



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0049846
(43) 공개일자 2023년04월14일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>G01R 31/36</i> (2019.01) <i>G01R 31/382</i> (2019.01)
 <i>G01R 31/392</i> (2019.01) <i>H01M 10/0525</i> (2010.01)
 <i>H01M 10/44</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>G01R 31/3648</i> (2013.01)
 <i>G01R 31/382</i> (2019.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2021-0132838
 (22) 출원일자 2021년10월07일
 심사청구일자 2021년10월07일</p> | <p>(71) 출원인
 울산과학기술원
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(72) 발명자
 정경민
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
 최현석
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50</p> <p>(74) 대리인
 특허법인태백</p> |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 장치 및 그 방법**

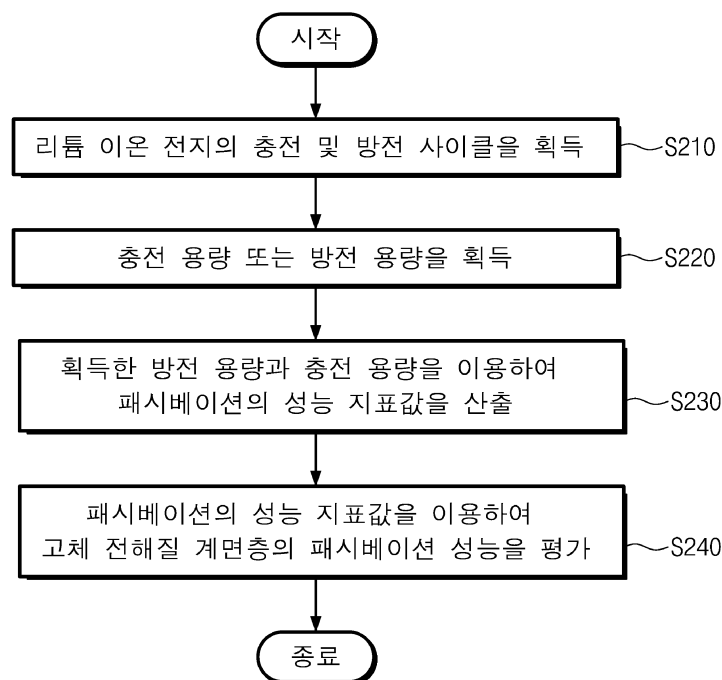
(57) 요약

본 발명은 리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 장치는 전기화학 계측기(Potentiostat/Galvanostat)를 이용하여 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 사이클을 획득하는 데이터 획득부, 상기 획득한 충전 및 방전 사이클로

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



부터 충전 구간 및 방전 구간에서의 전류 변화를 획득하고, 상기 획득한 전류 변화로부터 고체 전해질 계면층(SEI)에 기인한 충전 용량 또는 방전 용량을 획득하는 전처리부, 상기 획득한 충전 용량 또는 방전 용량을 이용하여 패시베이션 성능 지표값(degree of passivation, DOP)을 획득하는 산출부, 그리고 상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하는 제어부를 포함한다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 리튬 이온 전지의 충전 또는 방전 사이클을 통해 획득한 전류량을 이용하여 충방전 용량 비율을 획득하고, 획득한 충방전 용량 비율을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 단시간에 정량적으로 평가할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01R 31/392 (2019.01)

H01M 10/0525 (2013.01)

H01M 10/446 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 장치에 있어서,

전기화학 계측기 (Potentiostat/Galvanostat)를 이용해 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 사이클을 획득하는 데이터 획득부,

상기 획득한 충전 및 방전 사이클로부터 충전 구간 및 방전 구간에서의 전류 변화를 획득하고, 상기 획득한 전류 변화로부터 고체 전해질 계면층(SEI)에 기인한 충전 용량 또는 방전 용량을 획득하는 전처리부,

상기 획득한 충전 용량 또는 방전 용량을 이용하여 패시베이션 성능 지표값(degree of passivation, DOP)을 획득하는 산출부, 그리고

상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하는 제어부를 포함하는 SEI 성능 평가 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전처리부는,

리튬 이온의 산화 전류량(De-intercalation)과 SEI 활성 전류량(SEI formation)의 합을 통해 방전 용량(Discharge capacity)을 획득하고,

리튬 이온의 환원 전류량(interpolation)과 SEI 활성 전류량(SEI formation)의 합을 통해 충전 용량 Charge capacity)을 획득하는 SEI 성능 평가 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 산출부는,

하기의 수학적식으로 이용하여 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 산출하는 SEI 성능 평가 장치:

$$DOP = \frac{\text{Discharge capacity (Anodic)}}{\text{Charge capacity (Cathodic)}} = \frac{\text{De-intercalation (A)} - \text{SEI formation(B)}}{\text{Interpolation (A)} + \text{SEI formation(B)}}$$

여기서, Discharge capacity는 방전 용량을 나타내고, Charge capacity는 충전 용량을 나타내고, De-intercalation는 리튬 이온의 산화 전류량을 나타내고, interpolation는 리튬 이온의 환원 전류량을 나타내며, SEI formation는 SEI 활성 전류량을 나타낸다.

청구항 4

제3항에 있어서,

방전 상태일 경우, 상기 리튬 이온의 산화 전류(De-intercalation)는 애노드 방향(anodic)으로 이동하고, SEI 활성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동하며,

충전 상태일 경우, 리튬 이온의 환원 전류(interpolation)는 캐소드 방향(cathodic)으로 이동하고, SEI 활성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동하는 SEI 성능 평가 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)이 1에 가까울수록 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션 성능이 우수한 것으로 판단하는 SEI 성능 평가 장치.

청구항 6

SEI 성능 평가 장치를 이용한 리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 방법에 있어서,

전기화학 계측기(Potentiostat/Galvanostat)을 이용하여 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 사이클을 획득하는 단계,

상기 획득한 충전 및 방전 사이클로부터 충전 구간 및 방전 구간에서의 전류 변화를 획득하고, 상기 획득한 전류 변화로부터 고체 전해질 계면층(SEI)에 기인한 충전 용량 또는 방전 용량을 획득하는 단계,

상기 획득한 충전 용량 또는 방전 용량을 이용하여 패시베이션 성능 지표값(degree of passivation, DOP)을 획득하는 단계, 그리고

상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하는 단계를 포함하는 SEI 성능 평가 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 충전 용량 또는 방전 용량을 획득하는 단계는,

리튬 이온의 산화 전류량(De-intercalation)과 SEI 활성 전류량(SEI formation)의 합을 통해 방전 용량(Discharge capacity)을 획득하고,

리튬 이온의 환원 전류량(interpolation)과 SEI 활성 전류량(SEI formation)의 합을 통해 충전 용량 Charge capacity)을 획득하는 SEI 성능 평가 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)을 획득하는 단계는,

하기의 수학적식으로 이용하여 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 산출하는 SEI 성능 평가 방법:

$$DOP = \frac{\text{Discharge capacity (Anodic)}}{\text{Charge capacity (Cathodic)}} = \frac{\text{De-intercalation (A)} - \text{SEI formation(B)}}{\text{Interpolation (A)} + \text{SEI formation(B)}}$$

여기서, Discharge capacity는 방전 용량을 나타내고, Charge capacity는 충전 용량을 나타내고, De-intercalation는 리튬 이온의 산화 전류량을 나타내고, interpolation는 리튬 이온의 환원 전류량을 나타내며, SEI formation는 SEI 활성 전류량을 나타낸다.

청구항 9

제8항에 있어서,

방전 상태일 경우, 상기 리튬 이온의 산화 전류(De-intercalation)는 애노드 방향(anodic)으로 이동하고, SEI 활성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동하며,

충전 상태일 경우, 리튬 이온의 환원 전류(interpolation)는 캐소드 방향(cathodic)으로 이동하고, SEI 활성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동하는 SEI 성능 평가 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 성능을 평가하는 단계는,

상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)이 1에 가까울수록 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션 성능이 우수한 것으로 판단하는 SEI 성능 평가 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 장치 및 그 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게 설명하면 리튬 이온 전지에 정전압을 충전 또는 방전하였을 때 발생하는 전류량의 변화를 이용하여 고체 전해질 계면층(Solid electrolyte interphase, SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하는 SEI 성능 평가 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 리튬 이온 배터리(lithium-ion batteries)는 다른 배터리에 비해 높은 에너지 밀도, 높은 전력 밀도, 긴 수명 및 환경 친화성을 특징으로 하므로 가전 제품 분야에서 널리 응용되고 있다.

[0003] 리튬 이온 배터리는 리튬 이온이 방전시 음극에서 양극으로 이동하고 충전시 양극에서 음극으로 이동하는 재충전 가능한 배터리 형태 계열의 일부이다.

[0004] 리튬 이온 배터리를 제조한 후 최초로 전압을 인가하게 되면 리튬 이온은 캐소드(cathode)에서 애노드(anode)로 이동하면서 전해질 내의 첨가제와 화학적 반응하게 되며, 화학 반응에 따라 애노드(anode)측 계면에는 얇은 고체막이 형성된다. 이때, 생성된 얇은 고체막을 고체 전해질 계면층(SEI)이라고 한다.

[0005] 이를 다시 설명하면, 리튬 이온 배터리의 초기 상태에서 충전을 하게 되면, 캐소드(cathode)와 애노드(anode)의 전위(electrical potential)가 변함에 따라 전해질(electrolyte)의 계면에서 전자 이동으로 인한 화학적 부반응이 발생하고 해당 위치에 고체 전해질 계면층(Solid Electrolyte Interphase, SEI)이 형성된다.

[0006] 고체 전해질 계면층(SEI)은 리튬이온 전도특성을 가지면서 전해액쪽으로 전자 이동을 막아주는 역할을 수행하기 때문에 가역적인 이온의 이동에 있어 매우 중요하다. 다만, 고체 전해질 계면층(SEI)이 일정 수준 이상으로 생성되면 리튬 이온을 소모하고 두께가 두꺼워져 리튬 이온도 전도되기 어려운 그냥 하나의 고체막으로 변질되어 용량 손실과 저항 증가를 발생시킨다.

[0007] 즉, 리튬 이온 전지의 형성 과정(Formation process)에서 형성된 고체 전해질 계면층(SEI)의 전기화학적 안정성은 장기적인 전지 성능에 직접적인 영향을 미친다. 뿐만 아니라, SEI 형성 과정은 리튬 이온 전지에서 시간이 많이 소모되는 공정이기 때문에 생산 비용을 낮추기 위해서는 보다 빠른 형성 과정을 찾아야 한다. 따라서, 리튬 이온 전지의 생산 비용과 셀 성능이 적절하게 균형을 이루는 최적의 형성 프로토콜(Formation protocol)을 찾는 것이 중요하다. 이러한 프로토콜을 도출하려면 각 형성 프로토콜에 따른 고체 전해질 계면층(SEI)의 전기화학적 안정성을 비교해야 한다.

[0008] 그러나 성능을 비교하는 데 사용되는 주기 테스트(cycle test) 및 저장 수명 테스트(shelf life test)와 같은 기존 방법은 복잡한 단계로 구성되어 있어 상당한 자본 비용 및 시간을 필요로 하는 문제점이 있었다.

[0009] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국등록특허 제 10-1288647호(2013.07.16. 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이와 같이 본 발명에 따르면, 리튬 이온 전지에 정전압을 충전 또는 방전하였을 때 발생하는 전류량의 변화를 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하는 SEI 성능 평가 장치 및 그 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면 리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 장치는 전기화학 계측기(Potentiostat/Galvanostat)을 이용하여 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 사이클을 획득하는 데이터 획득부, 상기 획득한 충전 및 방전 사이클로부터 충전 구간 및 방전 구간에서의 전류 변화를 획득하고, 상기

획득한 전류 변화로부터 고체 전해질 계면층(SEI)에 기인한 충전 용량 또는 방전 용량을 획득하는 전처리부, 상기 획득한 충전 용량 또는 방전 용량을 이용하여 패시베이션 성능 지표값(degree of passivation, DOP)을 획득하는 산출부, 그리고 상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하는 제어부를 포함한다.

[0012] 상기 전처리부는, 정전압 방전 시 리튬 이온의 산화 전류량(De-intercalation)과 SEI 형성 전류량(SEI formation)의 합을 통해 방전 용량(Discharge capacity)을 획득하고, 정전압 충전 시 리튬 이온의 환원 전류량(intercalation)과 SEI 형성 전류량(SEI formation)의 합을 통해 충전 용량 Charge capacity)을 획득할 수 있다.

[0013] 상기 산출부는, 하기의 수학적식으로 이용하여 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 산출할 수 있다.

$$DOP = \frac{\text{Discharge capacity (Anodic)}}{\text{Charge capacity (Cathodic)}} = \frac{\text{De-intercalation (A)} - \text{SEI formation(B)}}{\text{Intercalation (A)} + \text{SEI formation(B)}}$$

[0015] 여기서, Discharge capacity는 정전압 방전 용량을 나타내고, Charge capacity는 정전압 충전 용량을 나타내고, De-intercalation는 리튬 이온의 산화 전류량을 나타내고, intercalation는 리튬 이온의 환원 전류량을 나타내며, SEI formation는 SEI 형성 전류량을 나타낸다.

[0016] 방전 상태일 경우, 상기 리튬 이온의 산화 전류(De-intercalation)는 애노드 방향(anodic)으로 이동하고, SEI 형성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동하며, 충전 상태일 경우, 리튬 이온의 환원 전류(intercalation)는 캐소드 방향(cathodic)으로 이동하고, SEI 형성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동할 수 있다. SEI 형성 전류는 전압 범위에 의존하는 반응으로 충/방전에 관계없이 항상 캐소드 방향인 환원 반응으로 인한 전류이다.

[0017] 상기 제어부는, 상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)이 1에 가까울수록 이전에 형성된 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션 성능이 우수한 것으로 판단할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명의 다른 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치를 이용한 리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 방법은 전기화학 계측기(Potentiostat/Galvonostat)를 이용하여 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 사이클을 획득하는 단계, 상기 획득한 충전 및 방전 사이클로부터 충전 구간 및 방전 구간에서의 전류 변화를 획득하고, 상기 획득한 전류 변화로부터 고체 전해질 계면층(SEI)에 기인한 충전 용량 또는 방전 용량을 획득하는 단계, 상기 획득한 충전 용량 또는 방전 용량을 이용하여 패시베이션 성능 지표값(degree of passivation, DOP)을 획득하는 단계, 그리고 상기 패시베이션 성능 지표값(DOP)을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0019] 이와 같이 본 발명에 따르면, 리튬 이온 전지의 충전 또는 방전 사이클을 통해 획득한 전류량을 이용하여 정전압 충방전 용량 비율을 획득하고, 획득한 충방전 용량 비율을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 정량적으로 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치를 설명하기 위한 구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치(100)를 이용한 SEI 성능 평가 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

도 3은 리튬 이온 전지에 적용된 이중 전위 단계를 설명하기 위한 그래프이다.

도 4는 도 2의 S210단계에서 시간 경과에 따른 전류변화를 나타내는 그래프이다.

도 5는 도 2의 S220단계에서 SEI 반응 전류와 순 전류를 설명하기 위한 그래프이다.

도 6은 도 2의 S240단계를 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에

도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.

- [0022] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0023] 이하에서는 도 1을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치에 대해 더욱 상세하게 설명한다.
- [0024] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치를 설명하기 위한 구성도이다.
- [0025] 도 1에 도시된 바와 같이, SEI 성능 평가 장치(100)는 데이터 획득부(110), 전처리부(120), 산출부(130) 및 제어부(140)를 포함한다.
- [0026] 먼저, 데이터 획득부(110)는 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 사이클을 획득한다.
- [0027] 부연하자면, 리튬 이온 전지는 인가된 전압에 따라 충전 및 방전을 반복하여 수행된다. 그러면, 데이터 획득부(110)는 전기화학 계측기(Potentiostat/Galvanostat)을 통해 충전 구간에서 측정된 전류량과 방전 구간에서 측정된 전류량을 각각 획득한다.
- [0028] 그 다음, 전처리부(120)는 충전 구간과 방전 구간에서 각각 측정된 전류량을 이용하여 충전 용량 또는 방전 용량을 획득한다.
- [0029] 이를 다시 설명하면, 전처리부(120)는 고체 전해질 계면층(SEI)의 활성 전류량과 리튬 이온의 환원 전류량의 합을 통해 충전 용량을 획득하고, 고체 전해질 계면층(SEI)의 활성 전류량과 리튬 이온의 산화 전류량의 합을 통해 방전 용량을 획득한다.
- [0030] 산출부(130)는 획득한 충전 용량과 방전 용량의 비를 이용하여 패시베이션의 성능 지표값(degree of passivation, DOP)을 획득한다.
- [0031] 마지막으로 제어부(140)는 획득한 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가하고, 평가된 결과를 출력한다.
- [0033] 이하에서는 도 2 내지 도 6을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치(100)를 이용한 리튬 이온 전지에 대한 SEI 성능 평가 방법에 대해 더욱 상세하게 설명한다.
- [0034] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치(100)를 이용한 SEI 성능 평가 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0035] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치(100)는 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 사이클을 획득한다(S210).
- [0036] 고체 전해질 계면층(SEI)이 형성된 리튬 이온 전지에 전압이 인가된다.
- [0037] 도 3은 리튬 이온 전지에 적용된 이중 전위 단계를 설명하기 위한 그래프이다.
- [0038] 도 3에 도시된 바와 같이, 사용자는 리튬 이온 전지에 인가되어 있던 1.0V의 전압을 0.6V로 하강시키고, 0.6V로 하강시킨 상태를 5시간 동안 유지한다. 상기 전위는 음극 전위 기준이며, SEI 화학적 부반응과 (de)intercalation이 모두 발생하는 전위 구간으로 설정한다.
- [0039] 5시간을 경과한 다음, 사용자는 리튬 이온 전지에 인가되어 있던 0.6V의 전압을 1.0V로 상승시키고, 1.0V로 상승시킨 상태를 5시간 동안 유지한다.
- [0040] 즉, 리튬 이온 전지는 인가된 정전압에 따라 충전상태에서 방전상태로 변환된다.
- [0041] 그 다음, 데이터 획득부(110)는 전기화학 계측기(Potentiostat/Galvanostat)에 의해 분석된 전류의 응답 특성을 획득한다.
- [0042] 도 4는 도 2의 S210단계에서 시간 경과에 따른 전류변화를 나타내는 그래프이다.
- [0043] 도 4에 도시된 바와 같이, 데이터 획득부(110)는 이중 전위 단계에 대응하여 충전 단계 및 방전 단계에서의 전류 변화를 획득한다. 본 발명의 실시예에 따른 SEI 성능 평가 장치(100)는 고체 전해질 계면층(SEI)의 영향만을

고려하기 위하여 리튬 이온 전지의 음극에서 발생하는 전류 변화만을 획득한다.

- [0044] 그러면, 고체 전해질 계면층(SEI)의 반응 정도에 따라 전류변화가 상이하게 나타난다.
- [0045] S210단계가 완료되면, 전처리부(120)는 획득한 전류변화로부터 충전 용량 또는 방전 용량을 획득한다(S220).
- [0046] 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션(passivation)에 대한 성능은 전해질쪽으로의 전자 이동을 차단하여 추가적인 화학적 부반응 발생을 방지하는 정도를 나타낸다. 형성 단계(Formation process)이후, 이중 전위 단계 동안 고체 전해질 계면층(SEI)의 추가적인 반응 양을 측정하는 것은 이전에 형성된 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션 성능을 나타내는 지표가 될 수 있다.
- [0047] 따라서, 전처리부(120)는 고체 전해질 계면층(SEI)의 반응 양을 측정하기 위하여 획득한 순 전류(net current) 변화로부터 SEI 반응 전류와 가역적인 반응 전류를 분리한다.
- [0048] 여기서 가역적인 전류 변화는 전류는 리튬 이온의 산화 전류와 리튬 이온의 환원 전류를 포함한다.
- [0049] 도 5는 도 2의 S220단계에서 SEI 반응 전류와 순 전류를 설명하기 위한 그래프이다.
- [0050] 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, 충전 단계에서의 전류는 SEI 반응 전류와 리튬 이온의 환원 전류(intercalation)로 분류될 수 있다.
- [0051] 이때, 리튬 이온의 환원 전류(intercalation)는 캐소드 방향(cathodic)으로 이동하며, SEI 형성 전류(SEI formation)는 캐소드(cathodic) 방향으로 이동한다.
- [0052] 또한, 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이, 충전 단계에서의 전류는 SEI 반응 전류와 리튬 이온의 환원 전류(intercalation)로 분류될 수 있다. 이때, 리튬 이온의 산화 전류(De-intercalation)는 애노드 방향(anodic)으로 이동하고, SEI 형성 전류(SEI formation)는 캐소드(cathodic) 방향으로 이동한다.
- [0053] 그 다음, 전처리부(120)는 리튬 이온의 산화 전류량(De-intercalation)과 SEI 형성 전류량(SEI formation)의 차이를 통해 방전 용량(Discharge capacity)을 획득하고, 리튬 이온의 환원 전류량(intercalation)과 SEI 형성 전류량(SEI formation)의 합을 통해 충전 용량(Charge capacity)을 획득한다.
- [0054] S220단계가 완료되면, 산출부(130)는 획득한 방전 용량과 충전 용량을 이용하여 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 산출한다(S230).
- [0055] 산출부(130)는 하기의 수학적식을 통해 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 산출한다.

수학적식 1

$$DOP = \frac{\text{Discharge capacity (Anodic)}}{\text{Charge capacity (Cathodic)}} = \frac{\overset{\text{anodic}}{\text{De-intercalation (A)}} - \overset{\text{cathodic}}{\text{SEI formation (B)}}}{\underset{\text{cathodic}}{\text{Intercalation (A)}} + \underset{\text{cathodic}}{\text{SEI formation (B)}}}$$

- [0056]
- [0057] 여기서, Discharge capacity는 방전 용량을 나타내고, Charge capacity는 충전 용량을 나타내고, De-intercalation는 리튬 이온의 산화 전류량을 나타내고, intercalation는 리튬 이온의 환원 전류량을 나타내며, SEI formation는 SEI 형성 전류량을 나타낸다.
- [0058] 한편, 상기 수학적식 1에 기재된, (A)는 (de)intercalation에 의한 가역적인 반응에 의한 전류로, 정전압 충전/방전 동안 동일하게 나타나고, (B)와 (B')는 각각 정전압 충전과 방전동안에 발생한 SEI formation에 의한 비가역 반응 전류로 가해진 전압에 의존하여 나타난다.
- [0059] 한편, 수학적식 1에 기재된 애노딕(anodic)과 캐소딕(cathodic)은 전류 방향을 나타낸다. 부연하자면, 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, 리튬 이온의 환원 전류(intercalation)와 SEI 형성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동한다. 따라서, 산출부(130)는 리튬 이온의 환원 전류(intercalation)와 SEI 형성 전류(SEI formation)의 합을 통해 충전 용량을 획득한다.
- [0060] 반면에 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이, 리튬 이온의 산화 전류(De-intercalation)는 애노드 방향(anodic)으로 이동하고, SEI 형성 전류(SEI formation)는 캐소드 방향으로 이동하므로, 산출부(130)는 리튬 이온의 산화 전류

(De-intercalation)로부터 SEI 활성 전류를 차감하여 방전 용량을 획득한다.

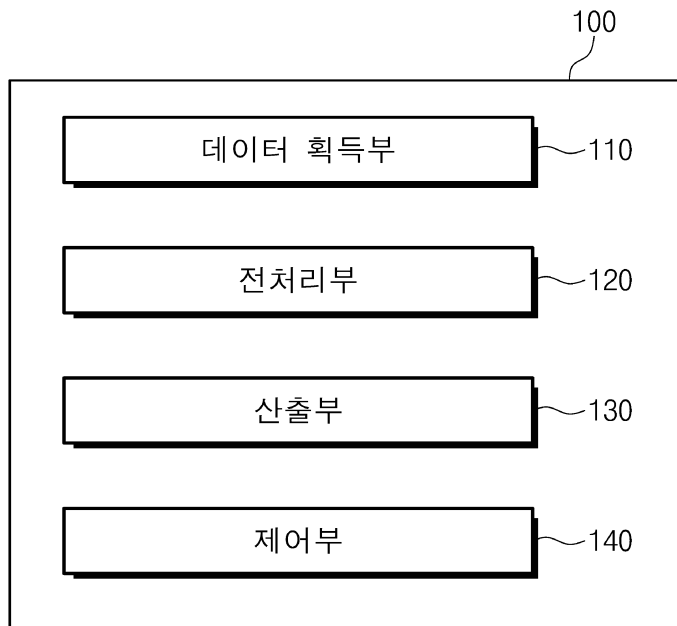
- [0061] 그 다음, 산출부(130)는 충전 용량과 방전 용량의 비를 이용하여 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 산출한다.
- [0062] 제어부(140)는 산출된 패시베이션의 성능 지표값(DOP)을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 평가한다(S240).
- [0063] 리튬 이온 전지에 충방전을 반복하여 실행하게 되면, 고체 전해질 계면층(SEI)이 서서히 형성되면서 추가적인 비가역 반응에 따른 SEI formation 전류가 서서히 감소된다. 그러면 충전 용량은 감소하게 되고, 방전 용량은 증가하게 된다.
- [0064] 도 6은 도 2의 S240단계를 설명하기 위한 그래프이다.
- [0065] 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이, 리튬 이온 전지의 하프셀에서 이중 전위 단계가 11번 반복되었다고 가정한다. 이중 전위 단계가 반복되게 되면 고체 전해질 계면층(SEI)의 형태와 구성은 점점 더 성숙하게 되므로 고체 전해질 계면층(SEI) 반응에 대한 전류는 점차 감소된다.
- [0066] 고체 전해질 계면층(SEI) 반응에 대한 전류가 감소되면 충전 용량은 감소되고, 방전 용량은 증가된다.
- [0067] 그러면, 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 충방전 용량 비율에 해당하는 패시베이션 성능 지표값(DOP)은 점차 증가되어 1에 가까워지게 된다.
- [0068] 따라서, 제어부(140)는 패시베이션 성능 지표값(DOP)이 1에 가까울수록 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션 성능이 우수한 것으로 판단하고, 판단 결과를 모니터와 같은 출력 장치를 통해 출력한다.
- [0069] 이와 같이 본 발명에 따른 SEI 성능 평가 장치는 리튬 이온 전지의 충전 또는 방전 사이클을 통해 획득한 전류량을 이용하여 충방전 용량 비율을 획득하고, 획득한 충방전 용량 비율을 이용하여 고체 전해질 계면층(SEI)의 패시베이션에 대한 성능을 정량적으로 평가할 수 있다.
- [0071] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

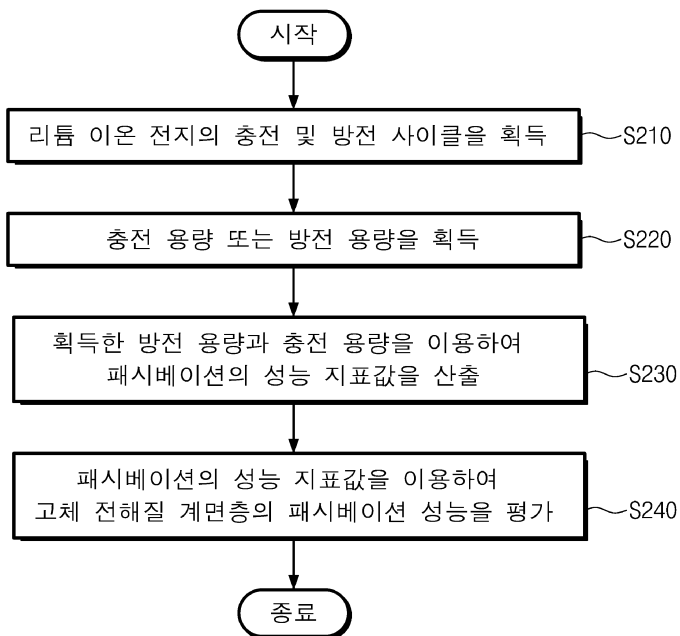
- [0072] 100: SEI 성능 평가 장치
- 110 : 데이터 획득부
- 120 : 전처리부
- 130 : 산출부
- 140 : 제어부

도면

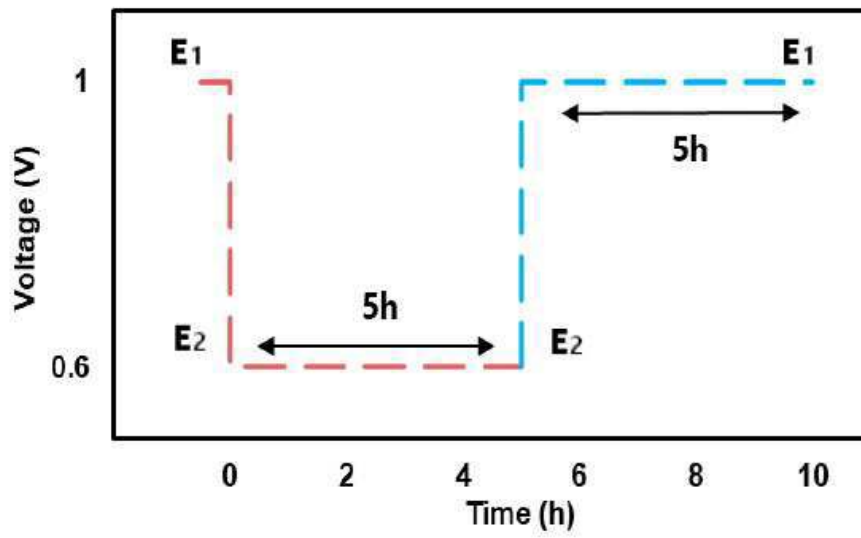
도면1



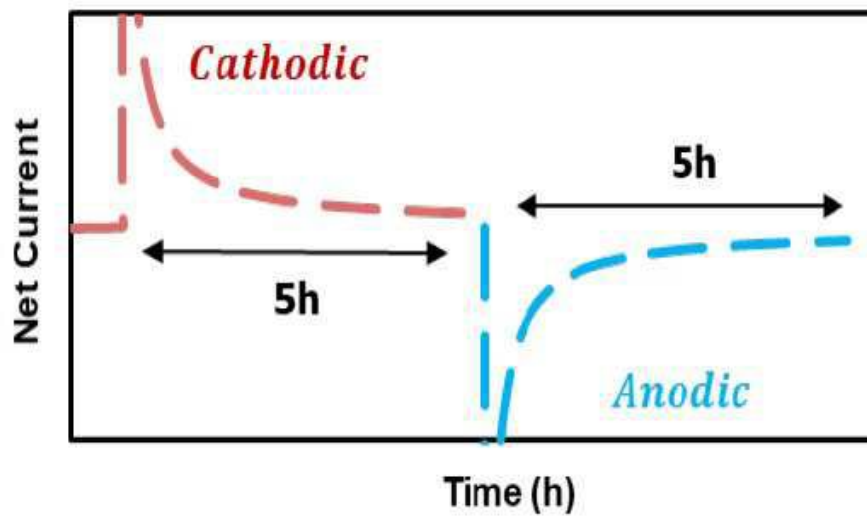
도면2



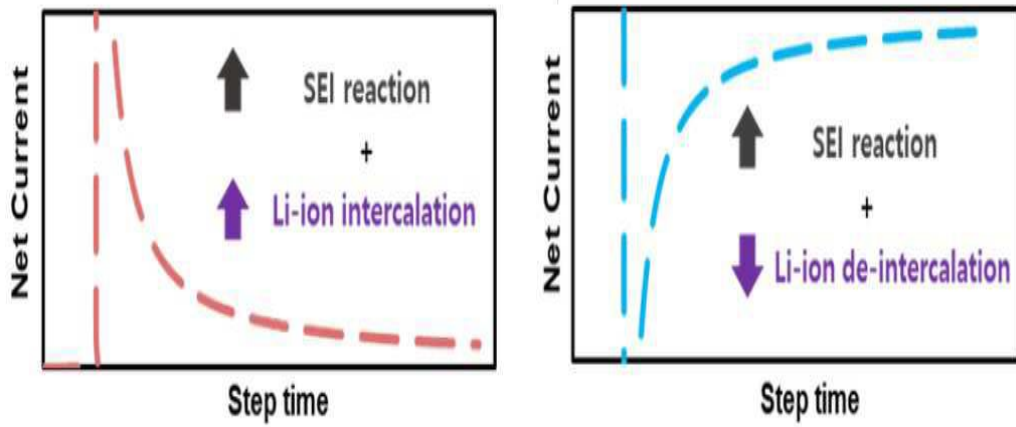
도면3



도면4



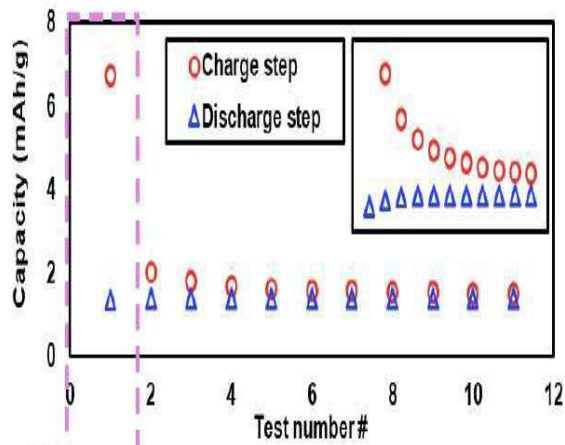
도면5



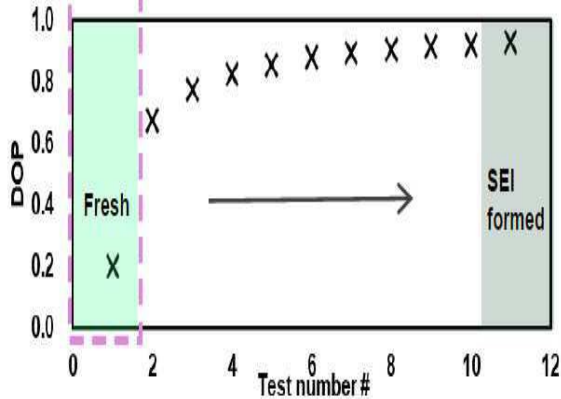
(a)정전압 충전 전류

(b) 정전압 방전 전류

도면6



(a)정전압 충/방전 용량 변화



(b)정전압 충/방전 용량 비율 변화