



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년04월22일

(11) 등록번호 10-2659783

(24) 등록일자 2024년04월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01M 50/46 (2021.01) H01M 50/446 (2021.01)  
H01M 50/491 (2021.01)  
(52) CPC특허분류  
H01M 50/46 (2021.01)  
H01M 50/446 (2021.01)  
(21) 출원번호 10-2023-7009247(분할)  
(22) 출원일자(국제) 2014년03월13일  
심사청구일자 2023년04월17일  
(85) 번역문제출일자 2023년03월16일  
(65) 공개번호 10-2023-0043231  
(43) 공개일자 2023년03월30일  
(62) 원출원 특허 10-2022-7000646  
원출원일자(국제) 2014년03월13일  
심사청구일자 2022년01월07일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/025200  
(87) 국제공개번호 WO 2014/151202  
국제공개일자 2014년09월25일  
(30) 우선권주장  
61/800,235 2013년03월15일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020070021192 A  
JP2006173001 A\*  
KR1020120048038 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
에노빅스 코오퍼레이션  
미국 94538 캘리포니아 프리몬트 웨스트 워런 애  
비뉴 3501  
(72) 발명자  
라마수브라마니안, 무탈리  
미국 94539 캘리포니아주 프리몬트 사우스 모레이  
스트리트 43970  
암스트롱, 마이클  
미국 94526 캘리포니아주 덴빌 알리칸테 코트 202  
(74) 대리인  
(뒷면에 계속)  
특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 12 항

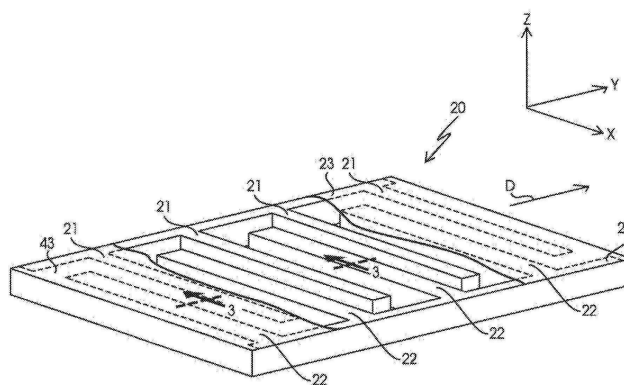
심사관 : 윤유림

(54) 발명의 명칭 3차원 배터리들을 위한 분리기들

### (57) 요약

에너지 저장 장치에 사용하기 위한 전극 구조로서, 이 전극 구조는 전극들의 집단, 상대 전극들의 집단 및 상대 전극 집단의 멤버들로부터 전극 집단의 멤버들을 분리하는 전기적 절연성 물질 층을 포함하고, 전극 집단의 각각의 멤버는 전기적 절연성 분리기 층에 둘러싸이는 종축  $A_z$ 를 갖는다.

### 대표도



(52) CPC특허분류

**H01M 50/491** (2021.01)

(72) 발명자

**브루스카, 브라이언 이.**

미국 95377 캘리포니아주 트레이시 잭슨 예비뉴  
2749

**디오우마에브, 블라디미르**

미국 95127 캘리포니아주 산 호세 모리 드라이브  
3615

**코블밀러, 건터**

미국 94561 캘리포니아주 오클리 파인너트 스트리  
트 400

**라히리, 애속**

미국 95014 캘리포니아주 쿠퍼티노 플레이서 스포  
링 코트 11842

**라크란, 라우리 제이.**

미국 95070 캘리포니아주 사라토가 라도이카 드라  
이브 12508

**러스트 3세, 해롤드 존스**

미국 94507 캘리포니아주 알라모 알라모 컨트리 서  
클 2528

**샤아, 니라브**

미국 94566 캘리포니아주 플리산톤 애플린 플레이  
스 4726

**스콧니츠, 로버트 엠.**

미국 94588 캘리포니아주 플리산톤 델루치 드라이  
브 2277

**윌콕스, 제임스 디.**

미국 94566 캘리포니아주 플리산톤 카미노 브라조  
스 2220

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

전극 활물질 층을 갖는 전극들의 집단, 상대 전극 활물질 층을 갖는 상대 전극들의 집단, 전극 버스 바, 상대 전극 버스 바, 및 전기적 절연성 분리기 층을 포함하는 전극 구조로서,

상기 전극들의 집단은 제1 방향을 따라 상기 상대 전극들의 집단과 교호하는 시퀀스로 배열되고,

상기 전극들의 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 길이  $L_E$ , 폭  $W_E$ , 높이  $H_E$ , 및 각각의 그와 같은 멤버의 상기 바닥부로부터 상기 상부로 또한 상기 제1 방향을 가로지르는 방향으로 연장하는 종축  $A_E$ 를 갖고, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버의 길이  $L_E$ 는 그것의 종축  $A_E$ 의 방향으로 측정되고, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버의 폭  $W_E$ 는 상기 제1 방향으로 측정되고, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버의 높이  $H_E$ 는 각각의 그와 같은 멤버의 종축  $A_E$ 와 상기 제1 방향에 수직인 방향으로 측정되고, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버의  $W_E$ 와  $H_E$ 의 각각에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이고, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버에 대한  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 0.4:1과 1000:1 사이에 있고,

상기 전극들의 집단의 각각의 멤버는 상기 전극 버스 바에 직접 연결되고 상기 전극 버스 바로부터 연장되며, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버는 상기 상대 전극 버스 바에 직접 연결되고 상기 상대 전극 버스 바로부터 연장되며,

상기 전기적 절연성 분리기 층은 상기 전극들의 집단의 멤버와 상기 상대 전극들의 집단의 멤버 사이의 영역 및 상기 상대 전극들의 집단의 멤버들의 상부와 상기 전극 버스 바 사이의 영역에 있고,

상기 전기적 절연성 분리기 층은 상기 전극들의 집단과 상대 전극들의 집단의 인접한 멤버들의 대향하는 측면들 사이의 영역에 배치된 제1 절연성 물질을 추가로 포함하고,

상기 전기적 절연성 분리기 층은 상기 전극들의 집단의 멤버들의 상부와 상기 상대 전극 버스 바 사이의 영역 및 상기 상대 전극들의 집단의 멤버들의 상부와 상기 전극 버스 바 사이의 영역에 배치된 제2 절연성 물질을 추가로 포함하고, 상기 제2 절연성 물질은 상기 제1 절연성 물질보다 낮은 캐리어 이온들에 대한 도전율을 가지는 전극 구조.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 절연성 물질은 미세다공성 분리기 물질을 포함하고, 상기 미세다공성 분리기 물질은 미립자 물질 및 바인더를 포함하며 적어도 20 vol%의 공극률을 가지는 전극 구조.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 전극들의 집단의 멤버들과 상기 상대 전극들의 집단의 멤버들 사이의 상기 미세다공성 분리기 물질은 상기 전기적 절연성 분리기 층의 적어도 70 vol%를 구성하는 전극 구조.

#### 청구항 4

제2항에 있어서, 상기 미세다공성 분리기 물질은  $1 \times 10^{-4}$  S/cm 미만의 캐리어 이온들에 대한 도전율을 가지는 전극 구조.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 각각의 상기 전극들의 집단과 상기 상대 전극들의 집단은 적어도 50 멤버를 포함하는 전극 구조.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,  $L_E$ 는 약 10 mm 내지 약 250 mm의 범위 내의 값을 가지고,  
 $W_E$ 는 약 0.01 mm 내지 약 2.5 mm의 범위 내의 값을 가지며,  
 $H_E$ 는 약 0.05 mm 내지 약 10 mm 범위 내의 값을 갖는 전극 구조.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버의  $W_E$ 와  $H_E$ 의 각각에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 10:1인 전극 구조.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버의 단면은 주위 길이  $P_E$ 를 가지고, 상기 전극들의 집단의 각각의 멤버에 대한  $P_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 1.25:1인 전극 구조.

#### 청구항 9

제1항에 있어서, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 길이  $L_{CE}$ , 폭  $W_{CE}$ , 높이  $H_{CE}$ , 및 각각의 그와 같은 멤버의 상기 바닥부로부터 상기 상부로 그리고 상기 제1 방향을 가로지르는 방향으로 연장하는 종축  $A_{CE}$ 를 포함하고, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의 길이  $L_{CE}$ 는 그 종축  $A_{CE}$  방향으로 측정되고, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의 폭  $W_{CE}$ 는 상기 제1 방향으로 측정되고, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의 높이  $H_{CE}$ 는 각각의 그와 같은 멤버의 종축  $A_{CE}$ 와 상기 제1 방향에 수직인 방향으로 측정되고, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의  $W_{CE}$ 와  $H_{CE}$ 의 각각에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이고, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버에 대한  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 제각기 0.4:1과 1000:1 사이에 있는 전극 구조.

#### 청구항 10

제9항에 있어서,  $L_{CE}$ 는 약 10 mm 내지 약 250 mm의 범위 내의 값을 가지고,  
 $W_{CE}$ 는 약 0.01 mm 내지 약 2.5 mm의 범위 내의 값을 가지며,  
 $H_{CE}$ 는 약 0.05 mm 내지 약 10 mm 범위 내의 값을 갖는 전극 구조.

#### 청구항 11

제9항에 있어서, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의  $W_{CE}$ 와  $H_{CE}$ 의 각각에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 제각기 적어도 10:1인 전극 구조.

#### 청구항 12

제9항에 있어서, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의 단면은 주위 길이  $P_{CE}$ 를 갖고, 상기 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버에 대한  $P_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 제각기 적어도 1.25:1인 전극 구조.

#### 청구항 13

삭제

#### 청구항 14

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**



[0001] 본 발명은 일반적으로 에너지 저장 장치들에서 사용하기 위한 구조들, 이러한 구조들을 통합하는 에너지 저장 장치들, 및 이러한 구조들과 에너지 장치들을 생산하기 위한 방법들에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 흔들 의자식(rocking chair) 또는 삽입식 2차 배터리들은, 리튬, 나트륨, 칼슘 또는 마그네슘 이온 등과 같은 캐리어 이온들이 전해질을 통해 양극(positive electrode)과 음극(negative electrode) 간에서 이동하는 에너지 저장 장치의 한 유형이다. 2차 배터리는 단일 배터리 셀, 또는 배터리를 형성하도록 전기적으로 결합된 2개 이상의 배터리 셀들을 포함할 수 있는데, 각각의 배터리 셀은 양극, 음극, 미세다공성 분리기(microporous separator), 및 전해질을 포함한다.

[0003] 흔들 의자식 배터리 셀들에서, 양극 및 음극 모두는 캐리어 이온들이 삽입되고 또한 추출되는 물질들을 포함한다. 셀이 방전함에 따라, 캐리어 이온들은 음극으로부터 추출되어 양극에 삽입된다. 셀이 충전됨에 따라, 역과정이 일어난다: 캐리어 이온은 양극으로부터 추출되어 음극에 삽입된다.

[0004] 도 1은 비수성(non-aqueous) 리튬 이온 배터리와 같은 기존의 에너지 저장 장치의 전기화학적 스택의 단면도를 도해한다. 전기화학적 스택(1)은 양극 전류 컬렉터(12)를 포함하고, 그 위에 양극 활물질 층(13)이 조립된다. 이 층은 미세다공성 분리기(14)로 도포되고, 그 위에 걸쳐서 음극 전류 컬렉터(15)와 음극 전류 활물질 층(16)의 조립체가 놓여진다. 이 스택은 때때로 음극 전류 컬렉터(15) 위의 (도시되지 않은) 또 다른 분리기 층으로도포되고, 롤링(roll)되고, 캔(can) 내에 스태핑(stuff)되고, 및 비수성 전해질로 채워져서 2차 배터리를 조립해 내게 된다.

[0005] 음극 및 양극 전류 컬렉터들은 제각기의 활성 전기화학적 전극들로부터 전류를 끌어내어 배터리 외부 환경으로의 전류 전달을 가능케 한다. 음극 전류 컬렉터의 일부는 음극 활물질과 물리적으로 접촉하는 한편 양극 전류 컬렉터의 일부는 양극 활물질과 물리적으로 접촉한다. 전류 컬렉터들은 전기화학적 반응에 참여하지 않고 따라서 애노드(anode) 및 캐소드(cathode)에 대한 제각기 전기화학적 포텐셜 범위에서 전기화학적으로 안정적인 물질에 제약된다.

[0006] 전류 컬렉터들로부터 배터리 외부의 환경으로 전류를 가져오기 위해서, 음극 및 양극 전류 컬렉터들은 전형적으로 각각이, 통상적으로 집합적으로는 접촉부(contact)들이라고 지칭되는 전극 버스, 탭, 태그, 패키지 피드 스루 또는 하우징 피드 스루에 접속된다. 접촉부의 한 단자는 하나 이상의 전류 컬렉터들에게 접속되는 한편, 다른 단자는 배터리 패키징을 통과해 나아가서 배터리 외부 환경에의 전기적 접속을 이룬다. 용접, 압착(crimping), 또는 초음파 접합에 의해 음극 접촉부는 음극 전류 컬렉터들에 접속되고 양극 접촉부는 양극 전류 컬렉터들에 접속되거나, 도전성 접착제에 의해 제 위치에 접촉된다.

[0007] 종래의 감긴 배터리들(예를 들어, 미국 특허 번호 제6,090,505호 및 제6,235,427호 참조)은 전형적으로 단일 포일상으로 코팅되고 또한 셀 조립 전에 압축되는 전극 물질들(활물질들, 결합제(binder), 도전성 보조기)을 갖는다. 전극이 그 상으로 코팅되는 포일은 전형적으로 전류 컬렉션 경로의 파트이다. 18650 또는 프리즘 셀들과 같은 단일 젤리롤 배터리(jellyroll battery)들에서, 전류 컬렉터 포일은, 활물질들로부터 전류 컬렉터 포일들과 탭들을 통과하여 배터리 외부까지 전류를 운반하는 전극 버스들, 탭들, 태그들 기타 등등에 초음파로 용접된다. 설계에 의존하여, 단일 젤리롤을 따라 있는 다중 장소에, 또는 전류 컬렉터 포일의 하나의 단부 또는 양쪽 단부들에서의 하나의 장소를 따라 탭들이 있을 수 있다. 종래의 적층된 배터리 파우치 셀들은, 각각의 포일 위의 면적들을 가진 활물질로 된 다중 판(또는 포일)을 갖는데, 이들은 후속적으로 모아지고 함께 용접되어 탭을 이룬다; 이것은 이후 전류를 배터리 파우치의 외부로 운반한다(예를 들어, 미국 특허 공개 번호 제2005/0008939호 참조).

[0008] 다시 도 1을 참조하면, 충전 과정 동안, 리튬은 양극 캐소드 층(13)을 떠나고, 리튬 이온들로서 분리기(14)를 통과해 진행하여 음극 활물질 층(16) 내에 들어간다. 사용되는 음극 활물질에 의존하여, 리튬 이온들은 인터칼레이트(interpolate)되거나(예를 들어, 합금을 형성하지 않고 음극 활물질의 매트릭스에 안착하거나) 합금을 형성한다. 방전 과정 동안, 리튬은 음극 활물질 층(16)을 떠나고, 분리기(14)를 통과해 진행하고, 양극 활물질 층(13)에 진입한다. 전류 도전체들은 배터리 접촉부들(도시 안됨)로부터 전극들에게 또는 그 반대로 전자들을 도전시킨다.

[0009] 배터리 분리기들은 조립과 배터리 동작들 동안 애노드와 캐소드를 분리하는데 사용된다. 기존 리튬 이온 배터리들에 대한 분리기들은 전형적으로 높은 이온 침투성, 좋은 기계적 안정성, 및 배터리 화학에 대한 좋은 화학적 친화성(chemical compatibility)을 가진 얇은 다공성 절연 물질들을 사용한다. 구조적으로, 분리기는 높은

이온 도전율을 위해 액체 전해질을 흡수하기 위한 충분한 다공성을 가지고 있어야 한다. 이것은 대개는 중합 선택 막(polymeric membrane) 또는 비직조 직물 매트(non-woven fabric mat)로 구성되는 미세다공성 층이다.

[0010] 배터리들, 연료 전지들, 및 전기화학적 커패시터들과 같은 기존의 에너지 저장 장치들은 전형적으로 도 1에 도해진 것과 같은 2차원 박판 아키텍처들(예를 들어, 평면형 또는 나선형으로 감겨진 박판들)을 가지며, 각각의 박판의 표면적은 (다공성 및 표면 거칠기를 무시하면) 대략적으로 그 기하학적 풋프린트와 동등하다.

[0011] 3차원 배터리가 배터리 용량과 활물질 활용을 개선하기 위한 수단으로서 문헌에서 제안되었다. 2차원 박판 배터리 아키텍처와 비교하여 더 큰 표면적과 더 높은 에너지를 제공하기 위해 3차원 아키텍처가 이용될 수 있다는 것이 제안되었다. 작은 기하학적 면적으로부터 획득될 수 있는 증가된 에너지량 덕분에 3차원 에너지 저장 장치를 제작하는데 있어서 이점이 있다. 예를 들어, 러스트(Rust) 등의 W02008/089110 및 롱(Long) 등의 "Three-Dimensional Battery Architectures," *Chemical Reviews*, (2004), 104, 4463-4492"를 참조하라.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0012] 지금까지 이루어진 진전들에도 불구하고, 상승된 에너지 밀도를 갖는 2차 배터리들과 기타 에너지 저장 장치들에 대한 필요가 남아 있다.

### 과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 다양한 양태 중에, 배터리들, 연료 전지들, 및 전기화학적 커패시터들과 같은 에너지 저장 장치들에서 이용하기 위한 3차원 구조들의 제공이 있다. 유리하게는 및 본 발명의 한 양태에 따라서, 에너지 저장 장치의 다른 성분들에 상대적인 전극 활물질의 비, 즉 에너지 저장 장치의 비활성 물질 성분들에 상대적인 전극 활물질의 비가 증가될 수 있다. 그 결과, 본 발명의 3차원 구조들을 포함하는 에너지 저장 장치들은 증가된 에너지 밀도를 가질 수 있다. 이들은 또한, 양극과 음극 간의 전자 및 이온 전달을 위한 수송 거리들을 최소화하거나 감소시킴으로써 그런 것처럼, 저장된 에너지의 특정 양에 대해 2차원 에너지 저장 장치들보다 더 높은 에너지 회수율을 제공할 수 있다. 이들 장치들은, 소형화에 대해 그리고 장치를 위해 이용 가능한 기하학적 면적이 제한되고 및/또는 에너지 밀도 요건이 박판 장치(laminar device)로 달성될 수 있는 것보다 더 높은 응용들에 대해 더 적합할 수 있다.

[0014] 간략하게는, 그러므로, 본 발명의 한 양태는 에너지 저장 장치에 사용하기 위한 전극 구조이다. 전극 구조는 전극 활물질 층(active material layer)을 갖는 전극들의 집단(population)과 상대 전극 활물질 층을 갖는 상대 전극(counter electrode)들의 집단을 포함한다. 전극들의 집단은 제1 방향을 따라 상대 전극들의 집단과 교호하는 시퀀스(alternating sequence)로 배열된다. 전극 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 길이  $L_E$ , 폭  $W_E$ , 높이  $H_E$ , 및 각각의 그와 같은 멤버의 바닥부로부터 상부로 또한 제1 방향을 가로지르는 방향으로 연장하는 종축  $A_E$ 를 갖는데, 전극 집단의 각각의 멤버의 길이  $L_E$ 는 그것의 종축  $A_E$ 의 방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 폭  $W_E$ 는 제1 방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 높이  $H_E$ 는 각각의 그와 같은 멤버의 종축  $A_E$  및 제1 방향에 수직인 방향으로 측정된다. 전극 집단의 각각의 멤버의  $W_E$ 와  $H_E$ 의 각각에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이고, 전극 집단의 각각의 멤버에 대한  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 0.4:1과 1000:1 사이에 있다. 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축  $A_E$ 는 전기적 절연성 분리기 층에 의해 둘러싸이고, 전기적 절연성 분리기 층은 미립자 물질 및 전극과 상대 전극 집단들의 멤버들 간의 결합제를 포함하는 미세다공성 분리기 물질 층을 포함하는데, 미세다공성 분리기 물질 층은 적어도 20 vol.%의 공극률을 갖는다.

[0015] 본 발명의 추가 양태는 전극 활물질 층을 갖는 전극들의 집단과 상대 전극 활물질 층을 갖는 상대 전극들의 집단을 포함하는 에너지 저장 장치에 사용하기 위한 전극 구조이다. 전극들의 집단은 제1 방향을 따라 상대 전극들의 집단과 교호하는 시퀀스로 배열된다. 전극 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 길이  $L_E$ , 폭  $W_E$ , 높이  $H_E$ , 및 각각의 그와 같은 멤버의 바닥부로부터 상부로 그리고 제1 방향을 가로지르는 방향으로 연장하는 종축  $A_E$ 를 가지며, 전극 집단의 각각의 멤버의 길이  $L_E$ 는 그 종축  $A_E$  방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 폭  $W_E$ 는 제1 방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 높이  $H_E$ 는 각각의 그와 같은 멤버의 종축  $A_E$  및 제1 방향에 수직인 방향으로 측정된다. 전극 집단의 각각의 멤버의  $W_E$ 와  $H_E$ 의 각각에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 5:1

이고, 전극 집단의 각각의 멤버에 대한  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 0.4:1과 1000:1 사이에 있다. 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축  $A_E$ 는 전기적 절연성 분리기 층에 둘러싸이고, 전기적 절연성 분리기 층은 미립자 물질 및 전극과 상대 전극 집단들의 멤버들 간의 결합체를 포함하는 미세다공성 분리기 물질 층을 포함하고, 미세다공성 분리기 물질 층은 적어도 20 vol.%의 공극률을 갖는다.

[0016] 본 발명의 또 다른 양태는 적어도 2개의 전극 구조를 포함하는 전극 스택이다. 각각의 전극 구조들은 전극 활물질 층을 갖는 전극들의 집단 및 상대 전극 활물질 층을 갖는 상대 전극들의 집단을 포함하는 전극 구조를 포함한다. 전극들의 집단은 제1 방향을 따라 상대 전극들의 집단과 교호하는 시퀀스로 배열된다. 전극 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 길이  $L_E$ , 폭  $W_E$ , 높이  $H_E$ , 및 각각의 그와 같은 멤버의 바닥부로부터 상부로 그리고 제1 방향을 가로지르는 방향으로 연장하는 종축  $A_E$ 를 가지며, 전극 집단의 각각의 멤버의 길이  $L_E$ 는 그 종축  $A_E$  방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 폭  $W_E$ 는 제1 방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 높이  $H_E$ 는 각각의 그와 같은 멤버의 종축  $A_E$  및 제1 방향에 수직인 방향으로 측정된다. 전극 집단의 각각의 멤버의  $W_E$ 와  $H_E$ 의 각각에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이고, 전극 집단의 각각의 멤버에 대한  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 0.4:1과 1000:1 사이에 있다. 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축  $A_E$ 는 전기적 절연성 분리기 층에 둘러싸이고, 전기적 절연성 분리기 층은 미립자 물질 및 전극과 상대 전극 집단들의 멤버들 간의 결합체를 포함하는 미세다공성 분리기 물질 층을 포함하고, 미세다공성 분리기 물질 층은 적어도 20 vol.%의 공극률을 갖는다.

[0017] 본 발명의 또 다른 양태는 배터리 인클로저, 비수성 전해질 및 전극 구조를 포함하는 2차 전지이다. 전극 구조는 전극 활물질 층을 갖는 전극들의 집단 및 상대 전극 활물질 층을 갖는 상대 전극들의 집단을 포함한다. 전극들의 집단은 제1 방향을 따라 상대 전극들의 집단과 교호하는 시퀀스로 배열된다. 전극 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 길이  $L_E$ , 폭  $W_E$ , 높이  $H_E$ , 및 각각의 그와 같은 멤버의 바닥부로부터 상부로 그리고 제1 방향을 가로지르는 방향으로 연장하는 종축  $A_E$ 를 가지며, 전극 집단의 각각의 멤버의 길이  $L_E$ 는 그 종축  $A_E$  방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 폭  $W_E$ 는 제1 방향으로 측정되고, 전극 집단의 각각의 멤버의 높이  $H_E$ 는 각각의 그와 같은 멤버와 종축  $A_E$ 와 수직인 방향 및 제1 방향으로 측정된다. 전극 집단의 각각의 멤버의  $W_E$ 와  $H_E$ 의 각각에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이고, 전극 집단의 각각의 멤버에 대한  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 0.4:1과 1000:1 사이에 있다. 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축  $A_E$ 는 전기적 절연성 분리기 층에 둘러싸이고, 전기적 절연성 분리기 층은 미립자 물질 및 전극과 상대 전극 집단들의 멤버들 간의 결합체를 포함하는 미세다공성 분리기 물질 층을 포함하고, 미세다공성 분리기 물질 층은 적어도 20 vol.%의 공극률을 갖는다.

[0018] 다른 목적들과 특징들도 하기에서 부분적으로 명백해지고 부분적으로 지적될 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 리튬 이온 배터리와 같은 전형적인 종래의 2차원 에너지 저장 장치의 전기화학적 스택의 셀의 단면도이다.

도 2는 내부 구성을 보여주기 위해 절단된 부위들을 가진 본 발명의 전극 구조의 일 실시예의 사시도이다.

도 3은 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 단편적 단면도이다.

도 4는 도 2의 전극 구조의 부분 조립체의 단편적 사시도이다.

도 5는 라인 5를 따라 취해진 도 4의 전극 구조의 부분 조립체의 평면도이다.

도 6은 라인 6을 따라 취해진 도 4의 전극 구조의 부분 조립체의 평면도이다.

도 7은 도 5의 라인 7-7을 포함하는 평면에서 취해진 전극 구조의 부분 조립체의 단면도이다.

도 8은 도 6의 라인 8-8을 포함하는 평면에서 취해진 전극 구조의 부분 조립체의 단면도이다.

도 9는 내부 구성을 보여주기 위해 절단된 부위들을 가진 도 2의 전극 구조의 부분 조립체의 단편적 사시도이다.

도 10은 본 발명의 3차원 2차 전지의 분해도이다.

도 11은 조립된 도 10의 3차원 2차 전지의 단편적 사시도이다.

도 12는 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 13은 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 14는 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 15는 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 16은 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 17은 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 18은 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 19는 내부 구성을 보여주기 위해 절단된 부위들을 가진 도 2의 전극 구조의 부분 조립체의 대안 실시예의 단편적 사시도이다.

도 20은 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 21은 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 대안 실시예의 단면도이다.

도 22는 라인 3-3을 포함하는 평면에서 취해진 도 2의 전극 구조의 단면의 대안 실시예이다.

도 23은 내부 구성을 보여주기 위해 절단된 부위들을 가진 라인 5를 따라 취해진 도 4의 전극 구조의 대안 실시예의 부분 조립체의 단편적 사시도이다.

도 24는 내부 구성을 보여주기 위해 절단된 부위들을 가진 라인 6을 따라 취해진 도 4의 전극 구조의 대안 실시예의 부분 조립체의 단편적 사시도이다.

도 25a-e는 본 발명의 전극(양극 또는 음극)의 대안 실시예들의 단면도들이다.

도 26은 본 발명의 전극 스택의 대안 실시예의 단면도이다.

도 27은 본 발명의 전극 스택의 대안 실시예의 단면도이다.

대응하는 참조 캐릭터들은 도면 전체에 걸쳐서 대응하는 부위들을 표시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 본 발명의 다양한 양태들 중에서, 배터리들, 커패시터들, 및 연료 전지들과 같은 에너지 저장 장치에 통합될 때 특별한 이점들을 제공하는 3차원 구조들이 주목될 수 있다. 예를 들어, 이러한 구조들은, 양극(positive electrode), 음극(negative electrode), 및/또는 분리가 사실상 비박관(non-laminar)인 2차 배터리들 내에 통합될 수 있다. 하나의 양호한 실시예에서, 그와 같은 구조들은 캐리어 이온들(예를 들어 리튬, 나트륨, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 이온들로부터 선택됨)이 양극과 음극 간에서 이동하는 2차 전지들에 통합된다.
- [0021] 일반적으로, 3차원 구조는 전극들의 집단, 상대 전극들의 집단, 및 상대 전극 집단의 멤버들로부터 전극 집단의 멤버들을 전기적으로 격리(isolate)하기 위한 분리기 물질을 포함한다. 전극들과 상대 전극들의 집단들은, 실질적으로 전극 집단의 각각의 멤버가 상대 전극 집단의 2개의 멤버 사이에 있고 또한 실질적으로 상대 전극 집단의 각각의 멤버가 전극 집단의 2개의 멤버 사이에 있는 식으로 교호하는 시퀀스로 배열된다. 예를 들어, 교호하는 시리즈에서의 처음과 마지막 전극 또는 상대 전극을 예외로 하면, 일 실시예에서 교호하는 시리즈에서의 각각의 전극은 2개의 상대 전극 사이에 있고, 각각의 상대 전극은 2개의 전극 사이에 있다.
- [0022] 일 실시예에서, 전극 집단의 멤버들은 전극 활물질 층, 전극 전류 컬렉터, 및 전극 활물질 층 및 전극 전류 컬렉터를 지지하는 전극 백본(electrode backbone)을 포함한다. 유사하게, 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 멤버들은 상대 전극 활물질 층, 상대 전극 전류 컬렉터, 및 상대 전극 활물질 층과 상대 전극 전류 컬렉터를 지지하는 상대 전극 백본을 포함한다.
- [0023] 전극 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 및 그 바닥부로부터 그 상부로 및 전극들과 상대 전극들의 교호하는 시퀀스가 전진하는 방향에 전반적으로 수직한 방향으로 연장하는 종축( $A_z$ )을 갖는다. 또한, 전극 집단의 각각의



멤버는 종축( $A_E$ )을 따라 측정되는 길이( $L_E$ ), 전극들과 상대 전극들의 교호하는 시퀀스가 전진하는 방향으로 측정되는 폭( $W_E$ ), 및 길이( $L_E$ ) 및 폭( $W_E$ )의 측정 방향들의 각각과 수직인 방향으로 측정되는 높이( $H_E$ )를 갖는다. 전극 집단의 각각의 멤버는 또한 그 종축에 직교하는 평면에서 전극의 돌출부(projection)의 측면(들)의 길이(들)의 합에 해당되는 주위 길이( $P_E$ )를 갖는다.

[0024] 전극 집단의 멤버들의 길이( $L_E$ )는 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로 전극 집단의 멤버들은 전형적으로 약 5mm 내지 약 500 mm 범위의 길이( $L_E$ )를 가질 것이다. 예를 들어, 그와 같은 일 실시예에서, 전극 집단의 멤버들은 약 10 mm 내지 약 250 mm의 길이( $L_E$ )를 갖는다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서 전극 집단의 멤버들은 약 25 mm 내지 약 100 mm의 길이( $L_E$ )를 갖는다.

[0025] 전극 집단의 멤버들의 폭( $W_E$ )은 또한 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로 전극 집단의 각각의 멤버는 전형적으로 약 0.01 mm 내지 2.5 mm 범위 내의 폭( $W_E$ )을 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 전극 집단의 각각의 멤버의 폭( $W_E$ )은 약 0.025 mm 내지 약 2 mm의 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 전극 집단의 각각의 멤버의 폭( $W_E$ )은 약 0.05 mm 내지 약 1 mm 범위에 있을 것이다.

[0026] 전극 집단의 멤버들의 높이( $H_E$ )는 또한 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로, 전극 집단의 멤버들은 전형적으로 약 0.05 mm 내지 약 10 mm 범위 내의 높이( $H_E$ )를 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 전극 집단의 각각의 멤버의 높이( $H_E$ )는 약 0.05 mm 내지 약 5 mm의 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 전극 집단의 각각의 멤버의 높이( $H_E$ )는 약 0.1 내지 약 1 mm의 범위에 있을 것이다.

[0027] 전극 집단의 멤버들의 주위 길이( $P_E$ )는 유사하게 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로 전극 집단의 멤버들은 전형적으로 약 0.025 mm 내지 약 25 mm 범위 내의 주위 길이( $P_E$ )를 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 전극 집단의 각각의 멤버의 주위 길이( $P_E$ )는 약 0.1 mm 내지 약 15 mm 범위에 있을 것이다. 일 실시예에서, 추가적 예를 들면, 전극 집단의 각각의 멤버의 주위 길이( $P_E$ )는 약 0.5 mm 내지 약 10 mm의 범위에 있을 것이다.

[0028] 일반적으로, 전극 집단의 멤버들은 실질적으로 그 폭( $W_E$ )과 그 높이( $H_E$ )의 각각보다 더 큰 길이( $L_E$ )를 갖는다. 예를 들어, 일 실시예에서 각각의  $W_E$ 와  $H_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는, 전극 집단의 각각의 멤버에 대해, 제각기 적어도 5:1 이다(즉,  $W_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 5:1 이고,  $H_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 제각기 적어도 5:1임). 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 각각의  $W_E$ 와  $H_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 적어도 10:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 각각의  $W_E$ 와  $H_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 적어도 15:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 각각의  $W_E$ 와  $H_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 전극 집단의 각각의 멤버에 대해, 적어도 20:1 이다.

[0029] 또한, 전극 집단의 멤버들이 실질적으로 그 주위 길이( $P_E$ )보다 더 큰 길이( $L_E$ )를 갖는 것이 일반적으로 바람직하다; 예를 들어, 일 실시예에서,  $P_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 1.25:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 2.5:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_E$ 에 대한  $L_E$ 의 비는 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 3.75:1 이다.

[0030] 일 실시예에서, 전극 집단의 멤버들의 폭( $W_E$ )에 대한 높이( $H_E$ )의 비는 제각기 적어도 0.4:1 이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 2:1 일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 적어도 10:1 일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 적어도 20:1 일 것이다. 그러나, 전형적으로,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 일반적으로 제각기 1,000:1 미만일 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 500:1 미만일 것이다.

추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 100:1 미만일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 제각기 10:1 미만일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_E$ 에 대한  $H_E$ 의 비는 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 약 2:1 내지 약 100:1 범위에 있을 것이다.

[0031] 상대 전극 집단의 각각의 멤버는 바닥부, 상부, 및 그 바닥부로부터 그 상부로 및 전극들과 상대 전극들의 교호하는 시퀀스가 전진하는 방향과 전반적으로 수직인 방향으로 연장하는 종축( $A_{CE}$ )을 갖는다. 또한, 상대 전극 집단의 각각의 멤버는 종축( $A_{CE}$ )을 따라 측정되는 길이( $L_{CE}$ ), 전극들과 상대 전극들의 교호하는 시퀀스가 전진하는 방향으로 측정되는 폭( $W_{CE}$ ), 및 길이( $L_{CE}$ ) 및 폭( $W_{CE}$ )의 측정 방향들의 각각과 수직인 방향으로 측정되는 높이( $H_{CE}$ )를 갖는다. 상대 전극 집단의 각각의 멤버는 또한 그 종축에 직교하는 평면에서 상대 전극의 돌출부의 측면(들)의 길이(들)의 합에 해당되는 주위 길이( $P_{CE}$ )를 갖는다.

[0032] 상대 전극 집단의 멤버들의 길이( $L_{CE}$ )는 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로 상대 전극 집단의 각각의 멤버는 전형적으로 약 5 mm 내지 약 500 mm 범위의 길이( $L_{CE}$ )를 가질 것이다. 예를 들어, 그러한 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 각각의 멤버는 약 10 mm 내지 약 250 mm의 길이( $L_{CE}$ )를 갖는다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 각각의 멤버는 약 25 mm 내지 약 100 mm의 길이( $L_{CE}$ )를 갖는다.

[0033] 상대 전극 집단의 멤버들의 폭( $W_{CE}$ )은 또한 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로, 상대 전극 집단의 멤버들은 전형적으로 약 0.01 mm 내지 2.5 mm의 범위 내의 폭( $W_{CE}$ )을 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 각각의 멤버의 폭( $W_{CE}$ )은 약 0.025 mm 내지 약 2 mm의 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 각각의 멤버의 폭( $W_{CE}$ )은 약 0.05 mm 내지 약 1 mm의 범위에 있을 것이다.

[0034] 상대 전극 집단의 멤버들의 높이( $H_{CE}$ )는 또한 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로 상대 전극 집단의 멤버들은 전형적으로 약 0.05 mm 내지 약 10 mm의 범위 내의 높이( $H_{CE}$ )를 가질 것이다. 일 실시예에서, 예를 들어 상대 전극 집단의 각각의 멤버의 높이( $H_{CE}$ )는 약 0.05 mm 내지 약 5 mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 상대 전극 집단의 각각의 멤버의 높이( $H_{CE}$ )는 약 0.1 mm 내지 약 1 mm 범위에 있을 것이다.

[0035] 상대 전극 집단의 멤버들의 주위 길이( $P_{CE}$ )는 또한 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로, 상대 전극 집단의 멤버들은 전형적으로 약 0.025 mm 내지 약 25 mm 범위 내의 주위 길이( $P_{CE}$ )를 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 각각의 멤버의 주위 길이( $P_{CE}$ )는 약 0.1 mm 내지 약 15 mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 각각의 멤버의 주위 길이( $P_{CE}$ )는 약 0.5 mm 내지 약 10 mm 범위에 있을 것이다.

[0036] 일반적으로, 상대 전극 집단의 각각의 멤버는 실질적으로 폭( $W_{CE}$ )보다 더 크고 또한 실질적으로 그 높이( $H_{CE}$ )보다 더 큰 길이( $L_{CE}$ )를 갖는다. 예를 들어, 일 실시예에서, 각각의  $W_{CE}$ 와  $H_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해, 제각기 적어도 5:1 이다(즉,  $W_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1 이고,  $H_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1 임). 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 각각의  $W_{CE}$ 와  $H_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 적어도 10:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 각각의  $W_{CE}$ 와  $H_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 적어도 15:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 각각의  $W_{CE}$ 와  $H_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 적어도 20:1 이다.

[0037] 또한, 상대 전극 집단의 멤버들이 실질적으로 그 주위 길이( $P_{CE}$ )보다 더 큰 길이( $L_{CE}$ )를 갖는다는 것이 일반적으로 바람직하다; 예를 들어, 일 실시예에서,  $P_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 1.25:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버

에 대해 제각기 적어도 2.5:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_{CE}$ 에 대한  $L_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 3.75:1 이다.

[0038] 일 실시예에서, 상대 전극 집단의 멤버들의 폭( $W_{CE}$ )에 대한 높이( $H_{CE}$ )의 비는 제각기 적어도 0.4:1 이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 2:1 일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 10:1 일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 적어도 20:1 일 것이다. 그러나, 전형적으로  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 일반적으로 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 1,000:1 미만일 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 500:1 미만일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 제각기 100:1 미만일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 제각기 10:1 미만 일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{CE}$ 에 대한  $H_{CE}$ 의 비는 상대 전극 집단의 각각의 멤버에 대해 제각기 약 2:1 내지 약 100:1 범위에 있을 것이다.

[0039] 전기적으로 상대 전극들의 집단으로부터 전극들의 집단의 멤버들을 격리시키기 위해: (i) 전극 집단의 멤버들은 자신들의 종축들( $A_E$ )을 따라 전기적 절연성 분리기 물질 층에 의해 둘러싸이고; (ii) 상대 전극 집단의 멤버들은 자신들의 종축들( $A_{CE}$ )을 따라 전기적 절연성 분리기 물질 층에 둘러싸이고, 또는 (iii) 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들은 각각이 자신들의 제각기 종축들을 따라 전기적 절연성 물질의 층에 의해 둘러싸인다. 예를 들어, 일 실시예에서, 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축들( $A_E$ )은 전기적 절연성 물질의 층에 의해 둘러싸인다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축들( $A_{CE}$ )은 전기적 절연성 물질의 층에 의해 둘러싸인다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축들( $A_E$ )과 상대 전극들의 집단의 각각의 멤버의 종축들( $A_{CE}$ )은 전기적 절연성 물질의 층에 의해 둘러싸인다.

[0040] 일 실시예에서, 전기적 절연성 물질 층은 적어도 약 5 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 그러나, 일반적으로, 전기적 절연성 물질 층은 (적어도 상대 전극들의 집단 중 가장 가까운 멤버로부터 전극들의 집단의 멤버를 분리시키는 그런 지역들에서) 약 100 마이크로미터를 초과하지 않는 두께를 가질 것이다. 예를 들어, 소정 실시예들에서, 전기적 절연성 물질 층은 (적어도 상대 전극들의 집단의 가장 가까운 멤버로부터 전극들의 집단의 멤버를 분리하는 그 지역들에서) 약 5 내지 약 50 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 소정 실시예들에서 전기적 절연성 물질 층은 (적어도 상대 전극들의 집단의 가장 가까운 멤버로부터 전극들의 집단의 멤버를 분리시키는 그런 지역들에서) 약 10 내지 약 35 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 소정 실시예들에서, 전기적 절연성 물질 층은 (적어도 상대 전극들의 집단의 가장 가까운 멤버로부터 전극들의 집단의 멤버를 분리시키는 그런 지역들에서) 약 15 내지 약 30 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다.

[0041] 충전 또는 방전 동작 동안 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이의 캐리어 이온 교환을 허용하기 위해, 전극 집단의 멤버들의 전극 활물질 층들과 상대 전극 집단의 멤버들의 상대 전극 활물질 층들을 분리시키는 전기적 절연성 물질 층은 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들어 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률(porosity)을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 70 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 75 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 80 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 85 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이에 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 90 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 95 vol%를 구성

한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 전극 집단의 멤버들과 상대 전극 집단의 멤버들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 99 vol%를 구성한다.

[0042] 일 실시예에서, 미세다공성 분리기 물질은 미립자 물질과 결합제를 포함하고, 적어도 약 20 vol.%의 다공률(공극 부분)을 갖는다. 미세다공성 분리기 물질의 세공(pore)들은 적어도 50Å의 직경을 가질 것이고, 전형적으로 약 250 내지 2,500Å의 범위 내에 들 것이다. 미세다공성 분리기 물질은 전형적으로 약 75% 미만의 다공률을 가질 것이다. 일 실시예에서, 미세다공성 분리기 물질은 적어도 약 25 vol.%의 다공률(공극 부분)을 갖는다. 일 실시예에서, 미세다공성 분리기 물질은 약 35-55%의 다공률을 가질 것이다.

[0043] 미세다공성 분리기 물질을 위한 결합제는 폭넓은 범위의 무기 또는 폴리머(polymer) 물질들로부터 선택될 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 결합제는 실리케이트들, 포스페이트들, 알루미늄네이트들, 알루미늄오실리케이트들, 및 마그네슘 수산화물, 칼슘 수산화물 등등과 같은 수산화물들로 구성되는 그룹에서 선택되는 유기 물질이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 결합제는 비닐리덴 플루오라이드, 헥사플루오로프로필렌, 테트라플루오로프로펜, 및 그와 유사한 것을 포함하는 단량체들로부터 유도된 플루오르폴리머이다. 또 다른 실시예에서, 결합제는 임의 범위의 변화하는 분자량들 및 밀도들을 갖는 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 또는 폴리부텐과 같은 폴리올레핀이다. 또 다른 실시예에서, 결합제는 에틸렌-디엔-프로펜 삼량체(ethylene-diene-propylene-terpolymer), 폴리스티렌, 폴리메틸 메타크릴레이트, 폴리에틸렌 글리콜, 폴리비닐 아세테이트, 폴리비닐 부티랄, 폴리아세탈, 및 폴리에틸렌글리콜 디아크릴레이트로 구성되는 그룹에서 선택된다. 또 다른 실시예에서, 결합제는 메틸 셀룰로스, 카르복시메틸 셀룰로스, 스티렌 고무(styrene rubber), 부타디엔 고무, 스티렌-부타디엔 고무, 이소프렌 고무, 폴리아크릴아미드, 폴리비닐 에테르, 폴리아크릴 산, 폴리메타크릴 산, 및 폴리에틸렌 산화물로 구성되는 그룹에서 선택된다. 또 다른 실시예에서, 결합제는 아크릴레이트들, 스티렌들, 에폭시들, 및 실리콘들로 구성되는 그룹에서 선택된다. 또 다른 실시예에서, 결합제는 전술한 폴리머들 중 2개 이상의 공중합체(copolymer) 또는 혼합물이다.

[0044] 미세다공성 분리기 물질이 포함하는 미립자 물질은 또한 폭넓은 범위의 물질들에서 선택될 수 있다. 일반적으로, 그와 같은 물질들은 동작 온도들에서 상대적으로 낮은 전자 및 이온 도전율을 가지며, 미세다공성 분리기 물질과 접촉하는 전류 컬렉터 또는 배터리 전극의 동작 전압들 하에서 부식되지 않는다. 예를 들어, 일 실시예에서, 미립자 물질은  $1 \times 10^{-4}$  S/cm 미만의 캐리어 이온들(예를 들어, 리튬)에 대한 도전율을 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 미립자 물질은  $1 \times 10^{-5}$  S/cm 미만의 캐리어 이온들에 대한 도전율을 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 미립자 물질은  $1 \times 10^{-6}$  S/cm 미만의 캐리어 이온들에 대한 도전율을 갖는다. 예시적 미립자 물질들은 미립자로 된 폴리에틸렌, 폴리프로필렌,  $\text{TiO}_2$  - 폴리머 복합체, 실리카 에어로겔, 발연 실리카, 실리카 겔, 실리카 하이드로겔, 실리카 크세로겔, 실리카 졸, 콜로이드성 실리카, 알루미늄, 티타니아, 마그네시아, 카올린, 활석, 규조토, 칼슘 실리케이트, 알루미늄 실리케이트, 칼슘 카보네이트, 마그네슘 카보네이트, 또는 이것들의 조합을 포함한다. 예를 들어, 일 실시예에서, 미립자 물질은  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , BaO, ZnO,  $\text{ZrO}_2$ , BN,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ge}_3\text{N}_4$ 와 같은 미립자로 된 산화물 또는 질화물을 포함한다. 예를 들어 P. Arora 및 J. Zhang, "Battery Separators" Chemical Reviews 2004, 104, 4419-4462를 참조하라. 일 실시예에서, 미립자 물질은 약 20 nm 내지 2 마이크로미터, 보다 전형적으로 200 nm 내지 1.5 마이크로미터의 평균 입자 크기를 가질 것이다. 일 실시예에서, 미립자 물질은 약 500 nm 내지 1 마이크로미터의 평균 입자 크기를 가질 것이다.

[0045] 대안 실시예에서, 미세다공성 분리기 물질이 포함하는 미립자 물질은, 전해질 인그레스(electrolyte ingress)가 배터리의 기능 발휘를 위한 이온 도전율을 제공하는 데에 요망되는 공극 부분을 유지하는 한편으로, 소결, 결합(binding), 경화 기타 등등과 같은 기법에 의해 경계 제어될 수 있다.

[0046] 미세다공성 분리기 물질들은, 예를 들어 입자들이 정전기 인력 또는 반 데르 발스 힘들과 같은 표면 에너지에 의해 합체(coalesce)되는 미립자로 된 분리기 물질의 전기영동 피착, 미립자로 된 분리기 물질의 (스핀 또는 스프레이 코팅을 포함하는) 슬러리 피착, 스크린 인쇄, 딥 코팅(dip coating), 및 정전기 스프레이 피착에 의해 피착될 수 있다. 결합제들은 피착 공정에 포함될 수 있다; 예를 들어, 미립자 물질은 용매 증발시에 침전되는 용해된 결합제로 슬러리 피착될 수 있거나, 용해된 결합제 물질의 존재 하에 전기영동법으로 피착될 수 있거나, 또는 결합제 및 절연 입자들 등등으로 공동 전기영동법으로(co-electrophoretically) 피착될 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 결합제들은 입자들이 전극 구조 내로 또는 그 상으로 피착된 후에 추가될 수 있다; 예를



들어, 미립자 물질은 유기 결합제 용액에 분산될 수 있고 및 딥 코팅되거나 스프레이 코팅될 수 있고, 이어서 접착 강도를 제공하기 위해 결합제 물질을 건조, 용융, 또는 가교화하는 것이 따라올 수 있다.

[0047] 조립된 에너지 저장 장치에서, 미세다공성 분리기 물질은 2차 전지 전해질로서 사용하는 데에 적절한 비수성 전해질로 침투(permeate)된다. 전형적으로, 비수성 전해질은 유기 용매에 용해되는 리튬 염을 포함한다. 예시적 리튬 염으로는,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiAsF}_6$ ,  $\text{LiCl}$ , 및  $\text{LiBr}$  과 같은 무기 리튬 염들; 및  $\text{LiB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ ,  $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2$ ,  $\text{LiN}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_3$ ,  $\text{LiNSO}_2\text{CF}_3$ ,  $\text{LiNSO}_2\text{CF}_5$ ,  $\text{LiNSO}_2\text{C}_4\text{F}_9$ ,  $\text{LiNSO}_2\text{C}_5\text{F}_{11}$ ,  $\text{LiNSO}_2\text{C}_6\text{F}_{13}$ , 및  $\text{LiNSO}_2\text{C}_7\text{F}_{15}$ 와 같은 유기 리튬 염들을 포함한다. 리튬 염을 용해하는 예시적 유기 용매들로는, 환상 에스테르(cyclic ester)들, 사슬 에스테르(chain ester)들, 환상 에테르들, 및 사슬 에테르들이 포함된다. 환상 에스테르들의 구체적인 예들로는, 프로필렌 카보네이트, 부틸렌 카보네이트,  $\gamma$ -부티로락톤, 비닐렌 카보네이트, 2-메틸- $\gamma$ -부티로락톤, 아세틸- $\gamma$ -부티로락톤, 및  $\gamma$ -발레로락톤이 포함된다. 사슬 에스테르들의 구체적 예들로는, 디메틸 카보네이트, 디에틸 카보네이트, 디부틸 카보네이트, 디프로필 카보네이트, 메틸 에틸 카보네이트, 메틸 부틸 카보네이트, 메틸 프로필 카보네이트, 에틸 부틸 카보네이트, 에틸 프로필 카보네이트, 부틸 프로필 카보네이트, 알킬 프로피오네이트들, 디알킬 말로네이트들, 및 알킬 아세테이트들이 포함된다. 환상 에테르들의 구체적인 예들로는, 테트라히드로푸란, 알킬테트라히드로푸란들, 디알킬테트라히드로푸란들, 알콕시테트라히드로푸란들, 디알콕시테트라히드로푸란들, 1,3-디옥솔란, 알킬-1,3-디옥솔란들, 및 1,4-디옥솔란이 포함된다. 사슬 에테르들의 구체적인 예들로는, 1,2-디메톡시에탄, 1,2-디에톡시에탄, 디에틸 에테르, 에틸렌 글리콜 디알킬 에테르들, 디에틸렌 글리콜 디알킬 에테르들, 트리에틸렌 글리콜 디알킬 에테르들, 및 테트라에틸렌 글리콜 디알킬 에테르들이 포함된다.

[0048] 일 실시예에서, 전극들의 집단은 음극(negative electrode)들의 집단이고 상대 전극들의 집단은 양극(positive electrode)들의 집단이다. 이 실시예에서, 전극 집단의 멤버들의 종축  $A_E$ , 길이  $L_E$ , 폭  $W_E$ , 높이  $H_E$  및 주위 길이  $P_E$ 는 제각기 음극 집단의 멤버들의 종축  $A_{NE}$ , 길이  $L_{NE}$ , 폭  $W_{NE}$ , 높이  $H_{NE}$  및 주위 길이  $P_{NE}$ 에 대응하고, 상대 전극 집단의 멤버들의 종축  $A_{CE}$ , 길이  $L_{CE}$ , 폭  $W_{CE}$ , 높이  $H_{CE}$  및 주위 길이  $P_{CE}$ 는 제각기 양극 집단의 멤버들의 종축  $A_{PE}$ , 길이  $L_{PE}$ , 폭  $W_{PE}$ , 높이  $H_{PE}$  및 주위 길이  $P_{PE}$ 에 대응한다.

[0049] 대안 실시예에서, 전극들의 집단은 양극들의 집단이고, 상대 전극들의 집단은 음극들의 집단이다. 그러므로, 이 실시예에서, 전극 집단의 멤버들의 종축  $A_E$ , 길이  $L_E$ , 폭  $W_E$ , 높이  $H_E$ , 및 주위 길이  $P_E$ 는 제각기 양극 집단의 멤버들의 종축  $A_{PE}$ , 길이  $L_{PE}$ , 폭  $W_{PE}$ , 높이  $H_{PE}$  및 주위 길이  $P_{PE}$ 에 대응하고, 상대 전극 집단의 멤버들의 종축  $A_{CE}$ , 길이  $L_{CE}$ , 폭  $W_{CE}$ , 높이  $H_{CE}$  및 주위 길이  $P_{CE}$ 는 제각기 음극 집단의 멤버들의 종축  $A_{NE}$ , 길이  $L_{NE}$ , 폭  $W_{NE}$ , 높이  $H_{NE}$  및 주위 길이  $P_{NE}$ 에 대응한다.

[0050] 이제 도 2를 참조하면, 및 본 발명의 일 실시예에서, 전극 구조(20)는 음극들(21)의 집단과 양극들(22)의 집단을 포함한다. 설명이 용이하도록, 도 2에서 음극들의 집단은 네 개의 멤버(21)를 포함하고 양극들의 집단은 네 개의 멤버(22)를 포함한다; 그러나, 실제로 음극들의 집단과 양극들의 집단은 각각이 더 많은 수의 또는 더 적은 수의 멤버들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 본 발명의 전극 구조가 포함하는 음극들의 집단과 양극들의 집단 각각은 적어도 5개의 멤버를 포함할 수 있다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극들의 집단과 양극들의 집단 각각은 적어도 10개의 멤버를 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극들의 집단과 양극들의 집단 각각은 적어도 50개의 멤버를 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극들의 집단과 양극들의 집단 각각은 적어도 100개의 멤버를 포함한다.

[0051] 멤버들의 개수에 상관없이, 음극들의 집단의 멤버들(21)과 양극들의 집단의 멤버들(22)은 방향 D로 전진하는 교호하는 시리즈가 되도록 상호 맞물려서 배열된다. 도 2에 도해된 것과 같이, 하나를 예외로 하여, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)는 양극 집단의 두 개의 멤버(22) 사이에 있고, 또한 하나를 예외로 하여, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)는 음극들의 집단의 두 개의 멤버(21) 사이에 있다. 더 일반적으로 말하면, 일 실시예에서, 양극 집단과 음극 집단 각각이 N개의 멤버를 가지고, N-1개의 양극 집단 멤버들의 각각은 두 개의 음극 사이에 있고, N-1개의 음극 집단 멤버들의 각각은 두 개의 양극 사이에 있고, N은 적어도 2이다. 예를 들어, 일 실시예에서, N은 적어도 4(도 2에 도해된 것과 같음), 적어도 5, 적어도 10, 적어도 25, 적어도 50, 또는 심지어 적어도 100 이다.

[0052] 한 대안 실시예에서, 음극 집단의 각각의 멤버(21)는 양극들의 집단의 두 개의 멤버(22) 사이에 있어서, 상호 맞물린 시리즈가 양극(22)으로 시작하고 끝나고 또한 각각의 음극(21)이 두 개의 양극(22) 사이에 있고(예를 들

어, 전극들의 시리즈가 하기 반복 시퀀스를 가짐: 양극, 음극, 양극, 음극, 양극...) 상호 맞물린 시리즈가 방향 D로 전진하는 식이 되도록 한다. 예를 들어, 그러한 일 실시예에서, 음극 집단은 N개의 멤버를 가지고, 양극 집단은 N+1개의 멤버를 가지고, 각각의 음극은 두 개의 양극 사이에 있고, N은 적어도 5이고, 적어도 10이고, 적어도 25이고, 적어도 50이고, 또는 심지어 적어도 100이다.

[0053] 또 다른 대안 실시예에서, 예를 들어, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)는 음극들의 집단의 두 개의 멤버(21) 사이에 있어서, 상호 맞물린 시리즈가 음극(21)으로 시작하고 끝나고 또한 각각의 양극(22)이 두 개의 음극(21) 사이에 있고(예를 들어, 전극들의 시리즈가 하기 반복 시퀀스를 가짐: 음극, 양극, 음극, 양극, 음극...) 상호 맞물린 시리즈가 방향 D로 전진하는 식이 되도록 한다. 그러한 일 실시예에서, 양극 집단은 N개의 멤버를 가지고, 음극 집단은 N+1개의 멤버를 가지고, 각각의 양극은 두 개의 음극 사이에 있고, N은 적어도 5, 적어도 10, 적어도 25, 적어도 50, 또는 심지어 적어도 100이다.

[0054] 다시 도 2를 참조하면, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)는 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)로부터 전류를 모으는 음극 버스(23)에게 직접적으로 접속되고 및 그로부터 연장된다. 음극 버스(23)는, 다음 차례로, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)를, 에너지 저장 장치(도시 생략)의 음 단자에게 또는 외부 에너지 공급 장치(도시 생략)에게 또는 외부 에너지 소비자(도시 생략)에게 전기적 접속시키는데 사용될 수 있다.

[0055] 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)는 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)로부터 전류를 모으는 양극 버스(24)로부터 연장되고 이것에게 전기적으로 접속된다. 양극 버스(24)는, 다음 차례로, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)를, 에너지 저장 장치(도시 생략)의 양 단자(positive terminal)에게 또는 외부 에너지 공급 장치(도시 생략)에게 또는 외부 에너지 소비자(도시 생략)에게 전기적 접속시키는데 사용될 수 있다.

[0056] 음극 버스(23)와 양극 버스(24)는 임의의 폭넓은 범위의 전기적 도전성 물질들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 음극 버스(23)와 양극 버스(24)는 독립적으로 전기적 도전성 세라믹, 유리, 폴리머, 반도체, 또는 음극 및 양극 집단들의 멤버들을 음의 및 양의 전기적 도전성 경로들(25, 26)에게 제각기 전기적 접속하기 위한 금속을 포함할 수 있다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 버스(23)와 양극 버스(24) 각각은 독립적으로 실리콘, 탄소, 탄소 복합체들, 금속 실리사이드들, 및 그와 유사한 것과 같은 전기적 도전성 물질을 포함한다. 양극 버스를 위한 예시적 물질들은 알루미늄, 탄소, 크롬, 금, 니켈, NiP, 팔라듐, 백금, 로듐, 루테튬, 실리콘과 니켈의 합금, 티타늄, 하나 이상의 이것들의 합금, 및 이것들의 조합들을 포함한다. 음극 버스를 위한 예시적인 물질들은 구리, 니켈, 크롬, 티타늄, 텅스텐, 코발트, 탄소, 하나 이상의 이것들의 합금, 및 이것들의 조합들을 포함한다. 양극 버스 및 음극 버스를 위한 물질들은 증발, 스퍼터링, 무전해 도금, 침지 도금(immersion plating), 전기 도금(electroplating) 및 그와 유사한 것과 같은 소정 범위의 공지된 금속 피착 공정들 중 임의의 것에 의해 피착될 수 있다. 소정 실시예들에서, 양극 버스 및 음극 버스의 도전성 부분들은 동일 물질을 포함할 수 있다. 기타 실시예들에서, 양극 버스 및 음극 버스의 도전성 부분들은 상이한 물질들을 조성적으로 포함할 수 있다. 소정 실시예들에서, 양극 버스 및/또는 음극 버스는 도전성 물질 셀에 의해 부분적으로 또는 완전히 도포되는 비도전성 코어를 포함한다; 덧붙여, 양극 버스 및 음극 버스가 도전성 물질 셀에 의해 부분적으로 또는 완전히 도포되는 비도전성 코어를 포함하는 그와 같은 실시예들에서, 양극 버스 및 음극 버스의 비도전성 코어들은 동일 조성을 가질 수 있는 반면, 도전성 셀들은 조성적으로 상이하다.

[0057] 전기적 절연성 분리기 층(43)은 음극 집단의 각각의 멤버(21)를 둘러싸서 이것을 양극 집단의 각각의 멤버(22)로부터 전기적으로 격리시키고, 또한 양극 버스(24)로부터 음극 버스(23)를 전기적으로 격리시킨다. 인접한 음극/양극 쌍들(즉, 캐리어 이온이 충전 또는 방전 동작 동안 음극 집단의 주어진 멤버로부터 양극 집단의 멤버로 또는 그 반대로 이동하기 위한 최단 거리를 제공하는 음극/양극 쌍들) 사이에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 전술된 대로 비수성 전해질로 침투될 수 있는 미세다공성 분리기 물질을 포함한다; 예를 들어, 더 상세하게 전술된 것처럼, 일 실시예에서, 미세다공성 분리기 물질은 적어도 50Å의, 보다 전형적으로는 약 2,500Å의 범위의 직경, 및 약 25% 내지 약 75% 범위의, 보다 전형적으로는 약 35-55% 범위의 다공률을 갖는 세공들을 포함한다.

[0058] 일 실시예에서, 예를 들면, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 충전 또는 방전 주기 동안의 이온 교환을 위한 음극 집단의 멤버(21)와 양극 집단의 가장 가까운 멤버(들)(22)(즉, "인접 쌍") 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 70 vol%가 미세다공성 분리기 물질이다; 다르게 말하면, 미세다공성 분리기 물질은 음극 멤버(21)와 양극 멤버(22) 사이의 전기적 절연성 물질의 적어도 70 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은, 제각기 음극 집단과 양극 집단의 멤버들(21)과 멤버들(22)의 인접 쌍들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의

적어도 75 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은, 제각기 음극 집단과 양극 집단의 멤버들(21)과 멤버들(22)의 인접 쌍들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 80 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은, 제각기 음극 집단과 양극 집단의 멤버들(21)과 멤버들(22)의 인접 쌍들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 85 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은, 제각기 음극 집단과 양극 집단의 멤버들(21)과 멤버들(22)의 인접 쌍들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 90 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은, 제각기 음극 집단과 양극 집단의 멤버들(21)과 멤버들(22)의 인접 쌍들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 95 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은, 제각기 음극 집단과 양극 집단의 멤버들(21)과 멤버들(22)의 인접 쌍들 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 99 vol%를 구성한다.

[0059] 이제 도 3을 참조하면, 일 실시예에서, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)는 음극 백본(51), 음극 전류 컬렉터 층(47), 및 음극 활물질 층(49)을 포함한다. 음극 활물질 층(49)은 측면들(61, 63), 전면들(65) 및 후면(67)에 의해 경계지어진다. 유사하게, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)는 양극 백본(52), 양극 전류 컬렉터 층(48), 및 양극 활물질 층(50)을 포함한다. 양극 활물질 층(50)은 측면들(61, 63), 전면(65) 및 후면(67)에 의해 경계지어진다. 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)는, 자신들의 제각기 길이들의 적어도 일부분을 따라 음극 및 양극 집단들의 각각의 멤버(21)의 종축  $A_{NE}$ 와 각각의 멤버(22)의 종축  $A_{PE}$ 을 둘러싸는 전기적 절연성 분리기 층(43)에 의해 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)로부터 분리된다

[0060] 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이에서, 제각기, 전기적 절연성 물질 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 일 실시예에서, 예를 들어, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 70 vol%를 구성하고, (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 75 vol%를 구성하고, (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 80 vol%를 구성하고, (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 85 vol%를 구성하고, (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 90 vol%를 구성하고, (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 95 vol%를 구성하고, (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 그리고 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21, 22)의 마주보는 측면들(61, 62)과 마주보는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층의 적어도 99 vol%를 구성하고, (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다.

[0061] 방전 과정 동안, 리튬 이온들(또는 나트륨, 칼륨, 칼슘 또는 마그네슘 이온들과 같은 다른 캐리어 이온들)은 측면들(61, 63)을 거쳐 음극 활물질 층(49)을 떠나고 전기적 절연성 분리기 층(43)이 포함하는 미세다공성 분리기 물질을 통과해서 측면들(62, 64)을 거쳐 양극 활물질 층(50) 내로 나아간다. 충전 과정 동안, 리튬 이온들(또는 다른 캐리어 이온들)은 측면들(62, 64)를 통과해 양극 활물질 층(50)을 떠나고 전기적 절연성 분리기 층(43)이 포함하는 미세다공성 분리기 물질을 통과해서 측면들(61, 63)을 거쳐 음극 활물질 층(49) 내로 나아간다. 이용되는 음극 활물질에 의존하여, 리튬 이온들(또는 다른 캐리어 이온들)은 인터칼레이트되거나(예를 들어, 합

금을 형성하지 않고 음극 활물질의 매트릭스에 안착함) 합금을 형성한다. 양극과 음극 사이의 리튬 이온들(또는 다른 캐리어 이온들)의 움직임과 동시에 일어나는 것으로, 전자들이 제각기 음극 전류 컬렉터(47)와 양극 전류 컬렉터(48)에 의해 음극 버스 및 양극 버스(23, 24)에게 (또는 그로부터) 운반된다(도 2 참조). 음극 버스 및 양극 버스(23, 24)는, 다음 차례로, 전극 구조(20)를 포함하는 에너지 저장 장치(도시 생략)의 음 단자 및 양 단자에게 또는 외부 에너지 공급 장치(도시 생략)에게 또는 외부 에너지 소비자(도시 생략)에게 전기적 접속된다.

[0062] 음극 백본(51)은 음극 활물질 층(49)에게 기계적 안정성을 제공한다. 일반적으로, 음극 백본(51)은, 금속들, 반도체들, 유기물들, 세라믹들, 및 유리들과 같은, 성형될 수 있는 임의의 물질을 포함할 수 있다. 현재 양호한 물질들은 실리콘 및 게르마늄과 같은 반도체 물질들을 포함한다. 그러나, 대안적으로, 탄소계 유기 물질들, 또는 알루미늄, 구리, 니켈, 코발트, 티타늄, 및 텅스텐과 같은 금속들이 음극 백본들 내에 또한 받아들여질 수 있다. 한 예시적 실시예에서, 음극 백본(51)은 실리콘을 포함한다. 실리콘은, 예를 들어 단결정 실리콘, 다결정 실리콘, 비정질 실리콘 또는 이것들의 조합일 수 있다.

[0063] 응용에 좌우되어, 음극 백본(51)은 전기적 도전성 또는 절연성일 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 백본(51)은 10 Siemens/cm 미만의 전기 전도도(electrical conductivity)를 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 백본(51)은 1 Siemens/cm 미만의 전기 전도도를 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 백본(51)은  $10^{-1}$  Siemens/cm 미만의 전기 전도도를 가진다. 기타 실시예들에서, 음극 백본(51)은 적어도 10 Siemens/cm 의 전기 전도도를 가질 수 있다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 백본(51)은 적어도  $10^2$  Siemens/cm 의 전기 전도도를 가질 수 있다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 백본(51)은 적어도  $10^3$  Siemens/cm 의 전기 전도도를 가질 수 있다.

[0064] 음극 전류 컬렉터 층(47)은 전형적으로 적어도 약  $10^3$  Siemens/cm 의 전도도를 가질 수 있다. 예를 들어, 그러한 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 적어도 약  $10^4$  Siemens/cm 의 전도도를 가진다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 적어도 약  $10^5$  Siemens/cm 의 전도도를 가진다. 일반적으로 음극 전류 컬렉터 층(47)은 탄소, 코발트, 크롬, 구리, 니켈, 티타늄, 또는 하나 이상의 이것들의 합금과 같은 음극들을 위한 전류 컬렉터 물질로서 통상적으로 이용되는 임의의 금속 또는 다른 도전체를 포함할 수 있다. 음극 전류 컬렉터(47)는 전착(electrodeposition), 무전해 피착, 침지 피착, PVD(physical vapor deposition), CVD(chemical vapor deposition) 및 그와 유사한 것과 같은 공정들에 의해 제조될 수 있다.

[0065] 이 실시예에서의 음극 전류 컬렉터 층(47)의 두께(즉, 음극 백본과 음극 활물질 층 사이의 최단 거리)는 층의 조성 및 전기 화학적 스택에 대한 성능 사양들에 달려 있을 것이다. 그러나, 일반적으로 두께는 약 1 마이크로미터 내지 약 100 마이크로미터의 범위를 가질 것이다.

[0066] 음극 활물질 층(49)은 리튬, 나트륨, 칼륨, 칼슘 또는 마그네슘 이온들과 같은 캐리어 이온을 흡수하고 방출할 수 있는 음극 활물질을 포함할 수 있다. 이러한 물질들은, 흑연 및 소프트 또는 하드 카본들과 같은 탄소 물질들, 또는 소정 범위의 금속들, 반금속들, 합금들, 산화물들 및 리튬과 합금을 형성할 수 있는 화합물들 중 임의의 것을 포함한다. 음극 물질을 구성할 수 있는 금속들 또는 반금속들의 구체적인 예들로는, 주석, 납, 마그네슘, 알루미늄, 붕소, 갈륨, 실리콘, 인듐, 지르코늄, 게르마늄, 비스무트, 카드뮴, 안티몬, 은, 아연, 비소, 하프늄, 이트륨, 및 팔라듐이 포함된다. 예시적 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은, 알루미늄, 주석, 또는 실리콘, 또는 이것들의 산화물, 이것들의 질화물, 이것들의 플루오르화물, 또는 이것들의 다른 합금을 포함한다. 또 다른 예시적 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 실리콘 또는 이것의 합금을 포함한다. 이 단락에 기재된 실시예들과 예들의 각각에서, 음극 활물질 층(49)은 미립자 응집 전극(particulate agglomerate electrode) 또는 단일체 전극(monolithic electrode)일 수 있다.

[0067] 양극 백본(52)은 양극 활물질 층(50)에게 기계적 안정성을 제공한다. 일반적으로, 양극 백본(52)은 금속들, 반도체들, 유기물들, 세라믹들, 및 유리들과 같은, 성형될 수 있는 임의의 물질을 포함할 수 있다. 현재 양호한 물질들은 실리콘 및 게르마늄과 같은 반도체 물질을 포함한다. 그러나, 대안적으로, 탄소계 유기 물질들, 또는 알루미늄, 구리, 니켈, 코발트, 티타늄, 및 텅스텐과 같은 금속이 양극 백본들 내에 또한 받아들여질 수 있다. 예시적 일 실시예에서, 양극 백본(52)은 실리콘을 포함한다. 실리콘은, 예를 들어, 단결정 실리콘, 다결정 실리콘, 비정질 실리콘 또는 이것들의 조합일 수 있다.

[0068] 응용에 좌우되어, 양극 백본(52)은 전기적 도전성 또는 절연성일 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 양극



백본(52)은 10 Siemens/cm 미만의 전기 전도도를 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 백본(52)은 1 Siemens/cm 미만의 전기 전도도를 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 백본(52)은  $10^{-1}$  Siemens/cm 미만의 전기 전도도를 가진다. 기타 실시예들에서, 양극 백본(52)은 적어도 10 Siemens/cm 의 전기 전도도를 가질 수 있다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 양극 백본(52)은 적어도  $10^2$  Siemens/cm의 전기 전도도를 가질 수 있다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 양극 백본(52)은 적어도  $10^3$  Siemens/cm 의 전기 전도도를 가질 수 있다.

[0069]

도 3에 도해된 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층(48)은 양극 백본(52)과 양극 물질 층(50) 사이에 자리잡고, 전형적으로 적어도 약  $10^3$  Siemens/cm 의 전도도를 가질 수 있다. 예를 들어, 그러한 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층(48)은 적어도 약  $10^4$  Siemens/cm 의 전도도를 가진다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층(48)은 적어도 약  $10^5$  Siemens/cm 의 전도도를 가진다. 양극 전류 컬렉터 층(48)은 음극 전류 컬렉터에 대해 앞서 확인된 금속들 중 임의의 것을 포함할 수 있다; 예를 들어, 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터(48)는 알루미늄, 탄소, 크롬, 금, 니켈, NiP, 팔라듐, 백금, 로듐, 루테튬, 실리콘과 니켈의 합금, 티타늄, 이것들의 조합을 포함한다("Current collectors for positive electrodes of lithium-based batteries" by A. H. Whitehead and M. Schreiber, Journal of the Electrochemical Society, 152(11) A2105-A2113(2005) 참조). 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터층(48)은 금, 또는 금 실리사이드와 같은 금의 합금을 포함한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터층(48)은 니켈, 또는 니켈 실리사이드와 같은 니켈의 합금을 포함한다. 양극 전류 컬렉터(48)는 전착, 무전해 피착, 침지 피착, PVD, CVD, 및 그와 유사한 것과 같은 공정들에 의해 제조될 수 있다. 양극 및 음극 전류 컬렉터들은 알려진 패터닝 및 금속 피착 기법들을 이용하여 동시에 피착되거나, 또는 순차적으로 제조될 수 있다.

[0070]

양극 활물질 층(50)은, 캐소드 활물질들의 혼합물들을 포함하는 소정 범위의 캐소드 활물질들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 리튬 이온 배터리에 대해, 양극 활물질 층(50)은 전이 금속 산화물들, 전이 금속 황화물들, 전이 금속 질화물들, 리튬 전이 금속 산화물들, 리튬 전이 황화물들로부터 선택되는 캐소드 물질을 포함할 수 있고, 리튬 전이 금속 질화물들이 선택적으로 이용될 수 있다. 이들 전이 금속 산화물들, 전이 금속 황화물들, 및 전이 금속 질화물들 중의 전이 금속 성분들은 d-꺾질 또는 f-꺾질을 갖는 금속 성분들을 포함할 수 있다. 그런 금속 원소 중 특정 예들로는 Sc, Y, 란타늄 원소, 악티늄족 원소, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, Tc, Re, Fe, Ru, Os, Co, Rh, Ir, Ni, Pb, Pt, Cu, Ag, 및 Au가 있다. 추가적 캐소드 활물질들로는  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ ,  $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_{2-y-x})\text{O}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{Li}_2\text{MnO}_4$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ , 몰리브덴 옥시황화물들(molybdenum oxysulfides), 및 이것들의 조합들이 포함된다. 양극 활물질 층이, 예를 들어 전기영동 피착, 전착, 공석(co-deposition) 또는 슬러리 피착을 포함하는 소정 범위의 기술들 중 임의의 기술에 의해 양극 구조를 형성하도록 피착될 수 있다. 예시적 일 실시예에서, 전술된 양극 활물질들 중 하나가 또는 이것들의 조합이, 미립자 형태로, 전기영동적으로 피착된다. 또 다른 예시적 실시예에서,  $\text{V}_2\text{O}_5$ 와 같은 양극 활물질이 전착된다. 또 다른 예시적 실시예에서, 전술된 양극 활물질들 중 하나가 또는 이것들의 조합이, 미립자 형태로, 폴리아닐린과 같은 도전성 매트릭스로 공석된다. 또 다른 예시적 실시예에서, 전술된 양극 활물질들 중 하나가 또는 이것들의 조합이, 미립자 형태로, 슬러리 피착된다.

[0071]

음극 백본(51)과 양극 백본(52)은 3차원 구조들을 제조하기 위한 본 분야에 알려진 임의의 방법으로 제조될 수 있다. 예를 들어, 양극(캐소드)을 위한 실리콘 백본과 음극(애노드)을 위한 실리콘 백본이 일시적, 영구적, 또는 반영구적 본딩에 의해 베이스에 본딩되는 웨이퍼를 이용하여 동시에 제조될 수 있다. 웨이퍼에 베이스를 본딩하는 모두 망라되지는 않은 방법들로는 무기성 또는 유기성 접착제들을 이용한 접착, 애노드 산화 본딩, 압축 본딩, 열 본딩, 및 그와 유사한 것이 포함된다. SOI(Silicon-on-insulator) 웨이퍼들, 애노드 유리 본딩된 웨이퍼들, 일시적 캐리어 탑재 웨이퍼들이 활성 기판(active substrate)상으로 본딩되는 베이스의 예들이다. 차순으로, 웨이퍼는 패터닝될 수 있고 실리콘은 불필요한 지역들에서 제거되어 전극들을 위한 백본의 역할을 할 수 있는 구조들을 남기게 된다. 몇몇 실시예들에서, 백본들은 레이저 기계 가공, 전기 방전 기계 가공, 고정밀 기계 가공, 용제(ablation) 및 드릴링에 의해 불필요한 지역들에서 평탄 기판으로부터 물질들을 제거함으로써 네거티브 방식으로 제조될 수 있다. 기타 실시예들에서, 각각의 백본은, 소결, 미세형성(microforming), 전주(electroforming), 기타 등등을 가진 또는 이것들을 가지지 않은, 3D 프린팅, 스텐실 프린팅 및 층화, 그라비어 인쇄(gravure printing), 사출 성형(injection molding), 압축 성형 및 소결, 겔 캐스팅(gel-casting) 및 소결, 슬러리 캐스팅, 테이프 캐스팅 등등과 같은 방법들을 이용하여 층들을 구축함으로써 포지티브 방식으로

개별적으로 또는 별도로 생성될 수 있다. 백본들을 만드는 데에 사용될 수 있는 다른 예시적 공정들은 마스크, 증발 등등을 통한 스퍼터링과 같은 진공 기반 피착 공정들을 이용하여 필러들(pillars), 로드들(rods), 웨이브들(waves) 등등을 성장시키는 것을 포함한다. 제조하기 위한 또 다른 예시적 방법들은 패터닝된 기본 물질상에 성장된 나노와이어 또는 나노 구조의 사용을 포함한다.

[0072] 음극 활물질 층(49)은 전착, 전기영동 피착, 증기 피착(vapor deposition), VLS(Vapor-Liquid-Solid) 피착과 같은 촉매 기반 성장, 겔 캐스팅, 테이프 캐스팅, 패터닝과 슬러리 피착에 이어서 소결, 바인딩 등등과 같은 방법들에 의한 고밀화와 같은 방법들을 이용하여 형성되거나 또는 다른 식으로 조립될 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 음극 물질 층과 음극 백본은 실리콘, 알루미늄 및 주석과 같은 동일 물질을 포함할 수 있고, 음극 물질 층과 음극 백본은 동시에 제조될 수 있다. 유사하게, 양극 물질 층(50)은 전착, 전기영동 피착, 증기 피착, VLS 피착과 같은 촉매 기반 성장, 겔 캐스팅, 테이프 캐스팅, 패터닝과 슬러리 피착에 이어서 압축, 소결, 바인딩, 경화 등등과 같은 방법들에 의한 고밀화와 같은 방법들을 이용하여 조립될 수 있다.

[0073] 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 미세구조화되어, 충전 및 방전 과정들 동안 리튬 이온들(또는 기타 캐리어 이온들)이 음극 활물질 층(49) 내에 받아들여지거나 또는 이것을 떠남에 따라 부피 팽창 및 수축을 감당하기 위한 상당한 공극 부피율(void volume fraction)을 제공한다. 일반적으로, 음극 활물질 층의 공극 부피율은 적어도 0.1 이다. 그러나, 전형적으로, 음극 활물질 층의 공극 부피율은 0.8보다 크지 않다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 활물질 층의 공극 부피율은 약 0.15 내지 약 0.75이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층의 공극 부피율은 약 0.2 내지 약 0.7이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층의 공극 부피율은 약 0.25 내지 약 0.6이다.

[0074] 미세구조화된 음극 활물질 층의 조성과 그 형성 방법에 좌우되어, 미세구조화된 음극 활물질 층은 거대다공성(macroporous), 미세다공성(microporous) 또는 중간다공성(mesoporous) 물질 층들, 또는 미세다공성과 중간다공성의 조합이나 중간다공성과 거대다공성의 조합과 같은 이것들의 조합을 포함할 수 있다. 미세다공성 물질은, 전형적으로, 10nm 미만의 세공 치수, 10nm 미만의 벽 치수, 1-50 마이크로미터의 세공 깊이, 및 일반적으로 "스폰지같고" 불규칙한 외관과 평활하지 않은 벽들 및 가지 친 세공들을 특징으로 하는 세공 형태를 특징으로 한다. 중간다공성 물질은, 전형적으로, 10-50nm의 세공 치수, 10-50nm의 벽 치수, 1-100 마이크로미터의 세공 깊이, 및 일반적으로 어느 정도 뚜렷이 보이는 또는 수지상(well defined or dendritic) 세공들인 가지 친 세공들을 특징으로 하는 세공 형태를 특징으로 한다. 거대다공성 물질은, 전형적으로, 50nm보다 큰 세공 치수, 50nm보다 큰 벽 치수, 1-500 마이크로미터의 세공 깊이, 및 변화되는(varied), 똑바른(straight), 가지 친(branched), 또는 수지상(dendritic)이고 또한 평활(smooth)하거나 거친(rough) 벽일 수 있는 세공 형태를 특징으로 한다. 추가적으로, 공극 부피는 개방된 또는 폐쇄된 공극들, 또는 이것들의 조합을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 공극 부피는 개방된 공극들을 포함하는데, 즉 음극 활물질 층은, 리튬 이온들(또는 다른 캐리어 이온들)이 그를 통해 음극 활물질 층에 진입하거나 이것을 떠날 수 있는 음극 활물질 층의 측면(즉, 분리기 및 양극 활물질 층과 마주보는 표면)에서 개구들을 갖는 공극들을 포함한다; 예를 들어, 리튬 이온들은 양극 활물질 층을 떠난 후에 공극 개구들을 통하여 음극 활물질 층에 진입할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 공극 부피는 폐쇄된 공극들을 포함하는데, 즉 음극 활물질 층은 음극 활물질에 의해 에워싸이는 공극들을 포함한다. 일반적으로, 개방 공극들은 캐리어 이온들에 대한 더 큰 계면 표면적을 제공할 수 있는 반면에 폐쇄된 공극들은 고체 전해질 계면(solid electrolyte interface: SEI)에 덜 민감한 경향이 있는 한편으로, 각각은 캐리어 이온들의 진입 시에 음극 활물질 층의 팽창을 위한 여지를 제공한다. 따라서, 소정 실시예들에서, 음극 활물질 층이 개방 및 폐쇄된 공극들의 조합을 포함하는 것이 바람직하다.

[0075] 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 다공성 알루미늄, 주석 또는 실리콘, 또는 이것들의 합금을 포함한다. 다공성 실리콘 층들은, 예를 들어 양극산화(anodization)에 의해, 에칭에 의해(예를 들어, 단결정 실리콘의 (100) 표면상에 금, 백금, 은 또는 금/팔라듐과 같은 귀금속들을 피착하고 그 표면을 플루오르화 수소산과 과산화수소의 혼합물로 에칭하는 것에 의해), 또는 패터닝된 화학적 에칭과 같은 본 기술 분야에 알려진 다른 방법들에 의해 형성될 수 있다. 추가적으로, 다공성 음극 활물질 층은 일반적으로 적어도 약 0.1의 그러나 0.8 미만의 다공률(porosity fraction)과 약 1 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 5 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가지고, 약 0.15 내지 약 0.75의 다공률을 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 다공성 실리콘을 포함하고, 약 10 내지 약 80 마이크로미터의 두께를 가지고, 약 0.15 내지 약 0.7의 다공률을 갖는다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 다공성 실리콘을 포함하고, 약 20 내지 약 50 마이크로미터의 두께를 가지며, 약 0.25 내지 약 0.6의 다공률을 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 다

공성 실리콘 합금(니켈 실리사이드와 같은 것)을 포함하고, 약 5 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가지며, 약 0.15 내지 약 0.75의 다공률을 가진다.

[0076] 또 다른 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은, 알루미늄, 주석 또는 실리콘, 또는 이것들의 합금의 파이버들을 포함한다. 개개의 파이버들은, 약 5nm 내지 약 10,000nm의 직경(두께 치수) 및 음극 활물질 층(49)의 두께에 일반적으로 해당되는 길이를 가질 수 있다. 실리콘의 파이버들(나노와이어들)은, 예를 들어, CVD, 또는 VLS(vapor liquid solid) 성장 및 SLS(solid liquid solid) 성장과 같은 본 기술 분야에 알려진 기타 기술들에 의해 형성될 수 있다. 추가적으로, 음극 활물질 층(49)은 일반적으로 적어도 약 0.1의 그러나 0.8 미만의 다공률과 약 1 내지 약 200 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 실리콘 나노와이어들을 포함하고, 약 5 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가지고, 약 0.15 내지 약 0.75의 다공률을 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 실리콘 나노와이어들을 포함하고, 약 10 내지 약 80 마이크로미터의 두께를 가지고, 약 0.15 내지 약 0.7의 다공률을 갖는다. 추가적 예를 들면, 이런 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 실리콘 나노와이어들을 포함하고, 약 20 내지 약 50 마이크로미터의 두께를 가지며, 약 0.25 내지 약 0.6의 다공률을 가진다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 실리콘 합금(니켈 실리사이드와 같은 것)의 나노와이어들을 포함하고, 약 5 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가지며, 약 0.15 내지 약 0.75의 다공률을 가진다.

[0077] 상당한 파이버 대 파이버 편차가 있을 수 있지만, 알루미늄, 주석 또는 실리콘(또는 이것의 합금)의 나노와이어들은 (음극 활물질 층에의 나노와이어의 부착 지점에서) 음극 백본(51)에 대부분 수직인 주축들(때때로 중심축으로 지칭됨)을 가진다.

[0078] 또 다른 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은, 실리콘 또는 이것의 합금 및 다공성 실리콘 또는 이것의 합금의 나노와이어들을 포함한다. 이런 실시예들에서, 음극 활물질 층은, 다공성 실리콘 및 실리콘 나노와이어들과 관련하여 앞서 설명된 바와 같이, 일반적으로 적어도 약 0.1의 그러나 0.8 미만의 다공률과 약 1 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가질 것이다.

[0079] 도 4를 이제 참조하면, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)는 음극 버스(23)의 내부 표면(27)으로부터 연장되고 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)는 양극 버스(24)의 내부 표면(28)으로부터 연장되는데, 내부 표면들(27, 28)은 서로 마주보거나 대향하고 있다. 음극 버스(23)는 음극 집단의 각각의 멤버(21)를 음극 집단의 다른 멤버들에게 전기적 접속시키는 전기적 도전성 물질을 포함한다. 유사하게, 양극 버스(24)는 양극 집단의 각각의 멤버(22)를 서로에게 전기적 접속시키는 전기적 도전성 물질을 포함한다. 설명이 용이하도록, 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)(도 2, 3을 참조)은 생략되었다.

[0080] 도 5를 이제 참조하면, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)는 음극 버스(23)의 내부 표면(27)에 인접한 바닥부(31), 내부 표면(27)으로부터 말단에 있는 상부(33), 폭  $W_{NE}$ , 길이  $L_{NE}$  및 종축  $A_{NE}$ 를 갖는다. 길이  $L_{NE}$ 는 바닥부(31)와 상부(33) 사이의 거리에 해당되고, 내부 표면(27)으로부터 실질적으로 방향 D에 수직인 종축  $A_{NE}$ 을 따른 방향으로 측정된다. 도 2에 묘사된 X-Y-Z 좌표계의 맥락 하에서, 길이  $L_{NE}$ 는 "X" 축을 따라 (및 방향D에 수직으로) 측정된다.

[0081] 도 7을 이제 참조하면, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)는 폭  $W_{NE}$ , 높이  $H_{NE}$  및 주위 길이  $P_{NE}$ 를 갖는데, 여기서 폭  $W_{NE}$ 과 높이  $H_{NE}$ 는 서로에게 및 길이  $L_{NE}$ 가 측정되는 방향에게 수직한 방향들로 측정된다. 이 실시예에서, 주위 길이  $P_{NE}$ 는  $2W_{NE} + 2H_{NE}$ 와 동등한 값을 갖는다. 폭  $W_{NE}$ 과 높이  $H_{NE}$ 는 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 달라질 것이지만, 많은 실시예들에서  $W_{NE}$ 의 값은 약 0.01 mm 내지 2.5 mm 범위 내에 있을 것이고,  $H_{NE}$ 의 값은 약 0.05 mm 내지 10 mm 범위 내에 있을 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 는 약 0.025 mm 내지 약 2 mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 는 약 0.05 mm 내지 약 1 mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $H_{NE}$ 는 약 0.05 mm 내지 약 5 mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $H_{NE}$ 는 약 0.05 mm 내지 약 1 mm 범위에 있을 것이다. 일반적으로,  $L_{NE}$ (도 5 참조)는 실질적으로 각각의  $W_{NE}$  및  $H_{NE}$ 보다 더 클 것이다; 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 와  $H_{NE}$ 의 각각에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1 이다(즉,  $W_{NE}$ 에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1 이고,  $H_{NE}$ 에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이다). 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$  및  $H_{NE}$ 의 각각에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 적어도 10:1 이다. 추가적

예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$  및  $H_{NE}$ 의 각각에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 적어도 15:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 와  $H_{NE}$ 의 각각에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 적어도 20:1 이다. 또한,  $L_{NE}$ 가 주위 길이  $P_{NE}$ 보다 실질적으로 더 큰 것이 일반적으로 바람직하다; 예를 들어, 일 실시예에서,  $P_{NE}$ 에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 1.25:1이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_{NE}$ 에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 2.5:1 이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_{NE}$ 에 대한  $L_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 3.75:1 이다. 또한,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 일반적으로 제각기 적어도 0.4:1 일 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 2:1 일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 10:1 일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 제각기 적어도 20:1 일 것이다. 그러나, 전형적으로,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 일반적으로 제각기 1,000:1보다 작을 것이다. 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 제각기 500:1 보다 작을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 제각기 100:1 보다 작을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 제각기 10:1 보다 작을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{NE}$ 에 대한  $H_{NE}$ 의 비는 제각기 약 2:1 내지 약 100:1범위에 있을 것이다. 도 2에 묘사된 X-Y-Z 좌표계의 맥락에서, 길이  $L_{NE}$  는 "X" 축을 따라 (및 방향 D에 수직으로) 측정되고,  $W_{NE}$ 는 "Y" 축을 따라 측정되고,  $H_{NE}$ 는 "Z" 축을 따라 측정된다.

[0082] 전형적으로, 음극 백본(51)은 음극의 폭  $W_{NE}$ 와 동일한 방향으로 측정될 때 적어도 1 마이크로미터의 두께를 가질 것이다(도 7 참조). 음극 백본(51)은 실질적으로 더 두꺼울 것이지만, 전형적으로 100 마이크로미터를 초과하는 두께를 갖지는 않을 것이다; 더 큰 두께가 가능하기는 하지만, 에너지 밀도에 부정적 영향을 줄 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 백본(51)은 약 1 내지 약 50 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 일반적으로, 음극 백본(51)은 적어도 약 50 마이크로미터의, 보다 전형적으로 적어도 약 100 마이크로미터의 높이( $H_{NB}$ )(음극의 높이  $H_{NE}$  와 동일한 방향으로 측정될 때의 것)를 가질 것이다. 그러나, 일반적으로, 음극 백본(51)은 전형적으로 약 10,000 마이크로미터보다 크지 않은, 및 더 전형적으로는 약 5,000 마이크로미터보다 크지 않은 높이를 가질 것이다. 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 백본(51)은 약 5 내지 약 50 마이크로미터의 두께와 약 50 내지 약 5,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 백본(51)은 약 5 내지 약 20 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 백본(51)은 약 5 내지 약 20 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 2,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다.

[0083] 음극 활물질 층(49)은 적어도 1 마이크로미터의 두께(예를 들어, 도 3에 도해진 전류 컬렉터 층(47)과 전기적 절연성 분리기 층(43) 사이의 최단 거리이고 및 음극의 폭  $W_{NE}$ 와 동일한 방향으로 측정될 때의 것)를 가질 것이다. 그러나, 일반적으로 음극 활물질 층(49)은 200 마이크로미터를 초과하지 않는 두께를 전형적으로 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 1 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 2 내지 약 75 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 10 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 5 내지 약 50 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 또한, 음극 백본(51)의 각각의 측면들상에서의 음극 활물질의 층(49)은 적어도 약 50 마이크로미터의, 보다 전형적으로는 적어도 약 100 마이크로미터의 높이(도 5에 도해진 것과 같은 음극의 높이  $H_{NE}$ 에 대응하는 방향으로 측정될 때의 것)를 가질 것이다. 그러나, 일반적으로, 음극 활물질 층(49)은 전형적으로 약 10,000 마이크로미터보다 크지 않은, 및 보다 전형적으로는 약 7,500 마이크로미터보다 크지 않은 높이를 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 1 내지 약 200 마이크로미터의 두께와 약 50 내지 약 7,500 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 1 내지 약 50 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 5 내지 약 20 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 10 내지 약 100 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)은 약 5 내지 약 50 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다.



[0084] 도 6을 이제 참조하면, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)는 양극 버스(24)의 내부 표면(28)에 인접한 바닥부(32), 양극 기관 표면(26)으로부터 말단에 있는 상부(34), 폭  $W_{PE}$ , 길이  $L_{PE}$  및 종축  $A_{PE}$ 를 갖는다. 길이  $L_{PE}$ 는 바닥부(32)와 상부(34) 사이의 거리에 해당되고, 내부 표면(28)으로부터 실질적으로 방향 D에 수직인 종축  $A_{PE}$ 를 따른 방향으로 측정된다. 도 2에 묘사된 X-Y-Z 좌표계의 맥락에서, 길이  $L_{PE}$ 는 "X" 축을 따라 (및 방향 D에 수직으로) 측정된다.

[0085] 도 8을 이제 참조하면, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)는 폭  $W_{PE}$ , 높이  $H_{PE}$  및 주위 길이  $P_{PE}$ 를 갖는데, 여기서 폭  $W_{PE}$ 와 높이  $H_{PE}$ 는 서로에게 및 길이  $L_{PE}$ 가 측정되는 방향에 수직인 방향으로 측정된다. 이 실시예에서, 주위 길이  $P_{PE}$ 는  $2W_{PE}+2H_{PE}$ 와 동등한 값을 갖는다. 폭  $W_{PE}$ 와 높이  $H_{PE}$ 는 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 좌우되어 달라질 것이지만, 많은 실시예들에서,  $W_{PE}$ 는 약 0.01 mm 내지 2.5 mm 범위 내에 포함될 것이고,  $H_{PE}$ 의 값은 약 0.05 mm 내지 10 mm 범위 내에 포함될 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 는 약 0.025mm 내지 약 2 mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 는 약 0.05mm 내지 약 1mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $H_{PE}$ 는 약 0.05mm 내지 약 5mm 범위에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $H_{PE}$ 는 약 0.05mm 내지 약 1mm 범위에 있을 것이다. 일반적으로,  $L_{PE}$ (도 6 참조)는 각각의  $W_{PE}$ 와  $H_{PE}$ 보다 실질적으로 더 클 것이다; 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 와  $H_{PE}$ 의 각각에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이다(즉,  $W_{PE}$ 에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이고,  $H_{PE}$ 에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 5:1이다). 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 와  $H_{PE}$ 의 각각에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 적어도 10:1이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 와  $H_{PE}$ 의 각각에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 적어도 15:1이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 와  $H_{PE}$ 의 각각에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 적어도 20:1이다. 또한,  $L_{PE}$ 가 실질적으로 주위 길이  $P_{PE}$ 보다 더 큰 것이 일반적으로 바람직하다; 예를 들어, 일 실시예에서,  $P_{PE}$ 에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 1.25:1이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_{PE}$ 에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 2.5:1이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $P_{PE}$ 에 대한  $L_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 3.75:1이다. 또한,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 일반적으로 제각기 적어도 0.4:1일 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 2:1일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 10:1일 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 제각기 적어도 20:1일 것이다. 그러나, 전형적으로,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 일반적으로 제각기 1,000:1보다 작을 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 제각기 500:1보다 작을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 제각기 100:1보다 작을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 제각기 10:1보다 작을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서,  $W_{PE}$ 에 대한  $H_{PE}$ 의 비는 제각기 약 2:1 내지 약 100:1 범위에 있을 것이다. 도 2에 묘사된 X-Y-Z 좌표계의 맥락에서, 양호한 실시예에서, 길이  $L_{PE}$ 는 "X" 축을 따라 (및 방향 D에 수직으로) 측정되고,  $W_{PE}$ 는 "Y" 축을 따라 측정되고,  $H_{PE}$ 는 "Z" 축을 따라 측정된다.

[0086] 전형적으로, 양극 백본(52)은 양극의 폭  $W_{PE}$ 와 동일한 방향으로 측정될 때 적어도 1 마이크로미터의 두께를 가질 것이다(도 8 참조). 양극 백본(52)은 실질적으로 더 두꺼울 수 있지만, 일반적으로는 100 마이크로미터를 초과하는 두께를 갖지 않을 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 양극 백본(52)은 약 1 내지 약 50 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 일반적으로, 양극 백본(52)은 적어도 약 50 마이크로미터의, 보다 전형적으로는 적어도 약 100 마이크로미터의 높이  $H_{PE}$ (음극의 높이  $H_{NE}$ 와 동일한 방향으로 측정될 때의 것)를 가질 것이다. 그러나, 일반적으로, 양극 백본(52)은 약 10,000 마이크로미터보다 크지 않은, 및 더 전형적으로는 약 5,000 마이크로미터보다 크지 않은 높이를 전형적으로 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 양극 백본(52)은 약 5 내지 약 50 마이크로미터의 두께와 약 50 내지 약 5,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 백본(52)은 약 5 내지 약 20 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 백본(52)은 약 5 내지 약 20 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 2,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다.

- [0087] 양극 활물질 층(50)은 적어도 1 마이크로미터의 두께(예를 들어, 도 3에 도해된 것과 같은 전류 컬렉터 층(48)과 전기적 절연성 분리기 층(43) 사이의 최단 거리이고 및 양극의 폭  $W_{PE}$ 와 동일한 방향으로 측정될 때의 것)를 가질 것이다. 그러나, 일반적으로 양극 활물질 층(50)은 500 마이크로미터를 초과하지 않는 두께를 전형적으로 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 1 내지 약 200 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 2 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 10 내지 약 100 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 5 내지 약 50 마이크로미터의 두께를 가질 것이다. 또한, 양극 백본(51)의 각각의 측면들상에서의 양극 활물질의 층(50)은 적어도 약 50 마이크로미터의, 보다 전형적으로는 적어도 약 100 마이크로미터의 높이(도 6에 도해된 것과 같은 양극의 높이  $H_{PE}$ 에 해당되는 방향으로 측정될 때의 것)를 가질 것이다. 그러나, 일반적으로, 양극 활물질 층(50)은 약 10,000 마이크로미터보다 크지 않은, 및 보다 전형적으로는 약 7,500 마이크로미터보다 크지 않은 높이를 전형적으로 가질 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 1 내지 약 200 마이크로미터의 두께와 약 50 내지 약 7,500 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 1 내지 약 50 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 5 내지 약 20 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 10 내지 약 100 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 활물질 층(50)은 약 5 내지 약 50 마이크로미터의 두께와 약 100 내지 약 1,000 마이크로미터의 높이를 가질 것이다.
- [0088] 도 9를 이제 참조하면, 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 양극 버스(24)의 표면(28)으로부터 음극 버스(23)의 표면(27)까지 연장하고, 제각기 멤버들(22 및 21)의 길이들  $L_{PE}$ 와  $L_{NE}$ 의 전부에 대하여, 제각기 멤버들(22 및 21)의 축들  $A_{PE}$  및  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고, 미세다공성 분리기 물질은, 제각기 멤버들(22 및 21)의 길이들  $L_{PE}$ 와  $L_{NE}$ 의 전부에 대하여, 제각기 멤버들(22 및 21)의 축들  $A_{PE}$  및  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 전기적 절연성 물질 층(43)은 음극(21)의 상부(33)와 양극 버스(24)의 표면(28) 사이에 영역에서 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 또한 포함한다. 그러므로, 이 실시예에서 전기적 절연성 물질 층(43)은 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)와 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)를 둘러싼다; 다르게 말하면, 이 실시예에서, 전기적 절연성 물질 층(43)은: (i) 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 전체 길이  $L_{NE}$ 에 대한 각각의 멤버(21)의 종축  $A_{NE}$  및 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 상부(33)를 둘러싸고 및 (ii) 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 전체 길이  $L_{PE}$ 에 대한 각각의 멤버(22)의 종축  $A_{PE}$  및 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 상부(34)를 둘러싼다.
- [0089] 도 10을 이제 참조하면, 일 실시예에서 본 발명의 3차원 배터리(70)가 배터리 인클로저(72), 전극 스택(74), 외부 에너지 공급 장치 또는 소비자(도시 생략)에게 전극 스택(74)을 전기적 접속하기 위한 음극 탭(41) 및 양극 탭(42)을 포함한다. 전극 스택(74)은 각각의 전극 구조(20) 내의 상호 맞물린 전극들의 시리즈의 전진 방향과 수직인 방향으로 적층된 여섯 개의 전극 구조(20)(도 2 참조)를 포함한다; 다시 도 2를 참조하면, 이 실시예에서 여섯 개의 전극 구조를 적층하는 방향은 도 2에 도해된 X-Y-Z 좌표계와 관련하여 "Z" 방향으로이고 방향 D와 직교한다. 수직 스택(74) 내의 전극 구조들의 수는 중요한 것이 아니며, 예를 들어 1 내지 50 범위에 있을 수 있는데, 전극 스택 내의 2 내지 20개의 전극 구조들이 전형적인 것이다. 비수성 전해질로 배터리 인클로저를 채운 후에, 배터리 인클로저(72)는 힌지(72B)로 뚜껑(72A)을 열고 상부 표면(72C)에 뚜껑(72A)을 접촉시킴으로써 밀봉될 수 있다.
- [0090] 일 실시예에서, 음극 탭 연장부(25)는 (예를 들어 전기적 도전성 접착체를 사용하여) 스택(74)의 각각의 전극 구조(20)의 음극 버스(23)에 전기적 접속되고, 양극 탭 연장부(26)는 (예를 들어 전기적 도전성 접착체를 사용하여) 스택(74)의 각각의 전극 구조(20)의 양극 버스(24)에 전기적 접속된다. 도해된 것처럼, 음극 탭 연장부(25)는 음극 버스(23)에 전기적 접속되고 양극 탭 연장부(26)는 여섯 개의 전극 구조(20)의 각각의 구조의 양극 버스(24)에 전기적 접속된다; 기타 실시예들에서, 음극 및 양극 탭 연장부들(25, 26)은 전극 스택(74) 내의 더 많은 수의 또는 더 적은 수의 음극 및 양극 버스들에 전기적 접속될 수 있고 또한 예를 들어 1 내지 50 범위에 있을 수 있는데, 2 내지 20 범위가 전형적인 것이다. 대안적 일 실시예에서 및 스택의 전극 구조들의 수와 관계없이, 스택(74)은 둘 이상의 음극 탭 연장부들(25) 및 둘 이상의 양극 탭 연장부들(26)을 포함할 수 있다.

- [0091] 음극 탭(41)과 음극 탭 연장부(25) 및 양극 탭(42)과 양극 탭 연장부(42)는 소정 범위의 전기적 도전성 물질들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 탭(41), 음극 탭 연장부(25), 양극 탭(42) 및 양극 탭 연장부(42)는 실리콘, 탄소, 탄소 복합체들, 금속 실리콘사이드들, 및 그와 유사한 것과 같은 전기적 도전성 물질을 독립적으로 포함한다. 양극 탭과 양극 탭 연장부를 위한 예시적 물질들은 양극 버스를 위해 확인된 것들과 동일한 물질들을 포함하고 음극 탭과 음극 탭 연장부를 위한 예시적 물질들은 음극 버스를 위해 확인된 것들과 동일한 물질들을 포함한다.
- [0092] 음극 탭(41), 음극 탭 연장부(25), 양극 탭(42) 및 양극 탭 연장부(26)는 소정 범위의 기법들로 제각기 음극 버스(23) 및 양극 버스(24)에 부착될 수 있다. 탭들, 탭 연장부들, 및 버스들의 부착을 위한 방법들은 접착, 땀납, 본딩, 소결, 프레스 접촉(press contacting), 브레이징(brazing), 용사 접합(thermal spraying joining), 클램핑, 또는 이것들의 조합들을 포함할 수 있다. 접착은 도전성 에폭시들, 도전성 탄성중합체들, 니켈 충전된 에폭시, 탄소 충전된 에폭시 등등과 같은, 도전성 금속들로 채워진 절연성 유기 접착제의 혼합물들과 같은 도전성 물질들로 물질들을 접합할 수 있다. 도전성 페이스트들이 물질들을 함께 접합하는데 사용될 수 있고, 접합 강도는 온도(소결), 광(UV 경화, 가교화), 화학적 경화(촉매 기반 가교화)에 의해 맞춤화될 수 있다. 본딩 공정들은 와이어 본딩, 리본 본딩, 초음파 본딩을 포함할 수 있다. 용접 공정들은 초음파 용접, 저항 용접, 레이저 빔 용접, 전자 빔 용접, 유도 용접, 및 냉간 용접을 포함할 수 있다. 이들 물질들의 접합은 또한, 물질들을 함께 접합하기 위해, 플라스마 용사, 화염 용사, 아크 용사와 같은 용사 코팅과 같은 코팅 공정을 사용함으로써 수행될 수 있다. 예를 들어, 니켈 또는 구리 메시가 니켈의 용제(thermal spray)를 접착제로서 이용하여 니켈 버스상에 접합될 수 있다.
- [0093] 도 11을 이제 참조하면, 배터리 인클로저(72)가 비수성 전해질(도시 생략)로 채워지고, 뚜껑(72A)이 전극 스택(74)을 에워싸기 위해 상부 표면 위에 접혀서 이것을 밀봉할 수 있다(도 10 참조). 에너지 공급 장치 또는 소비자(도시 생략)에의 접속을 허용하기 위해, 탭들(41, 42)이, 전극 스택(74)의 개개의 전극 구조들(20)의 적층 방향과 직교하고 또한 전극 스택(74)의 각각의 전극 구조(20) 내의 상호 맞물린 전극들의 시리즈의 전진 방향과 평행한 방향으로, 밀봉된 인클로저의 바깥으로 연장된다.
- [0094] 소정 실시예들에서, 배터리 인클로저는 서로에 대하여 수직으로, 수평으로 또는 수직으로 및 수평으로 적층되는 둘 이상의 전극 구조들(때때로 다이들로 지칭되기도 함)을 포함할 수 있고, 탭 연장부들은 배터리의 외부 환경에의 전기적 접속을 제공하기 위해 각각의 전극에 접속된다. 다이들이 수직으로 적층될 때, 상이한 전극 구조들의 음극들(또는 존재한다면 어느 것이든 간에 음극 버스들)의 집단들의 바닥부들이 서로에 대하여 수직으로 위치되고, 상이한 전극 구조들의 양극들(또는 존재한다면 어느 것이든 간에 양극 버스들)의 집단들의 바닥부들이 서로에 대하여 수직으로 위치된다. 소정 실시예들에서, 스택의 각각의 전극 구조는 도 2에 도해된 것과 같이 분리기 물질의 상부 및 바닥부 코팅을 갖는다. 그러나, 기타 실시예들에서, 분리기 물질의 상부, 바닥부 또는 상부 및 바닥부 코팅은 생략될 수 있고, 자립형(free-standing) 분리기 층이 전기적 절연을 제공하기 위해 전극 구조들(다이들) 사이에 삽입될 수 있다. 상업적으로 이용 가능한 배터리 분리기들이 바라는 사이즈로 커팅되어 이 목적을 위해 사용될 수 있다. 일단 다이들이 적층되면, 몇몇 실시예들에서, 전극 구조들의 양극 및 음극 집단들을 위한 탭 연장부(들)가, 접착, 플라스마 용제, 용접, 기타 등등에 의해 (존재한다면) 전극 버스들의 단자들에 또는 개개의 집단들의 전극 단자들에 전기적 접속될 수 있다. 의도한 응용에 좌우되어, 각각의 탭 연장부는 전극 스택의 개개의 전극 구조(다이)에 접속될 수 있다. 대안적으로, 단일 탭 연장부가 스택의 둘 이상의 전극 구조들(다이)에 전기적 접속될 수 있다; 그러한 일 실시예에서, 탭 연장부는 스택의 높이의 전 범위에 걸쳐 있고(예로 도 10의 (26)을 참조), 스택의 모든 전극 구조들(다이)에의 전기적 접속을 이룬다.
- [0095] 어느 하나를 다른 것 위에 수직으로 하여 다이들을 적층하는 대신에, 일 실시예에서, 다이들은 X 평면에서 서로에게 그 옆에서 타일링된다. 이런 타일링(tiling)은 단 하나의 축(예를 들어, X축만)을 따라 또는 양쪽 축을 따라 일어날 수 있다. 그러한 일 실시예에서, 각각의 다이상의 전극 버스들의 극성은 교호적으로 반전되어서 어느 한 다이로부터의 캐소드 버스는 다음 차례의 다이로부터의 캐소드 버스에 인접하고 또한 어느 한 다이의 애노드 버스는 다음 차례의 다이의 애노드 버스의 다음에 있도록 한다. 이런 방식으로, 공통 탭이 두 개의 인접한 다이에 접속하는데 사용될 수 있어서 중량과 부피를 절감하게 된다. XY 평면에서 타일링할 때, 다중 애노드 및/또는 캐소드 탭이 단일 애노드 접속과 단일 캐소드 접속을 형성하기 위해 함께 접속될 필요가 있을 수 있다. 이는 배터리 인클로저 내부에서 또는 배터리 인클로저 외부에서 달성될 수 있다. 소정 실시예들에서 다중 애노드 탭 및/또는 다중 캐소드 탭은 접속되지 않은 채로 남아 있을 수 있고 배터리 인클로저 바깥으로 나올 수 있다. 대안적으로, 배터리 인클로저 외부로 단일 애노드 및 캐소드 접속을 가져올 수 있다. 이 실시예에서, 캐소드 탭들은 초기에 T 구성의 형상으로 된다. T의 상부는 두 개의 인접한 캐소드 버스에 접속된다. T의 바

닥부는 90도로 구부러지고 타일링된 다이들의 바닥부를 따라 뺏어간다. 다중 캐소드 탭의 바닥부 일부는 타일링된 다이들의 바닥부를 따라 서로의 위에 놓인다. 이들 다중 탭은 이후 저항 용접, 레이저 용접, 스폿 용접으로 함께 전기적 접속될 수 있거나 또는 도전성 접착체로 접속될 수 있다. 이들 캐소드 탭들 중 하나만을 이후 배터리 인클로저 외부로 가져온다. 유사하게, 다중 애노드 탭은 초기에 T 구성의 형상으로 된다. T의 상부는 두 개의 인접한 애노드 버스에 접속된다. T의 바닥부는 90도로 구부러지고 타일링된 다이들의 바닥부를 따라 뺏어간다. 다중 애노드 탭의 바닥부 일부는 타일링된 다이들의 바닥부를 따라 서로의 위에 놓인다. 이들 다중 탭은 이후 저항 용접, 레이저 용접, 스폿 용접에 의해 함께 전기적 접속될 수 있거나 또는 도전성 접착체로 접속될 수 있다. 이들 애노드 탭들 중 하나만을 이후 배터리 인클로저 외부로 가져온다. XY 평면에서의 타일링은 Z 평면에서 다이를 적층하는 것과 또한 조합될 수 있다. 이런 방식으로, 각각의 개개의 다이보다 훨씬 큰 배터리들이 제조될 수 있다.

[0096] 이동 전화 및 컴퓨터와 같은 휴대용 전자 장치용의 리튬 이온 배터리에 대해, 예를 들어, 과우치 또는 기타 종래의 배터리 인클로저가 배터리 인클로저(72)를 대체할 수 있다.

[0097] 이제 도 12를 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)이 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다; 이 실시예에서 전기적 절연성 분리기 층(43)은 음극 멤버들(21)과 양극 멤버들(22)의 인접한 쌍들 사이에 있지만, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싸지 않는다. 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(61, 62) 사이에 및 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(63, 64) 사이에, 전기적 절연성 분리기 층(43)이 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 예를 들어, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 70%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 75%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 80%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 85%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 90%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 95%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 전부에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 각각의 선행의 예시적 실시예들에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 멤버들(21)의 전면(65)과 후면(67)을 둘러싸는 영역에서 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 또한 포함한다.

[0098] 도 13을 이제 참조하면, 대안적 실시예에서, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 높이  $H_{NE}$ 는 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 높이  $H_{PE}$ 보다 작을 수 있다. 이 실시예에서 및 도 12와 관련하여 더 충분히 설명되는 대로, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 음극 집단의 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 대부분(예를 들어, 적어도 70%, 적어도 75%, 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 심지어 전부)에 대해 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 전기적 절연성 분리기 층(43)은 멤버들(21)의 전면(65)과 후면(67)을 둘러싸는 영역에서 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 또한 포함한다.

[0099] 도 14를 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)이 양극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다; 이 실시예에서 전기적 절연성 분리기 층(43)은 음극 멤버들(21)과 양극 멤버들(22)의 인접한 쌍들 사이에 있지만, 음극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸지 않는다. 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(61, 62) 사이에 및 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(63, 64) 사이에, 전기적



절연성 분리기 층(43)이 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 예를 들어, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 70%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 75%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 80%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 85%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 90%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 95%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함하고 미세다공성 분리기 물질은 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 전부에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 각각의 선행의 예시적 실시예들에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 멤버들(22)의 전면(66)과 후면(68)을 둘러싸는 영역에서 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 또한 포함한다.

[0100]

대안 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 도 14와 관련하여 기술된 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러쌀 수 있지만, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 높이  $H_{NE}$ 는 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 높이  $H_{PE}$ 보다 클 수 있다. 이 대안 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 양극 집단의 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 대부분(예를 들어, 적어도 70%, 적어도 75%, 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90%, 적어도 95%, 또는 심지어 전부)에 대해 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 전기적 절연성 분리기 층(43)은 멤버들(22)의 전면(66)과 후면(68)을 둘러싸는 영역에서 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 또한 포함한다.

[0101]

도 15를 이제 참조하면, 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(43, 86 및 88)은, 조합되어, (i) 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$  및 (ii) 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 전기적 절연성 분리기 층(43)은 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(61, 62) 사이의 및 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 영역에서 (전술된 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 멤버들(21)과 멤버들(22) 사이의 이온 전달을 위한 1차 경로가 이들 멤버들의 측면들 사이에 생기기 때문에, 전기적 절연성 분리기 층들(86, 88)은 2차 배터리에 사용하는 데에 적절한 임의의 전기적 절연성 물질을 포함할 수 있다; 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(86, 88)은 캐리어 이온들(예를 들어, 리튬 이온들)에 대해 낮은 전자 및 이온 도전율을 갖는 전기적 절연성 물질을 포함한다. 예를 들어, 일 실시예에서, 전기적 절연성 물질은  $1 \times 10^{-4}$  S/cm의 캐리어 이온들(예를 들어, 리튬)에 대한 도전율을 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 미립자 물질은  $1 \times 10^{-5}$  S/cm 미만의 캐리어 이온들에 대한 도전율을 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 미립자 물질은  $1 \times 10^{-6}$  S/cm 미만의 캐리어 이온들에 대한 도전율을 갖는다. 예시적 미립자 물질들은 미세다공성 분리기 물질을 위한 예시적 미립자 물질로서 앞서 확인된 물질들 중 임의의 것을 포함한다. 예시적 일 실시예에서, 전기적 절연성이 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 70%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸고, 또한 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 70%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 75%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸고, 또한 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 75%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이

$L_{NE}$ 의 적어도 80%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸고, 또한 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 80%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 85%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸고, 또한 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 85%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 90%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸고, 또한 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 90%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 95%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸고, 또한 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 95%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 전부에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싸고, 또한 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 전부에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다.

[0102] 도 16을 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 이 실시예에서 전기적 절연성 분리기 층(43)은 양극들의 집단의 멤버들(22)과 음극들의 집단의 멤버들(21) 사이에 있고 전기적 절연성 분리기 층들(86 및 88)은 어딘가 다른 곳에 있다. 예를 들어, 이 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(61, 62) 사이의 및 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 영역에서 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 그러나, 멤버들(21)과 멤버들(22) 사이의 이온 전달을 위한 1차 경로가 이들 멤버들의 측면들 사이에 생기기 때문에, 전기적 절연성 분리기 층(86, 88)은 미세다공성 분리기 물질을 포함할 필요가 없다; 그 대신에, 전기적 절연성 분리기 층들(86, 88)은 도 15와 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 캐리어 이온들(예를 들어, 리튬 이온들)에 실질적으로 불침투성(impermeable)인 전기적 절연성 물질을 선택 사항으로 포함할 수 있다. 그러한 예시적 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(43, 86, 및, 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 70%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 75%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 80%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 85%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 90%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 95%에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 전부에 대해 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다.

[0103] 도 17을 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 이 실시예에서 전기적 절연성 분리기 층(43)은 양극들의 집단의 멤버들(22)과 음극들의 집단의 멤버들(21) 사이에 있고 전기적 절연성 분리기 층들(86 및 88)은 어딘가 다른 곳에 있다. 예를 들어, 이 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(61, 62) 사이의 및 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 영역에서 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 그러나, 멤버들(21)과 멤버들(22) 사이의 이온 전달을 위한 1차 경로가 이들 멤버들의 측면들 사이에 생기기 때문에, 전기적 절연성 분리기 층(86, 88)은 미세다공성 분리기 물질을 포함할 필요가 없다; 그 대신에, 전기적 절연성 분리기 층들(86, 88)은 도 15와 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 캐리어 이온들(예를 들어, 리튬 이온들)에 실질적으로 불침투성인 전기적 절연성 물질을 선택 사항으로 포함할 수 있다. 그러한 예시적 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(43, 86, 및, 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 70%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일

실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 75%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 80%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 85%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 90%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 95%에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 추가적 예를 들면, 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43, 86, 및 88)은, 조합되어, 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 전부에 대해 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다.

[0104]

도 18을 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(43, 86 및 88)은, 조합되어, (i) 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$  및 (ii) 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 를 둘러싼다. 도 15와 관련하여 설명한 대로, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(61, 62) 사이의 및 제각기 멤버들(21, 22)의 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 영역에서 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 멤버들(21)과 멤버들(22) 사이의 이온 전달을 위한 1차 경로가 이들 멤버들의 측면들 사이에 생기기 때문에, 전기적 절연성 분리기 층들(86, 88)은 2차 배터리에 사용하는 데에 적절한 임의의 전기적 절연성 물질을 포함할 수 있다; 그러한 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(86, 88)은 도 15와 관련하여 설명된 대로 캐리어 이온들(예를 들어, 리튬 이온들)에 대해 실질적으로 불침투성인 전기적 절연성 물질을 포함한다. 이 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(86)은 제각기 멤버들(21, 22)의 전면들(65, 66)을 넘어서서 또한 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 영역 내로 연장된다. 전기적 절연성 분리기 층(88)은 제각기 멤버들(21, 22)의 후면들(67, 68)을 넘어서서 또한 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 영역 내로 연장된다. 일 실시예에서, 예를 들어 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 70 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 75 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 80 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 85 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 90 vol%를 구성한다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서 및 미세다공성 분리기 물질의 다공률을 무시하면, 미세다공성 분리기 물질은 제각기 멤버들(21 및 22)의 대향하는 측면들(61, 62)과 대향하는 측면들(63, 64) 사이의 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)의 적어도 95 vol%를 구성한다.

[0105]

도 19를 이제 참조하면, 일 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층들(43, 82 및 84)은 제각기 양극 및 음극의 집단의 각각의 멤버(22)와 각각의 멤버(21)를 둘러싼다. 그러나, 이 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 물질 층(43)은 제각기 멤버들(22 및 21)의 길이들  $L_{PE}$  및  $L_{NE}$ 의 일부분(fraction)에 대해 각각의 멤버(22) 및 각각의 멤버(21)의 축들  $A_{PE}$  및  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 다르게 말하면, 이 실시예에서 전기적 절연성 분리기 층(43)은 각각의 멤버(21, 22)의 대향하는 측면들 사이의 영역에 있고, 전기적 절연성 분리기 층(43)은 각각의 멤버(21, 22)의 전면들(65, 66)을 도포하고(도 3 참조), 전기적 절연성 분리기 층(43)은 각각의 멤버(21, 22)의 후면들(67, 68)을 도포하며(도 3 참조), 전기적 절연성 분리기 층(82)은 음극(21)의 상부(33)와 양극 버스 바(24) 사이의 영역에 있고, 전기적 절연성 분리기 층(84)은 양극(22)의 상부(34)와 음극 버스 바(23) 사이의 영역에 있다. 길이  $L_{82}$ 는 전기적 절연성 분리기 층(82)의 길이에 해당되고, 길이  $L_{84}$ 는 전기적 절연성 분리기 층(84)의 길이에

해당되고,  $L_{43}$ 은 전기적 절연성 분리기 층(43)의 길이에 해당된다. 예를 들어, 이 실시예에서, 전기적 절연성 분리기 층(43)은, (i) 음극 집단의 각각의 멤버(21)의 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 대부분(예를 들어, 적어도 70%, 적어도 75%, 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90% 또는 심지어 적어도 95%)이지만 그 전부보다는 작은 것에 대해 음극들의 집단의 각각의 멤버(21)의 축  $A_{NE}$ 를 둘러싼다. 다르게 말하면, 이 실시예에서, 길이  $L_{43}$ 은 길이  $L_{NE}$ 의 적어도 70%, 적어도 75%, 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90% 또는 심지어 적어도 95%이지만 그 전부보다는 작다. 또한, 이 실시예에서, 양극 집단의 각각의 멤버(22)의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 대부분(예를 들어, 적어도 70%, 적어도 75%, 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90% 또는 심지어 적어도 95%)이지만 그 전부보다는 작은 것에 대해 양극들의 집단의 각각의 멤버(22)의 축  $A_{PE}$ 에 대한 소정 관계가 있다. 다르게 말하면, 이 실시예에서, 길이  $L_{43}$ 은 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 70%, 적어도 75%, 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90% 또는 심지어 적어도 95%이지만 그 전부보다는 작다. 전기적 절연성 분리기 층(43)은 (전술한 바와 같은) 미세다공성 분리기 물질을 포함한다. 그러나, 멤버들(21)과 멤버들(22) 사이의 이온 전달을 위한 1차 경로가 이들 멤버들의 측면들 사이에 생기기 때문에, 전기적 절연성 분리기 층(82, 84)은 미세다공성 분리기 물질을 포함할 필요가 없다; 그 대신에, 전기적 절연성 분리기 층들(82, 84)은 도 15와 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 캐리어 이온들(예를 들어, 리튬 이온들)에 실질적으로 불침투성인 전기적 절연성 물질을 선택 사항으로 포함할 수 있다.

[0106]

대안 실시예들에서, 전기적 절연성 분리기 층(82)은 음극(21)의 상부(33)와 양극 버스 바(24) 사이의 영역에 있고, 전기적 절연성 분리기 층(84)은 도 19와 관련하여 완전히 기술된 것처럼 양극(22)의 상부(34)와 음극 버스 바(23) 사이의 영역에 있지만, 그러나 이들 두 개의 영역 사이에서 멤버들(21 및 22)은 도 12- Z와 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 자신들의 길이들을 따라 전기적 격리될 수 있다. 다르게 말하면, 그와 같은 대안적 실시예에서, 멤버들(21)은 전기적 절연성 분리기 물질에 의해 둘러싸이지만, 멤버들(22)은 도 12 및 도 13과 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 그렇지 않다. 또 다른 그와 같은 대안 실시예에서, 멤버들(22)은 전기적 절연성 분리기 물질에 의해 둘러싸이지만, 멤버들(21)은 도 14와 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 그렇지 않다. 또 다른 그와 같은 대안 실시예에서, 멤버들(21 및 22)은 도 15와 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 전기적 절연성 분리기(43, 86 및 88)에 의해 둘러싸인다. 또 다른 그와 같은 대안 실시예에서, 멤버들(21)은 전기적 절연성 분리기 물질(43, 86 및 88)에 의해 둘러싸이지만, 멤버들(22)은 도 16과 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 그렇지 않다. 또 다른 그와 같은 대안 실시예에서, 멤버들(22)은 전기적 절연성 분리기 물질(43, 86 및 88)에 의해 둘러싸이지만 멤버들(21)은 도 17과 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 그렇지 않다. 또 다른 그와 같은 대안 실시예에서, 멤버들(21 및 22)은 도 18과 관련하여 더 완전히 기술된 것처럼 전기적 절연성 분리기(43, 86 및 88)에 의해 둘러싸인다. 각각의 이들 실시예들에서, 길이  $L_{43}$ 은 길이  $L_{PE}$  및/또는  $L_{NE}$ 의 적어도 70%, 적어도 75%, 적어도 80%, 적어도 85%, 적어도 90% 또는 심지어 적어도 95%이지만 그 전부보다는 작다.

[0107]

도 20을 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)이 음극 백본(51)과 음극 전류 컬렉터 층(47) 사이에 있다. 이 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은, 이온 및 전자 도전성 모두를 띠는 이온 침투가능 도전체 물질을 포함한다. 달리 말하면, 음극 전류 컬렉터 층(47)은, 이온 침투가능 도전체 층의 어느 한 층상의 바로 인접한 음극 활물질 층(49)과 전기화학적 스택 내의 음극 전류 컬렉터 층의 다른 층상의 바로 인접한 전기적 절연성 분리기 층(43) 사이에서의 캐리어 이온들의 이동을 용이하게 하는 캐리어 이온들에 대한 두께, 전기 전도도, 및 이온 전도도를 가진다. 상대 평가 기반에서, 음극 전류 컬렉터 층은, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때 그 이온 컨덕턴스보다 더 큰 전기 컨덕턴스(electrical conductance)를 가진다. 예를 들어, 음극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 전형적으로 적어도 1,000:1일 것이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 5,000:1이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 10,000:1이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 50,000:1이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 100,000:1이다.



[0108] 일반적으로, 음극 전류 컬렉터 층(47)이 이온 침투가능 도전체 층일 때, 이것은 적어도 약 300 옹스트롬의 두께를 가질 것이다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 이것은 약 300-800 옹스트롬 범위의 두께를 가질 수 있다. 그러나, 보다 전형적으로, 이것은 약 0.1 마이크로미터보다 더 큰 두께를 가질 것이다. 일반적으로, 이온적 침투가능 도전체 층은 약 100 마이크로미터보다 크지 않은 두께를 가질 것이다. 따라서, 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 0.1 내지 약 10 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 0.1 내지 약 5 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 0.5 내지 약 3 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 일반적으로, 음극 전류 컬렉터 층(47)의 두께가 대략 균일한 것이 양호하다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)이 약 25% 미만의 두께 불균일성을 갖는 것이 선호되며, 여기서 두께 불균일성은 층의 최대 두께에서 층의 최소 두께를 뺀 값을 평균 층 두께로 나눈 양으로서 정의된다. 소정 실시예들에서, 두께 편차는 더욱 작다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 20% 미만의 두께 불균일성을 가진다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 15% 미만의 두께 불균일성을 가진다. 몇몇 실시예들에서, 이온적 침투가능 도전체 층은 약 10% 미만의 두께 불균일성을 가진다.

[0109] 음극 전류 컬렉터 층(47)이 이온 및 전기적 도전성 모두를 띠는 이온 침투가능 도전체 물질을 포함하는 그런 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은, 2차 전지가 충전하거나 방전되고 있을 때 그런 것처럼, 에너지를 장치에 저장하기 위해 전류가 인가되거나 장치를 방전하기 위해 부하가 인가될 때, 인접한 전기적 절연성 분리기 층(43)의 이온 컨덕턴스와 필적할만한 이온 컨덕턴스를 가질 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은, 장치에 에너지를 저장하기 위한 인가 전류 또는 장치를 방전하기 위한 인가 부하가 있을 때, 분리기 층의 이온 컨덕턴스의 적어도 50%(즉, 제각기 0.5:1의 비)인 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스를 갖는다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 분리기 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 1:1이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 분리기 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 1.25:1이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 분리기 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 1.5:1이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 분리기 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 2:1이다.

[0110] 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 또한 음극 활물질 층(49)의 전기 컨덕턴스보다 실질적으로 더 큰 전기 컨덕턴스를 가진다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)의 전기 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 100:1이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 활물질 층의 전기 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 500:1이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 활물질 층의 전기 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 1000:1이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 활물질 층의 전기 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 5000:1이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 활물질 층의 전기 컨덕턴스에 대한 음극 전류 컬렉터 층(47)의 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 적어도 10,000:1이다.

[0111] 이 실시예에서의 음극 전류 컬렉터 층(47)의 두께(즉, 그 사이에 이온적으로 침투가능한 음극 전류 컬렉터 층(47)이 끼워져 있는 분리기와 음극 활물질 층 간의 최단 거리)는 전기화학적 스택에 대한 층의 조성 및 성능 사양에 의존할 것이다. 일반적으로, 음극 전류 컬렉터 층이 이온적 침투가능 도전체 층일 때, 이것은 적어도 약 300 옹스트롬의 두께를 가질 것이다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 이것은 약 300-800 옹스트롬 범위의 두께를 가질 수 있다. 그러나, 보다 전형적으로, 이것은 약 0.1 마이크로미터보다 더 큰 두께를 가질 것이다. 일

반적으로, 이온적 침투가능 도전체 층은 약 100 마이크로미터보다 크지 않은 두께를 가질 것이다. 따라서, 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 0.1 내지 약 10 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 0.1 내지 약 5 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 0.5 내지 약 3 마이크로미터 범위의 두께를 가질 것이다. 일반적으로, 음극 전류 컬렉터 층(47)의 두께가 대략 균일한 것이 양호하다. 예를 들어, 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)이 약 25% 미만의 두께 불균일성을 갖는 것이 선호되며, 여기서 두께 불균일성은 층의 최대 두께에서 층의 최소 두께를 뺀 값을 평균 층 두께로 나눈 양으로서 정의된다. 소정 실시예들에서, 두께 편차는 더욱 작다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 20% 미만의 두께 불균일성을 가진다. 추가적 예를 들면, 몇몇 실시예들에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 약 15% 미만의 두께 불균일성을 가진다. 몇몇 실시예들에서, 이온적 침투가능 도전체 층은 약 10% 미만의 두께 불균일성을 가진다.

[0112] 양호한 일 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 이온 침투율과 전기 전도도에 기여하는 전기 도전 성분과 이온 도전 성분을 포함하는 이온 침투가능 도전체 층이다. 전형적으로, 전기 도전 성분은, 메시나 패터닝된 표면 형태를 갖는 연속적 전기 도전 물질(연속적 금속(continuous metal) 또는 금속 합금과 같은 것), 막(film), 또는 연속적 전기 도전 물질(연속적 금속 또는 금속 합금과 같은 것)을 포함하는 복합 물질을 포함할 것이다. 또한, 이온 도전 성분은 전형적으로 세공들, 예를 들어 메시의 틈새, 물질 층을 포함하는 패터닝된 금속이나 금속 합금 층의 공간들, 금속 막 내의 세공들, 또는 캐리어 이온들에 대한 충분한 확산성을 갖는 고체 이온 도전체를 포함할 것이다. 소정 실시예들에서, 이온 침투가능 도전체 층은 피착된 다공성 물질, 이온 수송 물질, 이온 반응성 물질, 복합 물질, 또는 물리적 다공성 물질을 포함한다. 다공성이 있다면, 예를 들어 이온 침투가능 도전체 층은 적어도 약 0.25의 공극률을 가질 수 있다. 그러나, 일반적으로, 공극률은 전형적으로 약 0.95를 초과하지 않을 것이다. 더 전형적으로는, 이온 침투가능 도전체 층이 다공성일 때, 공극률은 약 0.25 내지 약 0.85 범위에 있을 수 있다. 몇몇 실시예들에서, 예를 들어, 이온적 침투가능 도전체 층이 다공성일 때, 공극률은 약 0.35 내지 약 0.65 범위에 있을 수 있다.

[0113] 음극 활물질 층(49)과 전기적 절연성 분리기 층(43) 사이에 위치되었으므로, 음극 전류 컬렉터 층(47)은 음극 전류 컬렉터로부터의 전류를 음극 활물질 층의 표면에 걸쳐서 분포시킴으로서 더 균일한 캐리어 이온 수송을 용이하게 할 수 있다. 이는, 다음 차례로, 캐리어 이온들의 보다 균일한 삽입과 추출을 용이하게 할 수 있어서, 사이클링 동안에 음극 활물질 내의 스트레스를 감소시킨다; 음극 전류 컬렉터 층(47)은 분리기와 마주보는 음극 활물질 층의 표면에 전류를 분포시키기 때문에, 캐리어 이온들에 대한 음극 활물질 층의 반응성은 캐리어 이온 농도가 최대인 곳에서 최대가 될 것이다.

[0114] 도 21을 이제 참조하면, 대안 실시예에서, 양극 활물질 층(50)이 양극 백본(52)과 양극 전류 컬렉터 층(48) 사이에 있다. 이 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층(48)은, 이온 및 전자 도전성 모두를 띠는 이온 침투가능 도전체 물질을 포함한다. 달리 말하면, 양극 전류 컬렉터 층은, 이온 침투가능 도전체 층의 어느 한 층상의 바로 인접한 양극 활물질 층(50)과 전기화학적 스택 내의 양극 전류 컬렉터 층의 다른 층상의 바로 인접한 전기적 절연성 분리기 층(43) 사이에서의 캐리어 이온들의 이동을 용이하게 하는 캐리어 이온들에 대한 두께, 전기 전도도, 및 이온 전도도를 가진다. 상대 평가 기반에서, 이 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층은, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때 그 이온 컨덕턴스보다 더 큰 전기 컨덕턴스를 가진다. 예를 들어, 양극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 전형적으로 적어도 1,000:1일 것이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 5,000:1이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 10,000:1이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 50,000:1이다. 추가적 예를 들면, 그와 같은 일 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 적어도 100,000:1이다.

[0115] 도 22를 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 음극 활물질 층(49)이 음극 백본(51)과 음극 전류 컬렉터 층

(47) 사이에 있고, 양극 활물질 층(50)이 양극 백본(52)과 양극 전류 컬렉터 층(48) 사이에 있다. 이 실시예에서, 음극 전류 컬렉터 층(47) 및 양극 전류 컬렉터 층(48)은 이온 및 전자 도전성 모두를 띠는 이온 침투가능 도전체 물질을 포함한다. 달리 말하면, 음극 전류 컬렉터 층 및 양극 전류 칼렉터 층은 각각이 바로 인접한 양극 활물질 층(50)과 음극 활물질 층(49) 사이에서의 캐리어 이온들의 이동을 용이하게 하는 캐리어 이온들에 대한 두께, 전기 전도도, 및 이온 전도도를 갖는다. 상대 평가 기반에서, 이 실시예에서, 양극 전류 컬렉터 층은, 전술한 바와 같이 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 그 이온 컨덕턴스보다 더 큰 전기 컨덕턴스를 갖는다. 예를 들어, 이 실시예에서의 양극 전류 컬렉터 층과 음극 전류 컬렉터 층의 (캐리어 이온들에 대한) 이온 컨덕턴스에 대한 전기 컨덕턴스의 비는, 장치에 에너지를 저장하는 인가된 전류 또는 장치를 방전시키는 인가된 부하가 있을 때, 제각기 전형적으로 적어도 1,000:1일 것이다.

[0116] 도 21 및 도 22를 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 음극(21)은 음극 백본(51), 음극 활물질 층(49), 음극 전류 컬렉터 층(47) 및 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A, 47B)을 포함하고, 양극(22)은 양극 백본(52), 양극 활물질 층(50), 양극 전류 컬렉터 층(48) 및 보충 양극 전류 컬렉터 층들(48A, 48B)을 포함한다. 보충 음극 전류 컬렉터들은 추가적 전기 컨덕턴스를 제공하기 위해 음극 집단 멤버들 및/또는 양극 집단 멤버들 내에 통합될 수 있다.

[0117] 소정 실시예들에서, 보충 음극 전류 컬렉터는 적어도 2 팩터(factor)만큼 음극 전류 컬렉터의 전기 컨덕턴스를 초과하는 전기 컨덕턴스를 갖는다; 소정 실시예들에서, 보충 음극 전류 컬렉터의 전기 컨덕턴스는 적어도 5 또는 심지어 10팩터만큼 음극 전류 컬렉터의 전기 컨덕턴스를 초과한다. 유리하게는, 보충 음극 전류 컬렉터에 의해 제공되는 추가적 전기 컨덕턴스는 음극 전류 컬렉터 층(47)의 전체적 전류 컬렉터 중량과 부피 요구를 허용한다. 또한, 음극 전류 컬렉터 층이 (본 명세서의 다른 곳에서 더 완전하게 설명된 것처럼) 이온 침투가능 전류 컬렉터일 때, 보충 음극 전류 컬렉터는 전극 길이  $L_{NE}$  를 따른 전류의 대부분을 운반할 수 있고, 음극 전류 컬렉터 층은 주로 전류를 전극으로부터 모으고 이것을 보충 음극 전류 컬렉터에게 제공하기 위해 기능할 수 있다. 이는 다음으로 이온 침투가능 전류 컬렉터 층으로부터 요구되는 전자적 컨덕턴스를 감소시키고 또한 이온 침투가능 층이 더 나은 셀 성능을 위해 더 낮은 전자적 도전율과 더 높은 이온 도전율을 갖도록 설계하는 능력을 허용한다.

[0118] 도 23을 이제 참조하면, 일 실시예에서, 음극 집단의 각각의 멤버(21)가 포함하는 음극 전류 도전체 층(47)은 그와 같은 음극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{NE}$  의 적어도 50% 인 길이  $L_{NC}$  를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 집단의 각각의 멤버(21)가 포함하는 음극 전류 도전체 층(47)은 그와 같은 음극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{NE}$  의 적어도 60%인 길이  $L_{NC}$  를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 집단의 각각의 멤버(21)가 포함하는 음극 전류 도전체 층(47)은 그와 같은 음극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{NE}$  의 적어도 70%인 길이  $L_{NC}$  를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 집단의 각각의 멤버(21)가 포함하는 음극 전류 도전체 층(47)은 그와 같은 음극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{NE}$  의 적어도 80%인 길이  $L_{NC}$  를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 음극 집단의 각각의 멤버(21)가 포함하는 음극 전류 도전체 층(47)은 그와 같은 음극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{NE}$  의 적어도 90%인 길이  $L_{NC}$  를 갖는다.

[0119] 몇몇 실시예들에서, 보충 음극 전류 컬렉터는 전극을 따른 소정 로케이션들에서 충전/방전 반응들을 차단하기 위한 수단을 제공할 수 있다. 보충 전류 컬렉터들(47A, 47B)은 이 층의 이온 도전율이 본질적으로 제로가 되도록 설계될 수 있는데, 이는 보충 전류 컬렉터의 바로 밑에 있는 전극상에서의 충전/방전 응답을 금지시킨다.

[0120] 각각의 선행 실시예들에서, 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A, 47B)은 음극 전류 컬렉터 층(47)의 길이  $L_{NC}$  의 상당한 일부분(예를 들어, 적어도 60%, 적어도 70%, 적어도 80% 또는 심지어 적어도 90%)과 동일한 (길이  $L_{NC}$  와 동일한 방향으로 측정되는) 길이를 독립적으로 갖는다. 대안적으로, 각각의 선행 실시예들에서, 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A, 47B)은 음극 전류 컬렉터 층(47)의 길이  $L_{NC}$  의 상당한 일부분(예를 들어, 40%, 30%, 20% 또는 심지어 10% 미만)보다 작은 (길이  $L_{NC}$  와 동일한 방향으로 측정되는) 길이를 독립적으로 갖는다. 음극 집단의 각각의 멤버들(21)의 길이  $L_{NE}$  는 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 변할 것이지만, 많은 실시예들에서 약 5 mm 내지 약 500 mm 범위 내에 있을 것이다. 예를 들어, 일 실시예에서, 각각의 멤버(21)에

대한 길이  $L_{NE}$  는 약 10 mm 내지 약 250 mm 범위 내에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 각각의 멤버(21)에 대한 길이  $L_{NE}$  는 약 25 mm 내지 약 100 mm 범위에 있을 것이다.

[0121] 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A 및 47B)이 음극 전류 컬렉터 층(47)과 관련하여 이전에 확인된 물질들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A 및 47B)은 음극 및 양극 활물질 층들 사이에 있지 않기 때문에, 이들은 캐리어 이온들에 대해 이온 침투가능할 필요가 없다. 그러므로, 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A, 47B)은 탄소, 코발트, 크롬, 구리, 니켈, 티타늄, 또는 하나 이상의 이것들의 합금과 같이 음극들을 위한 전류 컬렉터 물질로서 통상적으로는 이용되는 임의의 금속 또는 다른 도전체를 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A, 47B)은 음극 전류 컬렉터 층(47)의 전기 컨덕턴스를 초과하는 전기 컨덕턴스를 독립적으로 갖는다. 예를 들어, 일 실시예에서, 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A, 47B) 중 적어도 하나는 음극 전류 컬렉터 층의 전기 컨덕턴스의 적어도 200%, 예를 들어 적어도 1000%인 전기 컨덕턴스를 갖는다.

[0122] 도 24를 이제 참조하면, 양극 백본(52), 양극 활물질 층(50), 및 양극 전류 컬렉터 층(48)과 보충 양극 전류 컬렉터 층들(48A, 48B)은 바람직하게는 음극 집단의 각각의 멤버(22)의 바닥부(32)로부터 상부(34)까지의 거리의 대부분에 걸쳐 연장된다. 보충 양극 전류 컬렉터들은 추가적 전기 컨덕턴스를 제공하기 위해 양극 집단 멤버들 내에 통합될 수 있다. 소정 실시예들에서, 보충 양극 전류 컬렉터는 적어도 2 팩터만큼 양극 전류 컬렉터의 전기 컨덕턴스를 초과하는 전기 컨덕턴스를 갖는다; 소정 실시예들에서, 보충 양극 전류 컬렉터의 전기 컨덕턴스는 적어도 5 또는 심지어 10 팩터만큼 양극 전류 컬렉터의 전기 컨덕턴스를 초과한다. 유리하게는, 보충 양극 전류 컬렉터에 의해 제공되는 추가적 전기 컨덕턴스는 양극 전류 컬렉터 층(48)의 전체적 전류 컬렉터 중량과 부피 요구가 감소되도록 허용한다. 또한, 양극 전류 컬렉터 층이 (본 명세서의 다른 곳에서 더 완전하게 기술된 대로) 이온 침투가능 전류 컬렉터일 때, 보충 양극 전류 컬렉터는 전극 길이  $L_{PE}$ 를 따른 전류의 대부분을 운반할 수 있고 양극 전류 컬렉터 층은 주로 전극으로부터 전류를 모으고 이것을 보충 양극 전류 컬렉터에게 제공하기 위해 기능할 수 있다. 이는 다음으로 이온 침투가능 전류 컬렉터 층으로부터 요구되는 전자적 컨덕턴스를 감소시키고 또한 이온 침투가능 층이 더 나은 셀 성능을 위해 더 낮은 전자적 도전율과 더 높은 이온 도전율을 갖도록 설계하는 능력을 허용한다.

[0123] 보충 양극 전류 컬렉터 층들(48A 및 48B)은 양극 전류 컬렉터 층(48)과 관련하여 이전에 확인된 물질들 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 또한, 일 실시예에서, 보충 양극 전류 컬렉터 층들(48A, 48B) 중 적어도 하나는 양극 전류 컬렉터 층(48)의 전기 컨덕턴스를 초과하는 전기 컨덕턴스를 갖는다. 예를 들어, 일 실시예에서, 보충 양극 전류 컬렉터 층들(48A, 48B) 중 적어도 하나는 양극 전류 컬렉터 층의 전기 컨덕턴스의 적어도 200-1,000%인 전기 컨덕턴스를 갖는다.

[0124] 몇몇 실시예들에서, 보충 양극 전류 컬렉터는 전극을 따른 소정 로케이션들에서의 충전/방전 반응들을 차단하기 위한 수단을 제공할 수 있다. 보충 전류 컬렉터들(48A, 48B)은 이 층의 이온 도전율이 본질적으로 제로가 되도록 설계될 수 있는데, 이는 보충 전류 컬렉터의 바로 밑에 있는 전극상에서의 충전/방전 반응을 금지시킨다.

[0125] 예를 들어, 일 실시예에서, 일 실시예에서, 양극 집단의 각각의 멤버(22)가 포함하는 양극 전류 도전체 층(48)은 그와 같은 양극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 50% 인 길이  $L_{PC}$ 를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 집단의 각각의 멤버(22)가 포함하는 양극 전류 도전체 층(48)은 그와 같은 양극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 60% 인 길이  $L_{PC}$ 를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 집단의 각각의 멤버(22)가 포함하는 양극 전류 도전체 층(48)은 그와 같은 양극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 70% 인 길이  $L_{PC}$ 를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 집단의 각각의 멤버(22)가 포함하는 양극 전류 도전체 층(48)은 그와 같은 양극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 80% 인 길이  $L_{PC}$ 를 갖는다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 양극 집단의 각각의 멤버(22)가 포함하는 양극 전류 도전체 층(48)은 그와 같은 양극 전류 컬렉터를 포함하는 멤버의 길이  $L_{PE}$ 의 적어도 90% 인 길이  $L_{PC}$ 를 갖는다. 각각의 선행 실시예들에서, 보충 양극 전류 컬렉터 층들(48A, 48B)은 양극 전류 컬렉터 층(48)의 길이  $L_{PC}$ 의 상당한 일부분(예를 들어, 적어도 60%, 적어도 70%, 적어도 80% 또는 심지어 적어도 90%)과 동일한 (길이  $L_{PC}$ 와 동일한 방향으로 측정되는) 길이를 독립적으로 갖는다. 대안적으로, 각각의 선행 실시예들에서, 보충 음극 전류 컬렉터 층들(48A, 48B)은 양극 전류 컬렉터 층(48)의 길이  $L_{PC}$ 의 상당한 일부분 미만인 (예를



들어, 40%미만, 30%미만, 20% 미만 또는 심지어 10% 미만인) (길이  $L_{PC}$ 와 동일한 방향으로 측정되는) 길이를 독립적으로 갖는다. 양극 집단의 각각의 멤버들(22)의 길이  $L_{PE}$ 는 에너지 저장 장치와 이것의 의도된 용도에 의존하여 변할 것이지만, 많은 실시예들에서 약 5 mm 내지 약 500 mm 범위 내에 있을 것이다. 예를 들어, 일실시예에서, 각각의 멤버(21)에 대한 길이  $L_{PE}$ 는 약 10 mm 내지 약 250 mm 범위 내에 있을 것이다. 추가적 예를 들면, 일 실시예에서, 각각의 멤버(21)에 대한 길이  $L_{PE}$ 는 약 25 mm 내지 약 100 mm 범위에 있을 것이다.

[0126] 보충 음극 전류 컬렉터 층들(47A, 47B) 및/또는 보충 양극 전류 컬렉터 층들(48A, 48B)은 소정 실시예들에서 향상된 레이트 성능을 제공할 수 있다. 보충 양의 및/또는 음의 전류 컬렉터들이 양극 및 음극 전류 컬렉터들의 형성과 관련하여 기술된 것들과 유사한 방법들을 이용하여 전극 구조상에 형성될 수 있다. 마스크링과 패터닝을 위한 알려진 방법들이 바라는 지역들에서 보충 전류 컬렉터들을 선택적으로 피착하기 위한 백본들을 준비하는데 사용될 수 있다. 몇몇 예들에서, 전류 컬렉터의 피착은 이온 침투가능 전류 컬렉션 방식을 제공하기 위해 활성 전극이 피착된 후에 수행될 것이다.

[0127] 다시 도 4 및 도 5를 참조하면, 소정 실시예들에서, 음극 집단의 멤버들(21)은 똑바른 측면들을 가질 것이다(즉, 바닥부(31)와 상부(33) 사이에서 연장되는 측면들의 각각은 평탄하다). 기타 실시예들에서, 음극 집단 멤버들은 다각형이거나 심지어 구부러진 측면들을 가질 것이다(예를 들어, 바닥부(31)와 상부(33) 사이에서 연장되는 측면들은 사인 곡선 형태일 수 있다). 각각의 그와 같은 실시예에서, 길이  $L_{NE}$ 는 바닥부(31)와 상부(33) 사이의 직선 거리이다.

[0128] 다시 도 4 및 도 6을 참조하면, 소정 실시예들에서, 양극 집단의 멤버들(22)은 똑바른 측면들을 가질 것이다(즉, 바닥부(32)와 상부(34) 사이에서 연장되는 측면들의 각각은 평탄하다). 기타 실시예들에서, 양극 집단 멤버들은 다각형이거나 심지어 구부러진 측면들을 가질 것이다(예를 들어, 바닥부(32)와 상부(34) 사이에서 연장되는 측면들은 사인 곡선 형태일 수 있다). 각각의 그와 같은 실시예에서, 길이  $L_{PE}$ 는 바닥부(32)와 상부(34) 사이의 직선 거리이다.

[0129] 도 7에 도해된 실시예에서, 음극 집단 멤버들(21)은 길이의 함수로서 상수 폭  $W_{NE}$  및 상수 높이  $H_{NE}$ 를 갖는다. 기타 실시예들에서, 음극 집단 멤버들(21)은 음극 길이를 따른 위치의 함수로서 변하는 폭  $W_{NE}$  또는 높이  $H_{NE}$ 를 가질 수 있거나 또는 음극 집단 멤버들은 직사각형 이외의 (길이 방향에 직교하는 평면에서 취해진) 단면을 가질 수 있다. 그와 같은 기타 실시예들에서, 폭  $W_{NE}$  및 높이  $H_{NE}$ 는 음극 집단 멤버들(21)의 길이 방향에 직교하는 평면에서의 음극 집단 멤버들(21)의 돌출부의 최대 폭과 최대 높이를 지칭한다. 다르게 말하면, 폭  $W_{NE}$  및 높이  $H_{NE}$ 는 가장 작은 치수들을 갖지만 그런데도 음극 집단 멤버들의 돌출부의 모든 지점들을 포함하는 평면에 놓이는 가상 직사각형의 2개의 인접 변의 길이들에 해당된다.

[0130] 도 8에 도해된 실시예에서, 양극 집단 멤버들(22)은 길이의 함수로서 상수 폭  $W_{PE}$  및 상수 높이  $H_{PE}$ 를 갖는다. 기타 실시예들에서, 음극 집단 멤버들(22)은 음극 길이를 따른 위치의 함수로서 변하는 폭  $W_{PE}$  또는 높이  $H_{PE}$ 를 가질 수 있거나 또는 음극 집단 멤버들은 직사각형 이외의 (길이 방향에 직교하는 평면에서 취해진) 단면을 가질 수 있다. 그와 같은 기타 실시예들에서, 폭  $W_{PE}$  및 높이  $H_{PE}$ 는 양극 집단 멤버들(22)의 길이 방향에 직교하는 평면에서의 양극 집단 멤버들(22)의 돌출부의 최대 폭과 최대 높이를 지칭한다. 다르게 말하면, 폭  $W_{PE}$  및 높이  $H_{PE}$ 는 가장 작은 치수들을 갖지만 그런데도 양극 집단 멤버들의 돌출부의 모든 지점들을 포함하는 평면에 놓이는 가상 직사각형의 2개의 인접 변의 길이들에 해당된다.

[0131] 도 25a-e는 전극의 길이 방향에 직교하는 평면에서의 전극(양극 또는 음극)의 몇몇 대안적 돌출부들을 도해한다. 도 25a-e에서, 전극의 돌출부는 사다리꼴(도 25a), 평행사변형(도 25b), 삼각형(도 25c), 다이아몬드(도 25d), 및 타원형(도 25e) 모양을 그린다. 각각의 사례에서, 가장 작은 치수들을 갖지만 그런데도 전극의 돌출부의 모든 점들을 포함하는 가상 직사각형은 폭  $W_e$ 와 높이  $H_e$ 를 가질 것이다. 게다가, 각각의 이들 사례들에서, 전극은 돌출부에 의해 그려지는 기하학적 그림에 대한 둘레에 해당되는 주위 길이  $P_e$ 를 가질 것이다.

[0132] 도 26을 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 전극 스택(74)은 세 개의 전극 구조(20)를 포함하는데, 이 전극 구조들은 세 개의 전극의 양극들(22)이 정렬되고 음극 구조들(21)이 정렬되도록 수직으로 적층되고 정렬된다. 이 실시예에서, 전기적 절연성 물질 층(86)은 스택에서 상부 전극 구조의 멤버들(21, 22)의 전면들(65, 66)을

도포하고, 전기적 절연성 물질 층(88)은 스택에서 바닥부 전극 구조의 멤버들(21, 22)의 후면들(67, 68)을 도포한다. 그 결과, 상이한 전극 구조의 멤버들(21)은 서로 전기적 격리되지 않지만, 이들은 스택에서 상이한 전극 구조들의 멤버들(22)로부터 전기적 격리된다. 그 결과, 각각의 양극 구조(22)는 전기적 절연성 물질 층들(43, 86 및 88)에 의해 둘러싸이고 각각의 음극 구조(21)는 전기적 절연성 층들(43, 86 및 88)에 의해 둘러싸인다. 설명이 용이하도록, 전극 스택(74)은 세 개의 전극 구조만을 포함한다. 도 10과 관련하여 기술된 바와 같이, 전극 스택(74)은 더 적은 수의 또는 더 많은 수의 전극 구조들(20)을 포함할 수 있다.

[0133] 도 27을 이제 참조하면, 대안적 일 실시예에서, 전극 스택(74)은 세 개의 전극 구조(20)를 포함하는데, 이 전극 구조들은 어느 한 전극 구조의 양극들의 집단 중 한 멤버(22)가 또 다른 전극 구조(20)의 음극들의 집단 중 한 멤버(21)와 정렬되고 및 그 위에 및/또는 그 밑에 있도록 수직으로 적층되고 정렬된다. 이 실시예에서, 각각의 멤버(21) 및 각각의 멤버(22)는 전기적 절연성 물질 층(43)에 의해 둘러싸인다. 설명이 용이하도록, 전극 스택(74)은 세 개의 전극 구조만을 포함한다. 도 10과 관련하여 기술된 바와 같이, 전극 스택(74)은 더 적은 수의 또는 더 많은 수의 전극 구조들(20)을 포함할 수 있다.

[0134] 하기 비 제한적 예들은 본 발명을 추가로 예시하기 위하여 제공된다.

[0135] **예들**

[0136] **예 1: 3D 단일 셀 가공 1**

[0137] **1. 빗형 구조(comb structure) 가공**

[0138] 200 $\mu$ m/3 $\mu$ m/675 $\mu$ m(장치 층/절연 층/백킹 층(backing layer))의 층 두께를 갖는 SOI(silicon on insulator) 웨이퍼가 샘플로서 이용되었다. 1000Å의 Pd가 장치 층 위에 스퍼터링 피착되었고 뒤이어 2000Å의 실리콘 이산화물의 하드 마스크 층이 후속되었다.

[0139] 이후, 이 웨이퍼는 5 $\mu$ m의 레지스트로 스핀 코팅되었고 마스크로 패터닝되어 서로로부터 격리된 2개의 맞물린 빗(comb)들을 갖는 빗형 구조를 얻었다.

[0140] 실제로는, 각각의 구조가 전기적 접촉을 이루기에 적합한 랜딩 패드에서 종결되는 2개의 독립적 빗형 구조를 낳는 구조를 보여준다. 인접 웨이브(wave)들 간의 갭은 100 마이크로미터로 설계되었다. 각각의 라인들의 길이는, 양쪽 단부들상에서의, 즉 빗의 단부들과 대향하는 전극 접촉들 사이의 200 마이크로미터의 에지 대 에지 스페이싱을 가지면서, 10000 마이크로미터였다. 달리 말하면, 스페이싱은 도 9에서 음극(21)의 일부를 구성하는 음극 빗의 상부와 양극(22)을 구성하는 양극 빗의 바닥부 간의 200 $\mu$ m 였다. 이 패턴에서의 포토레지스트는 이후 포토마스크로서 이용되어 이온 밀링(Ion Milling)에 의해 실리콘 이산화물 및 팔라듐이 제거되었다.

[0141] 실리콘 이산화물, 포토레지스트, 및 Pd의 조합이, 플루오르화물 플라즈마에서의 DRIE(Deep Reactive Ion Etching)를 이용한 실리콘 제거를 위한 마스크로서 이용되었다. DRIE는, 마스크 갭들에서 장치 층을 구성하는 실리콘이 완전히 제거될 때까지 수행되었고, 산화물 층상에서 중단된다. 이용된 오버에칭 시간은 트랜치 바닥에서 실리콘의 섬(island)들을 제거하기 위하여 총 DRIE 시간의 10%였다. 임의의 상부 포토레지스트가 아세톤 박리(stripping)에 의해 제거되었다. 이 시점에서, 2개의 빗이 DRIE에 의해 전기적으로 격리된다.

[0142] 양극 패드와 음극 패드는, 전기적 접촉을 이루기 위해 팔라듐 금속에 대한 접근을 제공하도록 마스크 산화물 층을 제거하기 위해 1분 동안 희석(5:1) BOE(Buffered Oxide Etch) 용액에 단독으로 침지되었다. 격리된 음극 빗들과 양극 빗들을 가진 빗형 구조가 전류 컬렉터 및 전극 가공을 위한 기본 구조물로서 이용되었다.

[0143] **2. 음극 전류 컬렉터 및 음극 가공**

[0144] 빗 외관 구조들(여기서 음극 백본 빗으로 명명됨)의 격리된 쌍 중 하나가 팔라듐 도전체를 통하여 전기적으로 접속되었고, 구리 도금욕(copper plating bath)에 침지되었다. 구리 도금욕 조건들은 피착이 빗형 구조를 구성하는 실리콘 층상에서 일어나도록 조절되었다. 이렇게 피착된 구리 층은 음극 전류 컬렉터의 역할을 한다.

[0145] 샘플은 전기 영동 레지스트층에 침지되었고, 양극 백본 빗형 구조는 후속하여 에너지가 공급된다. 상업적으로 이용가능한 전기영동 레지스트가 이용되었고(Shipley EAGLE), 빗(comb)은 레지스트 코팅을 형성하기 위해 Pd 도전체를 이용하여 120초 동안 50 V에서 전기영동적으로 피착되었다. 다이가 레지스트를 경화시키기 위해 30분 동안 120°C에서 베이킹되었다.

[0146] 실리콘 샘플은 증발 챔버(evaporation chamber)에 이제 삽입되고, 20Å의 Au가 샘플 표면에 피착된다. 이런 Au 피착 공정은 벌집 구조(honeycomb structure)들의 위에서뿐만 아니라 그 측면들상에도, 또한 바닥부 산화물

층상에도 Au가 있도록 한다. 그러나, 양극 백본 빗상에 존재하는 포토레지스트는 Au가 음극 백본 빗형 구조상에서만 구리와 접촉하게 야기한다. 실리콘 백킹 층은 이 때에 접착성 테이프 마스크에 의해 보호되었다. 샘플은, 전기영동 레지스트를 전기영동 레지스트 위의 증발된 Au와 함께 제거하기 위해 후속적으로 아세톤에서 15분 동안 침지된다. 샘플은 이후, 트랜치의 바닥에서의 절연층 및 음극 빗의 전면으로부터의 Au 클러스터들과 산화물 층을 제거하기 위해 희석(5:1) BOE(Buffered Oxide Etch) 용액에 침지된다. 이는 음극 백본 빗의 측면들로부터 Au 나노클러스터들을 격리시킨다.

[0147] 실리콘 나노와이어들이 이후 CVD 법에 의해 음극 백본 빗형 구조의 측면들상에 성장된다. 샘플은 CVD 챔버에 삽입되고 550 C로 가열된다. 실란 가스가 챔버에 도입된다; 반응기 압력은 10 Torr에 유지되었다. 피착률은 4  $\mu\text{m/hr}$ 이었고; 피착은 20  $\mu\text{m}$ 의 목표 나노와이어 두께까지 실시되었다. 음극 백본 빗의 측면들로부터 바깥으로 연장하는 이들 나노와이어들은 리튬 이온 배터리를 위한 음극 역할을 하게 되는 것이다.

### [0148] 3. 양극 전류 컬렉터 및 양극 가공

[0149] 양극 백본 빗은 이후 팔라듐 도전체를 통하여 전기적으로 접속되었고, 빗형 구조를 구성하는 실리콘 층과 팔라듐상에 금을 도금하기 위해 금 전기 도금욕에 침지되었다. 양극 백본 빗을 둘러싸는 이런 Au 층은 양극 전류 컬렉터의 역할을 할 것이다.

[0150] 양극 백본 빗은 리튬 이온 배터리 양극 물질로 전기 영동법으로 피착되었다. 전기영동 피착 용액은, 양극 물질 ( $\text{LiCoO}_2$ ), 15 wt% 카본 블랙(carbon black), 및 아세톤 용액 내의 150 ppm의 요오드(Iodine)를 포함했다. 용액 혼합물은 입자들을 균일하게 분산시키기 위하여 하룻밤 동안 교반되었다. Pd 접촉부 패드가 양극 피착을 위한 전기 접속용 단자로서 이용되었다. Pt 상대 전극이 이용되었다. 샘플은 40  $\mu\text{m}$  두께의 양극 구조를 피착하기 위해 100 V의 전압에서 3분 동안 피착되었다. 피착은 양극 빗의 측벽들과 전면의 둘 모두상에서 일어났다.

### [0151] 4. 과잉 양극 제거

[0152] 다이의 전면상에 피착되었던 임의의 과잉 양극은 기계적 제거 공정들을 이용하여 제거되었다. 전면은 양극 전류 컬렉터 층을 노출시키기 위해 연마 패드를 이용하여 갈리게 된다(lapped); 이어서 강제 공기 건조가 이루어져서 단락의 원인이 될 수 있는 어떠한 풀려난 입자들도 다이상에 존재하지 않도록 보장한다.

### [0153] 5. 제1 분리기 층 가공

[0154] 다공성 분리기가, 만들어진 대로의 60%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 미크론의 직경)을 포함하는 슬러리를 이용함으로써 양극과 음극 사이의 갭(이것은 공칭으로 40 미크론) 내에 가해진다. 이 슬러리는 다이를 적시고(wet) 또한 미립자 성분이 음극과 양극 물질들 사이에 들어가도록 강제하기 위해서 스크린 프린팅된다. 스크린 프린팅은 음극과 양극 사이의 트랜치들; 및 장치의 상부 및 바닥부(도 19에서 82와 84를 구성하는 지역들)를 따른 갭들을 채우기 위해서 중간 건조 단계가 그 사이에 있으면서 다중 경로로 행해진다.

[0155] 다이의 전면상에 피착되었던 임의의 과잉 분리기는 기계적 제거 공정들을 이용하여 제거되었다. 전면은 전극 전류 컬렉터 층들을 노출시키기 위해 연마 패드를 이용하여 갈리게 된다; 이어서 강제 공기 건조가 이루어져서 단락의 원인이 될 수 있는 어떠한 풀려난 입자들도 다이상에 존재하지 않도록 보장한다.

### [0156] 6. 구조 층 제거

[0157] 다이의 상부 층은 후속적으로 UV 릴리스 다이싱 테이프(UV release dicing tape)의 도움으로 희생용 유리 기판에 분당된다. 이 배열은 종래의 웨이퍼 래핑(lapping) 기법을 이용하여 기계적으로 백킹 실리콘 층을 제거하는 데 사용된다. 래핑 공정은 백킹 웨이퍼 및 중간 산화물 층이 제거될 때까지 계속된다. UV 릴리스가 희생용 유리 기판으로부터 떼어내어 활성 다이를 치우는 데에 사용된다; 그에 의해 다이가 후속하는 분리기 채움 처리에 대해 준비가 되도록 만든다.

### [0158] 7. 제2 분리기 층 가공

[0159] 다공성 분리기의 추가적 층이, 만들어진 대로의 30%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 미크론의 직경)을 포함하는 슬러리에서 다이를 딥 코팅함으로써 다이의 전면 및 후면상에 가해진다. 딥 코팅된 다이는 용매를 제거하고 결합제 물질을 고화하기 위해 건조된다(이 국면에서, 장치의 단면은 실리콘의 바닥면상의 전류 컬렉터(47 및 48)의 결여를 제외하고, 도 15와 같이 보인다). 전면과 후면상에서의 딥 코팅 두께는 각각 25 미크론을 목표로 삼았다.

[0160] **예 2: 3D 단일 셀 가공 2**

[0161] **1. 빗형 구조 가공**

[0162] 200  $\mu\text{m}$ 의 층 두께를 가진 실리콘 웨이퍼가 샘플로서 이용되었다. 1000 Å의 Pd가 장치 층의 위에 스퍼터링 피착되었고 이어서 2000Å의 실리콘 이산화물의 하드 마스크 층이 후속되었다. 웨이퍼는 뒤집혀지고 1500Å의 구리가 바닥 층상에 피착되었다.

[0163] 이 샘플은 이후 표준 애노드 본딩 기술을 이용하여 보로플로트(borofloat) 유리 기판에 애노드 본딩되었다.

[0164] 이 웨이퍼는 이후 5 $\mu\text{m}$ 의 레지스트로 스핀 코팅되고 마스크로 패터닝되어, 도 1에 도시된 바와 같이 서로로부터 분리된 2개의 맞물린 빗을 갖는 빗형 구조를 얻었다.

[0165] 설계는, 각각의 구조가 전기적 접촉을 이루기에 적합한 랜딩 패드에서 종결되는 2개의 독립적 빗형 구조를 낳는 구조를 보여준다. 인접 웨이브들 간의 갭은 100 미크론으로 설계되었다. 각각의 라인들의 길이는, 양쪽 단부들 상에서의, 즉 빗의 단부들과 대향하는 전극 접속들 사이의 200 미크론의 에지 대 에지 스페이싱을 가지면서, 10000 미크론이었다. 달리 말하면, 스페이싱은 도 9에서 음극(21)의 일부를 구성하는 음극 빗의 상부와 양극(22)을 구성하는 양극 빗의 바닥부 간의 200 $\mu\text{m}$ 였다. 이 패턴에서의 포토레지스트는 이후 포토마스크로서 이용되어 이온 밀링에 의해 실리콘 이산화물 및 팔라듐이 제거되었다.

[0166] 실리콘 이산화물, 포토레지스트, 및 Pd의 조합이, 플루오르화물 플라즈마에서의 DRIE를 이용한 실리콘 제거를 위한 마스크로서 이용되었다. DRIE는, 마스크 갭들에서 장치 층을 구성하는 실리콘이 완전히 제거될 때까지 수행되었고, 산화물 층상에서 중단된다. 이용된 오버에칭 시간은 트렌치 바닥에서 실리콘의 섬들을 제거하기 위하여 총 DRIE 시간의 10%였다. 임의의 상부 포토레지스트가 아세톤 박리에 의해 제거되었다. 다이는, 트렌치들의 바닥에서 구리를 제거하고 또한 애노드 유리를 노출시키기 위해 1% 질산 용액에 후속적으로 담겨진다. 이 시점에서, 2개의 빗이 DRIE에 의해 전기적으로 격리된다.

[0167] 양극 패드와 음극 패드는, 전기적 접촉을 이루기 위해 팔라듐 금속에 대한 접근을 제공하도록 마스크 산화물 층을 제거하기 위해 1분 동안 희석(5:1) BOE 용액에 단독으로 침지되었다. 격리된 음극 빗들과 양극 빗들을 가진 빗형 구조가 전류 컬렉터 및 전극 가공을 위한 기본 구조물로서 이용되었다.

[0168] **2. 음극 전류 컬렉터 및 음극 가공**

[0169] 음극 전류 컬렉터와 음극들이 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0170] **3. 양극 전류 컬렉터 및 양극 가공**

[0171] 양극 전류 컬렉터와 양극들이 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0172] **4. 분리기 가공**

[0173] 다공성 분리기가, 만들어진 대로의 60%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 미크론의 직경)을 포함하는 슬러리를 이용함으로써 양극과 음극 사이의 갭(이것은 공칭으로 40 미크론) 내에 가해진다. 이 슬러리는 다이를 적시고 또한 미립자 성분이 음극과 양극 물질들 사이에 들어가도록 강제하기 위해서 스크린 프린팅된다. 스크린 프린팅은 음극과 양극 사이의 트렌치들; 및 장치의 상부 및 바닥부(도 19에서 82와 84를 구성하는 지역들)를 따른 갭들을 채우기 위해서 중간 건조 단계가 그 사이에 있으면서 다중 경로로 행해진다. 후속적으로, 다공성 분리기가, 만들어진 대로의 30%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 미크론의 직경)을 포함하는 슬러리로 다이를 딥 코팅함으로써 다이의 전면상에 또한 가해진다. 딥 코팅된 다이는 용매를 제거하고 결합제 물질을 고화하기 위해 건조된다. 전면상의 딥 코팅 두께는 25 미크론들을 목표로 하였다. 결과로 생기는 다이는: (1) 51 및 52의 후면상에 어떤 전류 컬렉터가 없고, (2) 애노드 유리가 88이고, (3) PVDF 를 가진 유리 분말이 86인 것을 제외하고, 도 15와 유사하다.

[0174] **예 3: 3D 단일 셀 가공 3**

[0175] **1. 빗형 구조 가공**

[0176] 빗형 구조는 예 2와 유사하게 제조되었다.

[0177] **2. 음극 전류 컬렉터 및 음극 가공**



[0178] 음극 전류 컬렉터와 음극들은 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0179] **3. 양극 전류 컬렉터 및 양극 가공**

[0180] 양극 전류 컬렉터와 양극들은 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0181] **4. 제1 분리기 층 가공**

[0182] 분리기 층은 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0183] **5. 구조 층 제거**

[0184] 구조 층은 예 1과 유사한 공정에 의해 제거되었다.

[0185] **6. 제2 분리기 층 가공**

[0186] 제2 분리기 층은 도 15에 도해된 유형의 전극 구조를 산출하기 위해 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0187] **예 4: 3D 단일 셀의 가공 4**

[0188] **1. 빗형 구조 가공**

[0189] 빗형 구조는, 애노드 본딩된 유리가 종축으로의 다이의 상부와 바닥부들에서의 음극과 양극 빗들 및 접촉 패드 지역들을 단지 접촉하고 있었던 프레임이라는 점을 제외하고, 예 2와 유사하게 제조되었다. 다시 말하면, 도 4의 종축  $A_z$ 를 따른 길이의 대부분에 대해, 빗형 라인들이 독립해 서 있도록 설계되었다. 달리 말하면, 다이의 후면의 대부분은 처리에게 마찬가지로 접근 가능하다.

[0190] **2. 음극 전류 컬렉터 및 음극 가공**

[0191] 음극 전류 컬렉터와 음극들은 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0192] **3. 양극 전류 컬렉터 및 양극 가공**

[0193] 양극 전류 컬렉터와 양극들은 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0194] **4. 과잉 양극 및 음극 물질 제거**

[0195] 다이의 전면과 후면상에 피착된 임의의 과잉 양극 및 음극 물질들은 기계적 제거 과정들을 사용하여 제거되었다. 전면은 전류 컬렉터 층들을 노출시키기 위한 연마 패드를 이용하여 갈리게 된다. 독터 블레이드(doctor blade) 제거 공정이 과잉 전극 물질들을 제거하기 위해 후면상에서 수행되었고; 이어서 강제 공기 건조가 이루어져서 단락의 원인이 될 수 있는 어떠한 풀러난 입자들도 다이상에 존재하지 않도록 보장한다.

[0196] **5. 분리기 가공**

[0197] 다공성 분리기가, 만들어진 대로의 60%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 마이크론의 직경)을 포함하는 슬러리를 이용함으로써 양극과 음극 사이의 갭(이것은 공칭으로 40 마이크론), 전면, 및 후면에 가해진다. 이 슬러리는 다이를 적시고 또한 미립자 성분이 음극과 양극 물질들 사이에 들어가도록 강제하기 위해서 스크린 프린팅된다. 스크린 프린팅은 음극과 양극 사이의 트렌치들; 및 장치의 상부 및 바닥부(도 19에서 82와 84를 구성하는 지역들)를 따른 갭들을 채우기 위해서 중간 건조 단계가 그 사이에 있으면서 다중 경로로 행해진다. 일단 이것이 완료되면, 다이의 전면 및 후면을 마찬가지로 도포하는 분리기 층을 제공하기 위해 추가 층들이 부가된다(도 3 참조).

[0198] **예 5: 3D 단일 셀의 가공 5**

[0199] **1. 빗형 구조 가공**

[0200] 빗형 구조가 예 4에서와 같이 제조되었다.

[0201] **2. 음극 전류 컬렉터 및 음극 가공**

[0202] 음극 전류 컬렉터와 음극들이 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

[0203] **3. 양극 전류 컬렉터 및 양극 가공**

[0204] 양극 전류 컬렉터와 양극들이 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

- [0205] **4. 과잉 양극 및 음극 물질 제거**
- [0206] 과잉 물질들이 예 4와 유사한 공정으로 제거되었다.
- [0207] **5. 분리기 가공**
- [0208] 상업적으로 이용 가능한 전기적 절연성 2 파트 에폭시가 도 19의 아이템들(82 및 84)에 대응하는 다이의 상부 및 바닥부를 가득 채우기 위해 주사기(syringe)로 뿌려졌다(disperse). 이는 전극과 그 대향 전극 버스 사이에 비다공성 절연성 분리기 층을 제공한다.
- [0209] 다공성 분리기가, 만들어진 대로의 60%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 미크론의 직경)을 포함하는 슬러리를 이용함으로써 양극과 음극 사이의 갭(이것은 공칭으로 40 미크론), 전면, 및 후면에 후속적으로 가해진다. 이 슬러리는 다이를 적시고 또한 미립자 성분이 음극과 양극 물질들 사이에 들어가도록 강제하기 위해서 스크린 프린팅된다. 스크린 프린팅은 음극과 양극 사이의 트렌치들을 채우기 위해서 중간 건조 단계가 그 사이에 있으면서 다중 경로로 행해진다. 일단 이것이 완료되면, 다이의 전면 및 후면을 마찬가지로 도포하는 분리기 층을 제공하기 위해 추가 층들이 추가된다(도 3 참조).
- [0210] **예 6: 3D 단일 셀의 가공 6**
- [0211] **1. 빗형 구조 가공**
- [0212] 빗형 구조는 예 4에서와 같이 제조되었다.
- [0213] **2. 음극 전류 컬렉터 및 음극 전류 컬렉터 가공**
- [0214] 2개의 전류 컬렉터가, 양극 전류 컬렉터가 음극 전류 컬렉터 이후에 바로 제조되었다는 것을 제외하고, 예 1에서와 같이 제조된다.
- [0215] **3. 제1 분리기 층 가공**
- [0216] 상업적으로 이용 가능한 전기적 절연성 2 파트 에폭시가 도 19의 아이템들(82 및 84)에 대응하는 다이의 상부 및 바닥부를 가득 채우기 위해 주사기로 뿌려졌다. 그러나, 이 경우에, 에폭시는 예 5에서와 같은 개개의 전극들 대신에 음극 전류 컬렉터 및 양극 전류 컬렉터를 코팅한다. 이는 전극과 그 대향 전극 버스 사이에 비다공성 절연성 분리기 층을 제공한다.
- [0217] **4. 음극 가공 및 양극 가공**
- [0218] 음극들과 양극들은 예 4와 유사한 공정으로 제조되었다.
- [0219] **5. 과잉 양극 및 음극 제거**
- [0220] 과잉 물질들은 예 4와 유사한 공정으로 제거되었다.
- [0221] **6. 제2 분리기 층 가공**
- [0222] 다공성 분리기가, 만들어진 대로의 60%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 미크론의 직경)을 포함하는 슬러리를 이용함으로써 양극과 음극 사이의 갭(이것은 공칭으로 40 미크론), 전면, 및 후면에 후속적으로 가해진다. 이 슬러리는 다이를 적시고 또한 미립자 성분이 음극과 양극 물질들 사이에 들어가도록 강제하기 위해서 스크린 프린팅된다. 스크린 프린팅은 음극과 양극 사이의 트렌치들; 및 장치의 상부 및 바닥부(도 19에서 82와 84를 구성하는 지역들)를 따른 갭들을 채우기 위해서 중간 건조 단계가 그 사이에 있으면서 다중 경로로 행해진다. 일단 이것이 완료되면, 다이의 전면 및 후면을 마찬가지로 도포하는 분리기 층을 제공하기 위해 추가 층들이 추가된다(도 3 참조).
- [0223] **예 7: 3D 단일 셀 가공 7**
- [0224] **1. 빗형 구조 가공**
- [0225] 빗형 구조는, 음극 빗과 양극 빗 간의 갭들이 100 미크론 대신에 80 미크론으로 감소되었다는 점을 제외하고, 예 4에서와 같이 제조되었다. 음극 빗 층은 마찬가지로 40 미크론만큼 넓혀졌다.
- [0226] **2. 음극 및 음극 전류 컬렉터 가공**

- [0227] 격리된 빗형 구조들(양극 백본 빗으로 여기서 명명됨) 중 하나는 전기 영동 레지스트욕에 침지되었다. 상업적으로 이용 가능한 전기영동 레지스트가 이용되었고(Shipley EAGLE), 양극 백본 빗은 레지스트 코팅을 형성하기 위해 Pd 도전체를 이용하여 120초 동안 50 V에서 전기영동적으로 피착되었다. 다이가 레지스트를 경화시키기 위해 30분 동안 120C에서 베이킹되었다.
- [0228] 실리콘 샘플은 증발 챔버에 이제 삽입되고, 100 Å의 Au가 샘플 표면상에 피착된다. 이런 Au 피착 공정은 빗 위에서와 그 측벽들상에, 또한 바닥부 산화물 층상에 Au가 있도록 한다. 그러나, 빗들 중 하나상에 존재하는 포토레지스트는 Au가 두 개의 빗형 구조 중 하나상에서만 실리콘과 접촉하게 야기한다. 실리콘 백킹 층은 이 때에 접착성 테이프 마스크에 의해 또한 보호되었다. 샘플은, 다공성 실리콘 층을 형성하기 위해 30C에서 플루오르화 수소산(49%)과 과산화수소(30%)의 부피로 1:1 용액에 침지되었다. 다공성 실리콘 깊이는 에칭 시간을 변화시킴으로써 맞추어졌다. 다공성 실리콘의 대략적 형성 속도는 750 - 1000 nm/분이었다. 20 $\mu$ m의 목표 세공 깊이가 도달되었을 때, 파트들이 제거되고 건조되었다.
- [0229] 다공성 실리콘은 그 상에 패터닝된 전기영동 레지스트를 갖지 않았던 빗 세트상에서만 형성된다. 다공성 실리콘 세트는 리튬 이온 배터리의 음극으로서 이용된다. 전기영동 레지스트는 후속적으로 아세톤에서 15분 동안 박리되었다.
- [0230] 음극 백본 빗은 후속적으로 팔라듐 도전체를 통하여 전기적 접속되었고, 매우 희석된(10 mM) 구리 황산염과 황산으로 구성되는 구리 도금욕에 침지되었다. 구리 도금욕 조건들은 피착이 팔라듐과 다공성 실리콘의 양쪽상에서 일어나도록 조절되었다. 구리 농도는 낮게 유지되어, 구리 피착이 다공성 실리콘의 외부 층을 따라 수송 제한되고 다공성이 되도록 한다. 이 구리 층은 그 다공성 때문에 이온 침투가능하기도 한, 음극 전류 컬렉터의 역할을 할 것이다. 그러나, Pd 층상의 구리는, 음극을 위한 2차 버스 컬렉터로서 작용하도록 더 두껍고 비다공성이었다.
- [0231] **3. 양극 전류 컬렉터 및 양극 가공**
- [0232] 양극 전류 컬렉터와 양전극들은 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.
- [0233] **4. 파잉 양극 및 음극 제거**
- [0234] 파잉 물질들은 예 4와 유사한 공정으로 제거되었다.
- [0235] **5. 분리기 가공**
- [0236] 다공성 분리기가, 만들어진 대로의 60%의 고체 내용물을 가진 2 부피 백분율의 PVDF 결합제와 함께 N-메틸 피롤리돈에 분산된 미세 유리 분말(<2 마이크론의 직경)을 포함하는 슬러리를 이용함으로써, 양극과 음극 사이의 갭(이것은 공칭으로 40 마이크론), 전면, 및 후면에 후속적으로 가해진다. 이 슬러리는 다이를 적시고 또한 미립자 성분이 음극과 양극 물질들 사이에 들어가도록 강제하기 위해서 스크린 프린팅된다. 스크린 프린팅은 음극과 양극 사이의 트렌치들; 및 장치의 상부 및 바닥부(도 19에서 82와 84를 구성하는 지역들)를 따른 갭들을 채우기 위해서 중간 건조 단계가 그 사이에 있으면서 다중 경로로 행해진다. 일단 이것이 완료되면, 다이의 전면 및 후면을 마찬가지로 도포하는 분리기 층을 제공하기 위해 추가 층들이 추가된다(도 20 참조).
- [0237] **예 8: 3D 단일 셀 가공 8**
- [0238] **1. 빗형 구조 가공**
- [0239] 빗형 구조는 예 4에서와 같이 제조되었다.
- [0240] **2. 음극 및 음극 전류 컬렉터 가공**
- [0241] 음극 전류 컬렉터는 예 1과 유사한 공정을 이용하여 제조되었다.
- [0242] 음극 백본 빗은 비수성 전기영동 피착 슬러리를 이용하여 빗 표면상에 흑연 입자들을 전기영동법으로 피착하는데 사용되었다. 피착 슬러리는 채움 에이전트(charging agent)로서 25 ppm의 요오드를 가진 아세톤에 분산된 흑연 입자들(메소카본 마이크로비드들, 중량으로는 95%) 및 카본 블랙(중량으로는 5%)으로 구성되었다. 전기영동 피착은 60 마이크론의 평균 필름 두께를 피착하기 위해 180초 동안 100 V에서 백금 상대 전극으로 행해졌다.
- [0243] 음극 빗의 전면과 후면상의 어떠한 파잉 음극도 다음 단계로 진행하기 전에 기계적 분쇄에 의해 제거되었다.
- [0244] **3. 분리기 가공**

[0245] 알루미늄 산화물 입자들에 대한 전기영동 피착 슬러리가 하기 보여진 것처럼 준비되었다. 3 wt%의 서브미크론 알루미늄 산화물 입자들이 97 wt%의 에탄올의 당량(equivalent)에 추가되었고, 2시간 동안 교반되었다. 0.05 wt%의 폴리비닐 부티랄(알루미늄 산화물과 에탄올의 전체 중량으로부터 계산됨)이 상기 슬러리에 추가되었다. 염산이 용액의 pH를 1.5로 조절하는 데 사용되었다. 결과적 혼합물이 하룻밤 새 교반되었다.

[0246] 빗형 구조 조립체가 이 전기영동 피착욕에 후속적으로 침지되었고, 전계가 음극 빗과 양극 빗 사이에 인가되었다. Au 도금된 양극 전류 컬렉터 빗이 전기영동 피착 공정을 위한 상대 전극으로서 역할 하였다. 분리기의 피착을 위한 동작 전극은 위에 음극을 가진 음극 빗이었다. 피착 전류는 전류 컬렉터 지역의 2 mA/cm<sup>2</sup>로 일정하게 유지되었다; 빗 전류는 1800 초 기간 동안 턴온되었다. 이는 전기영동으로 피착된 음극 주위에서의 알루미늄 산화물과 폴리비닐 부티랄로 된 40 미크론 두께의 층을 낳았다.

#### [0247] 4. 양극 전류 컬렉터 가공

[0248] 양극 전류 컬렉터는 예 1과 유사한 공정으로 제조되었다.

#### [0249] 5. 양극 가공

[0250] 다이는 하기 조성물의 리튬 이온 양극 물질의 슬러리로 후속적으로 코팅되었다: 리튬 코발트 산화물 80g; 흑연 5g, 카본 블랙 5 g, 및 PVDF 10g; 모든 것이 1:2의 부피 비로 속건성 용매로서 N-메틸 피롤리돈 및 아세톤에 혼합된다. 슬러리는 건조되었고 용매는 도전성 양극 물질을 남겨두기 위해 증발되었다. 이 물질은 이후 샘플들의 전면과 후면상에서 분리기 물질을 노출시키기 위해 빗 표면에 대해 갈리게 된다(lapped).

#### [0251] 예 9: 3D 배터리 가공 1

##### [0252] 1. 단일 다이 준비

[0253] 예들 1-8에서 다이들을 처리하기 위해 사용된 접촉 패드들은, 음극과 양극 버스 접촉들이 손상되지 않도록 남겨 두면서, 다이싱 소(dicing saw)를 이용한 다이싱에 의해 제거되었다. 다이들의 에지들을 도포하고 또한 버스 라인들 위에 걸려 있는 임의의 분리기 물질은 전류 컬렉터 물질, 음극의 경우에는 구리와 양극의 경우에는 Au를 제거하고 노출시키기 위해 세정되었다.

##### [0254] 2. 탭 연장부 접속

[0255] 탭 연장부들이 전류 컬렉터 노출에 이어서 음극 버스와 양극 버스상에 접속되었다. 금 버스 라인은 상업적으로 이용 가능한 탄소 접착제(DAG-T-502)를 이용하여 알루미늄 탭에 접속되었다. 탄소의 박층이 탭 연장부상에 코팅되었고 금 버스 측에 접착되었다. 니켈 탭 연장부는 동일한 상업적 이용 가능 탄소 접착제를 이용하여 구리 전류 컬렉터 버스에 접착되었다. 접착제는 경화되도록 1 시간 동안 120 C에서 베이킹되었다. 탭 연장부들은 또한 패키지 밖으로 나오게 되어 있는 탭을 포함한다. 탭 연장부는 구부러지고 수평 방향으로 평평하게 되어 패키징을 위한 준비가 되었다.

##### [0256] 3. 배터리 패키징 및 전해질 채움

[0257] 2 탭 연장부를 가진 다이는 상업적으로 이용 가능한 배터리 파우치 패키징 물질에 삽입되었다. 파우치 물질은 탭들을 통하여 탭 측상에서 밀봉되었다. 다른 3개의 측 중 하나는 개방된 채로 남겨져서 전해질 채움을 위한 포트를 제공한다. 진공이 가해지고, 1:1:3 비의 프로필렌 카보네이트, 에틸렌 탄산염, 및 에틸 메틸 카보네이트와 리튬 헥사플루오로포스페이트 염(1 M)을 포함하는 종래의 전해질이 글러브 박스(glove box)에 있으면서 셀에 추가되었다. 파우치의 최종 측도, 습기와 산소가 파우치 내로 진입하여 배터리 수명의 손실을 야기하는 것을 방지하기 위해 다이가 글러브 박스 내부에 있을 때, 후속적으로 밀봉되었다. 배터리는 이후 상업적으로 이용 가능한 배터리 사이클러를 이용하여 후속적으로 충전-방전된다.

#### [0258] 예 10: 3D 스택 배터리 가공 1

##### [0259] 1. 단일 다이 준비:

[0260] 단일 다이 준비 공정은 세 개의 상이한 다이에 대해 별개로 하는 것을 제외하고 예 5와 동일하게 수행되었다. 각각의 다이들상의 접촉 패드는 예 9와 유사하게 제거되었다. 다이들은 후속적으로 하나가 다른 것 위에 적층되는 식으로 되어 전극들이 정렬되도록 하였다.

##### [0261] 2. 탭 연장부 접속:



[0262] 탭 연장부들이 전류 컬렉터 노출에 이어서 음극 버스들과 양극 버스들상에 접속되었다. 금 버스 라인들은 상업적으로 이용 가능한 탄소 접착제(DAG-T-502)를 이용하여 알루미늄 탭에 접속되었다. 탄소의 박층이 탭 연장부상에 코팅되었고 금 버스 측에 접착되었다. 니켈 탭 연장부는 동일한 상업적 이용 가능 탄소 접착제를 이용하여 구리 전류 컬렉터 버스들에 접착되었다. 접착제는 경화되도록 1 시간 동안 120 C에서 베이킹되었다. 탭 연장부들은 또한 패키지 밖으로 나오게 되어 있는 탭을 포함한다. 탭 연장부는 구부러지고 수평 방향으로 평평하게 되어 패키징을 위한 준비가 되었다.

[0263] **3. 배터리 패키징 및 전해질 채움:**

[0264] 배터리 패키징과 전해질 채움은 예 9에서와 같이 실행되었다.

[0265] **예 11: 3D 타일링된 배터리 제조 1**

[0266] **1. 단일 다이 준비:**

[0267] 단일 다이 준비 공정이 두 개의 상이한 다이상에서 개별적으로 하는 것을 제외하고 예5와 동일하게 수행되었다.

[0268] **2. 탭 연장부 접속:**

[0269] 탭 연장부는 예 9와 유사한 도전성 접착제로 접속되었다. 그러나, 다이들은 그 사이의 단일 탭 연장부에 의해 접속되는 서로 인접하는 양극 버스 접속들로 타일링되었다.

[0270] **3. 배터리 패키징 및 전해질 채움:**

[0271] 배터리 패키징과 전해질 채움은 예 9에서와 같이 수행되었다.

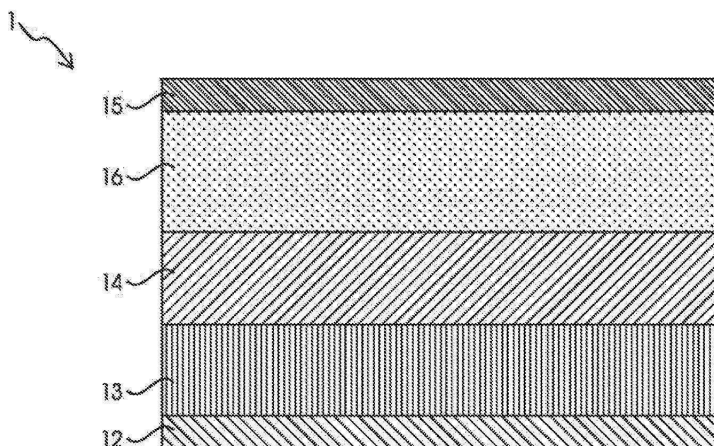
[0272] 상기에 비추어 보면, 본 발명의 몇몇 목적들이 달성되었고 기타 유익한 결과들이 얻어졌다는 것을 알 수 있을 것이다.

[0273] 본 발명 또는 이것의 양호한 실시예(들)의 요소들을 도입할 때, 관사 "한(a)", "한(an)", "그(the)", 및 "상기(said)"는 요소들 중 하나 이상이 존재한다는 것을 의미하기 위한 것이다. 용어들 "포함하는", "구비하는" 및 "갖는"은 포괄적인 것이고 또한 나열된 요소들 외에 추가적 요소들이 있을 수 있다는 것을 의미하도록 의도된 것이다.

[0274] 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 상기 물품들, 조성들 및 방법들에 대한 다양한 변경들이 이루어질 수 있으므로, 상기 설명에 포함되고 첨부된 도면들에 도시된 모든 사항들은 제한적 의미가 아니라 예시적인 의미로서 해석되어야 한다는 점이 의도되었다.

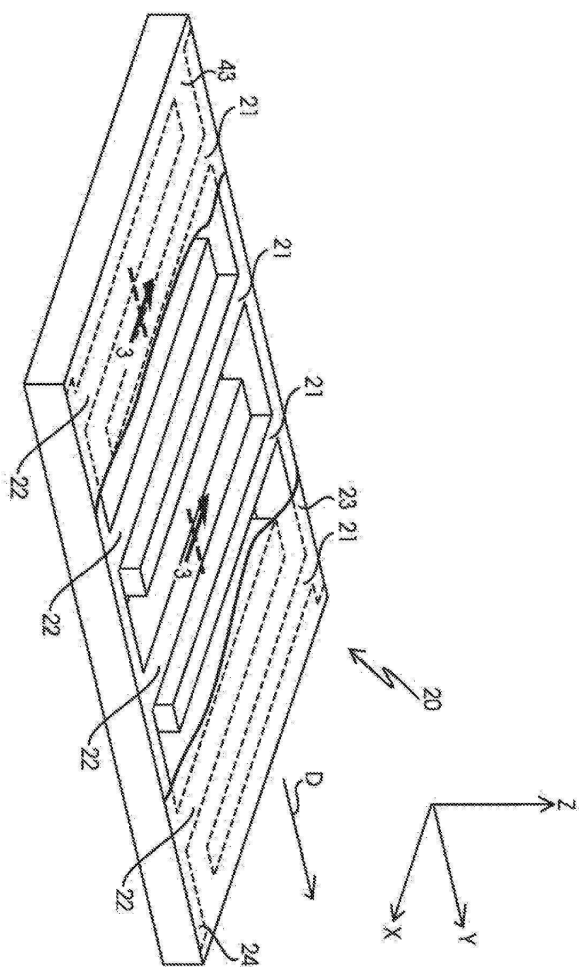
**도면**

**도면1**

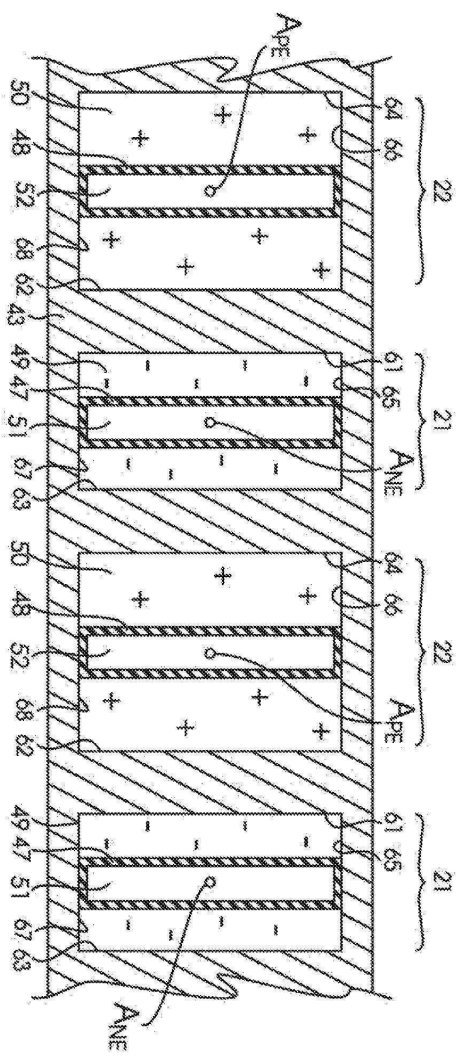


(종래 기술)

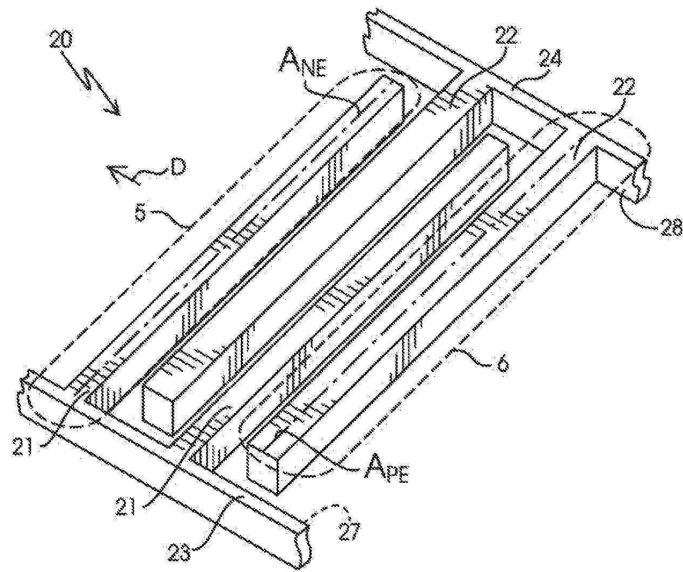
도면2



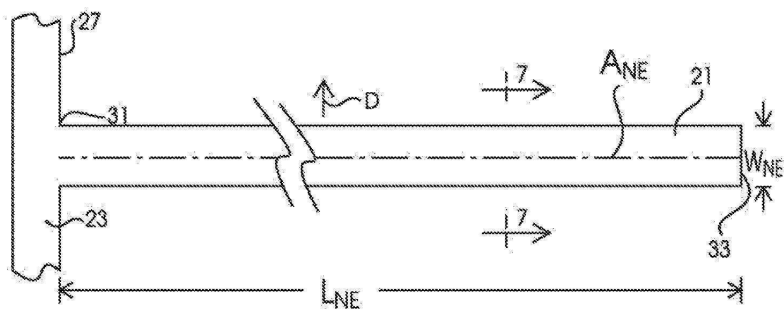
도면3



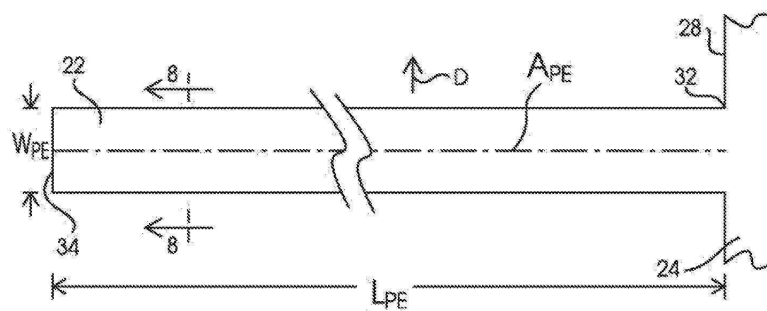
도면4



도면5

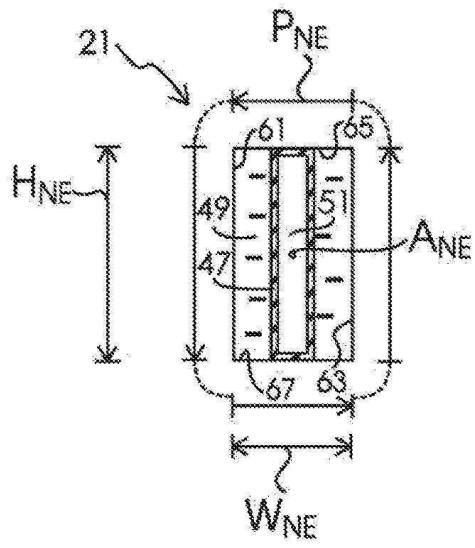


도면6

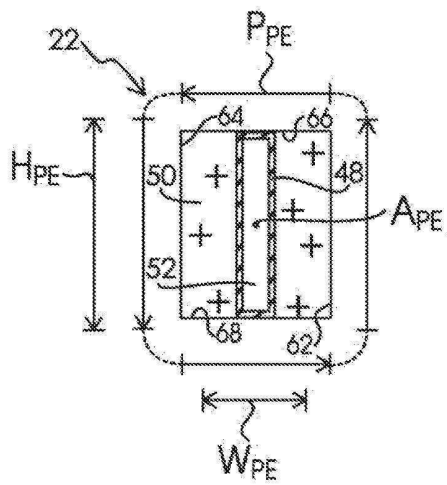




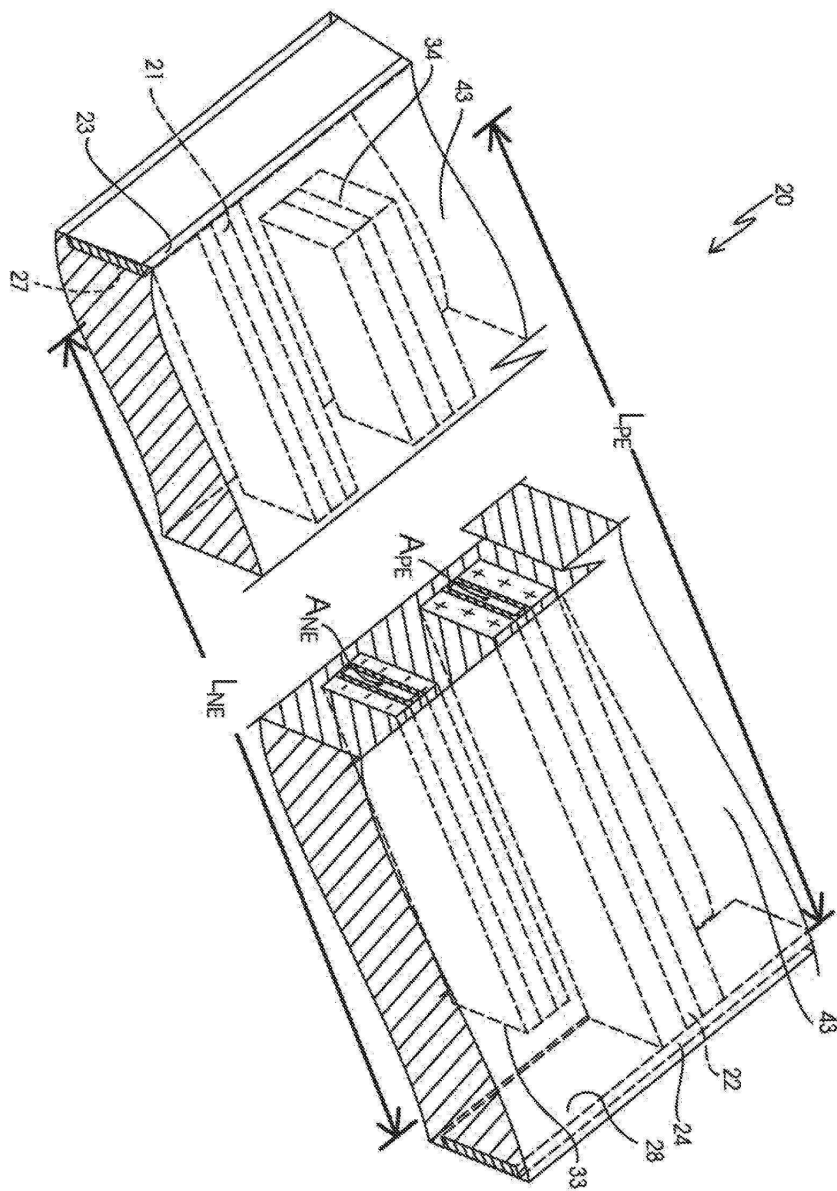
도면7



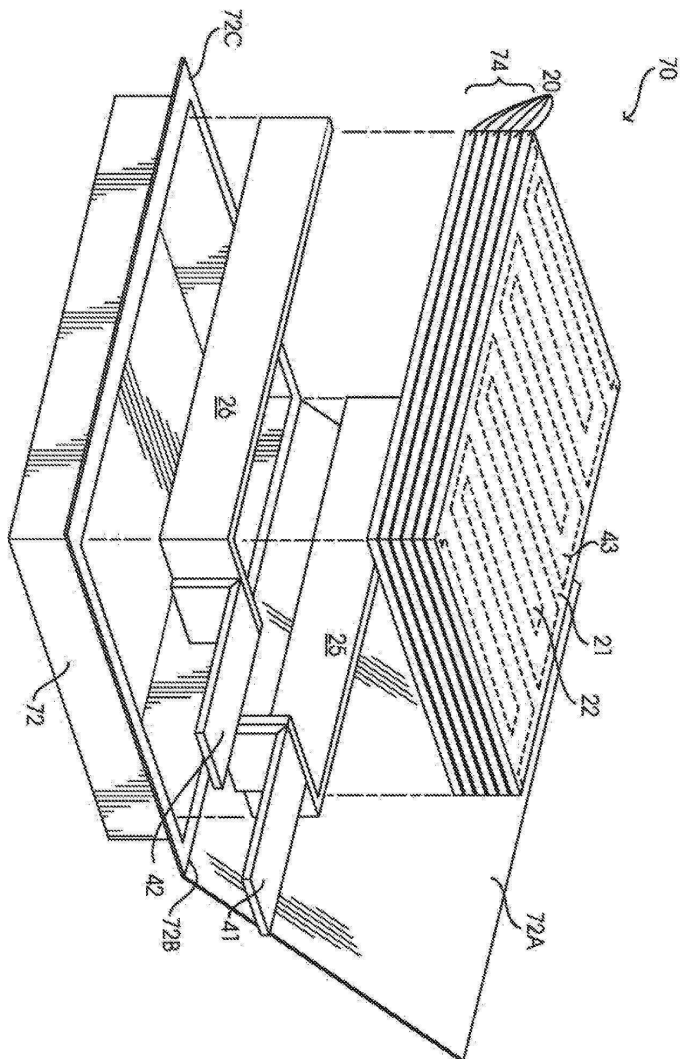
도면8



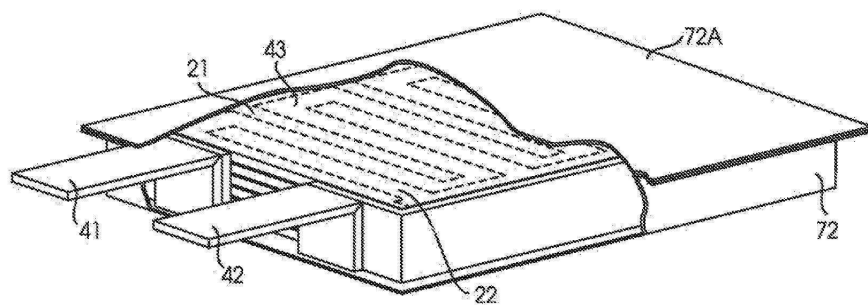
도면9



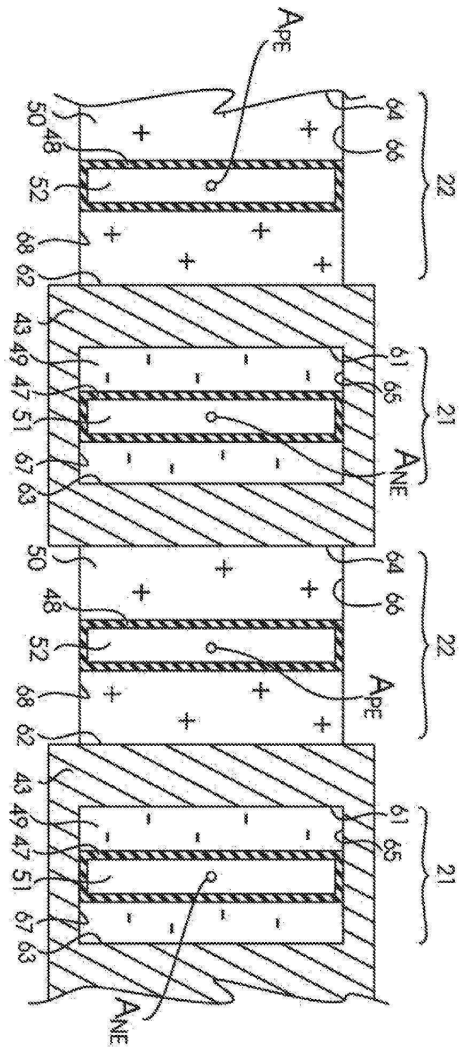
도면10



도면11

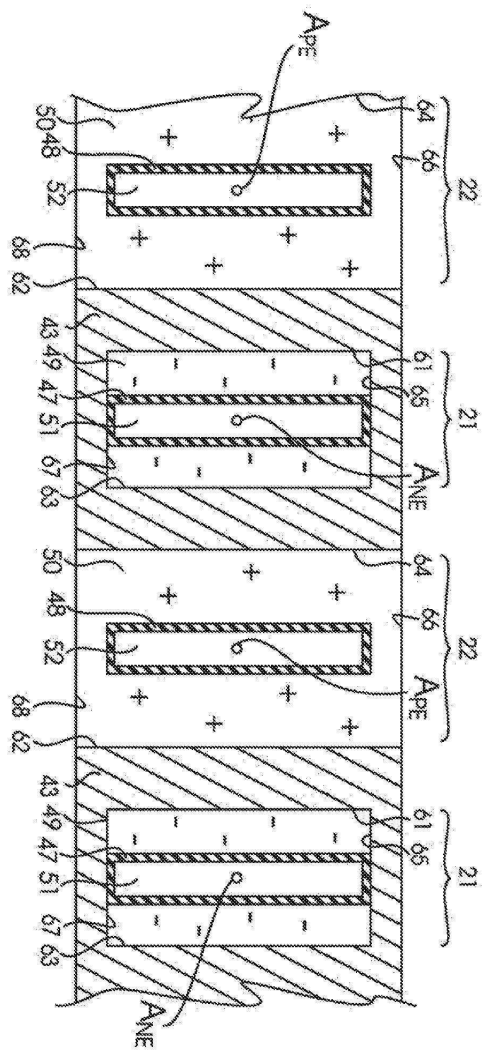


도면12

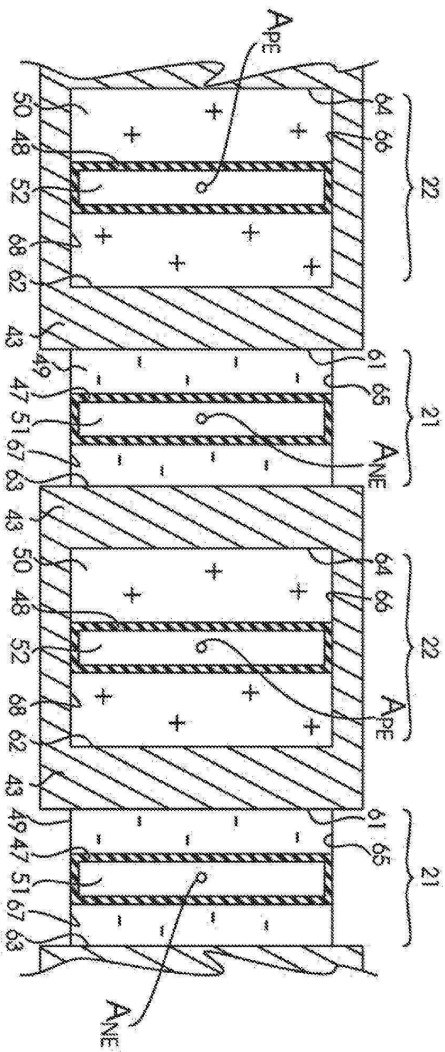




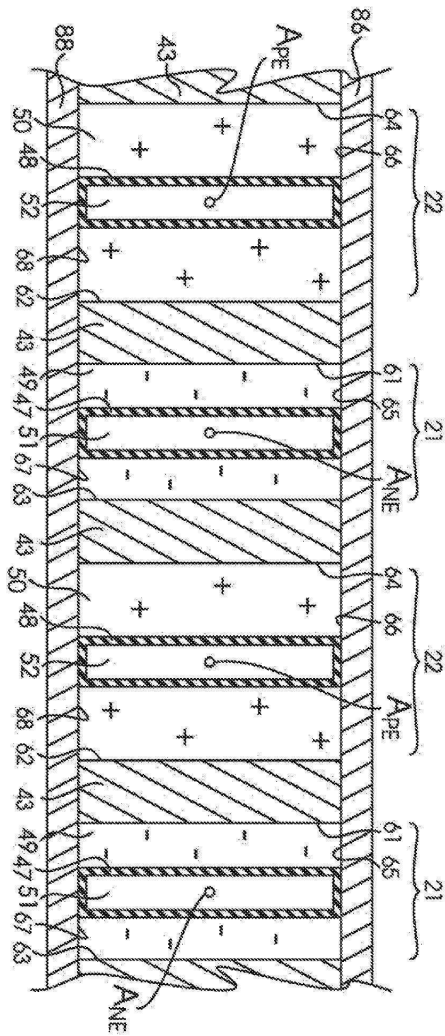
도면13



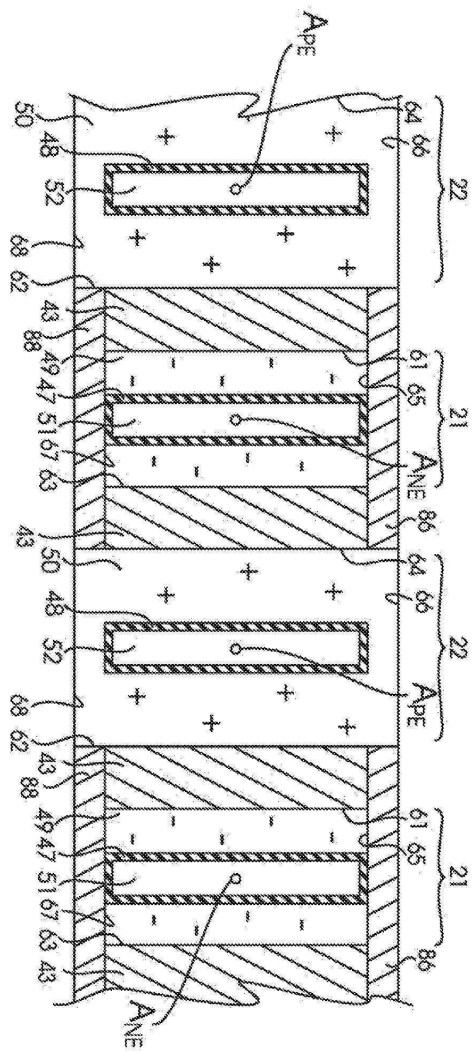
도면14



도면 15

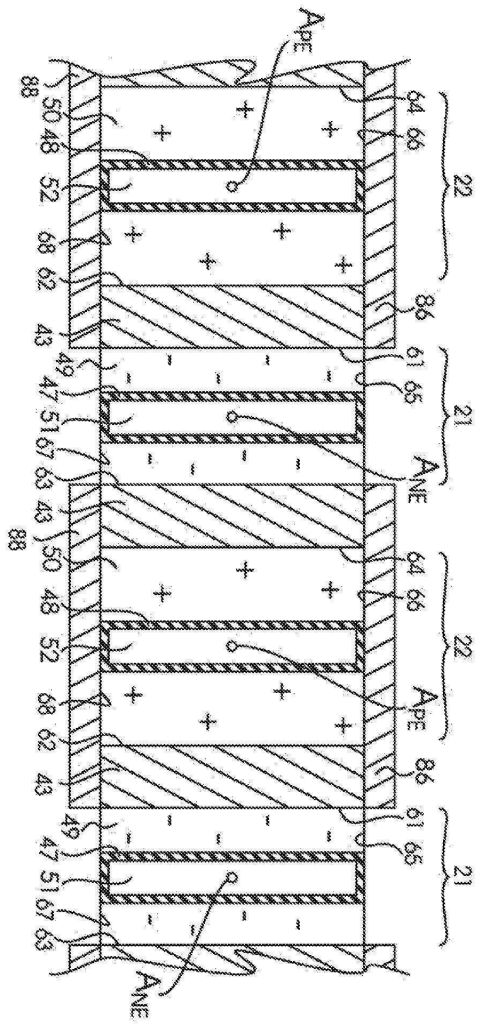


도면 16

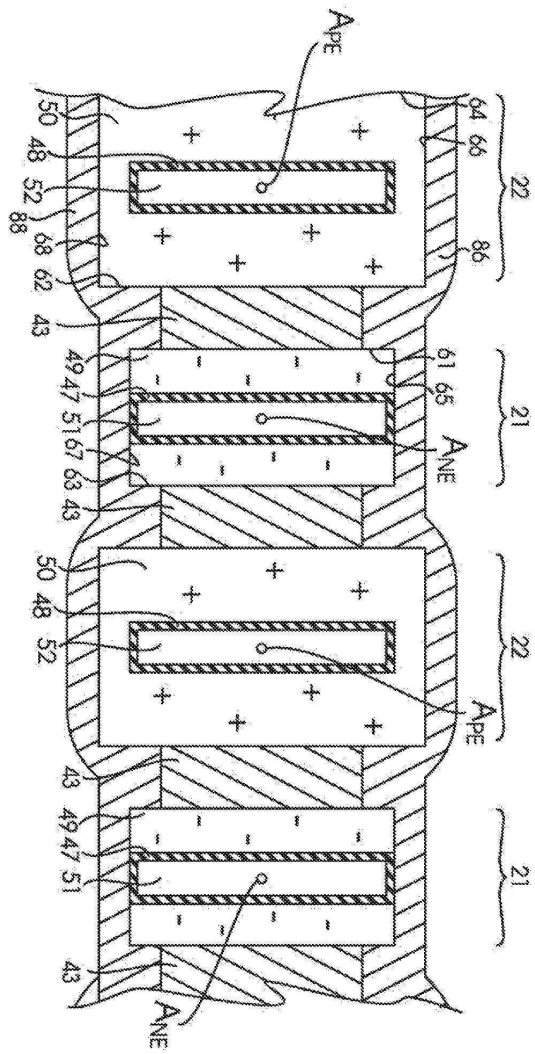




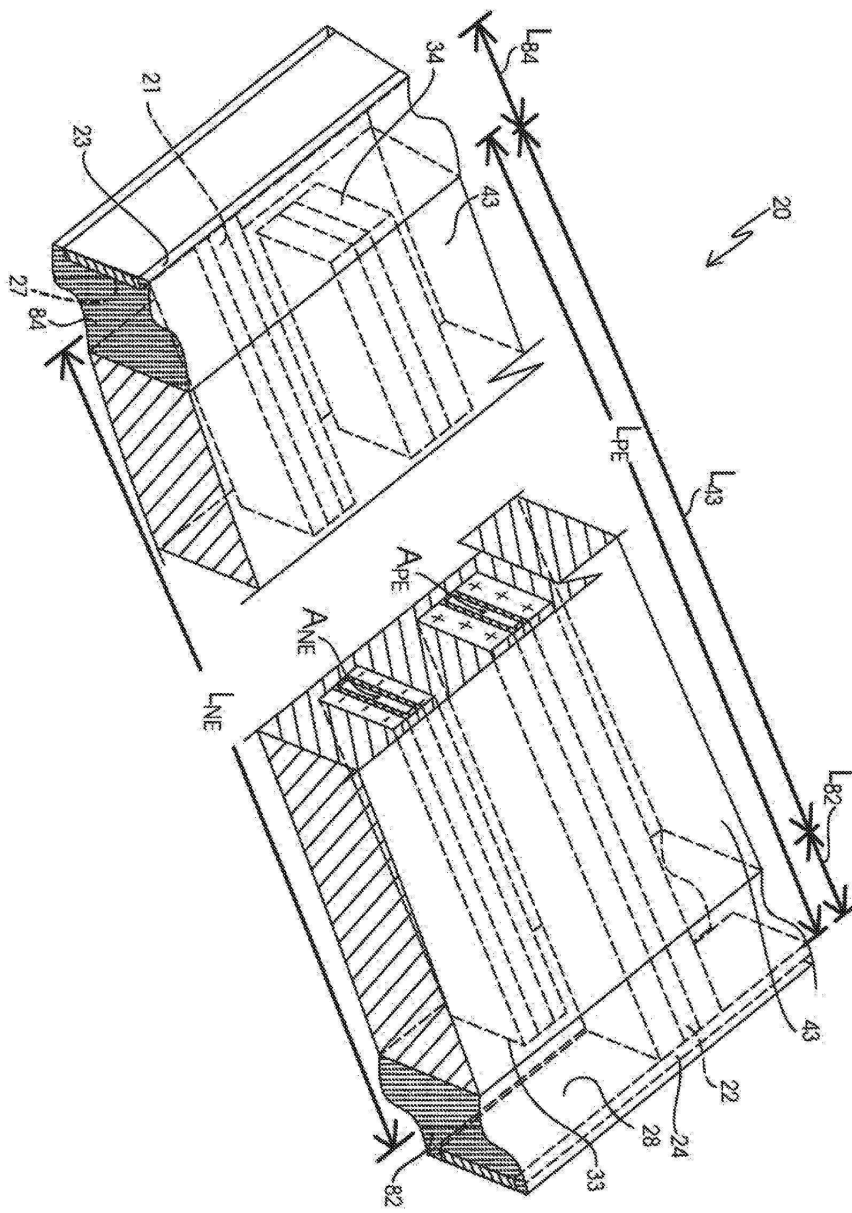
도면17



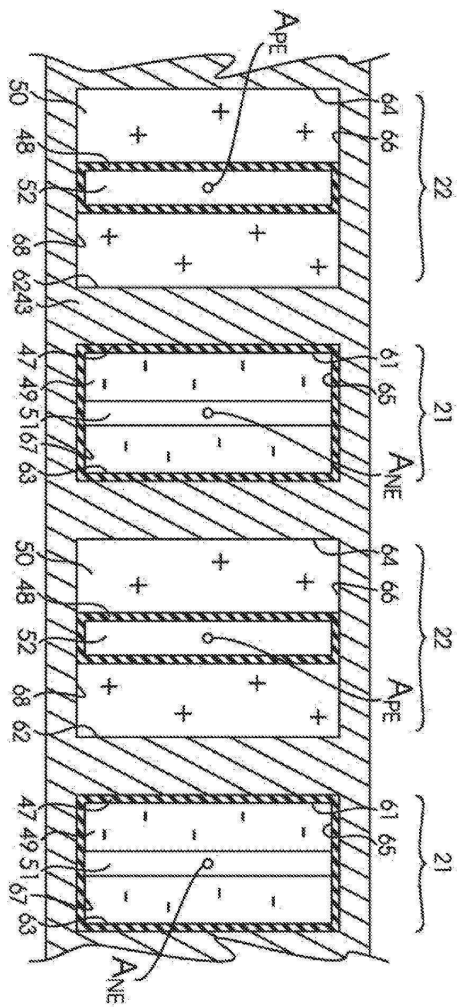
도면18



도면19

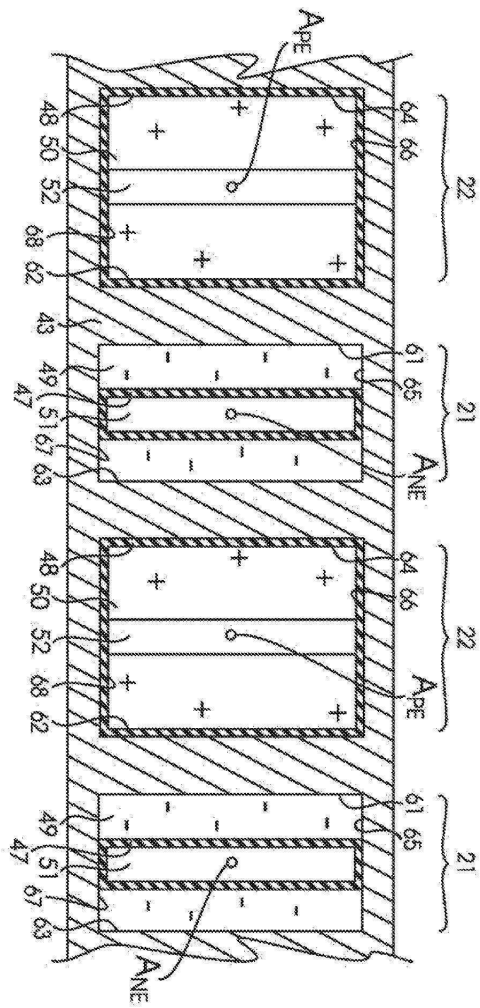


도면 20

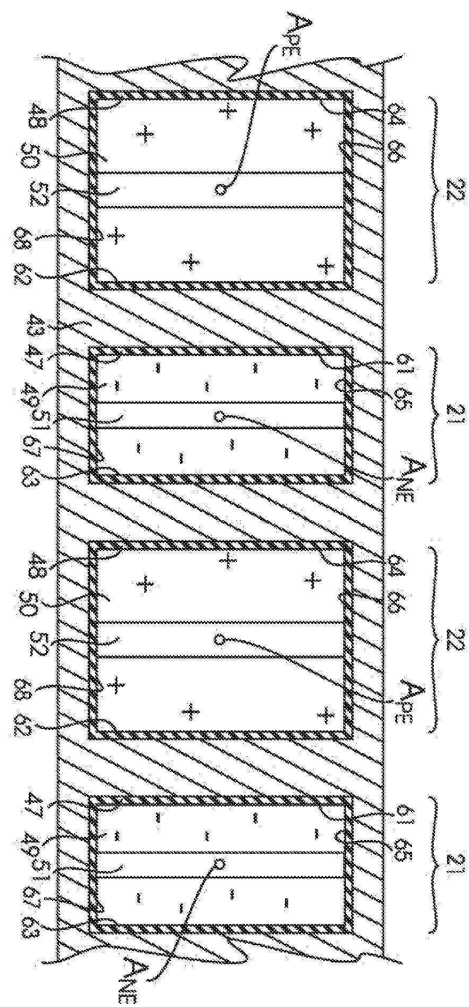




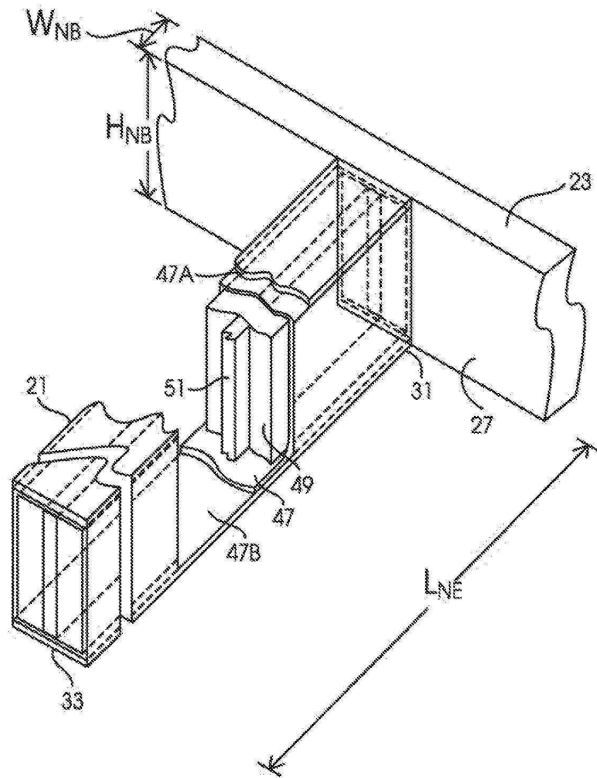
도면21



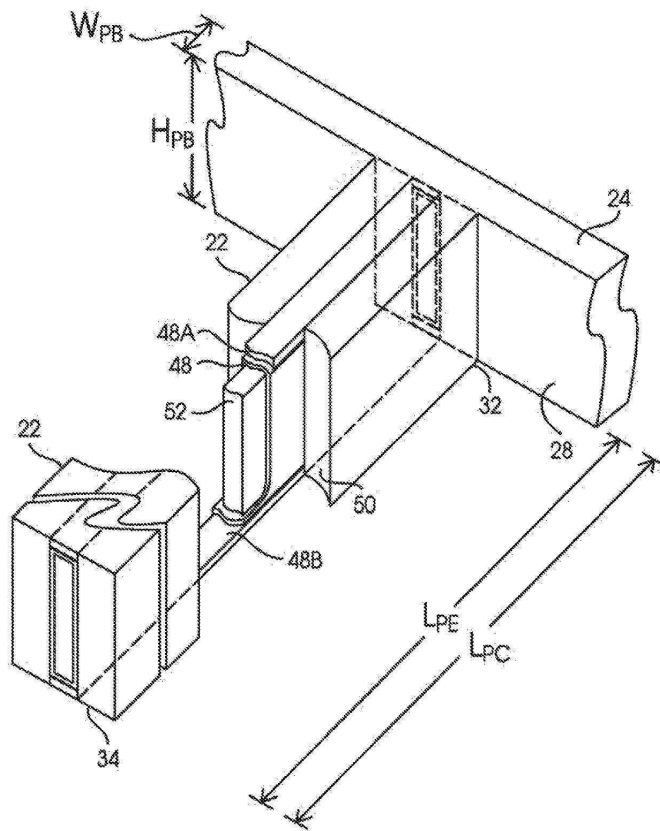
도면22



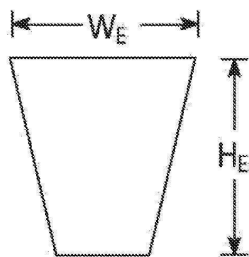
도면23



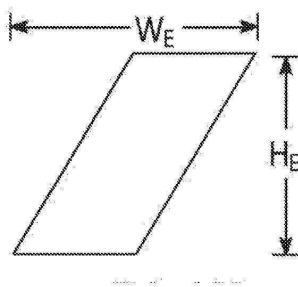
도면24



도면25a

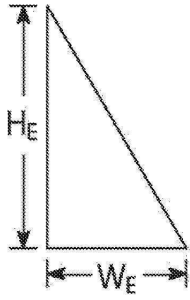


도면25b

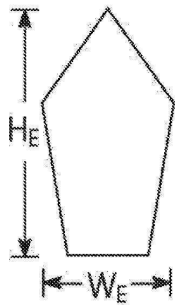




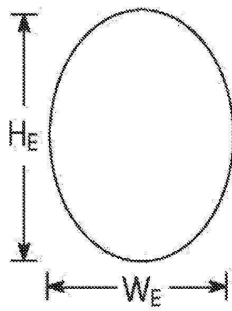
도면25c



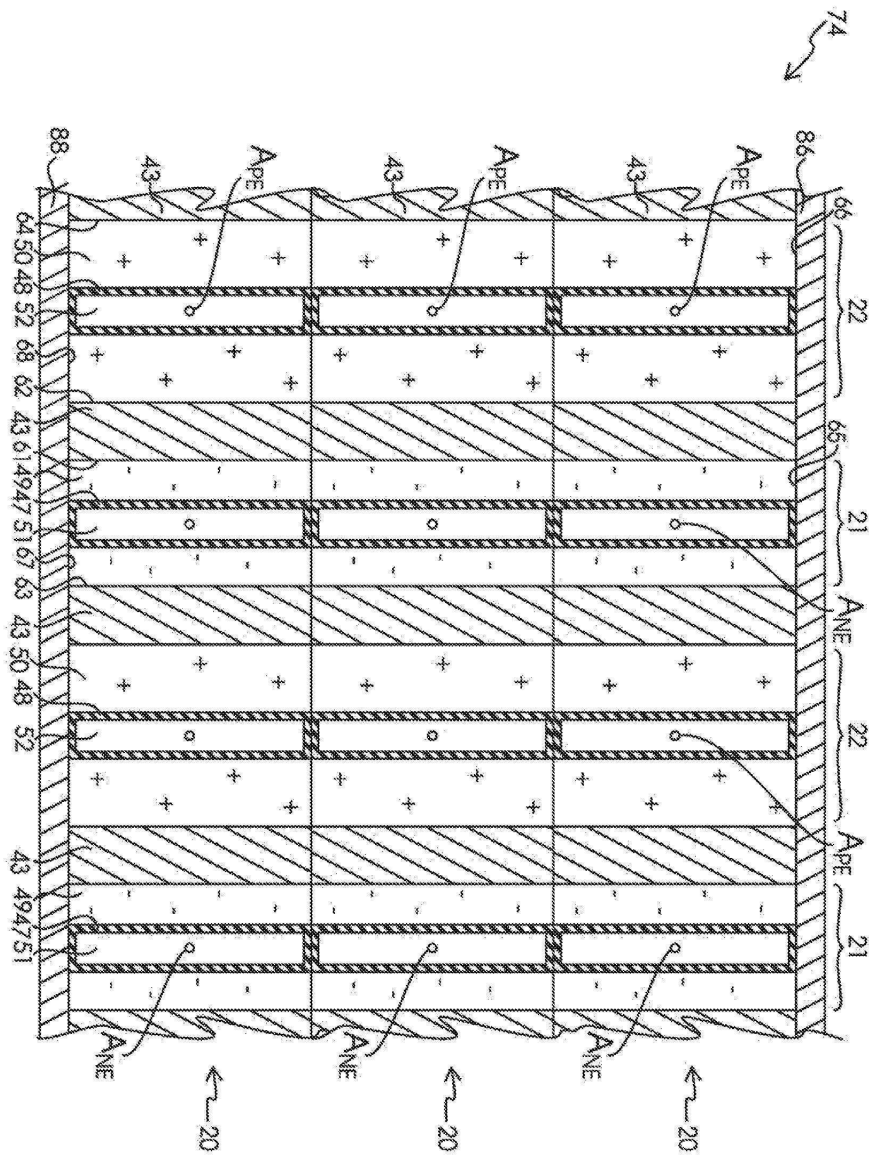
도면25d



도면25e



도면26



도면27

