



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년04월08일  
(11) 등록번호 10-2098510  
(24) 등록일자 2020년04월01일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
HO1M 4/139 (2010.01) HO1M 10/0525 (2010.01)  
HO1M 10/44 (2006.01) HO1M 4/04 (2006.01)  
HO1M 4/1393 (2010.01)
- (52) CPC특허분류  
HO1M 4/139 (2013.01)  
HO1M 10/0525 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7000672
- (22) 출원일자(국제) 2016년06월28일  
심사청구일자 2018년01월25일
- (85) 번역문제출일자 2018년01월09일
- (65) 공개번호 10-2018-0021789
- (43) 공개일자 2018년03월05일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2016/064935
- (87) 국제공개번호 WO 2017/005534  
국제공개일자 2017년01월12일
- (30) 우선권주장  
10 2015 212 590.4 2015년07월06일 독일(DE)
- (56) 선행기술조사문헌  
JP2008098155 A\*  
JP2011108550 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자  
바이에리셰 모토렌 베르케 악티엔게젤샤프트  
독일 데-80809 뮌헨 페투엘링 130
- (72) 발명자  
안토노포울로스 바이론 콘스탄티노스  
독일, 81369 뮌헨, 팔스트라세 9  
스톡 크리스토프  
독일, 80809 뮌헨, 함브루게르스트라세 25
- (74) 대리인  
강명구, 박윤원

전체 청구항 수 : 총 5 항

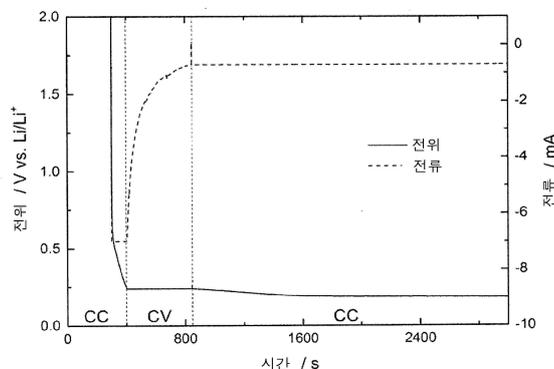
심사관 : 노석철

(54) 발명의 명칭 전극의 신속한 형성

(57) 요약

본 발명은, 리튬 이온 전지용 음극을 형성하기 위한 방법으로서, 기준 전극에 대하여 제1 반전지 전위에 도달할 때까지 제1 충전 전류로 제1 정전류 충전을 수행하는 단계, 제2 충전 전류에 도달할 때까지 기준 전극에 대하여 제1 반전지 전위에서 제1 정전압 충전을 수행하는 단계, 기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위에 도달할 때까지 제2 충전 전류로 제2 정전류 충전을 수행하는 단계, 최종 충전 전류에 도달할 때까지 기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위에서 제2 정전압 충전을 수행하는 단계를 포함하는 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*H01M 10/44* (2013.01)

*H01M 4/0445* (2013.01)

*H01M 4/1393* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

리튬 이온 전지용 음극을 형성하기 위한 방법으로서,

- 기준 전극에 대하여 제1 반전지 전위에 도달할 때까지 제1 충전 전류로 제1 정전류 충전을 수행하는 단계,
- 제2 충전 전류에 도달할 때까지 기준 전극에 대하여 제1 반전지 전위에서 제1 정전압 충전을 수행하는 단계, 및
- 기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위에 도달할 때까지 제2 충전 전류로 제2 정전류 충전을 수행하는 단계를 포함하며,

애노드의 보다 높은 전위 범위를 보다 빠르게 통과하고 소정의 전위 범위를 보다 느리게 통과하기 위해, 동적 전류 프로파일이 적용되고,

상기 제1 반전지 전위가  $\text{Li}/\text{Li}^+$ -기준 전극에 대하여 150 내지 800 mV인, 방법.

**청구항 2**

제1항에 있어서,

- 최종 충전 전류에 도달할 때까지 기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위에서 제2 정전압 충전하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

**청구항 3**

제1항 또는 제2항에 있어서,

- 상기 제1 충전 전류가 적어도 1시간 전류의 1/5에 해당하고, 상기 1시간 전류는 1시간 안에 공칭 조건하에서 셀을 정격 용량까지 충전시키는데 이용되는 전류량을 나타내는, 방법.

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제1항 또는 제2항에 있어서,

- 상기 제2 충전 전류가 상기 제1 충전 전류보다 적은, 방법.

**청구항 6**

제1항 또는 제2항에 있어서,

- 상기 기준 전극에 대한 제2 반전지 전위가 상기 기준 전극에 대한 제1 반전지 전위보다 적은, 방법.

**발명의 설명**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 리튬 이온 전지용 음극을 형성하기 위한 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 리튬 이온 전지용 음극 사이의 계면막은 전지의 특성 및 거동에 결정적인 영향을 미친다. 리튬 이온 전지 내의 음극은  $\text{Li}/\text{Li}^+$ -기준 전극에 대하여 250 mV 미만의 전기 화학 전위에 있으며, 이에 대해서는 예컨대 Andre 외,

J. Mater. Chem. A (2015), 6709-6732 또는 Abraham 외, Journal of Power Sources 170 (2007), 465-475가 참조한다. 이와 같이 낮은 전위에서의 환원과 관련하여, 통상의 전해질은 불안정하기 때문에, 이들 전해질은 전극 계면막에서 반응하고, 하나의 층, 소위 SEI-층(고체 전해질 계면막, solid electrolyte interphase)이 음극 위에 형성된다. 이 경우에는, 리튬-전하 캐리어가 비가역적으로 소모될 뿐만 아니라(용량 손실), 리튬 이온의 이온 운반도 저지된다(출력 손실).

[0003] 전해질을 능숙하게 선택하는 경우에는 전해질 감소 생성물이 부동화층을 형성하며, 그 결과, 폐쇄 층의 형성 후에는 자기 조절 효과의 의미에서 추가의 환원이 중단되며(전기 절연), 이에 대해서는 예를 들어 Vetter 외, Journal of Power Sources 147 (2005), 269-281을 참조한다. 이상적으로는, SEI가 완전한 전기 절연체이고(중단된, 즉 완전하게 부동화된 전해질 감소), 동시에 완전한 Li-이온-전도체이다. 상기 커버 층은 음극을 최초로 충전할 때 생성되며, 이와 같은 생성은 또한 형성화 또는 형성으로서도 불리운다. 최초로 충전하는 과정, 즉 (음극으로서의 흑연-애노드의 경우에) 리튬 이온을 흑연 내부로 최초의 삽입(intercalation)과 병행하여 SEI-커버 층의 구성이 이루어진다. SEI-커버 층의 형성을 위해 중요한 것은 정확한 형성 조건이다. 화학적 구성 요소, 예를 들어 전해질의 선택 외에도, 예컨대 리튬 이온에 대한 투과성, 커버 층의 노화 작용 또는 안정성과 같은 상기 층의 특성들이 이들 형성 조건에 따라 달라진다. 선행 기술에 따르면, 커버 층의 가장 바람직한 특성을 달성하기 위하여, 낮은 전류 부하로써 형성이 이루어진다. 시간-효율 형성 프로파일은 예를 들어 특허문헌 US 20150060290 A1호로부터 발견될 수 있다. 특히, 선행 기술에 따르면, 최적의 형성 성공을 달성하기 위하여, 형성 프로파일이 주기적으로 반복된다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 본 발명의 목적은, 리튬 이온 전지용 흑연 음극을 형성하기 위한 개선된 방법을 제공하는 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0005] 상기 목적은, 청구항 1에 따른 방법에 의해서 달성된다. 본 발명의 바람직한 실시예들 및 개선은 종속 청구항들로부터 명확하게 된다.

[0006] 본 발명에 따른 방법은, 기준 전극에 대하여 제1 반전지 전위에 도달할 때까지 제1 충전 전류로 제1 정전류 충전을 수행하는 단계, 제2 충전 전류에 도달할 때까지 기준 전극에 대하여 제1 반전지 전위에서 제1 정전압 충전을 행하는 추가 단계, 그리고 기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위에 도달할 때까지 제2 충전 전류로 제2 정전류 충전을 행하는 추가 단계를 포함한다.

[0007] 따라서, 상기 형성 단계들을 포함하는 형성 방법이 제안되고 있다. 이들 형성 단계의 작용은, 형성 시간을 절약하기 위해, 다시 말하자면 형성을 더욱 시간 효율적으로 수행할 수 있도록 상호 연결되어 있다. 추가로, 더 적은 쿨롱(coulomb) 손실이 발생함으로써, 전체 전지의 가역적인 용량도 증가하게 된다. 본 발명에 따른 형성 프로파일은 한 번 실시될 수 있으며, 주기적인 반복 형성은 불필요하다.

[0008] 이것은, 형성을 시작할 때, 높은 전위 영역을 비교적 "신속하게" 통과하기 때문이다. SEI-커버 층의 형성은, 형성시의 전기 전위로부터 직접적으로 영향을 받는다. 이 층의 형성은 형성 동안 2개의 반응 단계로 이루어지는데, 다시 말하자면 1차 SEI-커버 층(SEI-커버 층의 전구체)이 형성되는, (음극으로서의 흑연-애노드의 경우에) Li/Li<sup>+</sup>-기준 전극에 대하여 대략 700 mV에서 이루어지는 제1 반응 단계, 및 SEI-커버 층이 완전하게 형성되는, (음극으로서의 흑연-애노드의 경우에) Li/Li<sup>+</sup>-기준 전극에 대하여 대략 400 mV로부터 출발하는 제2 반응 단계를 포함한다. 다음에 상기 SEI-커버 층의 전구체는 제2 반응 단계에서 최종적인 2차 SEI로 환원된다. 상부 전위 영역을 매우 느리게 통과하는 것은, 1차 SEI-커버 층의 팽창된 형상을 야기한다. 이와 같은 팽창된 형상은 전극에서 리튬의 환원을 어렵게 하는데, 다시 말해 예컨대 음극으로서의 흑연-전극의 경우에는 흑연 층 내부로의 리튬의 삽입을 어렵게 한다.

[0009] 형성 전위가 낮은 유통 속도로 인해 높은 값에 매우 오랫동안 머무르면, 1차 SEI-커버 층은 그만큼 더 두껍게 형성되는데, 다시 말하자면 그만큼 더 두꺼운 1차 SEI-커버 층이 제2 단계에서도 2차 SEI-커버 층으로, 즉 완전하게 형성된 SEI-커버 층으로 계속 환원되어야만 한다. 하지만, 1차 SEI-커버 층의 성형(shaping) 정도가 추후의 2차 SEI-커버 층에 영향을 미치는 것으로 나타난다. 추측컨대, 그 원인은, 두꺼운 1차 SEI-커버 층이 다만

부분적으로만 2차 SEI-커버 층으로 계속 형성되고 이로써 부분적으로 남게 된다는 것에 기인한다.

- [0010] 다음에 1차 SEI-커버 층은 리튬 이온의 삽입을 방해한다. 그 결과, 1차 층의 저지 효과를 제거하기 위해서는, 1차 SEI-커버 층이 여러 번의 형성에 의해서 그리고 이와 더불어 용량 손실(활성 재료의 비가역적인 소비) 하에 제2 반응 단계를 반복적으로 통과함으로써 처음에는 2차 SEI-커버 층으로 완전히 변환되어야만 한다. 불필요한 용량 손실 외에도, 얻어진 두께에서도 마찬가지로 바람직하지 않은 2차 SEI-커버 층이 잔류하게 된다. 지나치게 두꺼운 SEI-층은, Li-이온 전지의 작동시에 리튬 이온에 대해 불필요하게 높은 통과 저항을 야기하고, 출력 손실을 초래한다.
- [0011] 본 발명에 따른 방법은, 가급적 2차 SEI-커버 층의 직접적인 형성이 하나의 형성 과정에서 본 발명에 따른 단계들에 따라 성취될 수 있다는 장점을 갖는다. 이와 같은 과정은, 제1 충전 전류에 의한 제1 정전류 충전 및 후속하는 정전위적인 추가 충전에 의해, 제2 반응 단계에 신속하게 도달함으로써 이루어진다. (정전류 충전에 의해) 제2 반응 단계의 전위를 신속하게 도달함으로써 결과로서, 1차 SEI-커버 층이 적게 형성됨으로써, 형성시의 쿨롱 손실 또는 용량 손실뿐만 아니라 불필요한 추가 사이클 형태의 형성 시간도 절약할 수 있다. 또한, 내부 저항도 줄어 들 수 있다. 그 결과, 더 작은 초과 전위는 전지의 더 높은 전력 및 더 높은 에너지 효율을 가능하게 한다. 본 발명에 따른 방법은 또한 신속 형성으로서도 지칭된다.
- [0012] 또한, 최종 충전 전류에 도달할 때까지 기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위에서 제2 정전압 충전하는 추가 단계도 바람직하다.
- [0013] 본 발명의 또 다른 일 변형예에 따르면, 제1 충전 전류는 1시간 전류의 적어도 1/5이다. 1시간 전류, 즉, 1C는 1시간 안에 공칭 조건하에서 셀을 정격 용량까지 충전시키는데 이용되는 전류량을 나타낸다. 이와 같은 1시간 전류의 배수는 C-율의 배수로서 지칭된다.
- [0014] 적어도 0.2C에 달하는 전류에서는, 1차 SEI-커버 층-형성의 단계가 중단 없이 신속하게 실시된다. 기준 전극에 대한 반전지 전위는 예컨대 전기 전극으로서의 흑연 애노드의 경우에, 정전류 충전 동안 충전 전류를 유지할 수 있을 정도로 충분히 신속하게 오픈한다.
- [0015] 또한, 제1 반전지 전위가  $Li/Li^+$ -기준 전극에 대하여 150 내지 800 mV인 것이 유리하다. 이 경우에는, 정전류적인 충전으로부터 정전위 충전으로의 전환이 일어난다. 음극에서의 전극 재료에 따라, 제1 반전지 전위의 값은, SEI-커버 층의 완전한 형성을 위한 제2 반응 단계가 이루어지는 전위와 일치한다. 흑연 애노드의 경우에는, 이 값이 대략 200 mV 내지 400 mV이다.
- [0016] 제2 충전 전류가 제1 충전 전류보다 낮게 선택되는 경우도 또한 바람직하다. 이것에 대응하여, 제2 충전 전류에 도달하기 전에, 전위가 제2 반응 단계에서 전극에 작용한다.
- [0017] 제2 충전 전류에 의해서는,  $Li/Li^+$ -기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위에 도달할 때까지, 전극이 마지막으로 정전류적으로 계속 충전되며, 이 경우 제2 반전지 전위는 제1 반전지 전위보다 낮다. 형성 과정은, 시간 기준, 예컨대 1시간 또는 전지에 의한 최종 전류 소비, 예컨대 0.05C에 도달할 때까지, 제2 반전지 전위에서의 정전위적인 충전 과정으로써 종료된다.
- [0018] 본 발명에서는 또한 신속한 형성에 의해 규정된 충전 상태가 조정가능하다는 것도 바람직하다. 선행 기술에 따른 종래의 형성에서는, 형성의 대부분은 공칭 용량의 각각 80% 이상의 충전 상태 인터벌에 걸친 다수의 사이클, 적어도 하나의 전체적인 완전 사이클, 즉 하나의 방전- 및 충전 과정으로 이루어진다. 형성이 종료된 것으로서 규정된 후에는(다시 말해 적어도 하나의 완전 사이클 후에는), 전지의 최초 사용 때까지 운송 및 저장하기 위한 배달 전에 대부분, 대략 50%의 충전 상태 수준의 규정된 충전 상태(상대적인 충전 상태)가 설정될 수 있다. 이로써, 규정된 충전 상태에 도달하기 위하여, 형성-완전 사이클에 추가하여 대략 1/4 사이클이 추가로 더 실시될 수 있다. 다시 말해, 전체 사이클 수는  $1.25 + n(n = 0, 1, 2, \dots)$ 으로 증가하며, 이때 n은 형성-완전 사이클수이다. 신속한 형성 방법은, 신속한 형성 외에 또한 사전에 결정된 충전 상태를 설정하는데도 적합하다. 이 목적을 위해, 기준 전극에 대하여 제2 반전지 전위는, 이때 결과적으로 나타나는 전체 리튬 이온 전지의 전압이 이미 원하는 충전 상태에 상응하도록 선택된다. 따라서, 형성을 위해 그리고 충전 상태 설정을 위해 필요한 최소 사이클 수는 대략 반충전 사이클까지, 더 상세하게 말하자면 0.25 완전 사이클까지 감소한다.
- [0019] 본 발명은, 이하의 고려사항들에 기초하고 있다:
- [0020] Li-이온-전지 내 음극, 특히 흑연-음극은  $Li/Li^+$ 에 대하여 250 mV 미만의 전기 화학 전위에 있다. SiC-합성물

또는 순수한 규소로 이루어진 애노드는 더 낮은 전위를 갖는다.

- [0021] 통상의 전해질이 상기와 같이 낮은 전위에서는 환원과 관련하여 불안정하기기 때문에, 이들 전해질은 전극 계면 막에서 반응한다. 이 경우에는, Li 전하 캐리어가 비가역적으로 소모될 뿐만 아니라(용량 손실) 이온 운반도 저지된다(출력 손실).
- [0022] 전해질을 능숙하게 선택하는 경우에는 전해질 감소 생성물이 부동화층을 형성하며, 그 결과 폐쇄 층의 형성 후에는 자기 조절 효과의 의도에서 추가의 환원이 중단된다(전기 절연).
- [0023] 환원된 층은 고체 전해질 중간상(Solid Electrolyte Interphase: SEI)으로 불린다. 이상적으로는, SEI가 완벽한 전기 절연체이고(중단된, 즉 완전하게 부동화된 막이 형성된 전해질 감소), 그와 동시에 완벽한 Li-이온-전도체이다.
- [0024] 선행 기술에 따라 최근 세대의 카보네이트 함유 전해질의 SEI로의 환원 과정(소위 형성 과정)은 2개의 단계로 일어난다는 것이 밝혀졌다. Li/Li+에 대하여 700 mV 미만의 전위에서 진행되는 제1 단계에서는, 예컨대 폴리머, 에스테르, 에테르, 알킬카보네이트 및 폴리올레핀과 같은 유기 물질이 형성된다. 이와 같은 유기 SEI에서는 적합한 형성 파라미터에서 이미 부동화막이 형성되었다. Li/Li+에 대하여 400 mV 미만의 전위에서 진행되는 제2 단계에서는, 상기 유기 구조물이 무기 물질(Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Li<sub>2</sub>O, LiF)로 추가로 환원된다.
- [0025] 전지 제조업자의 경우에는, 다양한 이유로, 정전류법(소위 사이클라이저)이 전지의 형성을 위해 사용된다. 이들은 셀 극간(cell pole)의 전압을 측정하면서 동적 정전류원으로서는 기능한다. 셀의 제조 후에 및 특히 전해질의 충전 후에는, 셀이 사이클라이저에서 정류량(일반적으로는 C/10, 용량 [Ah/10h]에 상응함)로 순환되는데, 다시 말하자면 충전 및 방전된다. 제1 사이클 후에는, SOC-영역(SOC: state-of-charge, 상대 충전 상태) 및 충전 단계/방전 단계 사이의 대기 시간이 부분적으로 변화한다.
- [0026] 이것의 단점은, SEI 형성 중에 Li-이온-전하 캐리어가 소비되고, 이후의 순환을 위해 더 이상 이용될 수 없다는 것이다. 최근의 셀 내에서는, SEI의 형성이 당초 이용 가능한 용량의 약 10%를 소비한다. 또한, 달력상의 그리고 주기적인 노화와 관련된 셀의 안정성, 셀의 열적 특성 및 이로 인해 야기되는 셀의 내부 저항은 형성 중에 그리고 형성 후의 다수의 파라미터에 의존한다. SEI의 수명 및 임피던스의 개발이 셀 전체의 수명에 결정적으로 기여하는 경우가 많다. 따라서, SEI-특성의 최적화는 Li-이온-셀의 수명 연장에 상당히 기여할 수 있다.
- [0027] 따라서, 애노드의 더 높은 전위 영역을 더욱 신속하게 통과하고 특정 전위 영역을 더욱 느리게 통과하기 위해서는, 특히 제1 형성 사이클 중에 동적 전류 프로파일을 적용하는 것이 제안되고 있다. 본원에서는, 특히 제1 사이클에서, 다만 적은 Li만 삽입된 전위 영역(Li/Li+에 대하여 400 mV 초과)을 더욱 신속하게 통과하는 것이 추천되고 있다.
- [0028] 이것의 이점은 높은 전위 영역을 느리게 통과하면 제1 사이클 중에 Li 삽입을 복잡하게 하며, SEI가 형성 중에 Li/Li+에 대하여 약 700 및 400 mV 정도의 전위에서 2개의 반응 단계를 통과한다는 것이다. 이 경우에 이미 1차 SEI(700 mV)가 부동태화 특성을 갖는다. 다음에 상기 SEI는 제2 반응 단계에서 최종적인 2차 SEI로 환원된다.
- [0029] 전위가 느린 유동 속도로 인해 이제 높은 값에 매우 오랫동안 머무르는 경우, 1차 SEI의 대부분은 바람직한 2차 SEI로 추가로 환원되지 않고, 형성된다. 1차 SEI는 제차 Li-전하 캐리어의 삽입을 방해한다. 그 결과, 1차 SEI는 추가의 용량 손실 하에, 저지되지 않은 Li-삽입이 이루어질 수 있기 전에 먼저 2차 SEI로 변환되어야만 한다. 이것은 더 높은 개수의 형성 사이클을 필요로 할 수 있다. 트리거 전위에 신속하게 도달함으로써 1차 SEI의 직접 형성에 의해서는, 제1 사이클에서의 쿨롱 손실뿐만 아니라 추가 사이클 형태의 형성 시간도 절약될 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0030] 이하에서는, 첨부된 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다. 이로부터 본 발명의 추가의 세부 사항, 바람직한 실시예들 및 개선예들이 나타난다. 세부적으로,
  - 도 1은 본 발명에 따른 형성 프로파일에서 리튬-이온-전지용 음극의 전위 파형 및 전류 파형을 나타내며, 그리고
  - 도 2는 본 발명에 따른 형성 프로파일에서 리튬-이온-전지용 음극의 전위 파형 및 충전량 파형을 나타낸다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

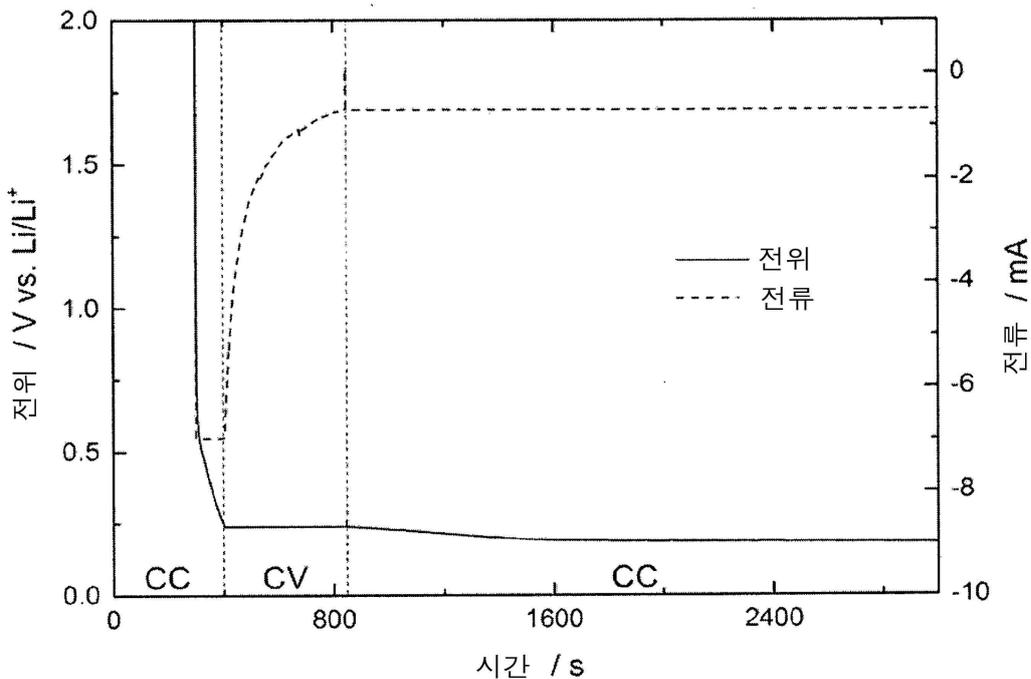
[0031] 도 1은, 본 발명에 따른 신속 형성에서 시간에 대한 반전지로서의 음극의 전위 및 충전 전류의 파형의 단면을 나타낸다. 음극으로서 흑연 애노드를 갖는 반전지로부터 시작한다. 충전 전류는 우측의 수직 값 축에서 음의 전류로서 제시되어 있고, 방전 전류는 양의 부호를 갖는다. 도 2는, 신속 형성에서의 전위 파형(실선) 외에,  $Li/Li^+$ 에 대하여 20 mV의 반전지 전위에 이르기까지 0.1C로써 중단 없이 정전류 충전된 그리고 0.05C의 중단 전류에 이르기까지 동일한 전위에서 후속적으로 정전압 충전된 선행 기술에 따른 형성에서의 전위 파형(파선)도 나타낸다. 또한, 도 2는 우측의 수직 값 축에서 상대 중량 측정 전하량, 즉 활성 재료인 흑연의 중량에 대해 상대적인 전하량도 나타낸다.

[0032] 먼저, 1C의 유동 속도으로써 정전류 충전이 시작된다("CC" = Constant Current). 속도(1C)는 예에서 양적으로 약 7 mA에 해당한다. 이것은, 활성 재료의 비-용량에 의해서 약 7 mAh의 이용된 전극의 계산상의 총 용량이 나타나는 선택된 예에 해당한다. 전위는,  $Li/Li^+$ -기준 전극에 대하여 240 mV의 값에 도달할 때까지 중단 없이 신속하게 강하한다. 이와 같은 전위에서는 정전위적으로 계속 충전이 이루어짐으로써("CV" = Constant Voltage), 결과적으로 충전 전류의 양이 떨어진다. 0.1C의 경계 전류에서는, 다시 말해 선택된 예에서 양적으로 약 0.7 mA에서는, 0.1C에서의 정전류적인 충전이 다시 이어진다. 이 새로운 충전 과정은, 전위가 20 mV의 값으로 떨어질 때까지 계속된다(도 1에서는 확인할 수 없지만, 도 2에서는 약 34,000초의 타임 마크에서 확인할 수 있음). 상기 값에서 최종 충전 전류에 도달할 때까지, 정전류 충전으로써 완결된다. 실시예에서 이 값은 0.05C인데, 더욱 구체적으로는 대략 0.35 mA이고, 대략 40,000초 후에 도달하게 된다.

[0033] 도 2의 우측의 수직 값 축에서는, 신속 형성의 경우에서보다 대략 5,000초 후에 동일한 형태의 전극에 대하여 0.05C 수준의 동일한 최종 충전 전류에 도달하게 되고(도 2의 이중 화살표 참조), 충전된 전하량은 대략 10 mAh/g 더 높다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 더 높은 전하량 값은, 비가역적으로 소비되어 형성 후에는 용량 손실의 형태로 더 이상 이용될 수 없는 리튬 이온에 해당한다. 정상적인 형성에서는 제1 사이클에서의 비가역적인 손실이 대략 30 mAh이기 때문에, 신속 형성은 상기 손실을 대략 35%만큼 줄여준다. 다시 말하자면, 실시예에 따른 신속 형성-방법은, 형성시에 더 적은 초기 용량 손실을 야기하는 완전하게 형성된 전극을 더 짧은 시간 내에 제공해준다.

**도면**

**도면1**



도면2

