



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0024772
(43) 공개일자 2025년02월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01M 10/0562 (2010.01) H01M 10/0525 (2010.01)
H01M 10/0585 (2010.01) H01M 10/42 (2014.01)
H01M 4/02 (2006.01) H01M 4/131 (2010.01)
H01M 4/134 (2010.01) H01M 4/1395 (2010.01)
H01M 4/38 (2006.01) H01M 4/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01M 10/0562 (2013.01)
H01M 10/0525 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7042396
(22) 출원일자(국제) 2023년02월08일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년12월20일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2023/053069
(87) 국제공개번호 WO 2023/247073
국제공개일자 2023년12월28일
(30) 우선권주장
10 2022 115 233.2 2022년06월20일 독일(DE)

(71) 출원인
독시 게엠베하
독일, 할레 (잘레) 06120 웨인버그웍 23
(72) 발명자
레이츠만, 우도
독일, 윌스트러프 01723 엠 스태드파크 2
크라우스-베이더, 안드레아스
독일, 드레스덴 01159 클라라-비에빅-슈트라스 5
뉴버트, 마르셀
독일, 크레이샤 01731 포스트슈트라스 2에이
(74) 대리인
특허법인지평

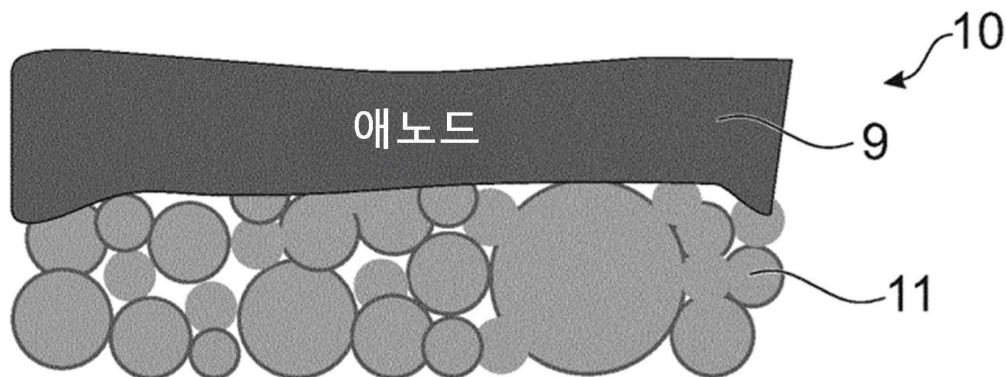
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 실리콘 애노드 고체-상태 전해질 화합물을 제조하는 방법 및 고체-상태 리튬 이온 배터리 셀 및 고체-상태 리튬 이온 배터리를 제조하는 방법

(57) 요약

본 발명은 고체-상태 배터리에 사용하기에 적합한 평면형 실리콘 애노드 고체-상태 전해질 화합물을 제조하는 방법 및 이와 같은 방식으로 제조된 평면형 실리콘 애노드 고체-상태 전해질 화합물에 관한 것이다. 본 발명의 목적은 실리콘 애노드 고체-상태 전해질이 제조될 수 있는 방법을 제공하는 것으로, 이는 셀 층들 사이에 일관되고 양호한 전기 접촉을 보장하며, 상기 목적은 고체-상태 배터리에 사용하기에 적합한 평면형 실리콘 애노드 고체-상태 전해질 화합물을 제조하는 방법으로 달성되고, 실리콘 애노드의 활성층으로서 다층 구조는 건식 증착 방법으로 다공성 고체-상태 전해질 위에 증착되고 다층 구조체는 가속된 어닐링을 거치며, 바람직하게는 구리로 구성된 집전체는 상기 다층 구조 위에 증착된다.

대표도 - 도2a



(52) CPC특허분류

H01M 10/0585 (2013.01)

H01M 10/4235 (2013.01)

H01M 4/131 (2013.01)

H01M 4/134 (2013.01)

H01M 4/1395 (2013.01)

H01M 4/386 (2025.01)

H01M 4/661 (2013.01)

H01M 2004/021 (2013.01)

H01M 2004/027 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

고체-상태 배터리(solid-state battery)(15)에 사용하기에 적합한 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(planar silicon anode-solid electrolyte connection)(10)를 제조하는 방법으로서,

건식 증착법(dry deposition method)으로 다공성 고체 전해질(11) 위에 멀티스트라툼 구조(multistratum structure)가 상기 실리콘 애노드(9)의 활성층으로서 증착되되,

상기 멀티스트라툼 구조(9)는 가속된 어닐링(accelerated annealing)을 거치고,

상기 멀티스트라툼 구조(9) 위에 바람직하게는 구리로 구성된 집전체(current collector)(2)가 증착되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 고체 전해질(11)과 상기 실리콘 애노드(9)의 상기 활성층 사이의 안정화를 위한 중간층(16)이 상기 고체 전해질(11)과 상기 멀티스트라툼 구조(9) 사이에 증착되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 멀티스트라툼 구조(9)는 스트라툼에 스트라툼(stratum by stratum)으로 증착되되,

상기 멀티스트라툼 구조(9)는 금속 및/또는 실리콘의 적어도 하나의 스트라툼으로부터 또는 적어도 하나의 금속과 혼합된 실리콘으로 구성된 혼합 시스템으로부터 형성되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 금속은 망간(Mn), 코발트(Co), 철(Fe), 마그네슘(Mg), 티타늄(Ti), 니켈(Ni), 알루미늄(Al), 주석(Sn), 금(Au) 및/또는 은(Ag) 및/또는 이들 재료의 혼합물 중의 적어도 하나로 형성되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 건식 증착법은 PVD 공정; 예를 들어 스퍼터링(sputtering) 또는 전자-빔 증발법(electron-beam vaporization)임을 특징으로 하는, 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)를 제조하는 방법의 단계들은 역순으로 수행되되, 구체적으로

멀티스트라툼 구조가 상기 실리콘 애노드(9)의 집전체(2), 바람직하게는 구리 위에 활성층으로서 건식 증착법으로 증착되고;

후속적으로 상기 실리콘 애노드(9)의 상기 멀티스트라툼 구조 내로 제어되고 조정가능한 에너지 투입으로 가속된 어닐링을 거치며;

상기 고체 전해질(11)과 상기 실리콘 애노드(9)의 상기 활성층 사이의 안정화를 위해 상기 멀티스트라툼 구조

(9) 위에 중간층(16)이 증착되고;

상기 고체 전해질(11)이 증착되되, 후자는 상기 고체 전해질(11)의 결정화를 위해 가속된 어닐링을 거치는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 멀티스트라툼 구조(9)의 상기 증착된 스트라타(deposited strata) 및/또는 상기 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)의 층들로의 에너지 투입은 상기 가속된 어닐링에 의해 제어되는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 가속된 어닐링은 플래시-램프 어닐링(flash-lamp annealing)이고,

0.2 내지 20 ms 범위의 플래시 광 지속시간(flash light duration) 및 0.3 내지 160 J/cm² 범위의 에너지 밀도를 갖는 플래시-램프(flash lamp)에 의해; 및/또는,

4℃ 내지 200℃ 범위의 예열 또는 냉각에 의해;

수행될 수 있는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 9

제 1 항 내지 제 8 항 중의 어느 한 항에 있어서,

상기 가속된 어닐링은 레이저 어닐링(laser annealing)이고,

국부 가열 부위(local heating site)의 스캐닝 속도 및 0.1 내지 100 J/cm² 범위의 에너지 밀도의 설정에 의해 0.01 ms 내지 100 ms 범위의 어닐링 시간을 갖는 레이저에 의해; 및/또는,

4℃ 내지 200℃ 범위의 예열 또는 냉각으로;

수행될 수 있는 것을 특징으로 하는, 방법.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중의 어느 한 항에 따른 방법에 의해 제조된 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)로서,

상기 고체 전해질(11)은 우선적으로 산화성 재료(oxidic material), 보다 특히 가넷-구조 산화물(garnet-structure oxides), 나시콘형 인산염 유리-세라믹(NASICON-type phosphate glass-ceramics) 또는 산화질화물(oxynitrides)로 구성되는 것을 특징으로 하는, 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10).

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 고체 전해질(11)은 상기 가속된 어닐링에 의해 목표한 방식으로 조정될 수 있는 높은 이온 전도도를 갖는 결정성(crystallinity)을 갖는 것을 특징으로 하는, 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10).

청구항 12

고체-상태 배터리 셀(14)로서,

캐소드(cathode)(7) 및 제 1 항 내지 제 9 항 중의 어느 한 항에 따른 방법을 사용하여 제조된 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)를 포함하며,

상기 실리콘 애노드(9), 상기 고체 전해질(11) 및 상기 캐소드(7)는 평면형 구성으로 구현되는 것을 특징으로 하는, 고체-상태 배터리 셀(14).

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 캐소드(7)는 LiFePO_4 , LiMnO_2 또는 LiCoO_2 의 활성층으로 형성되고,

바람직하게는 알루미늄으로 구성된 집전체(8)는 캐소드로서 상기 활성층 위에 형성되는 것을 특징으로 하는, 고체-상태 배터리 셀(14).

청구항 14

제 12 항 또는 제 13 항에 있어서,

상기 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10) 및 실리콘 애노드-구리 집전체 연결부(20)를 포함하는 애노드-층 구성, 및 또한 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체 연결부(20) 및/또는 캐소드액(catholyte)-알루미늄 집전체 연결부(19)를 포함하는 캐소드-층 구성은 서로 별도로 제조되고 구성될 수 있으며,

상기 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10) 및 상기 실리콘 애노드-구리 집전체 연결부(20) 및 또한 상기 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체 연결부 및/또는 상기 캐소드액-알루미늄 집전체 연결부(19)는 각각의 벌크 접촉(bulk contact)(9, 11)에 의해 최종 제작 단계에서 서로 연결 가능한 방식으로 구성되는 것을 특징으로 하는, 고체-상태 배터리 셀(14).

청구항 15

제 12 항 내지 제 14 항 중의 어느 한 항에 따른 하나 초과의 고체-상태 배터리 셀(14)로 구성된 고체-상태 배터리(15)로서,

상기 하나 초과의 고체-상태 배터리 셀(14)은 서로의 상부에 평면으로 스택킹(stack)된 방식으로 구현되고, 서로 병렬 및/또는 직렬로 연결된 방식으로 접속이 구현되는 것을 특징으로 하는, 고체-상태 배터리(15).

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고체-상태 배터리(또는 '전고체 배터리')에 사용하기에 적합한 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(planar silicon anode-solid electrolyte connection)를 제조하는 방법, 및 이와 같이 제조된 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부에 관한 것이다.

[0002] 본 발명은 또한 캐소드(cathode) 및 본 발명의 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부를 포함하는 고체-상태 배터리 셀, 및 적어도 하나의 고체-상태 배터리 셀을 포함하는 고체-상태 배터리에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 서론으로, 전기화학 에너지 저장소로서 배터리에 관한 특정 원리와 함께 사용되는 관련 용어를 정리하고 규정한다.

[0004] 배터리는 전기화학적 에너지 저장소이며 1차 및 2차 배터리로 구별된다.

[0005] 1차 배터리는 화학 에너지가 전기 에너지로 비가역적으로 변환되는 전기화학적 전원이다. 따라서 1차 배터리는 재충전될 수 없다. 한편 충전지라고도 불리는 2차 배터리는 수행하는 화학반응이 가역적인 재충전 가능한 전기 화학적 에너지 저장소이며 여러 차례 사용이 가능하다. 충전 중에는 전기 에너지가 화학 에너지로 변환되고, 방전 중에는 화학 에너지에서 전기 에너지로 다시 변환된다.

[0006] "배터리"는 상호 연결된 셀에 대한 헤드라인 용어(headline term)이다. 셀은 2개의 전극, 전해질, 분리막(separator), 및 셀 케이싱(cell casing)으로 구성된 갈바닉 유닛(galvanic units)이다. 도 1은 방전 중 리튬-이온 셀의 예시적인 구성 및 기능을 보여준다. 각각의 Li-이온 셀은 2개의 상이한 전극(7, 9); 즉 충전 상태(charged state)에서 음으로 대전되는(negatively charged) 전극(9), 및 충전 상태에서 양으로 대전되는(positively charged) 전극(7);으로 구성된다. 에너지의 방출, 즉 방전은 음으로 대전된 전극으로부터 양으로 대전된 전극으로의 이온의 이동을 수반하므로, 양으로 대전된 전극은 캐소드(cathode)(7)로 불리고 음으로 대전

된 전극은 애노드(anode)(9)로 불린다. 상기 전극들은 각각 집전체(current collector)(2, 8) 및 그 위에 적용된 활물질로 각각 구성된다. 상기 전극들 사이에는 먼저 전하의 필요한 교환을 가능하게 하는 이온-전도성 전해질(4), 및 전극의 전기적 분리를 보장하는 분리막(5)이 위치한다.

[0007] 고체-상태 축전지 또는 배터리는 특히 고체 전해질에서 종래의 축전지와 다르다. 전해질의 목적은 애노드와 캐소드 사이의 이온의 전도이다.

[0008] 배터리 셀은 다른 방식으로 연결될 수 있다. 2개의 배터리 셀(battery cells)이 직렬로 연결되는 경우 하나의 배터리 셀의 애노드(음의 전극)는 다른 배터리 셀의 캐소드(양의 전극)에 연결된다(방전시를 고려함). 배터리 셀이 직렬로 연결되는 경우 전체 전압이 증가한다: 개별 셀의 전압이 함께 더해진다. 배터리 셀이 병렬로 연결되는 경우 캐소드(양의 전극)처럼 모든 애노드(음의 전극)이 서로 연결된다 - 방전시를 고려함. 셀의 병렬 연결에서, 배터리의 정전용량(capacitance)(Ah)이 두 배로 된다. 배터리 모듈을 형성하기 위한 배터리의 병렬 연결에도 동일하게 적용된다.

[0009] 현재 이용가능한 리튬-이온 배터리는 에너지의 저장 및 방출을 위한 전극들(애노드 및 캐소드) 사이에 리튬을 이용하기 위해 액체 전해질이 사용된다. 수계 전해질(water-based electrolytes)과의 안정적인 작동을 위한 저전위 창(potential window)을 감안하여 유기 용매가 사용된다. 이러한 용매는 높은 화염 전위(flame potential)를 지니고 있어서, 배터리의 화재 위험을 증가시킨다. 훨씬 낮은 가연성을 가지는 고체 전해질의 사용은 해결책으로 볼 수 있다. 우수한 전기 절연성과 함께 우수한 이온 전도도의 특성을 갖는 고체 전해질은 기존의 액체 전해질 및 분리막을 대체할 수 있다. 이와 동시에 고체 전해질을 사용하는 경우, 특히 금속 리튬을 사용하는 경우 에너지 밀도를 증가시켜서 부피 및 중량을 줄일 수 있으며, 그 결과 패키징 밀도를 크게 높일 수 있다.

[0010] 그러나 고체 전해질의 단점은 유연성(flexibility)이 낮고 효과적인 이온 전도도를 위해 애노드와 캐소드를 접촉시키는 데에도 어려움이 있다. 고체 전해질과 관련하여 애노드의 표면 접촉은 우수한 배터리 성능에 중요하다. 특히 세라믹 전해질의 분말성 출발 재료(pulverulent starting materials)로는 예를 들어 높은 표면 기공률을 갖는 소결된 분말로 구성되어 있어서, 캐소드-전해질 또는 전해질-애노드 사이의 경계층에서의 제한된 이온 접촉은 배터리의 전력을 대폭 감소시킬 수 있다. 또한, 높은 표면 전류의 경우, 고체 세라믹 전해질을 갖는 리튬 금속이 덴드라이트(dendrite)를 형성하여 배터리를 파괴할 수 있다. 또한, 리튬은 표면에서 고체 전해질과 반응하여 작동 시 이온 전도도를 떨어트린다. 전기적 접촉을 개선시키기 위한 다양한 공지의 가능성 중에서, 예를 들어 액체 전해질의 첨가, 중합체(polymer) 및/또는 바인더(binder)를 사용한 고체 전해질의 연화/혼합, 또는 상대적으로 연질의 황-기반 고체 전해질, 예를 들어 리튬 아르기로다이트(lithium argyrodites)의 사용이 있다. 아르기로다이트는 리튬-풍부 고체 화합물이다. 아르기로다이트 계열은 100개 이상의 결정질 고체로 구성되어 있으며, 예를 들어 은이 구리로 대체되고 게르마늄이 갈륨 또는 인으로 대체되고 황이 셀레늄으로 대체되는 고체 상태 화합물로 확장된다. 대안적으로, 일관된 접촉을 보장하기 위해서는 특히 배터리 작동 중 부피 팽창에 필요한 높은 압축 압력(pressing pressures)도 사용된다. 그러나 상업적인 구성의 경우, 이러한 목적으로 요구되는 높은 압력은 높은 비용 및 복잡성과 관련된다.

[0011] 따라서, 고체 전해질 내에서의 효과적인 이온 전도도를 위해서는 결정 격자의 상응하는 결함이 있는 높은 수준의 결정성이 일반적으로 요구된다. 산화성 재료(oxidic material), 예를 들어 리튬 란타 지르코늄 산화물(LLZO) 가넷 결정(garnet crystals)의 경우, 다른 배터리 구성 요소, 특히 애노드의 무결성(integrity)을 위해 관찰되어야 하는 온도를 훨씬 상회하는 매우 높은 결정화 온도가 요구된다. 따라서, 고체 전해질-애노드 연결부를 구성하는 경우, 지금까지는 가장 높은 필요 온도를 포함하는 공정 단계들을 먼저 수행한 다음, 필요에 따라 온도를 강하시키는 것이 필수적이었다. 따라서, 고체 전해질-애노드 연결부의 구성과 관련하여, 먼저 고체 세라믹 전해질을 제조한 후, 애노드를 구성하고, 마지막으로 구리 집전체를 증착하는 것이 필요하다. 흑연-기반 애노드의 경우 분리막의 애노드 쪽에 이러한 배터리 흑연을 증착시키는 것이 종래 기술의 관행으로 알려져 있으나, 이는 주로 리튬-황 배터리에서 황의 셔틀 수송(shuttle transport)을 확인/방지하기 위해 사용되어 왔다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 따라서, 본 발명은 상기와 같은 단점을 갖지 않는 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부를 갖는 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부를 제조할 수 있는 방법을 명시하는 것을 목적으로 한다.

[0013] 또한, 본 발명은 상기와 같은 단점을 갖지 않는 고체-상태 배터리 셀 또는 고체-상태 배터리를 명시하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기 목적은 독립 청구항 1에 따른 방법에 의해 달성된다.

[0015] 고체-상태 배터리(solid-state battery)에 사용하기에 적합한 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부를 제조하는 방법에서, 멀티스트라툼 구조(multistratum structure)가 건식 증착법(dry deposition method)으로 다공성 고체 전해질 위에 실리콘 애노드의 활성층으로서 증착되며, 상기 멀티스트라툼 구조는 가속된 어닐링을 거치며, 바람직하게는 구리로 구성된 집전체가 멀티스트라툼 구조 위에 증착된다.

[0016] 다공성 고체 전해질은 소결된 분말의 층인 것으로 이해된다. 상기 분말은 세라믹으로부터 형성되며, 이를 압착하여 층을 형성한 후 가열한다.

[0017] 멀티스트라툼 구조는 2개 이상의 스트라타(strata)로 구성된 다층 구조(stratified structure)인 것으로 이해되지만, 본 발명의 개시 내용에서 "멀티스트라툼 구조"라는 용어는 마찬가지로 단일 스트라툼도 포함한다.

[0018] 본 발명의 방법은 완전하고 평면형인 고체 전해질-실리콘 애노드 구성이 애노드의 활성층의 멀티스트라툼 구조를 안정화시키기 위한 보조제(adjuvants)와 함께 미립자 형태로 구현될 수 있기 때문에, 여러 가지 다양한 배터리 응용 분야의 배터리 셀을 제조하는데 특히 적합하다. 건식 제조법, 예를 들어 예를 들어 스퍼터링 또는 전자-빔 증발법의 사용을 통해, 평면형으로 멀티스트라툼 구조를 고체 전해질 위에 직접 애노드의 활성층으로서 증착시킬 수 있을 뿐만 아니라, 추가 비용 및 복잡성 없이 고체-상태 전해질/애노드 계면의 안정화를 위한 추가 중간층(interlayer)을 적용할 수 있다. 가속된 어닐링은 층으로서의 에너지 투입의 목표한 제어를 가능하게 한다.

[0019] 본 발명의 방법의 한 구성에서, 고체 전해질과 실리콘 애노드의 활성층 사이의 안정화를 위한 중간층이 고체 전해질과 멀티스트라툼 구조 사이에 증착된다.

[0020] 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부는 기존의 방법에 비해 역순으로 제조되는 것이 특히 유리하다. 그 결과, 고체 전해질 위에 직접 애노드를 적용할 수 있게 되어, 정상적으로 접촉하기 어려운 고체 전해질에 최적의 이온 접촉이 실현될 수 있다.

[0021] 상기 제조 방법이 고체 전해질로 개시되는 경우, 집전체를 캐소드 측에서 최적화하여, 더 이상의 필요한 부하를 견디는 기능(load-bearing function)을 수행할 필요가 없게 할 수 있다. 따라서, 구리 집전체의 재료의 두께는 응용 분야에서 실제로 필요한 전류 밀도로 감소될 수 있으며, 그에 따라 열 전달에 어떠한 악영향도 미치지 않으면서 중량 및 층 두께가 감소될 수 있다. 전반적으로 상당한 중량 감소 및 그에 따른 중량 에너지 밀도의 증가가 달성될 수 있다.

[0022] 건식 증착법에서의 평면 증착 공정(planar deposition process)은 본 발명의 제조 방법이 일관된 층 구성을 보장한다는 것을 의미한다. 기본적인 공정 단계는 해당 응용 분야에 대한 목표한 방식으로 최적화될 수 있는 파라미터의 대규모 스펙트럼을 생성한다. 특히, 가속된 어닐링은 목표 에너지 투입을 통해 중요한 이점을 형성한다. 가속된 어닐링을 통한, 에너지 투입은 전-고체-상태 배터리(all-solid-state battery; ASSB)를 통해 기능하는 실리콘 애노드를 구현하기 위해 스트라툼별로(stratum by stratum) 제어될 수 있다.

[0023] 따라서, 본 발명의 방법의 추가 구성에서, 멀티스트라툼 구조는 스트라툼에 의해 증착된 스트라툼이 되, 상기 멀티스트라툼 구조는 금속 및/또는 실리콘의 적어도 하나의 층으로부터 또는 적어도 하나의 금속과 혼합된 실리콘으로 구성된 혼합 시스템으로부터 형성된다.

[0024] 멀티스트라툼 구조는 적어도 하나의 스트라툼으로부터 형성된다. 스트라툼은 애노드의 활물질의 증착된 층을 의미하며, 스트라툼 두께에 따라, 전극/애노드의 활성층은 하나 이상의 스트라타로 구성될 수 있다. 한편, 적어도 하나의 스트라툼은 적어도 하나의 금속 및/또는 실리콘으로 형성될 수 있다. 이 경우, 실리콘 및 적어도 하나의 금속은 상기 재료들의 별도의 층 증착에 의해 교대로 적용된다. 따라서, 적어도 하나의 금속의 적어도 하나의 층 및 실리콘 층으로부터 스트라툼이 형성되며, 애노드의 목표 두께를 달성하기 위해 멀티스트라툼 구조로 다수의 스트라타가 구현된다. 대안적으로, 적어도 하나의 스트라툼은 혼합된 시스템으로 형성될 수도 있으며, 혼합된 시스템은 적어도 하나의 금속과 혼합된 실리콘으로 구성된다. 이러한 적어도 하나의 금속과 실리콘의 혼합물은 활성층이 표적 두께에 도달할 때까지 통상적으로 분말 형태로 증착된다.

[0025] 리튬의 삽입은 부피 팽창을 수반하지만, 금속의 혼합 및 멀티스트라툼 구조의 사용으로 인해 실리콘 애노드의

실리콘 층의 분쇄는 이루어지지 않는다. 금속의 혼합은 순수한 실리콘에 비해 경도가 감소된 합금의 형성을 초래한다. 이와 동시에, 흑연에 비해 실리콘의 매우 높은 전기 전도도가 발생한다. 금속의 혼합에도 불구하고 2000 mAh/g 초과와 비 전체 용량(specific overall capacity)이 보장된다.

- [0026] 실리콘 애노드의 안정성 및 높은 전기 전도도는 실리콘의 비정질 영역을 둘러싸는 금속 또는 금속 실리사이드의 전도성 매트릭스의 형성과 함께 이질적인 구성의 발전에 의해 뒷받침된다.
- [0027] 본 발명의 제조 방법의 한 구성에서, 금속은 망간(Mn), 코발트(Co), 철(Fe), 티타늄(Ti), 니켈(Ni), 알루미늄(Al), 주석(Sn), 금(Au) 및/또는 은(Ag) 또는 이들 재료의 혼합물 중의 적어도 하나로 형성된다.
- [0028] 본 발명의 제조 방법의 다른 구성에서, 건식 증착법은 PVD 공정: 예를 들어 스퍼터링이다. 바람직한 방법은 스퍼터링 및 전자-빔 증발법(electron-beam vaporization)이다. 마찬가지로 CVD(화학 기상 증착(chemical vapor deposition)) 방법 예를 들어 플라즈마-강화 CVD(PECVD) 법, 또는 PVD(물리 기상 증착(physical vapor deposition)) 방법 예를 들어 열증발(thermal vaporization) 또는 PLD(펄스 레이저 증착(pulsed laser deposition)) 방법이 가능하다.
- [0029] 본 발명의 제조 방법의 다른 추가 구성에서, 가속된 어닐링은 멀티스트라툼 구조 및/또는 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부의 증착된 스트라타 또는 고체-상태 배터리 셀 및/또는 고체-상태 배터리에 투입되는 에너지를 제어한다.
- [0030] 가속된 어닐링의 사용을 통해서, 본 발명의 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부의 평면형 구성은 먼저 위에서 나 타낸 순서, 즉 고체 전해질-활성층-집전체의 순서로, 이어서 집전체로 시작하여 역순으로 이루어질 수 있으며, 이어서 애노드의 활성층 및 추가 공정 및/또는 PVD 법을 사용한 고체 전해질의 구성이 이루어질 수 있다. 고체 전해질-애노드 계면의 접촉은 특히 배터리 성능에 중요하기 때문에 안정적인 접촉을 생성하는데 얇은 층이 충분하다. 고체 전해질에서 요구되는 결정화도 또는 이온 전도도는 가속된 어닐링에 의해 제조될 수 있다.
- [0031] 즉, 본 발명의 제조 방법의 다른 구성에 있어서, 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부의 방법 단계는 멀티 스트라툼 구조가 역순으로, 특히 건식 증착법으로 실리콘 애노드, 바람직하게는 구리의 집전체 위에 활성층으로서 증착되고, 후속적으로 실리콘 애노드의 멀티스트라툼 구조로 제어되고 조정가능한 에너지 투입으로 가속된 어닐링을 거치며; 고체 전해질과 실리콘 애노드의 활성층 사이의 안정화를 위해 멀티스트라툼 구조 위에 중간층이 증착되고; 고체 전해질이 증착되되, 후자는 고체 전해질의 결정화를 위해 가속된 어닐링을 거치는 방식으로 이루어진다.
- [0032] 본 발명의 제조 방법의 한 구성에서, 가속된 어닐링은 플래시-램프 어닐링(flash-lamp annealing)이며, 0.2 내지 20 ms 범위의 플래시 광 지속시간(flash light duration) 및 0.3 내지 160 J/cm² 범위의 에너지 밀도를 갖는 플래시-램프에 의해 및 4℃ 내지 200℃ 범위의 예열 또는 냉각으로도 수행될 수 있다.
- [0033] 본 발명의 방법의 다른 구성에서, 가속된 어닐링은 레이저 어닐링(laser annealing)이며, 국부 가열 부위(local heating site)의 스캐닝 속도 및 0.1 내지 100 J/cm² 범위의 에너지 밀도의 설정에 의해 0.01 ms 내지 100 ms 범위의 어닐링 시간을 갖는 레이저에 의해 및 4℃ 내지 200℃ 범위의 예열 또는 냉각으로도 수행될 수 있다.
- [0034] 4℃ 내지 200℃의 언급된 온도 범위는 어닐링되는 기관 또는 층의 표면 온도에 관한 것이다.
- [0035] 가속된 어닐링의 효과는 활성층에서 상이한 재료의 증착에 차이가 있는 것으로 나타났다. 그 이유는 실리콘과 관련하여 매우 다양한 화학적 현상인 것으로 고려된다. 그 결과, 생성된 애노드 층에서 상이한 구조 - 예를 들어 니켈의 경우 기동형 구조가 형성될 수 있다. 또한, 리튬을 삽입하는 능력이 무시될 수 있거나 0인 Cu 실리사이드(silicides)과는 대조적으로 리튬을 삽입하는 다른 실리사이드가 형성될 수 있다. 이러한 차이를 이용하는 경우 장점은 리튬의 삽입에 대한 실리콘의 부피 팽창을 제어하는데 사용될 수 있다는 것이다. 그 결과, 배터리 작동의 안정성이 크게 향상된다.
- [0036] 티타늄의 경우, Ti 실리사이드가 형성되고, 이는 올바른 상(correct phase)에서 Li 삽입 용량을 가질 수 있다 (문헌 [Xu, J. 등, Preparation of TiSi₂ Powders with Enhanced Lithium-Ion Storage via Chemical Oven Self-Propagating High-Temperature Synthesis. Nanomaterials 11, 2279 (2021)] 참조). 이는 Li-활성과 Li-비활성 사이에 명확한 계면이 없고 결과적으로 사이클링 동안 우수한 전기적 접촉이 존재하는 장점을 갖는다. 알루미늄과 같은 추가 금속은, 예를 들어 실리콘과 어떠한 화합물도 형성하지 않는다 - 즉, 어떠한 실리사이드도 형성하지 않는다. 결론적으로, 이들 금속은 실리콘 내에서 혼합되고 전기 전도도가 높아진다. 상기 가속된 어닐링 단계에서, 경질의 순수한 실리콘에 비해 실리콘-금속층의 형태학(morphology) 및 경도(hardness)가 추가

로 개선될 수 있다.

- [0037] 실리콘 애노드의 활성층에서 실리콘 입자들과 금속 입자들 사이의 가속된 어닐링에 의해 강제되는 반응은 비-평형 공정(non-equilibrium processes)이며, 이는 ms 범위에서만 구현될 수 있으며 따라서 플래시 램프 또는 레이저의 사용을 필요로 한다.
- [0038] 가속된 어닐링에서 달성된 가열 램프는 상기 방법에 필요한 10^4 내지 10^7 K/s 범위이다. 이를 위해, 플래시-램프 어닐링은 가시광선 파장 범위의 스펙트럼을 이용하는 반면, 레이저 어닐링은 적외선(IR) 내지 자외선(UV) 스펙트럼의 범위의 이산 파장을 사용한다.
- [0039] 배치 측면에서, 독립 청구항 10에 따른 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부에 의해 상기 목적이 달성된다.
- [0040] 상기 방법 청구항 1 내지 9에 따른 방법으로 제조된 본 발명의 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부의 경우, 고체 전해질은 우선적으로 산화성 재료, 보다 특히 가넷-구조 산화물, 나시콘형 인산염 유리-세라믹(NASICON-type phosphate glass-ceramics) 또는 산화질화물(oxynitrides)로 구성된다.
- [0041] 가넷-구조 산화물은 구조적으로 네소실리케이트(nesosilicates) 예를 들어 널리 조사된 리튬 란탄 지르코늄 산화물(LLZO)에 속한다. 나시콘형 인산염 유리-세라믹은 $\text{NaZr}_2(\text{PO}_4)_3$ 의 화학 구조로부터 이름을 따왔으며 리튬 이온에 대한 높은 이온 전도도를 가진다. 그의 예는 LAGP(리튬 알루미늄 게르마늄 인산염) 및 LATP(리튬 알루미늄 티타늄 인산염)를 포함한다. 산화질화물은 질소에 의한 일부 산소 원자의 대체로 인해 격자 내에 수많은 결함을 발생시켜서 높은 이온 전도도를 생성하는 산화물, 예를 들어 LiPON으로 약칭되는 $x\text{Li}_2\text{O}:y\text{P}_2\text{O}_5:z\text{PON}$ 이다. LiPON은 반응성 N_2 플라즈마에서 Li_3PO_4 를 스퍼터링함으로써 생성될 수 있다.
- [0042] 본 발명의 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부는 산화성 재료, 예를 들어 LLZO, 나시콘형 인산염 유리-세라믹, 예를 들어 LATP 또는 LAGP, 및 산화질화물, 예를 들어 LiPON으로부터 구현되는 고체 전해질을 포함한다. 산화성 재료는 효과적인 이온 전도도를 위해 높은 정도의 결정화도를 요구하므로 높은 공정 온도를 필요로 한다. 공정 온도는 LiPON 스퍼터링된 층에 대해 실온 영역, 충분히 결정질인 소결된 LLZO 세라믹에 대해 최대 1230°C , 및 나시콘 세라믹의 유리 전이 온도에 대해 약 700°C 이다.
- [0043] 언급된 산화성 재료는 1 mS/cm (millisiemens per centimeter) 초과와 이온 전도도를 갖고 열적 및 화학적으로 매우 안정하기 때문에 ASSB에 사용하기에 특히 적합하다.
- [0044] 본 발명의 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부의 다른 구성에서, 고체 전해질은 가속된 어닐링에 의해 목표한 방식으로 조정될 수 있는 높은 이온 전도도를 갖는 결정화도를 갖는다.
- [0045] 가속된 어닐링은 위에서 언급한 바와 같이 본 발명의 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부의 구성을 가능하게 한다. 표면 접촉은 실리콘 애노드의 활성층과 고체 전해질 사이의 유효한 이온 전도도를 가능하게 한다. 실리콘 애노드와 고체 전해질 사이의 중간층으로서 인조 SEI는 두 층 사이의 접촉을 추가로 개선할 수 있다. 이 대안은 실리콘 애노드와 고체 전해질 사이를 불량하게 접촉시킬 것이며, 특히 Li 금속 애노드의 경우에 고체 전해질의 표면 열화로 나타난다.
- [0046] 본 발명의 목적은 또한 청구항 1 내지 9에 따른 방법으로 제조된, 캐소드와 평면형 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부를 포함하는 고체-상태 배터리 셀에 의해 달성되며, 실리콘 애노드, 고체 전해질 및 캐소드는 평면형 구성으로 구현된다.
- [0047] 고체 전해질과 함께 평면형 증착법으로 완전한 고체-상태 배터리 셀 또는 고체-상태 배터리를 제조하는 것은 평면형 구성이 평면형 실리콘 애노드 상에서 고체 전해질의 제조를 가능하게 하고 또한 고체 전해질 위에 실리콘 애노드 및 구리 전류 전도체의 직접 적용을 가능하게 하므로 특히 유리하다.
- [0048] 본 발명의 고체-상태 배터리 셀의 다른 추가 구성에서, 캐소드로서 활성층은 LiFePO_4 , LiMnO_2 또는 LiCoO_2 로 형성되고, 바람직하게는 알루미늄으로 구성된 집전체는 캐소드로서 활성층 위에 형성된다.
- [0049] 캐소드에 특히 적합한 재료는 건식 증착을 가능하게 하는 것이다. 종래 기술로부터 알려진 절차는 캐소드로서 LiFePO_4 의 스트라툼 증착이다. 특정 재료는 스퍼터링에 의해 평면 형태로 제조될 수 있다(문헌 1. [Bunting, A., Uhlenbruck, S., Sebold, D., Buchkremer, H. P. & Vaßen, R. Three-Dimensional, Fibrous Lithium Iron Phosphate Structures Deposited by Magnetron Sputtering. ACS Appl. Mater. Interfaces 7, 22594-22600

(2015)] 또는 2. [Fischer, J. 등 Development of thin film cathodes for lithium-ion batteries in the material system Li-Mn-O by r.f. magnetron sputtering. Thin Solid Films 528, 217-223 (2013), which is especially suitable for the production of layer stacks.] 참조).

[0050] 본 발명의 고체-상태 배터리 셀의 한 구성에서, 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부 및 실리콘 애노드-구리 집전체 연결부를 포함하는 애노드-측 구성 및 또한 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체 연결부 및/또는 캐소드액(catholyte)-알루미늄 집전체 연결부를 포함하는 캐소드-측 구성은 서로 별도로 구성되고 제조될 수 있으며, 상기 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부 및 실리콘 애노드-구리 집전체 연결부 및 또한 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체 연결부 및/또는 캐소드액-알루미늄 집전체 연결부는 각각의 벌크 접촉(bulk contact)에 의해 최종 제조 단계에서 서로 연결 가능한 방식으로 구성된다.

[0051] 본 발명의 방법에 의해, 먼저 완전한 고체-상태 배터리 셀의 층들의 제조 순서를 다른 제조 순서로 구현하고, 고체-상태 배터리 셀의 모든 부분을 서로 별도로 제조할 수 있으며, 이는 전이 접촉(transition contacts)이 이미 충분히 형성된 특징으로 한다. 전이 접촉은 예를 들어 실리콘 애노드와 고체 전해질 사이의 계면(interface)을 의미한다. 따라서, 나머지 모두는 균등하게 형성된 재료들을 조립하는 것이다. 애노드측 구성의 경우, 먼저 평면형 구성에 의해 실리콘 애노드의 활성층을 고체 전해질에 직접 적용한 다음 구리 집전체를 증착하거나, 그렇지 않은 경우 먼저 평면형 활성층을 Cu 집전체 위에 증착시킨 다음, 고체 전해질을 증착시킬 수 있다. 캐소드-측 구성의 경우, 고체 전해질과 캐소드를 서로 커플링(coupling)시키는 방법, 즉 캐소드의 활성층을 고체 전해질, 이어서 Al 집전체에 적용한 다음, Al 집전체 위에 캐소드의 활성층, 이어서 고체 전해질을 증착하는 방법이 이미 존재한다. 이제, 제조를 간소화하기 위해, 층 조성, 즉 실리콘 애노드-고체 전해질 및/또는 Cu 집전체-실리콘 애노드 및/또는 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체를 서로 별도로 제조할 수 있으며, 이러한 층 조성은 각각의 벌크 접촉에 의해 서로 연결/융착된다. 벌크 접촉은, 예를 들어 실리콘 애노드-고체 전해질과 Cu 집전체-실리콘 애노드층 조성물 사이의 연결부의 맥락에서는 활성층 부분들의 커플링을, 실리콘 애노드-고체 전해질과 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체 층 조성물 사이의 연결부의 맥락에서는, 고체 전해질에 의한 커플링을 지칭한다. 상기 커플링은 온도 단계에 의해 선택적으로 지원될 수 있다.

[0052] 본 발명의 목적은 하나 초과의 고체-상태 배터리 셀로 구성된 고체-상태 배터리에 의해서도 달성되되, 상기 제공된 제조 방법으로 하나 초과의 고체-상태 배터리 셀이 평면형으로 적용되고 스택킹(stack)된다. 상기 접촉은 서로 병렬 및/또는 직렬로 연결되는 방식으로 구현될 수 있다.

[0053] 본 발명은 하기의 예시적인 구현예를 참조하여 보다 상세히 설명될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0054] 도면의 내용은 하기와 같다:

도 1은 방전 시 액체 전해질을 사용하는 리튬-이온 셀의 예시적인 구성 및 기능(선행 기술)을 나타낸 것이다.

도 2는 a) 하기 순서: 고체 전해질-애노드; b) 하기 순서: 집전체-활성층-고체 전해질;의 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부에 대한 본 발명의 제조 방법 순서를 나타낸 것이다.

도 3은 고체-상태 배터리 셀 및 서로 스택킹(stack)시킨 배터리 셀 구성 요소들에 의한 본 발명의 방법에 따라 생성된 추가 층의 구성을 나타낸 것이다.

도 4는 개별 층들의 재료 예시와 함께 고체-상태 배터리 셀을 개략적으로 나타낸 것이다.

도 5는 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부를 제조하기 위한 본 발명의 방법에 따른 고체-상태 배터리 셀의 추가 제조 변형태를 개략적으로 나타낸 것이다.

도 6은 한 방법으로 제조된 복수의 병렬-연결된 고체-상태 배터리 셀로부터 고체-상태 배터리의 구성을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0055] 고체 전해질(11)의 제조는 전형적으로 높은 이온 전도도를 갖는 결정질 구조를 생성하기 위해 높은 에너지 투입을 필요로 한다. 본 발명의 방법은 이를 위해 안정적인 애노드 구성을 실현하고, 애노드 구조(9)를 고체-상태 전해질(11)(도 2a)에 적용하거나 고체 전해질(11)을 활성층(9)을 갖는 집전체(2)에 적용하여 애노드(9)(도 2b)를 형성하는 것에 적합하다. 가속된 어닐링, 특히 플래시 램프 어닐링은 (도 2b에 따른) 애노드를 심각하게 손

상시키지 않고 목표 에너지 투입을 통해 고체 전해질의 스트라툼을 결정화하기 위해 후속적으로 이용될 수 있다.

[0056] 본 발명의 방법은 유리하게는 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)의 처리가 두 방향으로 수행될 수 있게 한다. 애노드의 활성층으로서 멀티스트라툼 구조(9)는 고체 전해질(11), 및 이어서 집전체(2) 위에 건식 방식으로 증착시키거나(도 2a) 먼저 애노드의 활성층을 위한 멀티스트라툼 구조(9)는 집전체(2), 및 이어서 고체 전해질(11) 상에, 즉 역순으로 증착된다(도 2b). 이러한 스트라타 또는 층들은 가속된 어닐링에 의해 안정화된다. 이는 애노드 생성과 별도로 고체 전해질을 제조할 수 있게 한다.

[0057] 제 1 변형예(도 2a)에서, 제조 공정에서, 적어도 하나의 스트라툼의 금속 및/또는 실리콘 또는 적어도 하나의 금속과 혼합된 실리콘으로 이루어진 혼합 시스템으로 구성된 실리콘 애노드는 추가 층을 갖는 미립자 형태로 증착된다. 고체 전해질(11)에 대한 애노드(9)의 직접적인 적용은 일반적으로 접촉하기 어려운 고체 전해질(11)에 대한 최적의 이온 접촉을 가능하게 한다. 이러한 목적을 위해 필요한 공정 파라미터 및 또한 플래시 램프 어닐링에 의한 어닐링 공정은 기존의 고체 전해질(11)에 실질적인 영향을 미치지 않아야 한다. 마지막으로, 집전체(2)는 "고체 전해질 및 실리콘 애노드" 구조에 적절한 층 두께로 적용될 수 있다.

[0058] 본 발명의 제조 방법(도 3 참조)의 결과, 공정에서 애노드 층의 집전체(2)는 어떠한 부하를 견디는 기능을 수행할 필요가 없으므로 전기 전도도, 층 두께(예를 들어 3 μm) 및 중량 측면에서 최적화될 수 있다. 전류 탭(current tap)의 부착은 표면 접촉을 필요로 하며, 이는 예를 들어 저항을 줄이기 위해 적절한 두꺼운 전환 탭(thick diverter tab)을 애노드(9)에 직접 또는 금속의 표면 증착으로 준비된 애노드(9)에 압연 적용하여 실현될 수 있다. Si 애노드실리콘 애노드(9)의 후속 추가 증착은 기판(2)과는 독립적으로 추가로 실현 가능하다. 고체 전해질(11), 캐소드(7), 캐소드의 집전체(8), 및 추가 배터리 셀 구성의 추가 증착을 위한 적절한 방법에 의해, 다중 셀(14)로 구성된 배터리(도 6)의 임의의 원하는 스택을 구성할 수 있다. 따라서, 고체-상태 배터리(15)의 용량도 단순히 실현 및/또는 조정될 수 있다. 이러한 애노드(9)/고체 전해질(11)/캐소드(7)의 스택킹은 모든 고체-상태 배터리의 구축을 위한 고도의 통합된 접근을 가능하게 한다.

[0059] 애노드(9)와 고체 전해질(11) 사이의 중간층(16)(도 4 참조)은 계면 엔지니어링을 위한 역할을 하며, 추가 비용 및 복잡성 없이 고체 전해질(11)에 애노드(9)의 목표한 적용을 가능하게 한다.

[0060] 도 5는 본 발명의 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)의 제조 방법에 따른 고체-상태 배터리 셀(14)의 제조 변형예를 나타낸다. 이러한 예시적 구현예에서, 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)와 실리콘 애노드-구리 집전체 연결부(20) 모두 및 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체 연결부 및/또는 캐소드액-알루미늄 집전체 연결부(19)는 서로 별도로 제조된다. 고체-상태 배터리 셀의 제조 또는 형성을 위해, 별도로 제조된 층 조성물(10, 20, 19)이 각각의 벌크 접촉에 의해 서로 연결된다. 벌크 접촉은 예를 들어 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)와 Cu 집전체-실리콘 애노드 연결부(20)의 경우 활성층(9), 실리콘 애노드-고체 전해질(10)과 고체 전해질-캐소드-알루미늄 집전체(19) 사이의 연결부의 경우 고체 전해질(11)을 의미한다. 캐소드(7)와 고체 전해질(11)의 혼합물을 캐소드액(17)이라 한다.

[0061] 본 발명은 고체-상태 배터리 셀의 층들의 제조 순서를 다른 제조 순서로 실현할 수 있게 하고, 규정된 계면을 갖는 고체-상태 배터리 셀의 부분들을 서로 별도로 제조한 후, 단순히 이들을 마무리 공정(concluding process)에서 서로 연결할 수 있게 한다.

[0062] 도 6에 도시된 고체-상태 배터리(15)를 위한 층들의 스택킹의 생성은 애노드의 활성층(9) 및 집전체(2)가 고체 전해질(11)에 적용되는 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)의 제조 방법의 제 1 변형예에 따라, 또는 애노드로서의 활성층(9) 및 후속적으로 고체 전해질(11)이 집전체(2)에 적용되는 실리콘 애노드-고체 전해질 연결부(10)의 제조 방법의 제 2 변형예에 따라, 또는 상기 두 변형예의 조합에 따라 이루어질 수 있다.

[0063] 고체 전해질(11)에 직접 실리콘 애노드(9)를 적용하는 것은 이전과 같이 다수의 설비 또는 접근법 대신에 단일 공정으로 스택킹을 가능하게 한다. 이는 계면의 목표한 영향을 통해 성능 향상을 위한 새로운 가능성을 만든다. 제조 설비의 수가 감소된다.

[0064] 고체 전해질, 특히 고체 세라믹 전해질은 매우 두껍고 경질이므로, 애노드 또는 고체-상태 배터리 셀에 대한 필요한 안정성은 앞서와 같이 애노드의 집전체에 의해서가 아니라 고체 전해질에 의해서 구축될 수 있다. 이에 따라 금속의 절삭이 이루어질 수 있다. 따라서 최적화의 초점은 개별 배터리 구조의 계면 사이의 전기적 접촉을 지향할 수 있다.

[0065] 계면은 고체-상태 배터리(15)에서 벌크 특성보다 더 중요하다는 것을 고려할 때, 계면의 설계 및 제조는 가장

중요한 부분을 차지한다.

[0066]

고체-상태 배터리(15)에 대한 충분한 전체 용량을 실현하기 위해서는 도 6에 도시된 바와 같이 개별 고체-상태 배터리 셀(14)의 스택킹이 필요하다. 이전에는 고체 전해질(11)로부터 시작하여 실리콘 애노드-고체 전해질 연결(10)을 구축하기 위한 가역적 제조가 이루어지지 않았기 때문에 이를 불가능하게 하였다. 이는 고체 전해질(11) 및 평면형 애노드의 평면형 구성, 가속된 어닐링, 및 건식 증착 공정의 사용을 통해서만 가능하다.

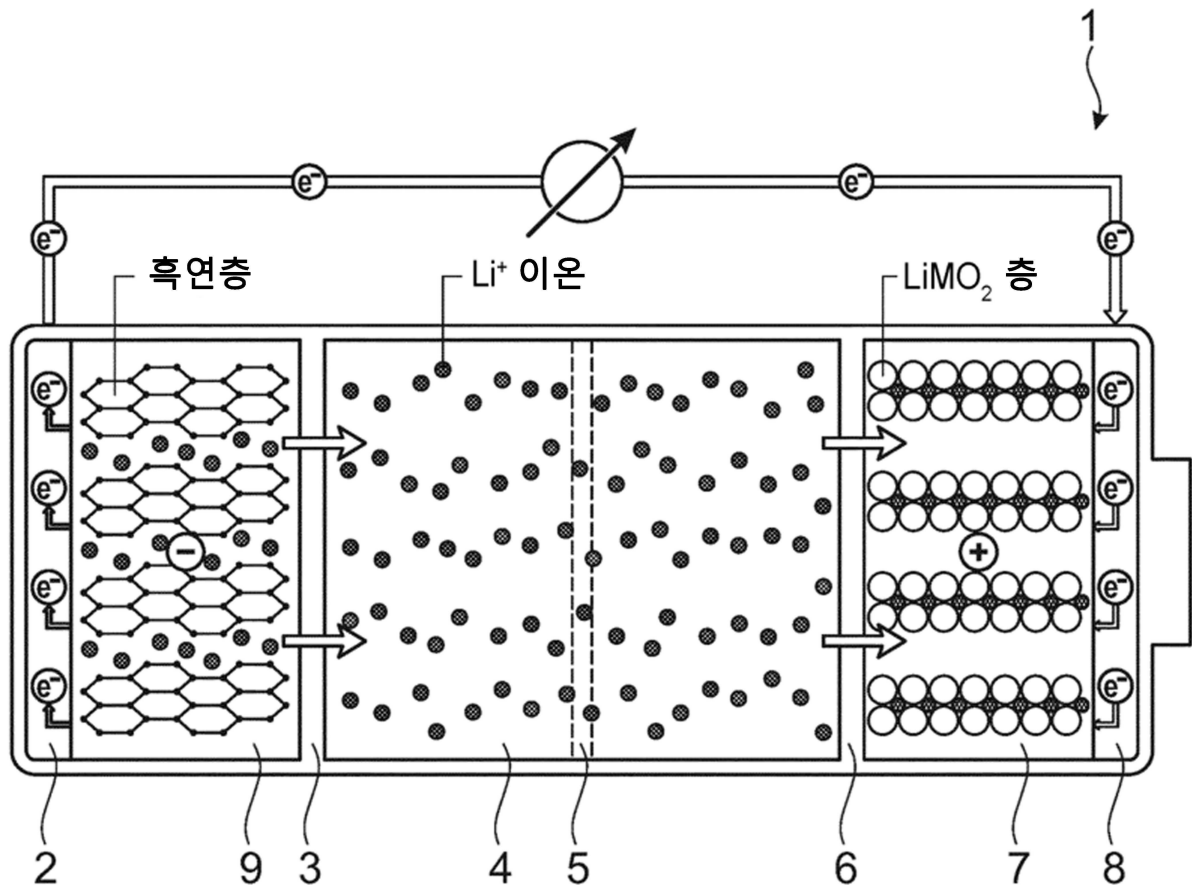
부호의 설명

[0067]

1: 리튬-이온 배터리, 2: 애노드 측 상의 집전체, 3: SEI - 고체-전해질 계면(Solid-Electrolyte Interphase), 4: 전해질, 5: 분리막, 6: 전도성 계면, 7: 캐소드, 양의 전극, 8: 캐소드 측 상의 집전체, 9: 애노드, 음의 전극, 활성층 또는 멀티스트라툼 구조, 10: 실리콘-애노드-고체 전해질 연결부, 11: 고체 전해질, 12: 제조 순서 1, 13: 제조 순서 2, 14: 고체-상태 배터리 셀, 15: 고체-상태 배터리, 16: 중간층; 인공 고체 전해질 계면, 17: 캐소드, 19: 고체-전해질-캐소드-알루미늄 집전체 연결부 및/또는 캐소드-알루미늄 집전체 연결부, 20: 실리콘 애노드-구리 집전체 연결부.

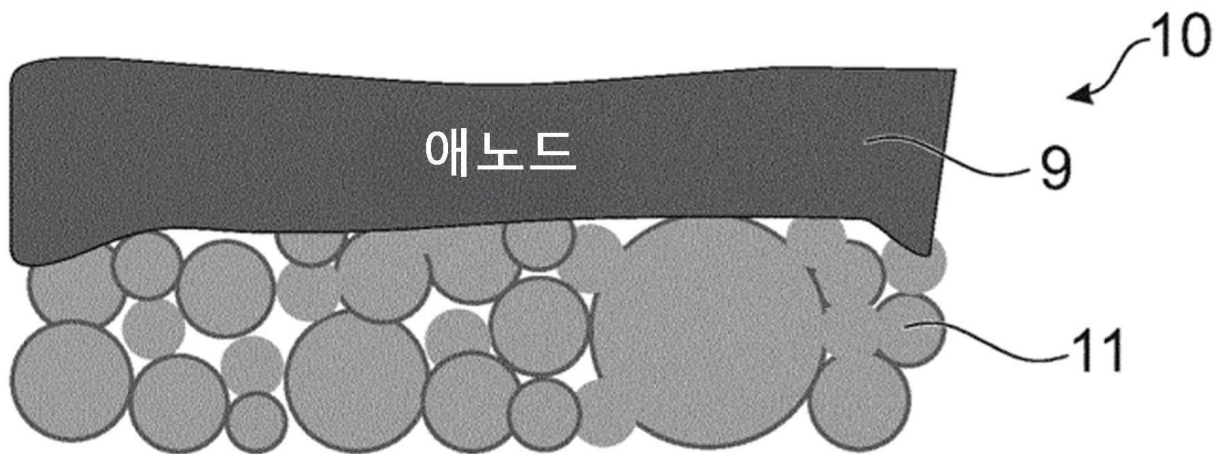
도면

도면1

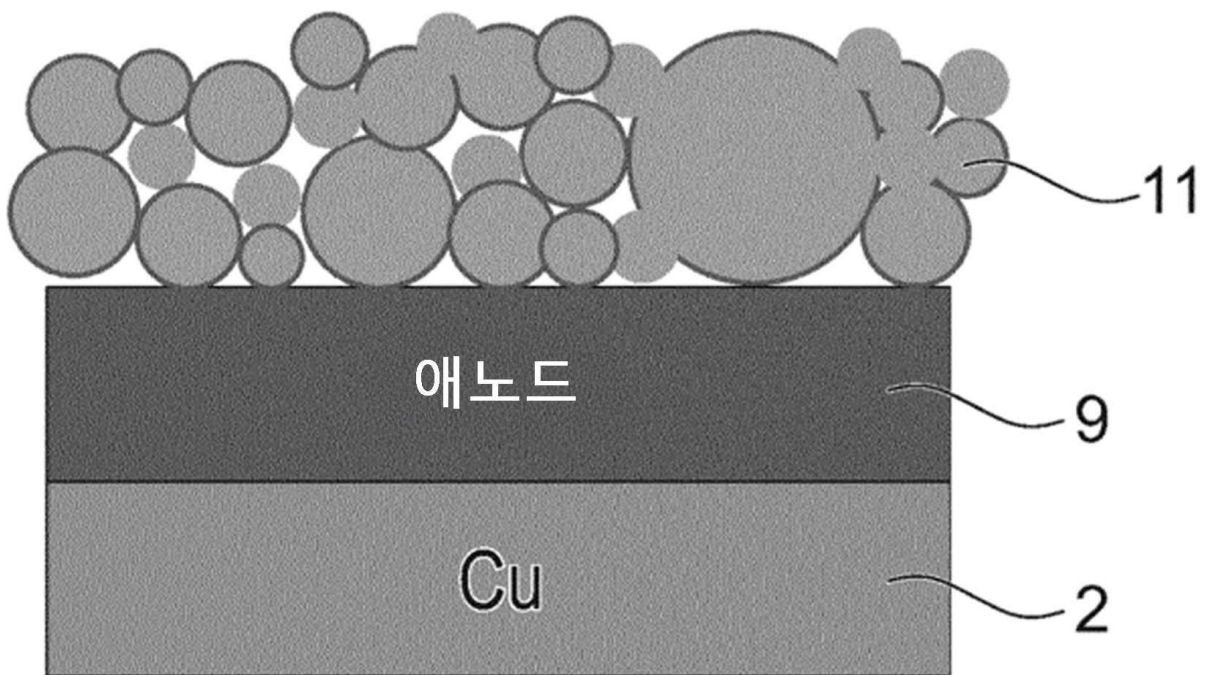


<https://www.dke.de/resource/blob/933404/dd44d15918ce4d4aefc363a4ef1490e1/kompodium-li-io-batterien-2021-de-data.pdf> - 2022-01-20

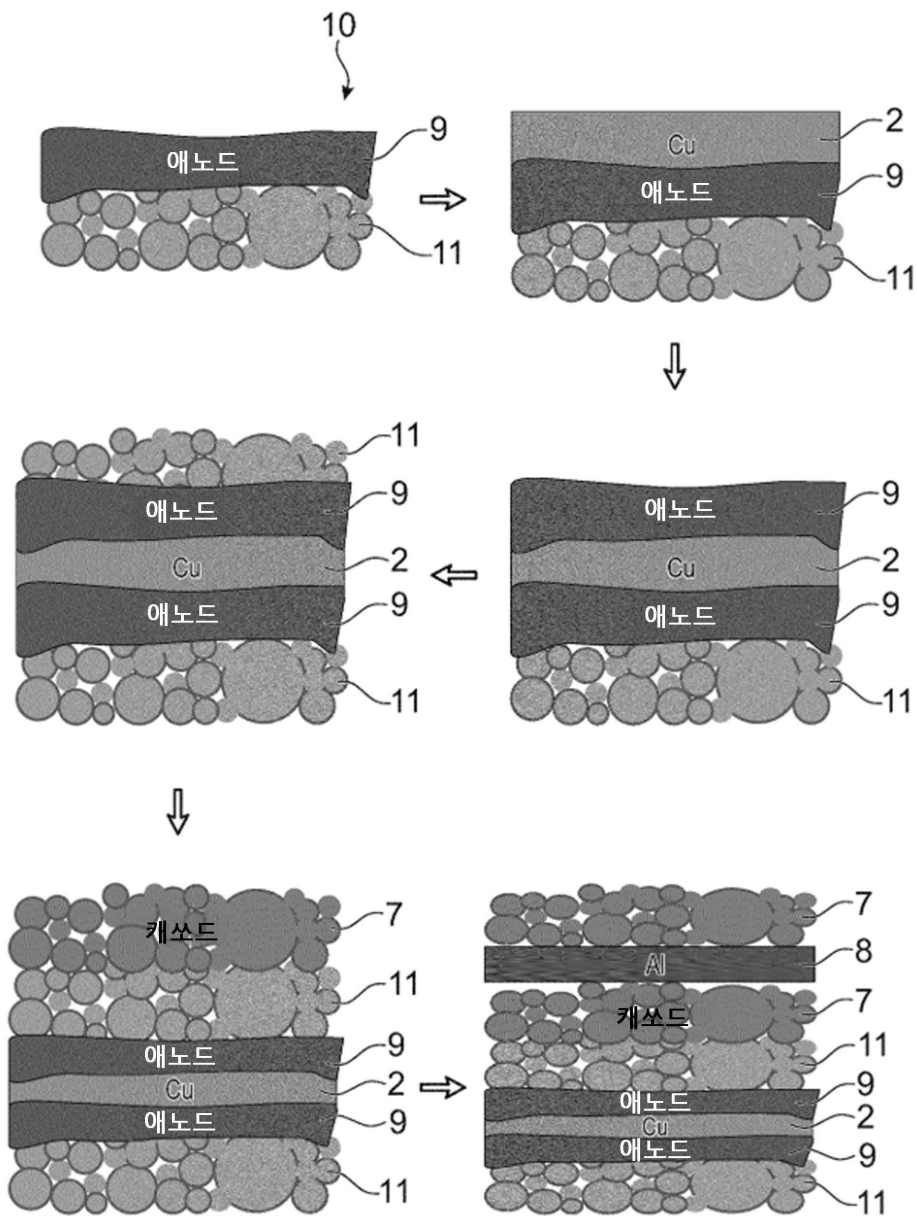
도면2a



도면2b



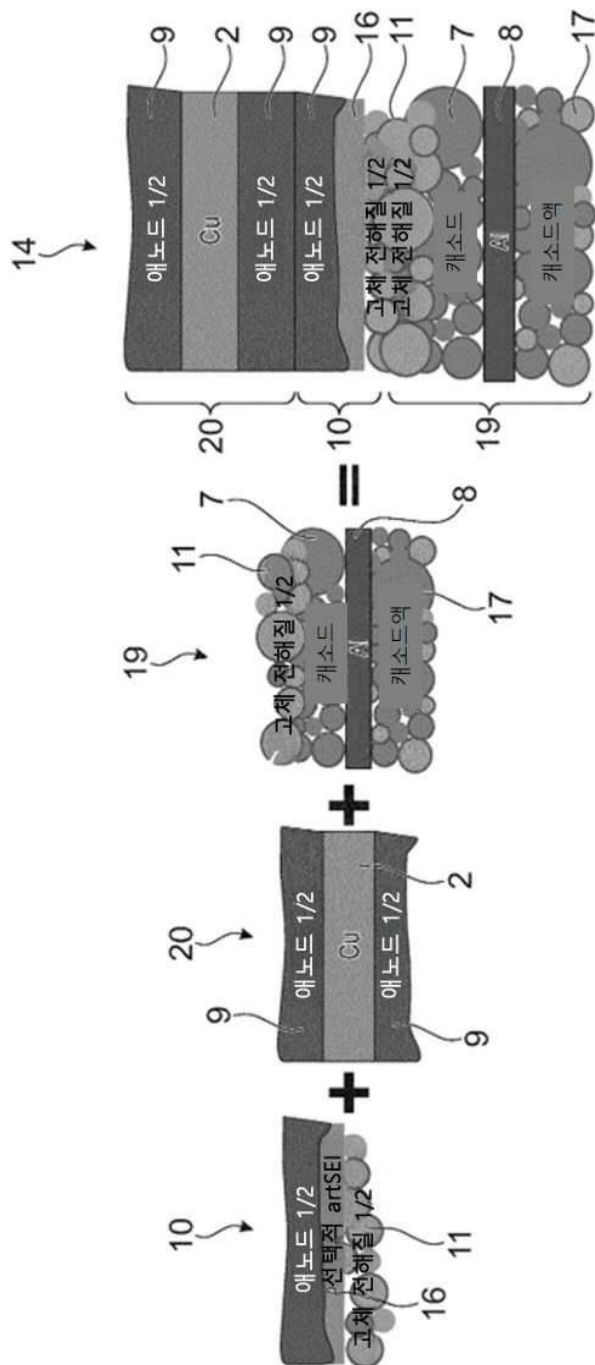
도면3



도면4



도면5



도면6

