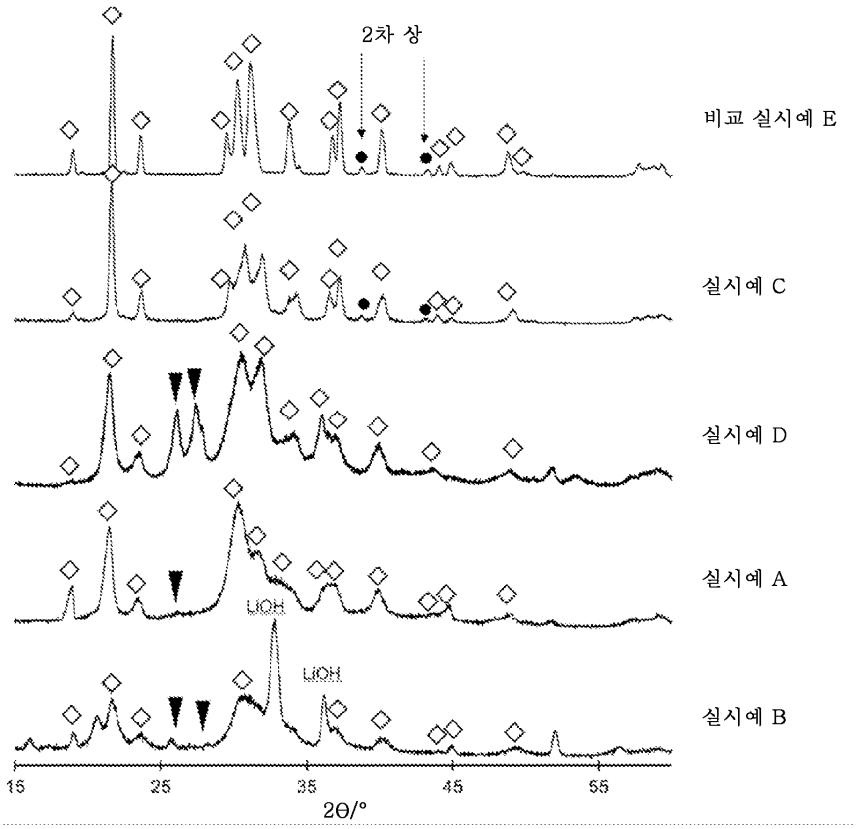
도 1 (계속)

도면1ii

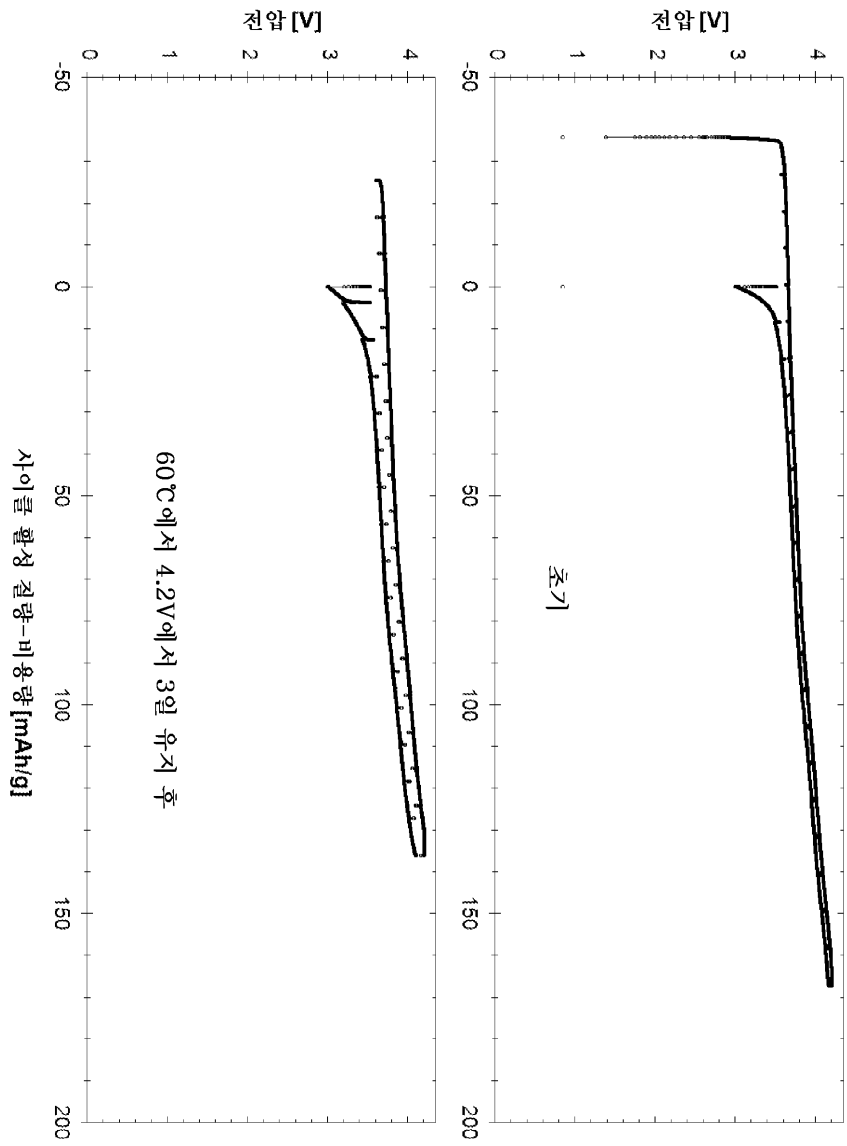

캐소드 활성
Li-B-O 코팅 전구체
문헌 2
캐소드 활성
균일한 코팅, 그러나 불안정한 상
Li-B-O
고체 상태 배터리에서
불안정한 계면
고체 전해질
캐소드 활성
캐소드 활성
Li-Zr-O 코팅 전구체
문헌 3
캐소드 활성
균일한 코팅, 그러나 불안정한 상
Li-Zr-O
고체 상태 배터리에서
불안정한 계면
고체 전해질
캐소드 활성

도 1

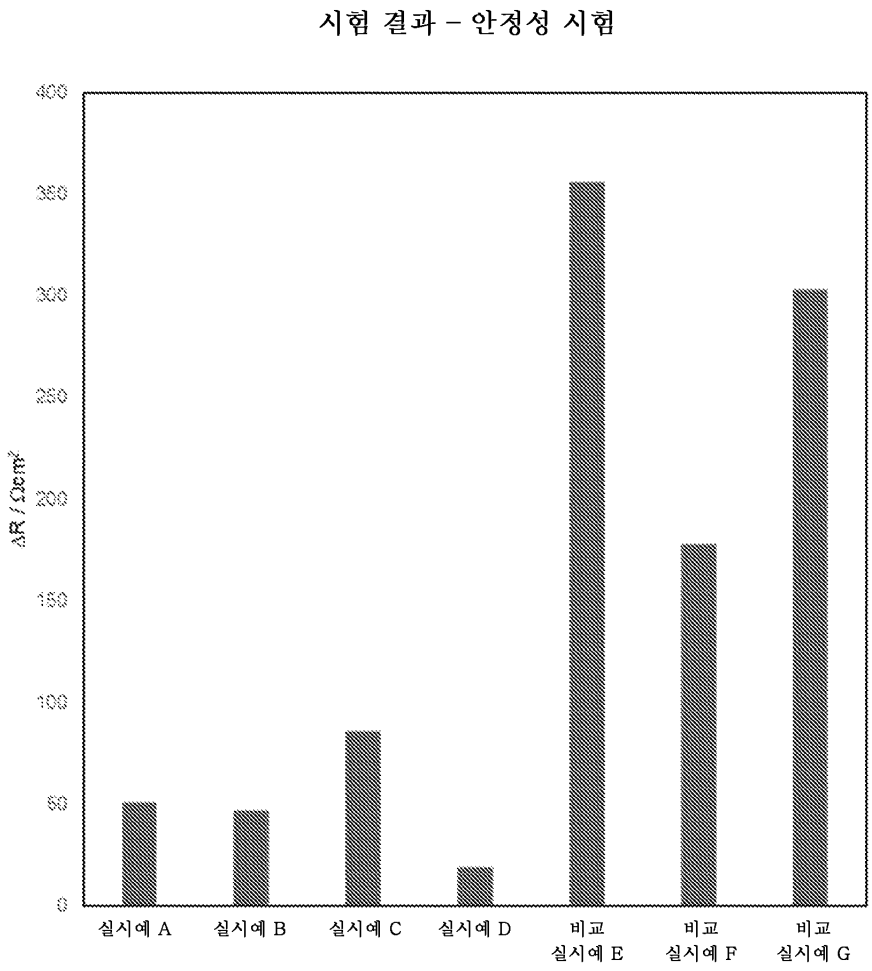
도면2



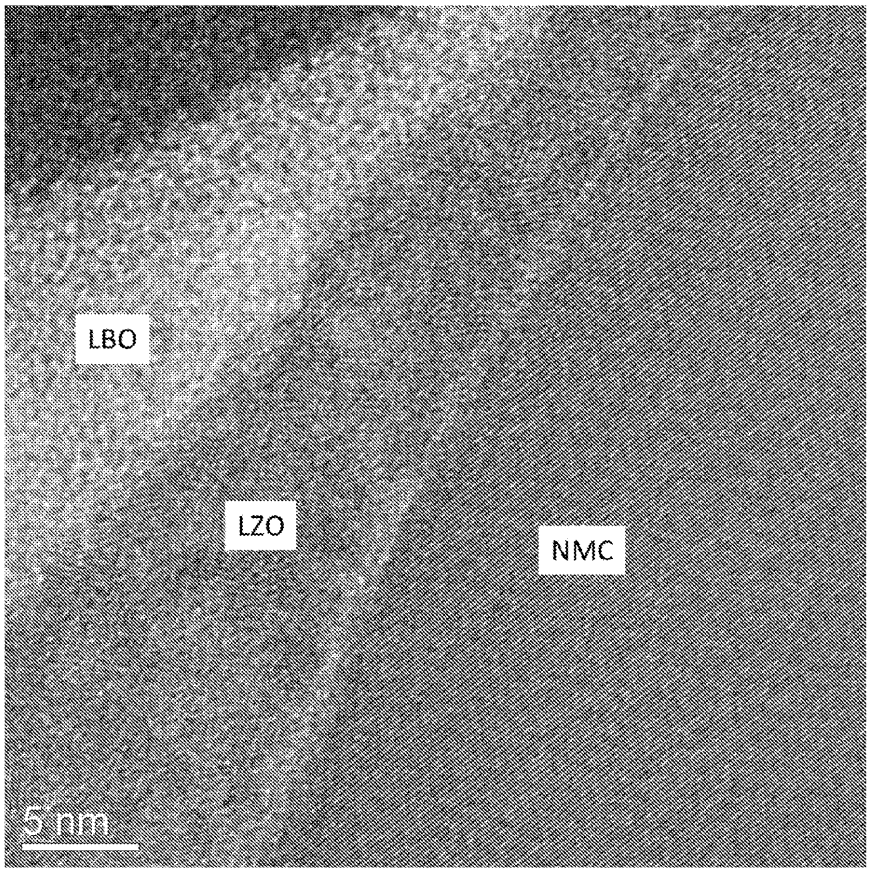
도면3



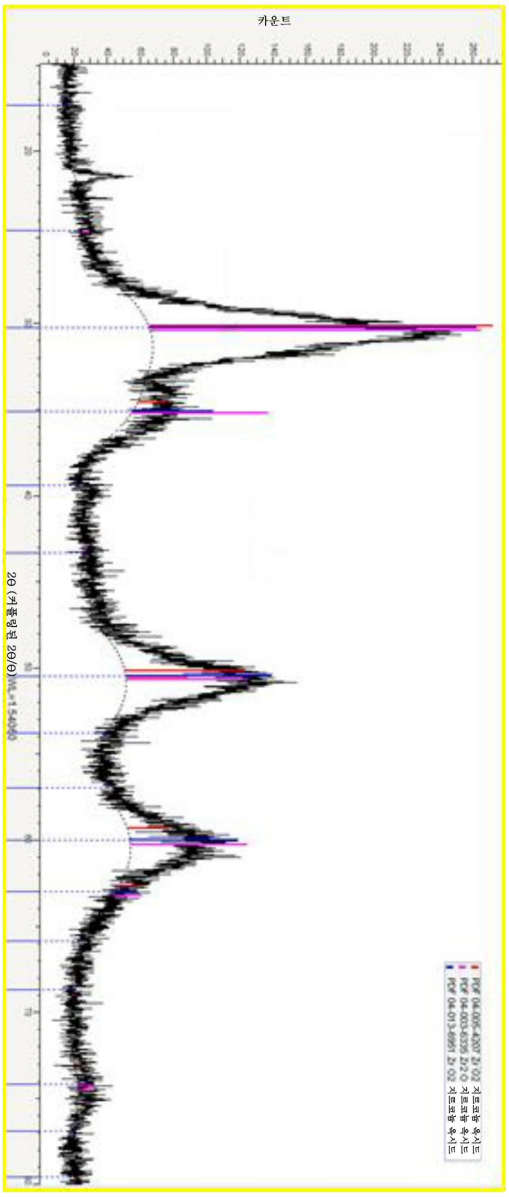
도면4


시험 결과 - 안정성 시험
400
350
300
250
200
150
100
50
0
실시예 A
실시예 B
실시예 C
실시예 D
비교 실시예 E
비교 실시예 F
비교 실시예 G

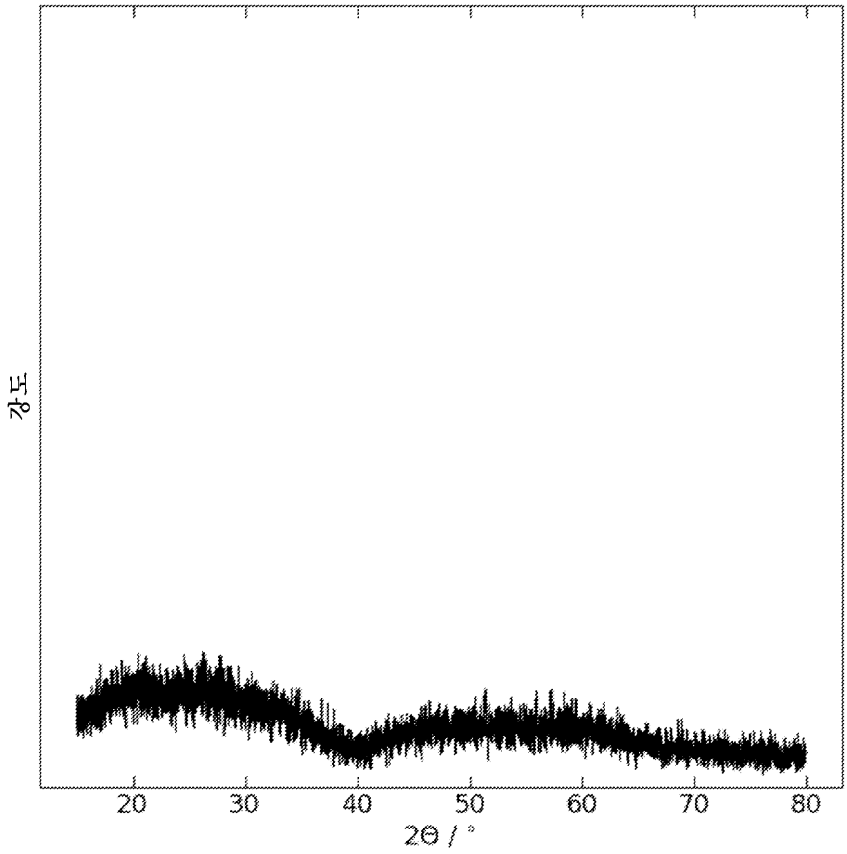
도면5



도면6



도면7



도면8

