



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2014-0051928  
(43) 공개일자 2014년05월02일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01M 4/13 (2010.01) H01M 4/62 (2006.01)  
H01M 4/64 (2006.01) H01M 4/36 (2006.01)  
H01M 4/02 (2006.01) H01M 4/04 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7002762
- (22) 출원일자(국제) 2012년07월02일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2013년02월03일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/045313
- (87) 국제공개번호 WO 2013/006583  
국제공개일자 2013년01월10일
- (30) 우선권주장  
61/503,819 2011년07월01일 미국(US)

- (71) 출원인  
암프리우스, 인코포레이티드  
미국, 캘리포니아 94089, 썬니베일, 홈볼트 코트 225
- (72) 발명자  
러브니스, 짐 이.  
미국, 캘리포니아 94303, 이스트 팔로 알토, 러니이드 스트리트 1269  
한, 송  
미국, 캘리포니아 94404, 포스터 시티, 컨스티튜션 드라이브 892  
리우, 주킨  
미국, 캘리포니아 94086, 썬니베일, 스타브러쉬 드라이브 644
- (74) 대리인  
강명구

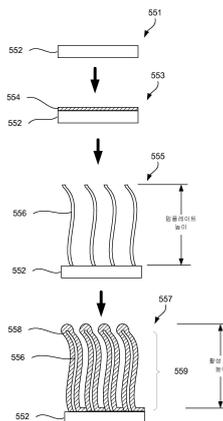
전체 청구항 수 : 총 37 항

(54) 발명의 명칭 **향상된 접착 특성을 가진 템플레이트 전극 구조체**

**(57) 요약**

본 명세서에 리튬 이온 셀을 위한 신규한 템플레이트 전극 물질과 구조체가 제공된다. 관련된 방법도 제공된다. 다양한 구체예에 따르면, 전극은 나노구조체 템플레이트, 템플레이트를 코팅하는 전기 화학적 활성 물질층 및 상기 나노구조체 템플레이트와 상기 전기 화학적 활성 물질층 사이의 제1 중간층을 포함할 수 있다. 하나의 방식에서, 나노구조체 템플레이트는 실리사이드 나노선을 포함한다. 전기 화학적 활성 물질은 실리콘, 주석, 게르마늄, 탄소, 금속 수소화물, 실리사이드, 인화물 및 질화물 중 어느 하나 일 수 있다. 제1 중간층은 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 접착, 전극 내의 전자 전도 및/또는 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 응력 완화를 가능하게 할 수 있다.

**대표도** - 도5a



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

나노구조체 템플레이트;

상기 템플레이트를 코팅하는 전기 화학적 활성 물질층; 및

상기 나노구조체 템플레이트와 상기 전기 화학적 활성 물질층 사이의 제1 중간층을 포함하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 나노구조체 템플레이트는 실리사이드 나노선(silicide nanowire)을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서, 전기 화학적 활성 물질은, 실리콘, 주석, 게르마늄, 탄소, 금속 수소화물, 실리사이드, 인화물, 질화물 및 산-질화물로 구성된 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 4

제 3 항에 있어서, 전기 화학적 활성 물질층의 적어도 일부는 리튬반응(lithiation)에서 전기 화학적 활성 물질층의 팽윤을 감소시키는 조절 첨가물(moderating additive)을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질의 리튬 용량보다 적은 리튬 용량을 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질층에 걸쳐 가변하는 농도를 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 제1 중간층은 티타늄, 구리, 철, 니켈 및 크롬으로 구성된 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 제1 중간층은 약 2 나노미터 내지 2 마이크로미터의 두께를 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

### 청구항 9

제 1 항에 있어서, 상기 제1 중간층은,

나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 접촉;

전극 내의 전자 전도; 및

나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 응력 완화;

중 하나 이상을 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서, 상기 제 1 중간층은, 전기 화학적 활성 물질층 및/또는 나노구조체 템플레이트 내에서 화합물 및/또는 물질과 합금을 형성함에 의하여, 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 접촉을 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 11**

제 9 항에 있어서, 상기 제1 중간층은, 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 전자 저항을 감소시켜서, 전극 내의 전자 전도를 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 12**

제 9 항에 있어서, 상기 제1 중간층이 나노구조체 템플레이트에 모든 응력을 전달하지 않고, 전기 화학적 활성 물질층의 팽창 및 수축으로부터 나온 적어도 일부 응력을 흡수할 수 있는 탄성 특성을 가지기 때문에, 상기 제1 중간층은 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 응력 완화를 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 13**

제 1 항에 있어서, 제2 중간층으로 코팅된 기판을 더 포함하되, 적어도 나노구조체 템플레이트는 상기 제2 중간층과 접촉하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서, 상기 제2 중간층은,  
 나노구조체 템플레이트와 기판 사이의 접촉;  
 전극 내의 전자 전도; 및  
 나노구조체 템플레이트와 기판 사이의 응력 완화;  
 중 하나 이상을 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 15**

제 13 항에 있어서, 상기 제2 중간층은 상기 제1 중간층과 동일한 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 16**

제1 표면을 가지는 전도성 기판;  
 상기 제1 표면상의 나노구조체 템플레이트;  
 상기 나노구조체 템플레이트를 코팅하는 전기 화학적 활성 물질층;  
 상기 나노구조체 템플레이트와 상기 전기 화학적 활성 물질층 사이의 제1 중간층; 및  
 상기 전도성 기판의 제1 표면과 상기 나노구조체 템플레이트 사이의 제2 중간층을 포함하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서, 상기 제1 표면은, 구리, 금속 산화물, 스테인레스 강, 티타늄, 알루미늄, 니켈, 크롬, 텅스텐, 금속 질화물, 금속 카바이드, 탄소, 탄소 섬유, 그래파이트, 그래핀, 탄소 메시 및 전도성 폴리머로 구성된 그룹으로부터 선택된 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 18**

제 16 항에 있어서, 상기 전도성 기판은 베이스 기판 및 상기 베이스 기판에 부착된 얇은 금속 호일을

포함하되, 상기 제1 표면은 상기 얇은 금속 호일을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 19**

제 18 항에 있어서, 상기 얇은 금속 호일은 상기 베이스 기판과 서로 다른 성분을 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 20**

제 16 항에 있어서, 상기 제1 중간층은,  
 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 접착력;  
 전극 내의 전자 전도성; 및  
 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 응력 완화;  
 중 하나 이상을 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 21**

제 16 항에 있어서, 상기 제2 중간층은,  
 나노구조체 템플레이트와 기판 사이의 접착력;  
 전극 내의 전자 전도성; 및  
 나노구조체 템플레이트와 기판 사이의 응력 완화;  
 중 하나 이상을 가능하게 하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 22**

제 16 항에 있어서, 상기 전기 화학적 활성 물질층은, 실리콘, 주석, 게르마늄, 탄소, 금속 수소화물, 실리사이드, 인화물 및 질화물로 구성된 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 23**

제 22 항에 있어서, 전기 화학적 활성 물질층의 적어도 일부는 리튬반응에서 전기 화학적 활성 물질층의 팽윤을 감소시키는 조절 첨가물을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 24**

제 23 항에 있어서, 상기 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질의 리튬 용량보다 적은 리튬 용량을 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 25**

제 24 항에 있어서, 상기 조절 첨가물은 산소, 티타늄, 주석, 게르마늄, 니켈, 구리, 탄소, 질소, 알루미늄 및 텅스텐으로 구성된 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 26**

제 23 항에 있어서, 상기 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질층에 걸쳐 가변하는 농도를 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 27**

제 26 항에 있어서, 전기 화학적 활성 물질 내의 조절 첨가물의 농도는 전도성 기판에 인접한 전기 화학적 활성 물질층의 영역에서 가장 높은 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 28**

전도성 기관;

상기 전도성 기관상의 나노구조체 템플레이트;

상기 나노구조체 템플레이트를 코팅하는 전기 화학적 활성 물질층; 및

상기 전기 화학적 활성 물질층의 적어도 일부의 조절 첨가물 - 상기 조절 첨가물은 리튬반응 동안에 전기 화학적 활성 물질층의 팽윤을 감소시키도록 구성됨 - 를 포함하되, 상기 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질층에 걸쳐 가변하는 농도를 가지는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 29**

제 28 항에 있어서, 상기 첨가물의 농도는 나노구조체 템플레이트에 인접한 전기 화학적 활성 물질층의 영역에서 가장 높은 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 30**

제 28 항에 있어서, 상기 첨가물은 전기 화학적 활성 물질의 리튬 용량보다 적은 리튬 용량을 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 31**

제 30 항에 있어서, 상기 첨가물은 산소, 티타늄, 주석, 게르마늄, 니켈, 구리, 탄소, 질소, 알루미늄 및 텅스텐으로 구성된 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 32**

제 31 항에 있어서, 상기 전기 화학적 활성 물질층은 외부 표면을 가지고, 전기 화학적 활성층의 일부는 실질적으로 조절 첨가물을 포함하지 않는 외부 표면에 인접하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극.

**청구항 33**

- a) 제1 표면을 포함하는 전도성 기관을 수령하는 단계;
- b) 상기 기관의 제1 표면을 거칠게 하는 단계
- c) 상기 기관의 제1 표면상의 금속 실리사이드를 포함하는 나노구조체 템플레이트를 형성시키는 단계; 및
- d) 상기 나노구조체 템플레이트의 적어도 일부 상에 중간층을 형성시키는 단계; 및
- e) 상기 중간층 위에 전기 화학적 활성 물질의 층을 형성시키는 단계를 포함하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극을 제작하는 방법.

**청구항 34**

제 33 항에 있어서, 단계 b 이후에, 상기 제1 표면은 적어도 약 2 마이크로미터의 표면 거칠기를 가지는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극을 제작하는 방법.

**청구항 35**

제 33 항에 있어서, 상기 전도성 기관은 니켈층을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극을 제작하는 방법.

**청구항 36**

제 33 항에 있어서, 상기 전도성 기관은 상기 니켈층을 지지하는 구리 층을 더 포함하고, 상기 제1 표면은 니켈층의 일부인 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극을 제작하는 방법.

**청구항 37**

제 33 항에 있어서, 단계 b 에서, 상기 제1 표면을 거칠게 하는 단계는 화학적 에칭, 전기 화학적 용해법, 펄스 도금, 스퍼터링, 실리사이드화, 산화 및 환원으로 구성된 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 방법을 포함하는 것을 특징으로 하는 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 전극을 제작하는 방법.

**명세서**

**기술분야**

**[0001] 관련 출원에 대한 상호-참조**

**[0002]** 본 출원은 "TEMPLATE ELECTRODE STRUCTURES WITH ENHANCED ADHESION CHARACTERISTICS" 로 명칭되고, 2011년 7 월 1일에 출원된, 미국 가 출원 번호 제61/503,819호에 대하여 USC 119(e) 하에서 우선권의 이익을 주장하고, 이는 모든 목적을 위하여 그 전체로서 본 명세서에 참조로서 포함된다.

**발명의 내용**

**[0003]** 본 발명의 구체예에서, 리튬 이온 셀을 위한 전극이 제공된다. 전극은 나노구조체 템플레이트, 상기 템플레이트를 코팅하는 전기 화학적 활성 물질층 및 상기 나노구조체 템플레이트와 상기 전기 화학적 활성 물질층 사이의 제1 중간층을 포함한다. 하나의 방식에서, 상기 나노구조체 템플레이트는 실리사이드 나노선을 포함한다. 전기 화학적 활성 물질은, 실리콘, 주석, 게르마늄, 탄소, 금속 수소화물, 실리사이드, 인화물, 질화물 중 어느 하나 일 수 있다.

**[0004]** 전기 화학적 활성 물질층의 적어도 일부는 리튬반응(lithiation) 에서 전기 화학적 활성 물질층의 팽윤 (swelling)을 감소시키는 조절 첨가물(moderating additive)을 더 포함한다. 상기 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질의 리튬 용량보다 적은 리튬 용량을 가진다. 예를 들어, 실리콘 전기 화학적 활성 물질을 위해, 제1 중간층은 티타늄, 구리, 철, 니켈 및 크롬 중 하나 이상일 수 있다. 하나의 방식에서, 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질층에 걸쳐 가변하는 농도를 가진다.

**[0005]** 제1 중간층은 약 2 나노미터 내지 2 마이크로미터의 두께를 가진다. 제1 중간층은, 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 접촉, 전극 내의 전자 전도 및/또는 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 응력 완화를 가능하게 할 수 있다. 제 1 중간층은, 전기 화학적 활성 물질층 및/또는 나노구조체 템플레이트 내에서 화합물 및/또는 물질과 합금을 형성함에 의하여, 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 접촉을 가능하게 할 수 있다. 제1 중간층은, 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 전자 저항을 감소시켜서, 전극 내의 전자 전도를 가능하게 할 수 있다. 어떤 방식에서, 중간층(및 임의의 화합물 또는 그것이 형성할 수 있는 합금) 과 그와 인접한 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성층 사이의 접촉 저항의 합이 중간층이 없을 때, 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 접촉 저항보다 적기 때문에 전자 저항은 감소된다. 제1 중간층이 나노구조체 템플레이트에 모든 응력을 전달하지 않고, 전기 화학적 활성 물질층의 팽창 및 수축으로부터 나온 적어도 일부 응력을 흡수할 수 있는 탄성 특성을 가지기 때문에, 상기 제1 중간층은 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성 물질층 사이의 응력 완화를 가능하게 할 수 있다.

**[0006]** 본 발명의 한 구체예에서, 전극은 제2 중간층으로 코팅된 기판을 더 포함하되, 적어도 나노구조체 템플레이트는 상기 제2 중간층과 접촉한다. 제2 중간층은, 나노구조체 템플레이트와 기판 사이의 접촉력, 전극 내의 전자 전도성 및/또는 나노구조체 템플레이트와 기판 사이의 응력 완화도 가능하게 할 수 있다. 하나의 방식에서, 제2 중간층은 상기 제1 중간층과 동일하다.

**[0007]** 본 발명의 또 다른 구체예에서, 리튬 이온 셀 내에서 사용하기 위한 또 다른 전극이 제공된다. 전극은 금속 표면을 가진 전도성 기판, 금속 표면상의 나노구조체 템플레이트, 나노구조체 템플레이트를 코팅하는 전기 화학적 활성 물질층, 상기 나노구조체 템플레이트와 상기 전기 화학적 활성 물질층 사이의 제1 중간층 및 상기 전도성 기판의 제1 표면과 상기 나노구조체 템플레이트 사이의 제2 중간층을 포함한다. 상기 금속은 구리, 니켈, 티타늄 및 스테인레스 강 중 하나를 포함할 수 있다. 전도성 기판은 베이스 기판 및 상기 베이스 기판에 부착된 얇은 금속 호일을 포함하여, 얇은 금속 호일은 상기 언급된 금속 표면을 제공한다. 얇은 금속 호일은 베이스 기판과 서로 다른 구성요소를 가질 수 있다. 제1 중간층 및 제2 중간층은 상기 기술된 접촉력, 전자 전도성 및 응력 완화 중 하나 이상을 가능하게 할 수 있다. 전기 화학적 활성 물질층은, 실리콘, 주석, 게르마늄, 탄소, 금속 수소화

물, 실리사이드, 인화물 및 질화물 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0008] 하나의 방식에서, 전기 화학적 활성 물질층의 적어도 일부는 리튬반응 에서 전기 화학적 활성 물질층의 팽윤을 감소시키는 조절 첨가물을 더 포함한다. 조절 첨가물은 전기 화학적 활성 물질의 리튬 용량보다 적은 리튬 용량을 가질 수 있다. 조절 첨가물은 산소, 티타늄, 주석, 게르마늄, 니켈, 구리, 탄소, 질소, 알루미늄 및 텅스텐 중 하나 일 수 있고, 전기 화학적 활성 물질층에 걸쳐 가변하는 농도를 가질 수 있다. 하나의 방식에서, 전기 화학적 활성 물질 내의 조절 첨가물의 농도는 전도성 기관에 인접한 전기 화학적 활성 물질층의 영역에서 가장 높다. 또 다른 방식에서, 전기 화학적 활성 물질층의 외부 표면에 인접한 전기 화학적 활성 물질층의 일부에 실질적으로 조절 첨가물이 없다.

[0009] 본 발명의 이들 및 다른 태양은 아래 도면을 참조하여 더욱 기술된다.

**도면의 간단한 설명**

[0010] 도 1 은 어떤 구체예에 따른 나노구조체 템플레이트 및 전기 화학적 활성층을 포함하는 전극 구조체의 예의 개략적 도면이다.

도 2A-2C는 어떤 구체예에 따른 처리 전 및 처리 후의 니켈 표면의 표면 거칠기를 도시한 이미지이다.

도 3A는 어떤 구체예에 따른 3-층의 기관의 예의 개략적인 도면이다.

도 3B-3F는 어떤 구체예에 따른 다양한 실리사이드 구조체의 예의 개략적인 도면이다.

도 4는 어떤 구체예에 따른 기관 상에 배열된 템플레이트 구조체 위에 위치한 활성 물질층의 예의 개략적인 도면이다.

도 5는 어떤 구체예에 따른 금속 실리사이드 템플레이트 및 활성 물질을 포함하는 전기 화학적 활성 전극을 제작하는 공정을 나타낸다.

도 5A는 어떤 구체예에 따른 도 5dp 도시된 공정의 서로 다른 단계 동안에 생성되는 4 개의 구조체의 예의 개략적인 도면을 나타낸다.

도 6A는 상기 살펴본 바와 같이, 실리사이드 나노선 템플레이트의 SEM 이미지이다.

도 6B는 비정질 실리콘으로 코팅된 실리사이드 나노선 템플레이트의 SEM 이미지이다.

도 6C는 실리콘 코팅된 나노선을 포함하는 활성층의 SEM 이미지의 측면도이다.

도 6D는 도 6B에 나타난 활성층의 SEM 이미지의 고도 확대도이다.

도 6E는 전극의 상면에 대한 각도에서 얻은 SEM 이미지이고, 나노선의 자유단과 기관에-뿌리박힌 말단을 나타낸다.

도 7A는 어떤 구체예에 따라, 본 명세서에 기술된 전극을 사용하는 부분적으로-조립된 전기화학적 셀의 평면도의 개략적인 도면이다.

도 7B는 어떤 구체예에 따라, 본 명세서에 기술된 전극을 사용하는 부분적으로-조립된 전기화학적 셀의 전극 스택의 횡-단면도의 개략적인 도면이다.

도 8A-8C는 어떤 구체예에 따라, 셀을 형성하기 위한 두 시트의 세퍼레이터와 함께 감겨진 전극의 다양한 뷰의 개략적인 도면이다.

도 9A 및 도 9B는 어떤 구체예에 따라, 다수의 셀을 포함하는 스택된 셀의 횡-단면도와 사시도의 개략적인 도면이다.

도 10은 어떤 구체예에 따라, 감겨진 원통형 셀의 횡-단면도의 개략적인 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0011] 실리콘과 같은 어떤 전기 화학적 활성 물질로부터 형성된 구조체들은 그들의 리튬반응 사이클 동안에 그들의 모양과 크기를 변화시키는 경향이 있다. 리튬반응 동안에 리튬을 수령하면서 이들 물질은 팽윤(swell)되고, 탈리

튴반응 동안에 리튴을 방출하면서 접촉한다. 예를 들어, 리튴반응시, 실리콘은  $Li_{4.4}Si$  상에 해당하는 이론적인 한계까지 400%만큼 팽창한다. 동시에, 전도성 기관은 이들 활성 물질이 모양과 크기를 유지하도록 지지하는데 일반적으로 사용된다. 일부 일반적인 기관의 예는 얇은 금속 호일을 포함한다. 두 전극 구성 사이의 거의 직접 접촉과 관련된 행동에서의 차이는 리튴반응 사이클 동안에 기관과 활성 물질층 사이의 기계적이고 전기적인 연결을 유지하기 어렵게 한다. 두 구성 사이의 경계면은 기관의 정적인 성질과 활성 물질의 동적인 성질에 의해 야기되는 높은 응력 레벨을 경험한다. 게다가, 이 응력은 경계면에 집중되고, 두 물질을 분리시키는 경향이 있다. 결과적으로, 활성 물질층들은 그들의 기관으로부터 갈라지고, 벗겨지는 (delaminate) 경향이 있어서, 용량 감소 및 벗겨진 입자에 의해 초래되는 내부 전기적 단락과 같은 어떤 안전 문제도 나타나는 결과를 초래한다.

[0012] 전도성 기관상에 형성된 나노구조체 템플레이트는 이들 문제의 일부를 완화시키는데 도움이 된다. 나노구조체 템플레이트는 평평한 기관의 해당 면적보다 훨씬 더 큰 표면적을 제공하여 활성 물질을 지지한다. 그와 같이, 이러한 넓은 표면적 템플레이트상에 증착된 활성 물질층은 동일한 용량을 가지고도, 더 작은 평평한 기관상에 형성된 층보다 훨씬 얇을 수 있다. 매우 얇은 활성 물질층은 더 적은 기계적 응력을 겪을 것으로 여겨지고, 좀 더 구체적으로, 리튴반응 사이클 동안에, 템플레이트와의 경계면 또는 어떤 다른 지지 구조체와의 경계면에서 더 작은 기계적 응력 집중을 겪을 것이다.

[0013] 템플레이트는 정적인 구성이고, 리튴 사이클링 동안에 그 크기나 모양이 변하지 않는다. 동시에, 리튴반응 동안에 팽윤 및 수축을 나타내는 물질로부터 형성된 활성 물질층은 동적인 구성이다. 응력 레벨이 활성 물질층에 대해 더 작다고 하더라도, 일부 응력은 템플레이트와 활성 물질층 사이의 경계면에 여전히 집중되어 있다. 더구나, 기관상에 템플레이트를 형성하는 것은 템플레이트와 기관 사이의 추가적인 경계면을 형성하는 것이고, 이는 마찬가지로 안정적인 것을 요한다. 템플레이트는 상기 기술된 템플레이트와 기관 사이의 부착에 의존하도록 접근하여, 전반적인 배터리 기능을 유지시킨다. 특히, 활성 물질의 상당한 양이 템플레이트-기관 경계면 근처에 증착된다면, 리튴반응 동안에 활성 물질에 의해 가해진 힘은 기관에 대해 템플레이트 구조체를 움직이게 할 수 있다(즉, 이들 구조체를 기관 밖으로 "당겨짐").

[0014] 이들 경계면 벗겨짐 문제는, 어떤 기술로 경계면의 바운더리를 수정함에 의하여 및/또는 경계면에서의 응력 집중을 감소시키거나 및/또는 경계면에서의 더 강한 결합력을 제공하는데 도움이 되는 어떤 물질을 사용함에 의하여 성공적으로 완화시킬 수 있다. 응력이 정적인 전극 구성과 동적인 전극 구성에 새로이 제안되는 시스템에도 여전히 존재할 수 있는 반면, 이들 구성은, 어떤 구체예에서, 탄성 물질에 의해 이제 분리된다. 동일하거나 다른 구체예에서, 일부 경계면에서의 응력은, 활성 물질의 적어도 일부내에 조절 첨가물을 포함시킴에 의하여 감소되고, 경계면에서 세미-동적인 구성을 효과적일 만든다. 더구나, 새로이 제안된 전극 구성은 더 강한 결합력을 제공하는 경계면의 합금을 형성할 수 있다.

[0015] 본 명세서에 개시된 새로운 물질과 기술은 템플레이트(가령, 니켈 실리사이드 나노구조체)에 대한 전기 화학적 활성층(가령, 실리콘 셸)의 접착과 부착을 개선 시킨다. 리튴반응 사이클 동안에 경계면 접착력을 보존하는 것은 응력있고 및/또는 약한 경계면에서의 물질 격리시키기(islanding), 벗겨짐(delamination) 및 분리(detachment)를 방지함에 의하여 전반적인 배터리 성능을 개선 시킬 수 있다. 과도한 응력 축적에 의한 경계면에서의 갈라짐은 유리된 전극 재료 조각을 만들 수 있다. 이러한 유리된 조각은 고체 전해질 계면(SEI) 과 같이 패시베이션되어(passivated), 층이 조각들의 표면에 형성된다. 일반적으로, 유리된 조각은 다른 전극 구성에 부착되지 않고, 부착될 가능성은 SEI 층에 의해 더욱 없어진다. 유리된 조각은 다른 전극 구성으로부터 전기적으로 분리되어, 더 이상 셸의 기능에 참여하지 못하고, 셸의 사중(dead weight)과 부피를 추가하고, 셸의 에너지 밀도를 낮춘다. 본 명세서에 개시된 새로운 물질과 기술이 이 문제점을 성공적으로 완화시킬 수 있는 실제적인 개선책을 제공한다.

[0016] 본 발명의 한 구체예에서, 템플레이트는 구리, 니켈 및 티타늄과 같은 물질을 형성하는 실리사이드로 코팅되어 수정되어, 아래 추가 기술된 바와 같이, 가령, "Adhesion layer at the template-active material interface" 로 명칭된 섹션에서와 같이, 템플레이트와 기관과의 경계면에서 합금된 활성 물질의 양을 증가시킨다. 또 다른 예는 티타늄과 크롬과 같은 접착 조속매과 산소 게터를 사용하여 템플레이트를 수정하는 것을 포함한다. 이들 물질은 도금, 증발 및/또는 스퍼터(sputter)될 수 있다. 또 다른 예에서, 템플레이트는 니티놀과 합금된 니켈 티타늄과 같은 수퍼-탄성 합금을 사용하여 수정된다. 이 합금은 전기 화학적 활성층을 형성하기 이전에 템플레이트상에 코팅될 수 있다. 이들 합금은 활성 물질층과 템플레이트 사이의 경계면에서 응력을 감소시키거나, 최소한 응력을 재분배시킬 수 있다. 더구나, 템플레이트를 형성하기 위해 사용되는 기관 표면의 거칠기를 증가시키는 것은 접착력을 증가시키고, 경계면에서 평면내 리튴반응 응력을 감소시킨다. 이들 예의 일부는 하나 또는

두 개의 경계면의 안정성을 더욱 개선시키기 위하여 다른 것들과 결합 될 수 있다. 제안된 전극 시스템은, 템플레이트의 성장 후에, 템플레이트 위에 다양한 물질을 증착함에 의하여 및/또는 템플레이트 시드층 밑에 다양한 물질을 증착함에 의하여 시험 되어왔다. 두 경우에서, 이들 물질은 다른 구성(활성 물질, 템플레이트 및 기관)과 구별되는 분리된 구성으로 유지되거나, 하나 이상의 다른 구성에 통합되어서 명확하지 않은 경계면, 즉, "혼합된 경계면" 또는 "집진적인 경계면"를 만들 수 있다. 더구나, 이들 물질의 일부는 템플레이트 층의 유연성과 접착력을 개선시키는 것으로 여겨진다. 이들 및 다른 구체에는 이제 좀 더 상세하게 기술될 것이다.

[0017] 다양한 구체예의 더 나은 이해를 제공하기 위하여, 나노구조체 템플레이트와 전기 화학적 활성층을 포함하는 전극 구조체의 간단한 설명이 아래 도 1을 참조하여 제공된다. 전극 구조체(100)는 전도성 기관(102)를 포함하고, 이는 금속 호일, 메쉬 또는 다른 적당한 기관 재료 및/또는 아래에서 추가 기술되는 구조체 중 하나 일 수 있습니다. 전도성 기관(102)은 다른 전극 구성에 대한 기계적 지지체로서, 전류 콜렉터로서 사용될 수 있다. 어떤 구체예에서, 전극은 전도성 기관없이 제작되어서, 기계적 지지체 및 전류 콜렉터 기능은 다른 구성에 의해 제공될 수 있다는 것을 주목한다.

[0018] 전극 구조체(100)는 전도성 기관(102)에 인접 위치하고 부착된 나노구조체 템플레이트(104)도 포함한다. 나노구조체 템플레이트(104)는 활성 물질을 증착하기 위해 넓은 표면적을 제공한다. 나노구조체 템플레이트(104)는 전기적 전류의 전도를 가능하게 하여, 전기 화학적 활성물질로부터이 물질에 대한 지지체를 제공한다. 전극 구조체(100)는 전기 화학적 활성 물질층(106)도 포함하는데, 이는 실리콘과 같은 활성 물질을 적어도 포함하는 층이다. 전기 화학적 활성 물질층(106)은 전기 화학적 활성 물질층이 겪는 리튬반응에서의 팽윤양을 감소시킬 수 있는 조절 첨가물과 같은 다른 물질도 포함할 수 있다. 전도성 기관(102), 나노구조체 템플레이트(104) 및 전기 화학적 활성 물질층(106)의 다양한 예는 아래 추가로 기술된다.

[0019] 전극 구조체(100)는 상기 기술된 세 개의 주요 구성 사이에 적어도 두 개의 경계면을 가진다. 전도성 기관(102)과 나노구조체 템플레이트(104) 사이에, 템플레이트-기관 경계면(103)으로 언급될 수 있는 하나의 경계면이 있다. 또 다른 경계면은, 활성 물질-템플레이트 경계면(105) 로 언급될 수 있고, 나노구조체 템플레이트(104)와 활성 물질층(106) 사이에 위치한다. 일부 활성 물질(106)은 전도성 기관(102)에 인접하여 증착되어 또 다른 경계면, 즉 활성 물질-기관 경계면을 형성할 수 있다. 본 명세서의 목적을 위하여, 활성 물질-기관 경계면은, 다른 기재가 없다면, 템플레이트-기관 경계면(103)의 일부로 간주된다. 이들 경계면은 하나의 다른 구성 분리(가령, 템플레이트로부터 활성 물질의 벗겨짐)를 막거나 적어도 최소로 하기 위해 구체적으로 구성되고, 이들 구성의 다양한 예는 이제 좀 더 상세히 설명될 것이다.

[0020] **템플레이트-활성 물질 경계면에서 접착층**

[0021] 어떤 구체예에서, 구체적으로 구성된 접착층은 활성 물질-템플레이트 경계면(105)에 제공되어 나노구조체 템플레이트(104)에 대한 전기 화학적 활성 물질(106)의 접착력을 개선 시킨다. 템플레이트와 접착층 및/또는 활성 물질과 접착층 사이의 야금학적 합금을 형성함에 의하여 달성될 수 있다. 화학적 화합물과 같은 물질 조합의 다른 형태도 사용도리 수 있다. 구체적인 구체예에서, 실리콘은 활성 물질로 사용되고, 접착층은 실리사이드를 형성할 수 있는 하나 이상의 물질을 포함한다. 더구나, 템플레이트는 금속 실리사이드를 포함할 수 있다. 이 템플레이트 위에 제공된 접착층은 금속 실리사이드를 형성하는데 사용되는 금속을 포함할 수 있다. 합금과 다른 물질 조합 유형은 활성 물질-템플레이트 경계면(105)의 강도를 개선시키는데 도움이 되고, 어떤 구체예에서, 이 경계면에서 응력 집중을 감소시킨다. 접착층은 약 2 나노미터 내지 2 마이크로미터의 두께를 가질 수 있다. 이러한 층은 기관, 템플레이트 및 활성 물질 사이의 상호작용(가령, 화학 반응, 합금)도 감소시킬 수 있다.

[0022] 일반적으로, 접착층은 다음 물질의 하나 이상을 포함할 수 있는데, 이는 티타늄, 구리, 철, 니켈, 텅스텐, 몰리브덴, 탄탈륨 및 크롬이다. 구리를 제외하고, 이들 금속은 일반적으로 실리사이드를 용이하게(가령, 니켈처럼 용이하게) 형성시키지 않는다. 그럼에도 불구하고, 일부 나노-크기의 실리사이드 형성은 이러한 금속층의 표면에서 가능하다. 나노-크기의 실리사이드 형성은 추가 공정, 가령, 템플레이트 치수 및 다른 파라미터와 같은 분배 제어에 유용할 수 있다. 일부 구체적인 예는 니켈 티타늄 합금을 포함한다.

[0023] 어떤 구체예에서, 니켈 실리사이드를 포함하는 나노구조체 템플레이트는, 활성 물질이 템플레이트상에 코팅되기 전에, 티타늄의 얇은 중간층으로 코팅된다. 이 중간층은 어닐링 또는 다른 처리되어, 템플레이트와 활성 물질층의 경계면에서 니켈 티타늄 합금을 형성할 수 있다. 하나의 특별한 합금(여기서는 니켈과 티타늄이 실질적으로 동일한 원자 농도가 존재함)은 니티놀(nitinol)이다. 니티놀은 수퍼-탄성 특성을 가지고, 일반적인 금속보다 약 1-30배 우수한 탄성력을 나타낸다. 이들 수퍼-탄성 특성은, 템플레이트에 응력을 전달하지 않고, 활성 물질층의 팽창 및 수축으로부터 나온 적어도 일부 응력을 흡수함에 의하여, 도 1의 활성 물질-템플레이트 경계면(105)에

서의 응력을 완화시키는데 도움이 될 수 있다. 합금 처리는, 전기 화학적 활성 물질층을 증착하기 이전에, 이 증착 동안에, 또는 증착 이후에 수행될 수 있다.

[0024] **템플레이트-기판 경계면에서의 접착층**

[0025] 어떤 구체예에서, 접착층이 템플레이트-기판 경계면(103)에 제공되어 기판(102)에 대한 나노구조체 템플레이트(104)의 접착을 가능하게 한다. 상기 리스트되고 동일한 일반적인 구조체를 가진 동일한 물질로부터 형성될 수 있다. 가령, 템플레이트와 기판 사이의 경계면은 니켈 "리치(rich)" 실리사이드상을 포함할 수 있는 반면, 템플레이트와 활성 물질층 사이의 경계면은 니켈 "리치" 실리사이드상보다 더 적은 니켈과 더 많은 실리콘을 포함하는 니켈 "푸어(poor)" 실리사이드상을 포함할 수 있다.

[0026] 기판으로서의 매우 얇은 금속 호일(가령, 20 미크론 미만)을 사용하는 것과 관련된 문제가 있을 수 있는데, 특히 호일 내의 금속이 실리사이드 나노선의 형성에 관여했을 때이다. 실리사이드 나노선이 형성되면서, 호일로부터의 금속이 소모되어 이미 얇은 기판 호일의 실질적인 시닝(thinning)을 야기한다. 이는 결과적으로, 호일의 극심한 부서짐 및 기계적 결함으로까지 이어질 수 있다. 또한, 금속이 소비되면서, 전도성에서의 감소를 야기할 수 있는 홀이 형성될 수 있다. 어떤 구체예에서, 구리 기판과 같은 실리사이드 나노선을 형성하는데 유용하지 않은 전도성 물질로 제조된 베이스 기판은 실리사이드 템플레이트를 형성하기 이전에 얇은 니켈층으로 코팅된다. 그리고 나서, 이 니켈층은 니켈 실리사이드 템플레이트를 형성하기 위하여 소스 물질로서 사용되어서, 밑에 있는 구리를 보호하고, 템플레이트와 구리 기판 사이의 더 강한 접착력을 제공한다. 니켈층의 대부분이 실리사이드 내에서 소모되더라도, 구리 기판은 온전히 유지된다. 가령, 계면 합금(interfacial alloy)이 구리 기판층과 니켈 접착층 사이에 형성될 수 있다. 또한, 니켈층은 이하에서 더 설명되는 바와 같이, 니켈 실리사이드 템플레이트와 야금학적 결합을 형성한다.

[0027] 상기 기술된 두 유형의 접착층(즉, 활성 물질-템플레이트 경계면(105)와 템플레이트-기판 경계면(103))은 동일한 전극 구조체에서 사용될 수 있다. 구체적으로, 한 접착층은 기판과 템플레이트 사이에 위치되나, 또 다른 것은 템플레이트와 활성 물질 사이에 위치될 수 있다. 다양한 기술이 이러한 접착층을 증착하기 위해 사용될 수 있다. 일부 예는 전기도금, 증발법 및 스퍼터링을 포함한다. 본 발명의 일 구체예에서, 접착층은 약 2 나노미터 내지 2 마이크로미터의 두께를 가진다.

[0028] **기판 경계면 근처의 활성 물질 첨가물**

[0029] 어떤 구체예에서, 활성 물질의 팽윤은 어떤 조절 첨가물을 층의 선택된 영역으로 도입함에 의하여 활성 물질층 내에서 선택적으로 감소된다. 구체적으로, 조절 첨가물은 층으로 도입될 때 활성 물질층의 팽윤을 제한하도록 구성된다. 활성 물질층의 선택된 영역만 조절 첨가물을 수용한다. 전형적으로, 이들 영역은 템플레이트와 기판과 같이 다른 고정된 전극 구성에 인접하여 위치된다. 고정된 구성은 그 모양 또는 크기를 바꾸지 않으므로, 고정된 구성에 인접한 활성 물질층의 큰 치수적 변화는 바람직하지 않다. 그와 같이, 조절 첨가물을 포함하는 활성 물질층의 선택된 영역은 팽윤할 그들의 능력이 감소되나, 층의 나머지는 보통과 마찬가지로 리튬반응에서 팽윤한다. 용어 "조절 첨가물"은 배터리 사이클링(battery cycling)에서 사용되는 전위에서 활성 물질(및 그의 확장 할 능력)의 리튬반응 용량을 감소 또는 조절하는 경향이 있는 물질을 발견하는데 사용된다.

[0030] 전체적인 전극 용량에서의 주요 감소를 방지하기 위하여, 선택된 영역은 활성 물질층의 전체적인 부피에 비하여 상대적으로 작다. 이들 영역에서의 물질의 양 또한 작을 수 있다. 게다가, 활성층 내의 조절 첨가물은 경계면에서 응력 집중을 완화시키는데 도움이 될 수 있는 구배식(in a gradient)으로 분포될 수 있다.

[0031] 어떤 구체예에서, 조절 첨가물은 활성 물질층내에 불균일하게 분포된다. 구체적으로, 조절 첨가물은 템플레이트 구조체에서 먼 표면과 인접한 부분, 가령, 실리사이드 나노선의 자유단 근처보다 기판에 인접한 층의 부분에 더 높은 농도를 가질 수 있다. 이는 템플레이트-기판 경계면에서의 응력을 감소시키는데 도움이 되고, 이들 사이의 기계적 및 전기적 연결을 유지하는데 도움이 된다. 실리콘계 활성 물질을 가지고 사용될 수 있는 조절 첨가물의 예는 산소(가령, 실리콘 모노-옥사이드), 티타늄, 주석, 게르마늄, 니켈, 구리, 금속을 형성하는 다른 실리사이드, 탄소, 질소, 알루미늄, 텅스텐 및 실리콘보다 낮은 용량을 가지는 다른 리튬 수용 물질을 포함한다. 하나의 방식에서, 활성 물질을 더 낮은 리튬반응 용량을 가진(및 리튬반응에서 팽윤) 다른 물질로 바꾸는 것에 의하여, 및/또는 팽윤이 발생할 수 없도록 비교적 강한 활성 물질의 어떤 영역을 유지함에 의하여, 팽윤이 감소될 수 있다. 조절 첨가물의 농도는 적어도 약 1 원자 % 또는 좀 더 구체적으로, 적어도 약 10% (가령, 산소의 경우에) 일 수 있다. 어떤 구체예에서, 산소 농도는 90%만큼 높을 수 있고, 바로 경계면에서는 더 높을 수 있으며, 경계면으로부터 감소하는 구배식이 될 수 있다. 가령, 산소는 경계면으로부터 약 500 nm, 심지어 약 100 nm 보다

작은 두께 내에 존재할 수 있다. 리튬을 흡수할 수 있는 다른 물질의 농도 및 전체 양은 전체 리튬반응 용량에 대한 큰 영향 없이 매우 높을 수 있다. 동시에, 템플레이트 구조체의 반대면에서 활성 물질이 대체로 없을 수 있다.

[0032] 또 다른 구체예에서, 조절 첨가물은, 활성 물질층의 다른 부분보다 활성 물질층과 나노구조체 템플레이트 사이의 경계면 근처에서 더 높은 농도를 가질 수 있다. 이는 활성 물질-템플레이트 경계면으로부터 응력을 없애고, 템플레이트에 대한 활성 물질층의 부착력을 유지시키는데 도움이 된다.

[0033] 활성 물질층에서의 조절 첨가물의 다양한 농도는, 이하에 더 설명하는 바와 같이, 활성 물질층의 증착동안에 다양한 전구체의 공급을 가변시킴에 의해 달성될 수 있다. 가령, 산소는 템플레이트 위의 활성 물질층의 초기 형성단계 동안에 증착 챔버 내로 도입될 수 있다. 그리고 나서, 전극 구조체 내의 산소 농도는 템플레이트에서 먼 자유단 근처보다 기판에-뿌리박힌 말단 근처에서 더 높다. 실리콘 옥사이드는 실리콘 보다 훨씬 덜 팽윤되는 경향이 있어서, 산소 분포는 템플레이트-기판 경계면에서의 응력을 감소시키는데 도움이 된다. 동시에, 활성 물질의 다른 부분에서의 비교적 낮은 산소의 농도는 전체 용량을 현저하게 감소시키는 것으로 보이지 않는다.

[0034] **기판 또는 템플레이트 구조체를 거칠게 하는 단계**

[0035] 경계면을 형성하기 위하여, 부드러운 표면 대신 거친 표면을 사용함에 의하여, 경계면의 강도가 상당히 개선될 수 있다는 것도 발견되었다. 거친 표면은 더 넓은 표면적을 가져서, 부드러운 표면이 하는 것 보다 추가적인 구조체의 부착을 위한 더 많은 장소를 제공한다. 또한, 거친 표면은 리튬반응 사이클 동안 생성된 응력을 재분배하는데 도움이 된다. 어떤 특정 이론에 제한되지 않더라도, 거친 표면이 리튬반응 사이클 동안에 활성 물질의 팽창을 위한 작은 캐비티(cavity)도 제공할 수 있다고 여겨진다. 표면 거칠기는 적어도 약 0.5 마이크로미터 또는 좀 더 구체적으로, 약 2 마이크로미터 내지 4 마이크로미터와 같이 적어도 약 2 마이크로미터일 수 있다. 거칠게 하는 기술은 화학적 에칭, 전기 화학적 용해법, 펄스 도금, 스퍼터링, 샌드-블래스팅, 산화법 및 환원법을 포함할 수 있다. 가령, 니켈 표면은 질산과 포타슘 퍼플루오알킬 설페이트(potassium perfluoroalkyl sulfonate)의 수용액인 니켈 부식제 TFB로 처리함에 의해 거칠게 될 수 있다. 도 2A는 임의의 처리가 수행되기 전에 니켈 호일의 초기 표면을 나타낸 것이다. 도 2B는 니켈의 일부 부분적 화학 용해 단계, 즉, 20 - 100 mA/cm<sup>2</sup>의 전기 밀도에서 황산에서 수행되는 전해질 에칭 단계 후의 호일의 동일한 유형을 나타낸 것이다. 도 2C는 일부 니켈을 실리콘 옥사이드로 변환시키는 단계, 즉, 일부 초기 실리콘 옥사이드 증착을 수행하는 단계에 의하여 이 때 거칠게된 호일의 동일 유형을 나타낸다. 이전 두 개의 예시에서의 표면은 대략 미크론 크기의 거칠기를 가지나, 도 2A에 도시된 출발 호일은 훨씬 더 부드럽다.

[0036] 어떤 구체예에서, 공정 방법은 나노구조체 템플레이트 위의 니켈을 포함하는 니켈층을 증착하는 단계, 니켈층을 처리하여 거친 표면을 형성시키는 단계 및 거친 표면상에 전기 화학적 활성 물질의 층을 형성시키는 단계와 관련 있고, 전기 화학적 활성 물질은 리튬 이온 셀의 사이클링 동안에 리튬 이온을 수용하고 방출하도록 구성된다. 나노구조체 템플레이트는 거친 니켈을 통하여 전기 화학적 활성 물질로부터의 전기적 전류의 전도 및 전기 화학적 활성 물질로부터의 전기적 전류의 전도를 가능하게 할 수 있다.

[0037] **실리사이드 템플레이트의 실시예**

[0038] 상기 기술된 기술과 물질의 더 나은 이해를 제공하기 위하여, 실리사이드 템플레이트와 각각의 활성 물질 코팅물의 다양한 예가 이하에 제공된다.

[0039] 다양한 구체예가 나노선을 참조하여 본 명세서에 기술된다. 다른 기체가 없다면, 본 명세서에서의 나노선에 대한 언급은 나노튜브, 나노입자, 나노구, 나노막대, 나노위스커 등을 포함하는 나노구조체의 다른 유형을 포함하도록 의도된다. 일반적으로, 용어 "나노구조체"는 약 1 마이크로미터 미만인 적어도 하나의 치수를 가지는 구조체를 말한다. 이 치수는 가령, 나노 구조체의 지름(가령, 실리사이드 템플레이트 나선), 템플레이트상에 형성된 셀의 두께(가령, 비정질 실리콘층의 두께) 또는 어떤 다른 나노구조체 치수일 수 있다. 최종 코팅된 구조체의 전체적인 치수(길이 및 지름) 모두가 나노크기이어야 하는 것은 아니라는 점을 이해해야 한다. 가령, 최종 구조체는 두께 약 500 나노미터이고, 지름 약 100 나노미터 및 길이 20 마이크로미터인 템플레이트상에 코팅된 나노-층을 포함할 수 있다. 이 전체적인 구조체는 지름 약 1.1 마이크로미터이고 길이 20 마이크로미터이나, 템플레이트와 활성 물질층의 치수때문에, 일반적으로 "나노구조체"로 언급될 수 있다. 구체적인 구체예에서, 용어 "코팅된 나노선"은 길쭉한 템플레이트 구조체상에 위치한 나노-크기의 셀을 가진 구조체를 말한다.

[0040] 나노선(나노구조체의 구체적인 케이스로서)은 1보다 큰, 전형적으로 적어도 약 2 및 좀 더 빈번하게는 적어도 약 4의 종횡비(aspect ratio)를 가진다. 구체적인 구체예에서, 나노선은 적어도 약 10, 심지어 적어도 약 100의

중형비를 가진다. 나노선은 다른 전극 구성(가령, 전도성 기관, 다른 활성 물질 구조체 또는 전도성 첨가물)에 연결하기 위하여 나노선의 하나의 더 큰 치수를 사용할 수 있다. 가령, 나노선은 기관에 뿌리박히게 되어 나노선의 대부분의 일단(또는 어떤 다른 부분)이 기관과 접촉할 수 있도록 할 수 있다. 2 개의 다른 치수가 작고, 팽창 할 수 있기 위한 인접한 빈 공간이 있기 때문에, 리튬반응 동안에 나노선에 축적된 내부 응력도 작아지고(가령, 실리콘 나노선 템플레이트상에 위치된 나노-셀의 팽창을 통해), 나노선을 분리시키지 않는다(더 큰 구조체에서 발생하는 바와 같이). 다시 말해, 나노선의 어떤 치수(가령, 전체적인 치수 및/또는 셀 두께)는 사용된 활성 물질의 해당 골절 레벨(fracture level) 이하로 유지된다. 또한, 나노선은 그 길쭉한 구조체 때문에, 전극 표면의 단위 면적당 비교적 고용량을 허용하며, 이는 템플레이트 구조체의 높이와 일치한다. 이는 비교적 높은 중형비와 기관에 말단 연결을 초래한다.

[0041] 고용량 물질을 포함하는 나노구조체를 증착하는 것은 기체-액체-고체(VLS) 증착 공정에서 사용되는 금 촉매제와 같은 값비싼 물질을 요하는 느린 공정일 수 있다. 이러한 공정을 사용하여 생성된 배터리 전극은 휴대용 전자부품 및 전기 자동차와 같이 어떤 소비자 적용에 대해 가격 제한적일 수 있다. 게다가, 전형적으로 VLS 증착은, 비정질 구조체보다 더욱 강성한 결정질 구조체를 생산하므로, 더욱 갈라지고 분쇄되기 쉽다. 마침내, VLS-증착된 구조체의 기관 연결부가, 2 개의 서로 다른 물질(가령, 금속 기관과 고용량의 활성 물질)의 뚜렷한 경계면 때문에 약해질 수 있는데, 이 중 하나는 상당한 팽윤을 경험하나, 다른 하나는 그렇지 않다. 어떤 특정 이론에 제한되지 않더라도, 이들 현상은, 이러한 전극으로부터 만들어진 배터리의 사이클링 성능을 악화시킬 수 있는 것으로 여겨진다.

[0042] 어떤 금속 실리콘 나노구조체는 촉매를 사용하지 않으면서 어떤 기관상에 직접 형성될 수 있다는 것이 발견되었다. 실리콘 나노구조체는 금속 실리콘을 만드는 금속을 포함하는 표면상에서 형성될 수 있다. 기관 표면을 포함하는 이러한 소스 금속(source metal)은, 베이스 기관 전류 수집층(가령, 스테인리스 강 또는 구리 호일의 표면에 형성된 얇은 니켈층)상의 소스 금속의 호일 또는 얇은 소스 금속과 같이 다양한 형태로 제공될 수 있다. 일부 예에서, 표면을 포함하는 소스 금속은, 실리콘 나노구조체 형성 공정을 촉진시키기 위하여 실리콘 나노구조체의 형성 이전에 처리된다. 가령, 니켈-함유 표면은, 니켈 실리콘 나노구조체를 형성하기 이전에 산화될 수 있다. 이하에서 추가로 설명되는 바와 같이, 이러한 산화는 니켈 실리콘 나노구조체를 위한 핵 형성점(nucleation points)을 만든다. 전반적으로, 산화는 템플레이트 형성 동안에 더 넓은 공정 윈도우를 가능하게 한다는 것을 발견하였다.

[0043] 실리콘 나노구조체의 배열은, "합성" 전극을 형성하기 위하여 나중에 고용량 활성 물질로 코팅된 넓은 표면적의 템플레이트로서의 역할을 할 수 있다. 이 문헌의 목적을 위하여, 일반적으로 "템플레이트"는 배터리 전극에서 활성 물질을 지지하기 위해 사용하는 나노구조체의 배열을 포함한다. 템플레이트는 가령, 전도성 기관에 대하여, 활성 물질과의 기계적 지지부 및/또는 전기적 통신을 제공할 수 있다. 어떤 구체예에서, 템플레이트는 기관에 인접한 층으로서 설치될 수 있고, 그의 높이 또는 두께에 의해 특징지어질 수 있다. 이러한 설치는 "템플레이트 층"으로 언급될 수 있고, 이는 활성 물질층과 같은 다른 유형의 층과 구별되어야 한다. 이 차이는 이하의 설명에서 더욱 언급된다. 인접한 기관은 모든 구체예에 아니나 일부에 존재할 수 있다. 어떤 구체예에서, 활성 물질로 코팅된 템플레이트는 (전도성 기관 보다는) 전기적 리드선 및 배터리 말단과 같은 셀의 다른 전도성 요소에 직접 연결될 수 있다. 구체적인 구체예에서, 템플레이트는 기관으로부터 대체로 확장된, 일부 구체예에서는 실질적으로 동일 방향인 실리콘 나노선의 단일층을 포함할 수 있다. 이 템플레이트의 높이는 나노선의 평균 길이와 대체로 일치할 것이다. 그러나, 다른 실리콘 나노구조체 설치(가령, 다수-층 실리콘 나노구조체)도 가능하다는 것을 이해해야 한다.

[0044] "템플레이트 구조체"는 일반적으로 템플레이트의 부분인 개개의 구조체로 언급된다. 일부 템플레이트 구조체는 실리콘 나노구조체를 포함하나, 동일한 템플레이트의 어떤 구조체는 다른 물질(가령, 전도성 첨가물)을 포함할 수 있다. 전형적으로, 템플레이트 구조체는 적어도 하나의 나노-크기의 치수(가령, 지름)를 가진다. 그러므로, 이러한 템플레이트 구조체는 템플레이트 나노구조체로 언급될 수 있다. 일부 구체예에서, 템플레이트 나노구조체는 기관과 통합구조를 형성하는 기관에 뿌리박힌 말단(또는 다른 부분)을 가진 나노선으로 형성될 수 있다. 다시 말해, 템플레이트 나노구조체는, 실리콘 나노선이 부착되는 기관 표면과의 명확하게 형성된 형태학상의 바운더리 또는 경계면을 가지지 않을 수 있다. 그 결과로서, 기관에 뿌리박힌 나노선은 가령, VLS-증착된 구조체와 비교할 때, 기관에 대한 더 우수한 기계적 접착력과 낮은 전기적 접촉 저항을 가질 수 있다. 더구나, 많은 실리콘 나노구조체는 우수한 전기 전도체이고, 실리콘 나노선 상의 활성 물질과 가령, 전류 수집 기관 사이에 높은 전도성 경로를 제공할 수 있다. 금속 실리콘 나노구조체를 포함하는 전극은, 이러한 전극 및 관련된 제작 방법을 기술하기 위하여, 본 명세서에 참조로서 포함되고, "TEMPLATE ELECTRODE STRUCTURES FOR DEPOSITING

ACTIVE MATERIALS"라는 명칭으로 2011년 3월 2일에 출원된 미국 특허 출원 번호 제 13/039,031호에서도 기술된다.

- [0045] 또한, 금속 실리사이드는 그 자체로 활성 물질로서 작용할 수 있고, 리튬반응을 받을 수 있다. 그러나, 일반적으로 실리사이드는 가령, 실리콘 또는 주석보다 훨씬 낮은 용량을 가진다. 그러므로, 실리사이드 템플레이트는 전극의 전체 용량에 비교적 적게 기여할 수 있다. 이 기여는, 실질적으로 실리사이드 물질 보다 더 많은 활성 물질이 있는 경우에 특히 작을 수 있다. 가령, 지름이 약 10 나노미터뿐인 실리사이드 나노선은, 두께가 적어도 약 50 나노미터, 또는 좀 더 구체적으로 두께가 약 300 나노미터 내지 500 나노미터인 활성층의 증착을 위한 템플레이트로서 사용될 수 있다. 이 예에서, 실리사이드 부피에 대한 활성 물질의 부피의 비율은 적어도 약 400이다. 그러므로, 이러한 합성 전극은 실리사이드 템플레이트의 실질적으로 리튬반응이 없이 사용될 수 있다. 실리사이드 구조체의 최소 또는 실질적으로 리튬반응이 없다는 것은 실리사이드 구조체의 팽윤이 적거나 없다는 것을 의미하고, 이는 템플레이트로서 실리사이드 구조체의 보존성 및 기관에의 실리사이드 구조체의 연결의 보존성을 보존하는데 도움이 된다. 이들 특성은 결과적으로 전극과의 강하고 강건한 기계적 및 전기적 연결 및 많은 사이클에 걸쳐서 안정된 사이클링 성능으로 이어진다. 더 두꺼운 베이스를 가진 콘-모양의 실리사이드 구조체 및 더 두꺼운 자유-단을 가진 콘-모양의(또는 버섯-모양의) 활성 물질층과 같은 다양한 다른 특징은 이들 연결을 유지하는데 도움을 주는데 사용될 수 있다. 전형적으로, 이들 특징은 기관 경계면 근처의 팽윤을 감소시키는데 초점을 맞춘다.
- [0046] 나노선을 포함하는 실리사이드 템플레이트는 활성 물질을 지지할 수 있는 더 넓은 표면적을 가진다. 어떤 구체예에서, 템플레이트로 사용된 나노선은 지름이 약 5 나노미터 내지 100 나노미터이고, 길이가 가령 10 마이크로미터 내지 100 마이크로미터인, 약 1 마이크로미터 내지 100 마이크로미터이다. 나노선은 밀집하게 이격될 수 있다. 가까이 이격된 템플레이트 구조체는 다수-코어 단일 셸 설치를 효과적으로 형성하는 공통 코팅 셸을 공유할 수 있다. 이러한 경우에, 템플레이트 성장 밀도(growth density)는 코팅된 나노구조체의 밀도와 일치할 필요는 없다. 어떤 구체예에서, 템플레이트 구조체 사이의 공간은 코팅 두께보다 작을 수 있어서, 활성 물질층의 현저한 상호 연결을 야기할 수 있다. 이들 상호 연결은 베이스 근처에서 특히 두드러지고, 우수한 사이클 성능을 방해하는 밀집되거나 연속적인 필름 유사 구조체를 형성한다. 일반적으로, 도 3B를 참조하여 추가로 기술되는 바와 같이, 가끔 "번치(bunch)" 또는 "부쉬-유사(bush-like)" 밀집으로 언급되는 나노선 밀집을 방지하는 것이 바람직하다.
- [0047] 종종, 템플레이트는 일반적인 기관보다 더 큰 자릿수인 표면적을 가진다. 템플레이트는 얇은 층의 활성 물질로 코팅될 수 있어서, 실질적인 가역적 에너지 밀도(reversible energy density)를 가지는 전극을 제공한다. 활성 물질층은 전체 템플레이트상에서 또는 전체 기관상에서 확장하는 연속적인 층일 수 있고 아닐 수 있다는 것을 주목해야한다. 일부 구체예에서, 활성 물질층은 실리사이드 템플레이트 구조체상에 그리고 아마 기관상에 위치한 활성 물질 영역의 콜렉션이다. 이들 활성 물질셀이 일부는 가령, 기관 표면상에 중간층이 있을 때, 기관과 직접 접촉하지 않을 수 있다. 활성 물질층의 다양한 예는 이하에 기술된다. 일반적으로 활성 물질층의 두께는 사용된 활성 물질의 특성에 기초하여 선택되고, 일반적으로 특정 활성 물질에 대한 골질 제한 이하에서 유지된다.
- [0048] 템플레이트상에 코팅된 활성 물질층의 두께는 배터리 전극의 두께와 구별되어야 한다. 일반적으로 활성 물질층의 두께는 나노-크기이나, 일반적으로 배터리 전극의 두께는 적어도 템플레이트의 높이와 일치하고 마이크로미터의 1/10 일 수 있다. 전형적으로 템플레이트 구조체(가령, 실리사이드 나노선)는 완전히 수직이 아님을 주목해야 한다. 그러므로, 템플레이트 높이는 이들 구조체의 길이보다 약간 작을 수 있다. 일반적으로, 전도성 기관도 전극의 두께에 기여한다. 일 예에서, 지름 10 나노미터이고 500 나노미터로 이격되며, 길이 10 마이크로미터인 나노선 상에 증착된 100 나노미터 두께의 실리콘층은, 실질적으로 더 두꺼운 종래의 그래파이트 음 전극에 상당한 에너지 밀도를 제공할 수 있다. 그와 같이, 개선된 중량적 부피적 용량 특성을 가진 전기 화학적 셀은 이들 활성 물질 구조체와 전극을 사용하여 구성될 수 있다.
- [0049] 템플레이트가 일단 형성되면, 활성 물질은, 비교적 빠른 방식이면서 값비싼 촉매에 대한 요구 없이, 이 템플레이트상에 층으로서 증착될 수 있다. 추가로, 어떤 증착된 활성 물질은 어떤 좀 더 바람직한 형태학상의 형태를 가질 수 있다. 가령, 니켈 실리사이드 나노선상의 무-촉매 실리콘 증착법은 비정질 실리콘을 생산하나, VLS를 사용하여 금 촉매 섬(island)으로부터 성장하는 실리콘 나노선은 결정질 실리콘을 생산한다. 어떤 특정 이론에 제한되지 않더라도, 비정질 실리콘 구조체는 더 적고 더 약한 원자 결합을 가지고, 이는 이러한 구조체가, 반복된 리튬반응/탈리튬반응 사이클 동안에 경험하는 응력에 노출 될때, 좀 더 강성한 결정질 구조체보다 더 나은 보존성을 유지할 수 있게 하는 것으로 여겨진다. 또한, 활성 물질층을 형성하는데 사용되는 증착 기술은, 템플

레이트 높이를 따라 활성 물질의 분배를 제어하도록 구체적으로 튜닝하고(가령, 베이스 근처보다 활성 물질 구조체의 자유-단 근처에 더 많은 활성 물질을 증착하는 것), 구성요소, 다공성 등과 같이 증착된 물질의 다른 특성을 제어할 수 있다.

[0050] 더구나, 나노선과 전도성 기관 사이의 전기적 연결을 보호하기 위하여, 다양한 기술이 제안되고 있다. 기술의 한 종류에서, 코팅된 나노선, 즉, 길쭉한 템플레이트 구조체상에 위치되는 나노-크기의 셸을 가진 구조체는, 코팅된 나노선이 기관에 접근하고 접촉하는 영역이 코팅된 나노선에서 먼 쪽 영역보다 더 얇은 "탑 헤비(top heavy)" 모양을 가진다. 일반적으로, 먼 쪽 영역은 부착 영역보다 실질적으로 더 많은 활성 물질을 가진다. 기술의 또 다른 종류에서, 템플레이트 나노선의 공간이 제어되어, 개개의 선은, 기관에 대한 부착력에 있어서 비교적 일정하게 이격된다. 구체적인 구체예에서, 메카니즘이 사용되어서, 템플레이트 나노선이 또 다른 부착 영역 근처에 번칭(bunching)되는 것을 방지한다. 또 다른 종류에서, 어떤 "패시베이션(passivation)" 기술 및/또는 물질이 사용되어서, 일반적으로 활성 물질의 팽윤 및 수축에 의해 야기되는 기관 경계면에서의 기계적 왜곡과 응력을 최소화시킨다.

[0051] 탑 헤비 모양의 일부 예는 기관에 뿌리박힌 단으로부터 자유단까지(도 4에 도시된 것과 유사하게), 점진적이고 연속적으로 증가하는 횡-단면 치수(가령, 지름)를 포함한다. 다른 구체예에서, 횡-단면 치수는 점진적이지 않거나 연속적이지 않을 수 있다. 다른 예는 그 횡-단면 치수가 급작스러우나 연속적으로 증가하는 모양을 포함한다. 더구나, 다른 예는 그 횡-단면 치수가 급작스럽고 연속적이지 않게 증가하는 모양을 포함한다. 코팅된 나노선의 전체적인 모양은 활성 물질층의 두께와 템플레이트 구조체의 프로파일의 조합에 의해 결정된다. 가령, 템플레이트 구조체는 자유단보다 더 넓은 베이스를 가지나, 활성 물질 코팅의 분배(두께)는 전체 전극 구조체가 베이스단보다 더 넓은 자유단을 가질 수 있다.

[0052] 도 5는 어떤 구체예에 따라, 금속 실리사이드 템플레이트와 고 용량 활성 물질을 포함하는 전기 화학적 활성 전극을 제작하는 공정(500)을 나타낸다. 이 공정은 기관을 수렁하는 단계(작동 502)로 시작한다. 기관 물질은, 하나 이상의 연속 작동에 사용되는 공정 장치내로 주입되는 물, 시트 또는 다른 형태로서 제공될 수 있다. 전형적으로, 기관은 전극 전류 콜렉터로서의 역할을 할 수 있는 물질로 만드는데, 이는 사실일 필요는 없다(아래에 설명되는 바와 같이). 화학 증착(CVD) 장치(가령, 열적 CVD 또는 플라즈마 향상된 CVD 장치), 물리 증착(PVD) 장치 및 아래에 기술되는 작업을 수행하기에 적합한 다른 장치를 포함한다. 어떤 구체예에서, 기술된 공정의 하나 이상의 작업은, 수직 증착 장치를 기술하는 목적으로 그 전체로서 본 명세서에 참조로 포함되고, Mosso의 "Apparatus for Deposition on Two Sides of the WEB"이라고 명칭되며, 2009년 12월 14일에 출원된 미국 특허 출원 번호 12/637,727 에 기술되는 바와 같은 수직 증착 장치에서 수행된다.

[0053] 전형적으로 기관은 전극의 일부이다(가령, 전류 콜렉터 기관). 그러나, 제작되는 동안에 템플레이트와 활성 물질을 지지하는 일시적 캐리어 및/또는 전극 제작되는 동안에 물질의 소스(가령, 금속 실리사이드 형성 공정에서 금속의 소스)로도 사용되고 나서, 나중에 제거되나, 템플레이트는 배터리의 전류 콜렉터 구성에 전기적으로 연결된다. 기관이 전극의 일부가 된다면, 일반적으로, 이 전극에서의 사용을 위해 적합한 물질(기계적, 전기적 및 전기 화학적 관점에서)을 포함할 수 있다. 예는 연속적인 호일 시트, 천공된 시트, 확장된 금속 및 거품을 포함한다.

[0054] 어떤 구체예에서, 기관은, 금속 실리사이드 나노구조체를 형성하기 위하여 소모될 수 있는 소스 물질을 포함하는 금속을 포함한다. 물질을 포함하는 적합한 금속의 예는 아래에 제공된다. 소스 물질을 포함하는 금속은, 템플레이트와 활성 물질에 대한 기계적 지지부로서의 역할을 하는 베이스 기관 층상에 지지된 층일 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 베이스 기관 층은, 실리사이드 나노구조체(및 어떤 경우에, 활성 물질)와 배터리 전기 단말 사이의 전기 전류 전도체로서의 역할을 할 수 있다.

[0055] 다양한 중간층은, 베이스 기관 및 소스 물질 층을 포함하는 금속 사이에서 제공될 수 있다. 가령, 구리 및/또는 니켈을 포함하는 층은 베이스 기관 및 소스 물질 층을 포함하는 금속 사이에 증착되어서, 이후에 형성되는 베이스 기관과 템플레이트의 야금학적이고 전자적인 연결을 개선할 수 있다. 구체적인 구체예에서, 전도성 물질(가령, 스테인레스 강)을 포함하는 베이스 기관은 구리의 얇은 중간층으로 코팅된 뒤, 니켈의 두꺼운(가령, 약 10 나노미터 내지 3 마이크로미터) 층으로 코팅된다. 그리고 나서, 니켈층은 니켈 실리사이드 템플레이트를 형성하는데 사용되나, 중간 구리 층은 니켈층과 베이스 기관 사이에 접착제 및 전도성 매개물로서의 역할을 한다.

[0056] 어떤 구체예에서, 동일한 물질이 전류 수집 베이스 기관 및 실리사이드 템플레이트를 위한 소스 물질 층을 포함하는 금속으로서의 역할을 한다. 베이스 기관 및 실리사이드를 위한 금속 소스로서 사용될 수 있는 물질의 예는 니켈, 구리 및 티타늄이고, 이는 호일, 천공된 시트, 확장된 금속, 거품 등으로 제공된다. 다른 구체예에서, 베

이스 기판은, 뚜렷한 서브-층 또는 다른 구조체(가령, 얇은 니켈층으로 코팅된 구리 베이스 호일)를 형성하는 둘 이상의 물질을 포함한다. 어떤 경우에, 금속 소스 물질은 베이스 기판에 걸쳐서, 분리된 방울, 입자 또는 일정한 패턴으로 배열되도록 분배될 수 있다. 전형적으로, 그러나 꼭 그렇지만은 않고, 실리콘이 형성하는데 사용되는 물질을 포함하는 금속은 베이스 물질 표면에 위치되어서, 공정 동안에, 공정 환경(전구체 가스를 포함하는 실리콘)에 직접 노출된다. 일반적으로, 동일한 구조체 내에서 두 물질의 분배는 균일(극심한 경우에 합금 또는 화합물) 또는 불균일(가령, 표면 근처에 더 많은 금속 소스 물질을 집중시키면서 점진적인 분배)하다.

[0057] 베이스 물질의 예는 구리, 금속 산화물로 코팅된 구리, 스테인레스 강, 티타늄, 알루미늄, 니켈, 크롬, 텅스텐, 금속 질화물, 금속 카바이드, 탄소, 탄소 섬유, 그래파이트, 그래핀, 탄소 메쉬, 전도성 폴리머 또는 상기 물질의 조합(다수-층화된 구조체 포함)을 포함한다. 베이스 물질은 호일, 필름, 메쉬, 거품, 라미네이트, 선, 튜브, 입자, 다수-층화된 구조체 또는 다른 적합한 형태로 형성될 수 있다. 어떤 구체예에서, 베이스 물질은 약 1 마이크로미터 내지 50 마이크로미터, 좀 더 구체적으로, 약 5 마이크로미터 내지 30 마이크로미터의 두께를 가진 금속 호일이다.

[0058] 소스 물질을 포함하는 금속의 예는 니켈, 코발트, 구리, 은, 크롬, 티타늄, 철, 아연, 알루미늄, 주석 및 그들의 조합을 포함하고, 이러한 합금은 니켈/인, 니켈/텅스텐, 니켈/크롬, 니켈/코발트, 니켈/철, 니켈/티타늄 및 니켈/몰리브덴을 포함한다. 상기 언급된 바와 같이, 어떤 구체예에서, 소스 물질을 포함하는 금속은 베이스 기판의 맨 위쪽에 층을 형성한다. 이러한 소스층은 적어도 약 10 nm 두께 또는 좀 더 구체적으로, 적어도 약 100 nm 일 수 있다. 어떤 구체예에서, 소스층은 두께가 약 3 마이크로미터까지 일 수 있다. 다른 구체예에서, 소스 물질을 포함하는 금속은 베이스 기판의 표면 상에 입자 또는 어떤 다른 분리된 구조체를 형성한다. 이들 분리된 구조체는 적어도 약 10 나노미터 두께 또는 좀 더 구체적으로 약 10 나노미터 내지 50 마이크로미터의 두께로 제공될 수 있다. 대체로, 기판은 실리콘 나노구조체를 형성하기 위하여, 기판 표면 근처 또는 기판 표면에 물질을 포함하는 상당한 양의 금속을 가지고 있어야 한다. 가령, 구리 베이스 기판상에 증착된 소스 물질 층을 포함하는 20-나노미터 두께의 니켈은, 20 마이크로미터 길이의 니켈 실리콘 나노선의 뾰족한 매트릭스를 생산하기에 충분할 수 있다.

[0059] 어떤 구체예에서, 마스크 물질의 얇은 층은 PVD 또는 어떤 다른 증착 기술을 사용하여 형성된다. 이 층의 두께는 약 0.1 나노미터 내지 1.5 나노미터 일 수 있다. 이러한 두께에서의 어떤 물질은 연속적인 층을 형성하지 않고, 대신에 작은 분리된 섬(island) 또는 무리(clump)의 콜렉션을 형성하는 것이 발견되었다. 구체적으로, 마스크 물질은 작은 섬으로 증착되거나 베이스 기판을 마스크하는데 사용되어서, 마스크된 지역에는 금속이 증착되지 않을 수 있다. 대안적으로 또는 추가로, 마스크 물질은, 템플레이트 성장을 마스크하기 위하여, 소스 물질층을 포함하는 금속의 맨 위쪽에 증착될 수 있다.

[0060] 어떤 구체예에서, 소스 물질층을 포함하는 금속은 증착 동안에 패턴화될 수 있다. 가령, 마스크 층(가령, 메쉬)은 베이스 기판상에 위치될 수 있고, 소스 물질층을 포함하는 금속은 이 조합물상에서 형성된다. 베이스 기판의 가려진 부분은 실질적으로 금속 소스 물질이 없고, 이후 작업동안에 실리콘 구조체를 형성하지 않을 것이다. 테스트는 기판 표면에 위치된 금속 메쉬를 사용하여 행해졌다. 그리고 나서, 티타늄은 메쉬내의 개방 공간을 통하여 증착되어서, 티타늄 섬을 형성한다. 이들 섬은 차례로 이들 영역에서 실리콘 형성을 막았고, 이는 패턴화된 템플레이트 성장을 초래하였다. 작은 피치(pitch)를 가진 특별한 메쉬는 가령, 나노-각인(nano-imprint) 리소그래피 또는 어떤 자가 조립된 기술(self-assembled technique)을 사용하여 제작되어서 마스크 입자의 원하는 분포를 달성할 수 있다.

[0061] 기판은, 나중에 형성된 실리콘 나노구조체의 접착력을 향상시키거나, 공정 및 셀 사이클링동안에 베이스 기판을 보호하거나, 템플레이트 구조체의 핵 형성을 촉진시키거나, 기판 경계면에 (또는 근처에) 활성 물질의 증착을 방지하거나, 실리콘 형성 단계 동안에 실리콘의 추가적인 소스로서의 역할을 하거나 다른 기능을 수행하는데 사용될 수 있는 다른 물질을 포함할 수 있다. 가령, 베이스 기판은 중간층을 포함하여 이러한 기능(들)을 수행할 수 있다. 도 3A는 어떤 구체예에 따른 3-층의 기판(300)의 예의 개략적인 도면이다. 베이스 기판(302), 소스 물질층을 포함하는 금속(306) 및 중간층(304)가 있다. 어떤 구체예에서(미도시), 추가적인 중간층이 있을 수 있다. 중간층의 추가적인 예 및 세부사항은 중간층을 기술하는 목적을 위하여, 그 전체가 본 명세서에 참조로서 포함되고, 2011년 11월 11일에 출원되고, "INTERMEDIATE LAYERS FOR ELECTRODE FABRICATION" 으로 명칭되는, 미국 특허 출원 12/944,576호에서 제공된다. 여전히 다른 물질과 층은 기판의 일부로서 제공될 수 있다. 가령, 층을 포함하는 금속은 금속 산화물층 또는 보호층을 가질 수 있다.

[0062] 도 5로 다시 돌아와서, 작업(502)에서 수령된 기판은, 소스 물질층을 포함하는 금속상에 위치되는 마스크 층을

가질 수 있다. 마스크 층은 소스 물질층을 포함하는 금속의 일부를 가리나, 어떤 작게 이격된 지역을 노출시킨다. 작업(506)에서 실리사이드 구조체의 형성되는 동안에, 노출된 지역은 실리콘-함유 전구체(가령, 실레인)와 좀 더 용이하게 반응하므로, 도3B에 도시된 실리사이드 구조체 집단과 반대로, 도 3C에 도시된 것과 같이, 분리된 실리사이드 구조체가 형성되는 결과가 된다. 구체적으로, 도 3B는, 실리사이드 구조체의 베이스 근처(기관(312) 근처)에서 오버랩되고, 커다란 활성 물질 덩어리를 형성하는 활성 물질층(316)으로 코팅된 집단화된 실리사이드 구조체(314)의 개략적인 도면이다. 덩어리의 전체 치수(또는 기관 경계면 근처의 활성 물질의 두께)는 특정 활성 물질에 대한 문턱 제한(threshold limit)을 크게 초과하여, 배터리 사이클링 동안에, 경계면 근처에서의 골절과 높은 응력의 결과가 된다. 활성 물질이 실리사이드 구조체로부터 벗겨질뿐만 아니라, 전체 실리사이드 구조체는 기관으로부터 분리되어 작동하지 않을 수 있다.

[0063] 마스크 층을 증착하는 것은 이러한 집단화하는 것을 극복하는데 도움이 될 수 있다. 도 3C는 어떤 구체예에 따라서, 베이스 기관(322)상에 위치한 마스크 층(325)를 통해 형성되는 분리된 실리사이드 구조체(324)의 개략적인 도면이다. 마스크 층(325)은 어디에 실리사이드 구조체(324)를 형성해야 하는지를 결정하는 개구부를 가지는데, 이는 마스크 층(325)에 의해 형성되는 핵 형성 위치에 기초하여 분리되고, 분배된 실리사이드 구조체(324)가 가능하게 한다. 템플레이트 구조체의 분포는 마스크 층(325)에 의존하여 랜덤 또는 패턴화될 수 있다. 마스크 층의 예는 자가-조립된 아연 산화 입자 및 실리콘 산화 입자 및 소스 물질층을 포함하는 금속상에 메쉬-구조체를 형성하는 랜덤하게 배향된 나노선을 포함한다. 마스크 층 또는 소스 물질 층을 포함하는 금속으로부터 섬을 형성하기 위한 어떤 해당 기술은 증발법, 각도 증착(angle deposition), 자가-조립, 리소그래피 패턴닝 및 다른 것을 포함한다.

[0064] 도 3D는 활성 물질 층(326)으로 코팅된, 분리된 실리사이드 구조체(324)(도 3C 및 상기 기술된 것과 유사함)의 개략적인 도면이다. 활성 물질층(326)은 실리사이드 구조체(324)의 베이스 근처에서 오버랩되지 않아서 덩어리를 형성한다. 그와 같이, 기관 경계면에서도, 활성 물질층(326)은 골절 문턱값 내에 있고, 이는 가령, 도 3B에서 증착된 구조체보다 덜 기계적 응력과 분쇄의 결과를 낳는다.

[0065] 마스크 층은 전극의 일부로서 남겨나 제거될 수 있다. 소스 물질 층을 포함하는 금속을 패턴화하는데 사용되는 마스크 층은, 실리사이드 구조체의 형성 이전에 기계적으로 제거될 수 있다. 소스 물질층을 포함하는 금속의 일부를 가리는데 사용되는 마스크 층은 (가령, 실리사이드 구조체의 실질적으로 방해하지 않으면서 마스크 층의 선택적인 에칭에 의하여) 실리사이드 구조체의 형성 이후에 화학적으로 제거될 수 있다. 구체적인 예는 산 에칭, 가열, 및 증발법을 포함한다. 다른 구체예에서, 마스크 층은 전극의 일부에 남아서, 가령, 기관 경계면 상에 직접적인 활성 물질의 증착을 방지하는데 사용될 수 있다. 이들 예의 일부는 도 3E 및 3F를 참조하여 아래에 더 기술된다.

[0066] 기관 물질이 서로 섞여 짜질 수 있다는 것을 주목해야 한다(가령, 소스 물질층을 포함하는 금속의 입자가 위브(weave), 펠트, 메쉬 또는 비교할만한 구조체 내의 중간층의 입자 사이에 위치됨). 추가로, 뚜렷한 물질은 작업(502)의 공정에 도입되는 기관의 일부로서 함께 제공될 수 있거나, 하나 이상의 이러한 물질이 나중의 공정 작업에서 기관에 증착, 아니면 통합될 수 있다는 것을 주목해야 한다.

[0067] 도 5로 다시 돌아와서, 공정(500)은 기관 표면의 선택적인 처리단계(작업 504)로 수행될 수 있다. 처리는, 실리사이드 형성을 향상시키기 위하여, 또는 다른 목적을 위하여 기관 표면을 수정하는데 사용될 수 있다. 이러한 처리의 예는, 금속 실리사이드 형성하는데 사용되는 물질(가령, 실리콘의 소스, 금속의 소스, 촉매등)을 도입하는 것, 기관 표면을 화학적으로 수정하는 것(가령, 산화물, 질화물, 카바이드, 초기의 실리사이드 구조체를 형성하는 것과 다양한 산화제와 환원제로 처리하는 것), 표면을 물리적으로 수정하는 것(가령, 레이저 어블레이션, 널링, 전자-폴리싱(표면 거칠기를 증가시키기 위한 전기도금 및 역-전기도금)), 알갱이(grain) 배향을 바꾸는 것, 어닐링, 산화물을 형성하기 위하여 산소계 플라즈마로 처리하기, 거칠기를 바꾸기 위하여 아르곤계 플라즈마로 처리하기(가령, 스퍼터 콘 형성), 초음파 분해 및 이온 주입을 포함한다. 이들 기술의 일부는, 이들 물질의 물리적 특성(가령, 표면 거칠기)뿐만 아니라, 표면상에 존재하는 다양한 물질(가령, 금속 소스 물질)의 양을 제어하는데 사용될 수 있다. 가령, 산화제 또는 환원제로 기관 표면을 화학적으로 수정하는 것은, 실리사이드 구조체의 핵 형성을 가능하게 하기 위하여, 스케일에서 특히 유용한 거칠기를 수정하는데 사용될 수 있다. 아세톤에서의 초음파 분해 이후에 메타놀과 이소프로판올 린스는 에칭 이전에 금속 호일을 세척하는데 사용될 수 있다. 다른 기술은 산소 플라즈마 에칭을 포함한다. 더구나, 도펀트가 실리콘 반응 금속으로 확산된다면, 도펀트로 표면을 처리하여 실리사이드 구조체의 전도성을 증가시킨다.

[0068] 어떤 구체예에서, 그 표면에 니켈 코팅 또는 다른 실리사이드 소스 물질을 포함하는 기관이 처음 산화된다. 상

기 언급한 바와 같이, 기관의 대부분은 실리사이드 소스 물질로 제조될 수 있다. 구체적이 예는 니켈 호일을 포함한다. 니켈층이 베이스 기관의 맨 위쪽에서 사용되는 경우, 니켈 코팅의 두께는, 아래 제시된 공정 조건을 위하여 약 50 나노미터 내지 300 나노미터일 수 있다. 산화/처리 동안에 기관의 온도는, 산소 또는 다른 적합한 산화제의 존재하에서, 0.1 분 내지 10 분 동안 약 150°C 내지 500 °C 에서 유지될 수 있다. 좀 더 구체적인 구체예에서, 산화는 약 1 분 동안 약 50 Torr 에서 유지되는 챔버내에서의 공기의 존재하에서 수행되고, 기관은 약 300°C에서 유지된다. 산화/처리는 약 1 분 내지 2 분동안 가공될 수 있다. 어떤 구체예에서, 구체적인 산화/처리 작업(104)이 이루어지지 않고, 공정은 템플레이트 구조체의 형성으로 직접 작업(106)을 수행한다. 실리사이드 템플레이트의 좀 더 제어된 형성을 달성하기 위하여, 구체적으로 제어된 산화 작업을 수행하것이 유용할 수 있다. 구체적으로, 일부 산화는 니켈 실리사이드 구조체의 형성에 도움이되는 것이 발견되었다. 어떤 특별한 이론에 제한되지 않더라도, 산화되는 동안에, 부드러운 니켈 표면이 거친 니켈 산화 표면으로 변환되는 것으로 여겨진다. 거친 산화 에지(edge)는 이후 실리사이드 형성에 대한 핵 형성 위치로서의 역할을 할 수 있다. 추가로, 산화는 산화 코팅의 구멍에서만 핵 형성이 가능하게 하는 마스크로서의 역할을 할 수 있다. 이는 실리사이드 나노선의 좀 더 균일한 분포를 달성하고, 집단화(상기 기술된 바와 같이)를 피하는 데 도움이 될 수 있다.

[0069] 산화된 표면의 또 다른 기능은, 소스 물질층에서 반응 위치까지, 금속의 확산 속도를 조절할 수 있다. 지나친 산화는 실리사이드 형성에 있어 해로울 수 있다. 가령, 약 200 sccm 의 건조 공기 흐름이 약 1-5%의 아르곤과 혼합되고, 약 30 초 동안 400°C에서 산화하는데 사용될 때, 결과적인 표면은 지나치게 산화되었다고 여겨진다. 복수의 핵 형성 위치를 가진 거친 표면을 형성하기 보다는, 결과적인 오버-산화된 표면은 금속을 가지고, 매우 적은 실리사이드 나노선의 핵 형성의 결과를 가져온다. 마찬가지로, 불충분하게 산화된 표면은 충분한 핵 형성 위치를 제공하지 못할 수 있다. 그와 같이, 산화 조건은 소스 물질을 포함하는 각각의 금속과 이들 물질을 포함하는 구조체에 대하여 최적화될 수 있다.

[0070] 공정(500)은 실리사이드 나노구조체 (블록 506)의 형성으로 수행될 수 있다. 어떤 구체예에서, 기관은 CVD 챔버내로 도입된다. 처리 작업(104) 및/또는 활성 물질 형성 작업(508)과 같은 다른 작업은 동일한 챔버내에서 수행될 수 있다는 것을 주목해야 한다. 그리고 나서, 실레인과 같은 전구체를 포함하는 실리콘은, 가령 약 10 sccm 내지 300 sccm의 속도로 챔버내로 흘러들어온다. 이들 흐름 속도값은 지름 약 4 인치까지 기관을 가공할 수 있는, 영국의 Surface Technology Systems 에서 시판되는 STS MESC Multiplex CVD 시스템에 대해 제공된다. 그러나, 당업자는 다른 CVD 시스템도 사용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 캐리어 가스의 실레인의 체적 측정의 농도(volumetric concentration)는 약 10% 미만 또는, 좀 더 구체적으로 약 5% 미만, 또는 심지어 약 1% 미만일 수 있다. 특정 구체예에서, 실레인의 농도는 약 1% 이다. 또한, 가공 가스(process gas)는 아르곤, 질소, 헬륨, 수소, 산소 (전형적으로 실레인과 같이 없어도), 이산화탄소 및 메탄과 같은 하나 이상의 캐리어 가스를 포함할 수 있다. 실리사이드 증착 동안에, 기관은 약 350°C 내지 500°C, 또는 좀 더 구체적으로, 약 385°C 내지 450°C의 온도에서 유지될 수 있다. 챔버 압력은 약 0.1 Torr 내지 대기압, 또는 좀 더 구체적으로, 약 50 Torr 내지 300 Torr 일 수 있다. 증착되는 구간은 약 1 분 내지 60 분, 또는 좀 더 구체적으로 약 5 분 내지 15 분이다.

[0071] 어떤 구체예에서, 동일한 증착 사이클 동안에, 공정 조건이 가변할 수 있다. 가령, 실레인은, 실리사이드 나노구조체의 핵 형성을 촉진시키기 위하여, 비교적 고농도로 초기에 도입될 수 있다. 그리고 나서, 나노선의 뿌리단(rooted end)에서 성장 끝단(growing tips)까지 금속 확산에 의하여 추가적인 나노선 성장이 제한될 때, 실레인 농도는 감소될 수 있다(가령, 실리사이드의 말단을 향한 증착 작업). 추가로, 기관 온도는 초기에 낮게 유지될 수 있고, 그리고 나서, 금속 확산을 촉진시키기 위하여, 증가될 수 있다. 전체적으로, 가령, 템플레이트 구조체의 길이, 지름, 모양,배향과 같은 물리적 특성을 제어하기 위하여 공정 조건은 가변할 수 있다. 더구나, 화학량론적인 상, 결정질상/비정질상 및 템플레이트의 높이에 따라서 물질의 분포와 같은 템플레이트 구조체의 형태학상의 특성은 가변적인 공정 조건에 의해 제어될 수 있다. 생각할 수 있는 다른 공정 조건은 가스 혼합물, 흐름 속도, 흐름 패턴, 챔버 압력, 기관 온도 및 전계 특성의 합성이다. 어떤 구체예에서, 공정 조건(가령, 온도, 압력 및 실레인 농도)은 조절되어, 비정질 실리콘의 측벽 증착을 촉진시키거나 핵 형성되면, 실리사이드 구조체에 실리콘 입자의 증착을 촉진시킨다. 바뀌어질 수 있는 조건은 공정 온도, 압력 및 실레인 농도를 포함할 수 있다.

[0072] 일반적으로, 선택된 공정 조건은 형태학 및 원하는 구조체의 구성요소뿐만 아니라, 소스 물질을 포함하는 금속에 의해 좌우된다. 가령, 상기 기술된 증착 조건은, 평균상, 길이가 약 0.5 마이크로미터 내지 50 마이크로미터 이고, 지름이 10 나노미터 내지 100 나노미터인 니켈 실리사이드 나노선을 성장시키는데 사용될 수 있다. 약 20 나노미터 두께인 니켈 소스 물질층은 이러한 니켈 실리사이드 구조체를 성장시키기에 충분할 수 있다.

- [0073] 일반적으로, 실리사이드 나노선은 지름이 약 5 나노미터 내지 100 나노미터(즉, 활성 물질을 증착하기 이전) 또는, 좀 더 구체적으로, 약 10 나노미터 내지 50 나노미터이다. 추가로, 나노선은 길이가 약 1 마이크로미터 내지 100 마이크로미터 또는, 좀 더 구체적으로, 약 5 마이크로미터 내지 50 마이크로미터이며, 심지어 약 12 마이크로미터 내지 30 마이크로미터일 수 있다. 어떤 특정 이론으로 제한되지 않더라도, 실리사이드 나노선 길이는, 기관에서 성장 끝단까지, 금속의 확산에 의해 제한될 수 있는 것으로 여겨진다. 이러한 길이는 활성 물질 증착을 위한 적절한 표면적을 제공하는 반면, 어떤 기술은 실리사이드 나노선을 추가로 길게하는데 사용될 수 있다. 어떤 구체예에서, 물질을 포함하는 실리콘을 가진 중간층은 베이스 기관과 소스 물질층을 포함하는 금속 사이로 도입된다. 실리콘 중간층은 성장 나노구조체의 뿌리에 인접하여, 실리콘의 대안적인(또는 추가적인) 소스를 제공할 수 있고, 이는 핵 형성과 성장 공정을 도울 수 있다. 실리콘 웨이퍼상에 증착된 니켈로부터 성장된 실리사이드 구조체가 훨씬 균일하게 핵 형성되고 훨씬 빨리 성장한다는 것이 발견되었다. 어떤 구체예에서, 중간층은, 실리콘이 금속과 반응하고, 결과적인 실리사이드의 전도성을 증가시킬 때, 확산되는 금속 도펀트를 포함한다. 도펀트는 증착되거나, 만일 비교적 적은 양이라면, 심지어 침어질 수도 있다. 일부 경우에서, 질소는 니켈 실리사이드를 도핑하는데 사용된다.
- [0074] 또 다른 구체예에서, 초기 실리사이드 템플레이트를 형성한 후에, 소스 물질을 포함하는 추가 금속이 도입(가령, 초기 템플레이트상에 스퍼터링으로)될 수 있고, 실리사이드 형성 작업(506)이 반복된다. 다시 말해, 초기 실리사이드 템플레이트는 기관상에 증착되는등의 또 다른 실리사이드 템플레이트를 위한 새로운 기관이 된다. 이 예에서, 또 다른 템플레이트를 증착하는 것은 초기 템플레이트에서 추가적인 가교-결합을 제공할 수 있어서, 기계적 및 전기적 보존하는데 도움이 될 수 있다. 템플레이트와 전극의 추가적인 예와 세부사항은, 템플레이트와 전극을 기술하기 위하여, 그 전체로서 본 명세서에 참조로서 포함되고, "MULTIDIMENSIONAL ELECTROCHEMICALLY ACTIVE STRUCTURES FOR BATTERY ELECTRODE"의 명칭으로 2011년 5월 24일에 출원된, 미국 특허 출원 제13/114,413호 및 "BATTERY ELECTRODE STRUCTURES FOR HIGH MASS LOADINGS OF HIGH CAPACITY ACTIVE MATERIALS"의 명칭으로 2011년 10월 20일에 출원된, 미국 특허 출원 13/277,821에서 제공된다.
- [0075] 전형적으로, 실리사이드 나노선은 기관 상에 제공된 물질을 포함하는 금속으로부터의 성장 덕분에, 기관에 뿌리박힌다. 기관에 뿌리박힌 구조체의 어떤 세부사항은, 기관에 뿌리박힌 구조체를 기술하기 위하여, 그 전체로서 본 명세서에 참조로서 포함되고, "ELECTRODE INCLUDING NANOSTRUCTURES FOR RECHARGEABLE CELLS"의 명칭으로 2009년 5월 7일에 출원된, 미국 특허 출원 12/437,529에 기술된다. 그러나, 그 특허 출원에 기술된 일부 나노선에 성장된 VLS와 비교할 때, 본 명세서에 기술된 실리사이드 나노선은 기관과 더 강한 기계적 결합을 형성하고, 낮은 접촉 저항을 가질 수 있다. 다양한 물질 구성요소와 더 넓은 기관에 뿌리박힌 말단은 이 결과에 기인한다고 여겨진다.
- [0076] 본 명세서에 기술된 바와 같이 제작될 때, 일반적으로 실리사이드 나노선은 그 길이를 따라서 가변적인 물질 구성요소를 가진다는 것이 발견되었다. 나노선은 자유(면 쪽)단 근처보다, 금속이 사용가능한, 기관에 뿌리박힌 말단 근처에 고농도의 금속을 가진다. 금속 유형에 의존하여, 이 가변성은 실리사이드의 서로 다른 형태학적 상 및 화학양론적인 상의 결과가 될 수 있다. 가령, 니켈 실리사이드 나노선은 니켈 실리사이드의 하나, 둘 또는 모든 세 개의 상( $Ni_2Si$ ,  $NiSi$  및  $NiSi_2$ )을 포함할 수 있다. 더 높은 니켈 함유량을 가진 상이 니켈 금속과 더 강한 결합을 형성한다고 여겨진다. 그러므로, 이 가변성은 기관에 대한 니켈 실리사이드 나노선의 접착력을 강화시키고, 접촉 저항을 감소시킬 수 있다. 또한, 금속 함유량 가변성은 나노선의 길이를 따라 물리적 특성에서 차이를 야기할 수도 있다.
- [0077] 특정 구체예에서, 높은 니켈 함유량을 가진 기관에 뿌리박힌 말단은 더 넓고 더 높은 표면 거칠기를 가진다. 이는 기관과 더 많은 접촉 면적, 접착력 증가 및 접촉 저항 감소를 제공한다. 나노선상에 증착된 활성 물질이 팽윤되고 수축되며, 다양한 방향으로 나노선을 밀어낼 때, 기관과 나노선의 강한 결합은, 특히 셀 사이클링 동안에, 이 부착력을 보존하는데 도움이 된다. 마침내, 어떤 구체예에서, 실리사이드 나노선은 사이클링 동안에 리튬반응을 경험하지 않는다.
- [0078] 상기 기술된 바와 같이, 큰 모양의 나노선은 나노선의 기관에 뿌리박힌 말단 근처의 금속의 더 많은 이용가능성에 기인할 수 있다. 어떤 구체예에서, 기관에 뿌리박힌 말단 근처의 평균 지름은 자유단 근처의 평균 지름보다 적어도 약 두 배이다(나노선의 각 말단에서 횡 단면의 비교에 기초하고, 각 횡 단면은 나노선 전체 길이의 약 10% 인 나노선으로부터의 거리에서 취함). 다시 말해, 밑단(base)이 기관의 표면상에서 서로 접촉하기에 충분하도록 크더라도, 밑단부터 끝단(tip)까지 구조체를 따라 지름이 감소하는 결과, 끝단은 자유롭고 서로 떨어져 있다. 좀 더 구체적인 구체예에서, 두 치수의 비율은 적어도 약 4 또는, 심지어 좀 더 구체적으로, 적어도 약 10

(더 넓은 밀난 콘을 나타냄)이다.

- [0079] 실리사이드 나노선은 다른 나노선과 서로 연결될 수 있는데, 가령, 하나의 나노선의 성장 동안에, 하나의 나노선이 또 다른 나노선의 경로를 가로지를 수 있다. 또한, 실리사이드 나노선을 증착한 후에, 추가적인 가교-결합이 제공될 수 있다. 가령, 또 다른 템플레이트는 상기 기술된 바와 같이, 첫번째 것 상에 증착될 수 있다. 전도성 첨가물(가령, 카본 블랙, 금속 입자)은 나노선 사이에 도입될 수 있다. 나노선은 실리사이드 템플레이트를 압착 및/또는 어닐링함에 의하여, 증착후에 재형성되어 나노선 사이에 더 많은 접촉점을 형성시킬 수 있다. 마침내, 추가적인 상호 연결은 활성 물질의 증착 동안에 발생한다. 가령, 두 개의 가까이 이격된 실리사이드 나노선은 활성 물질로 코팅되어서, 인접한 나노선상에 형성된 활성 물질층이 오버랩되도록 한다. 구체적인 구체예에서, 템플레이트를 형성하는 것은 약 50 Torr의 압력에서 유지되는 공정 챔버에서 수행된다. 공정 가스는 약 1%의 실레인을 포함한다. 기판은 약 450°C에서 유지된다.
- [0080] 이 문헌의 기준은 일반적으로 나노선을 포함하는 템플레이트이나, 템플레이트는 다른 유형의 구조체를 포함하는 것을 주목해야 한다. 더구나, 선-기반 템플레이트는, 평균 지름이 1 마이크로미터보다 큰 선을 포함할 수 있다. 이러한 템플레이트는 고용량 활성 물질의 층을 증착하는데 사용되어서, 층 그 자체가 템플레이트 치수와 관계없이 나노-크기의 치수를 갖도록 한다. 그러나, 나노선과 같은 나노구조체로 제조된 템플레이트는 일반적으로, 기판의 단위 면적당 고용량 활성 물질의 증착을 위한 더 넓은 표면적을 제공한다.
- [0081] 템플레이트의 형성한 다음이지만 활성 물질을 증착하기 전에, 템플레이트는 템플레이트의 어떤 지역을 마스킹하기 위하여 추가적인 공정을 거쳐서, 이들 지역에 활성 물질의 증착을 방지 또는 최소화 시킨다. 상기 기술된 바와 같이, 기판 경계면 근처의 활성 물질 팽윤 및 수축 기계적 왜곡을 최소화시켜서, 실리사이드 템플레이트와 기판 사이의 기계적 및 전기적 결합을 보존하는데 유용하다. 그와 같이, 기판 경계면 근처의 활성 물질의 증착은 일반적으로, 바람직하지 않거나, 최소한, 덜 바람직하다. 증착하는 동안 활성 물질층의 두께 및/또는 구성을 프로파일하기 위한 어떤 기술이 활성 물질 형성 작업(508)과 관련하여 아래에 기술된다. 또한, 추가적인 물질은, 템플레이트의 형성 이후에, 기판 경계면상에 증착될 수 있다. 이러한 물질은, 상기 기술된 템플레이트의 형성 이전에 제공되는 중간층에 추가하여, 또는 중간층 대신에 증착될 수 있다. 두 개의 물질을 구별하기 위하여, 템플레이트의 형성 이후에 증착된 물질은, 어떤 구체예에서, 기판 표면을 패시베이팅하여 이 표면상의 활성물질의 형성을 감소시키는데 사용되기 때문에 "패시베이션 물질(passivation material)로 언급된다.
- [0082] 도 3E는 패시베이션 물질(335)로 코팅되지 않은 실리사이드의 개략적인 도면이다. 기판(332) 근처의 패시베이션 물질(335)은 실리사이드 구조체(334)의 기판에 뿌리박힌 말단을 코팅하나, 자유단은 코팅되지 않도록 유지된다. 분리 작업 동안에, 또는 활성 물질 증착의 초기 단계 동안에, 패시베이션 물질(335)이 증착될 수 있다. 가령, 자가-조립된 아연 산화물과 실리콘 산화 입자는 템플레이트 내로 도입될 수 있다. 템플레이트 내의 패시베이션 물질(335)의 분포는 전착(electrodeposition)에 의해 제공된다.
- [0083] 도 3F는 패시베이션 물질(335)이 실리사이드 구조체(334)의 말단 근처의 활성 물질(336)의 증착을 방지하기 위하여, 활성물질(336)로 코팅되어 실리사이드 구조체(334)의 개략적인 도면이다. 그와 같이, 전극의 사이클링 동안에, 기판(332)에서 기계적인 왜곡이 적거나 없고, 실리사이드 구조체(334)와 기판(332) 사이의 연결은 좀 더 강건하다.
- [0084] 어떤 구체예에서, 중간층은, 전기 화학적 활성 물질의 증착 이전에, 템플레이트 구조체상에 증착된다. 이 중간층은 티타늄, 구리, 철, 니켈, 니켈 티타늄, 크롬 또는 다른 유사 물질을 포함할 수 있다. 물질은 전기도금, 스퍼터링 또는 증발법 기술을 사용하여 증착될 수 있다. 어떤 특정 이론에 제한되지 않더라도, 이 경계면에서의 중간층의 존재는 활성 물질과의 야금학적 합금을 증가시켜서 더 잘 접착한다. 또한, 이들 물질 중 일부는 접착 조촉매 및 산소 게터와 같이 작용할 수 있다. 마침내, 니켈 티타늄, 구리-아연-알루미늄-니켈 및 구리-알루미늄-니켈과 같은 합금은, 상기 합금의 탄성 특성이 비교적 동적인(사이클링 동안에 팽윤 및 수축하는) 활성 물질층과 비교적 고정된 템플레이트 층사이의 경계면 층을 제공하는데 사용될 수 있다. 본 발명의 일 구체예에서, 중간층은 약 2 나노미터 내지 2 마이크로미터의 두께를 가진다.
- [0085] 도 5로 다시 돌아와서, 공정 (500)은 금속 실리사이드 템플레이트상에 고용량 전기 화학적 활성 물질의 형성을 지속한다(작업 508). 전기 화학적 활성 물질의 예는 물질을 포함하는 실리콘(가령, 결정질 실리콘, 비정질 실리콘, 다른 실리사이드, 실리콘 산화물, 서브-산화물, 산-질화물), 물질을 포함하는 주석(가령, 주석, 주석 산화물), 게르마늄, 물질을 포함하는 탄소, 다양한 금속 수소화물(가령, MgH<sub>2</sub>), 실리사이드, 인화물 및 질화물을 포함한다. 다른 예는 탄소-실리콘 조합(가령, 탄소-코팅된 실리콘, 실리콘-코팅된 탄소, 실리콘으로 도핑된 탄소, 탄소로 도핑된 실리콘 및 탄소와 실리콘을 포함하는 합금), 탄소-게르마늄 조합(가령, 탄소-코팅된 게르마늄,

게르마늄-코팅된 탄소, 게르마늄으로 도핑된 탄소 및 탄소로 도핑된 게르마늄) 및 탄소-주석 조합(가령, 탄소-코팅된 주석, 주석-코팅된 탄소, 주석으로 도핑된 탄소 및 탄소로 도핑된 주석)을 포함한다. 양성 전기 화학적 활성 물질의 예는 다양한 리튬 금속 산화물(가령,  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{LiMnO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiCoPO}_4$ ,  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$ ,  $\text{LiFe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{FeO}_4$ ), 탄소 플루오라이드, 철 플루오라이드( $\text{FeF}_3$ )와 같은 금속 플루오라이드, 금속 산화물, 설퍼의 단독 및 조합하는 것을 포함한다. 이들 양성 및 음성 활성 물질의 도핑되고, 비-화학양론적인 변형에도 마찬가지로 사용될 수 있다. 도펀트의 예는, 다른 적절한 도펀트(가령, 설퍼 및 셀레늄)뿐만 아니라, 주기율표의 3족과 5족으로부터의 원소(가령, 붕소, 알루미늄, 갈륨, 인듐, 탈륨, 인, 비소, 안티몬 및 비스무스)를 포함한다. 어떤 구체예에서, 고용량 활성 물질은 비정질 실리콘을 포함한다. 가령, 비정질 실리콘의 층은 니켈 실리사이드 템플레이트상에 증착될 수 있다.

[0086] 고용량 활성 물질은 증착 작업 동안에 또는 그 이후에 도핑될 수 있다. 도펀트는 활성 물질의 전도성을 개선하는데 사용되고 다른 기능을 수행하는데 사용될 수 있다. 가령, 포스핀( $\text{PH}_3$ )이 가공 가스에 추가되어서 실리콘 또는 다른 활성 물질의 인(phosphorous) 도핑을 제공할 수 있다. 구체적인 구체예에서, 가공 가스내의 실레인일 사용하는 어떤 구체예와 같이, 가공 가스 내의 포스핀 또는 성분을 운반하는 또 다른 도펀트의 농도가 적어도 약 0.1%(그의 부분압에 기초), 또는 적어도 약 0.5% 또는 심지어 적어도 약 1%일 수 있다. 또한, 도펀트는(가령, 스프터링, 전기도금, 이온 주입 및 다른 기술에 의하여) 활성 물질의 증착 이후에, 활성층내로 도입될 수 있다. 어떤 구체예에서, 화합물을 포함하는 리튬은 활성 물질상에 증착된다. 추가적인 리튬은 리튬 이온 셀내에서 사용되어서, 고체 전해질 경계면(SEI) 층 형성과 관련된 손실을 상쇄시키고(offset), 및/또는 완전한 셀 방전 동안에도 음성 활성 물질 내에 일부 잔여 리튬을 유지시키는데 사용된다. 음성 전극내에 일부 리튬을 유지시키는 것은 음성 활성 물질 전도성을 개선하고, 및/또는 사이클의 방전 부분의 말단에서 음성 활성 물질 내의 어떤 형태학상의 변화를 피하는데 도움이 될 수 있다.

[0087] 어떤 구체예에서, 복수의 서로 다른 활성 물질(가령, 주석과 같은 고용량 활성물질)은 템플레이트상에 증착될 수 있다. 일 예에서, 실리콘의 층은 탄소층으로 추가 코팅되어 코어-셸 구조체를 형성할 수 있다. 이 예에서, 템플레이트의 실리사이드 나노구조체는 코어로 제공하고, 실리콘 층은 중간층 또는 외부 코어로 제공되며, 탄소 층은 셸로 제공된다. 다른 예는 전기 화학적 활성을 필요로 하지 않으나 안정한 SEI 층의 형성을 촉진시키는 것과 같은 전극내의 다른 기능을 수행하도록 구성되는 물질을 포함하는 코팅물을 포함한다. 이러한 물질의 예는 탄소, 구리, 폴리머, 설파이드 및 금속 산화물을 포함한다.

[0088] 구체적인 구체예에서, 활성 물질층은 게르마늄과 실리콘의 조합으로 증착된다. 이들 두 물질의 분포는 템플레이트의 높이를 따라 가변하여서, 자유단 근처보다 기판 경계면 근처에 더 많은 게르마늄이 증착되고, 실리콘은 그 반대로 증착된다. 게르마늄이 실리콘보다 훨씬 적게 리튬반응하고, 그 결과 게르마늄이 훨씬 적게 팽윤을 나타낸다. 동시에, 게르마늄의 형태학상의 구조체(가령, 그의 격자)는 실리콘의 것과 잘 매칭된다. 적게 팽윤하는 것, 이는 곧, 기판에서 응력을 감소시키는데 도움이 되어서, 더욱 강건한 전극 구조체 및 개선된 사이클링 성능을 가진 셀이 결과로 나타난다.

[0089] 가변적인 함성물 활성 물질층을 형성하기 위한 CVD 공정은 전구체를 포함하는 게르마늄의 초기 농도 및 전구체를 포함하는 실리콘의 초기 농도를 포함하는 가공 가스를 도입하는 것부터 시작될 수 있다. 그리고 나서, 증착이 계속되면서, 전구체를 포함하는 게르마늄의 농도는 감소되나, 전구체를 포함하는 실리콘의 농도는 증가된다.

[0090] 고용량 활성 물질은 CVD 기술, 전기 도금, 비전극 도금 또는 용액 증착법을 사용하여 증착될 수 있다. 일부 구체예에서, 실리사이드 구조체를 성장시키는데 사용되는 유사한 방식으로 증착될 수 있다. 실리사이드와 활성 물질은 동일한 챔버내에서 증착될 수 있다. 좀 더 구체적으로, 동일한 챔버는 기판 처리를 위해 사용될 수도 있다.

[0091] 어떤 구체예에서, 활성 물질은 플라즈마 강화 화학증기기착(PECVD) 기술을 사용하여 증착될 수 있다. 이 기술은 이제 인으로 도핑된 비정질 실리콘 층과 관련하여 좀 더 자세히 기술될 것이다. 그러나, 이 기술 또는 유사 기술은 다른 활성 물질을 위해 또한 사용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 실리사이드 템플레이트, 좀 더 구체적으로 니켈 실리사이드 템플레이트를 포함하는 기판이 PECVD 챔버 내에 제공된다. 기판은 약 200°C 내지 400°C 또는, 좀 더 구체적으로, 약 250°C 내지 350°C까지 가열된다. 전구체(가령, 실레인)를 포함하는 실리콘을 포함하는 가공 가스 및 하나 이상의 캐리어 가스(가령, 아르곤, 질소, 헬륨, 수소, 산소, 이산화탄소 및 메탄)가 챔버내로 도입된다. 구체적인 예에서, 헬륨 내의 실레인의 농도는 약 5% 내지 20%, 좀 더 구체적으로, 약 8% 내지 15% 이다. 또한, 가공 가스는 약 1% 내지 5%의 농도에서 포스핀과 같은 물질을 포함하는 도펀트를 포함할 수 있

다. 챔버 압력은 약 0.1 Torr 내지 10 Torr 또는, 좀 더 구체적으로 약 0.5 Torr 내지 2 Torr에서 유지될 수 있다. 실레인 분해를 향상시키기 위하여, 플라즈마는 챔버 내에서 점화된다.

[0092] 다음 공정(즉, 라디오 주파수(RF) 전력 및 흐름 속도) 파라미터는 영구 Surface Technology Systems에서 시판되는 STS MESC Multiplex CVD 시스템을 위해 제공되며, 이는 지름 약 4 인치까지 기판을 가공할 수 있다. 당업자가 챔버의 다른 유형 및 기판 크기에 대해 이들 공정 파라미터 크기를 크게 또는 작게 할 수 있다는 것을 이해해야 한다. RF 전력은 약 10W 내지 100W 에서 유지될 수 있고, 전체적인 가공 가스 흐름 속도는 약 200 sccm 내지 1000 sccm 또는, 좀 더 구체적으로, 400 sccm 내지 700 sccm 에서 유지될 수 있다.

[0093] 구체적인 구체예에서, 전기 화학적 활성 물질의 층을 형성하는 것은 약 1 Torr의 압력에서 유지되는 가공 챔버에서 수행된다. 가공 가스는 실레인 약 50 ccm 및 헬륨 약 500 sccm 을 포함한다. 활성 물질을 도핑하기 위하여, 15% 포스핀 약 50 sccm 이 가공 가스에 추가될 수 있다. 기판은 약 300°C에서 유지된다. RF 전력 레벨은 약 50W 로 설정된다. 어떤 구체예에서, 펄스된 PECVD 방법이 사용된다.

[0094] 활성 물질의 적절한 두께를 달성하기 위하여, 증착이 약 0.5 분 내지 30 분 동안 수행될 수 있다. 활성 물질의 두께는 에너지 밀도 요구사항, 물질 특성(가령, 이론적인 용량, 응력 골절 제한), 템플레이트 표면적 및 다른 파라미터에 의해 추진될 수 있다. 어떤 구체예에서, 약 50 나노미터 내지 500 나노미터 두께 또는, 좀 더 구체적으로, 약 100 나노미터 내지 300 나노미터 두께인 비정질 실리콘의 층이 증착된다. 이 층은 약 10 나노미터 내지 100 나노미터의 지름을 가진 실리사이드 나노선상에 증착된다는 것을 주목해야 한다. 그러므로, 결과적인 구조체(즉, 나노선상에 증착된 활성 물질층을 가진 실리사이드 나노선)의 평균 지름은 약 100 나노미터 내지 1,100 나노미터일 수 있다. 다른 치수도 가능할 수 있다. 가령, 약 500 나노미터보다 두꺼운 비정질 실리콘 층은 그 층의 다공성을 증가시킴에 의하여 가능하다. 어떤 구체예에서, 다공성 실리콘 층은 약 500 나노미터 내지 1000 나노미터 두께 또는, 좀 더 구체적으로 약 500 나노미터 내지 750 나노미터 두께일 수 있다. 다공성 활성 물질 구조체의 일부 예 및 세부사항은, 다공성 활성 물질 구조체를 기술하기 위한 목적으로 그 전체가 본 명세서에 참조로서 포함되고, "COMPOSITE STRUCTURES CONTAINING HIGH CAPACITY POROUS ACTIVE MATERIALS CONSTRAINED IN SHELLS" 라는 명칭으로, 2011년 10월 22일에 출원된 미국특허 출원 13/277,620에서 제공된다.

[0095] 약 50 나노미터 내지 500 나노미터의 두께를 가진 일부 활성 물질층은 전형적으로, 10분-20분 내로 증착되는 것으로 결정된다. 증착된 활성 물질의 양을 특징짓는 또 다른 방법은 밑에 있는 템플레이트와 관련 있다. 어떤 구체예에서, 금속 실리사이드 부피에 대한 활성 물질 부피의 질량비는 적어도 약 10 또는, 좀 더 구체적으로, 적어도 약 100이다. 이 문헌의 다른 부분에서 기술되는 바와 같이, 이 비율은 템플레이트의 높이에 따라 현저하게 가변될 수 있다. 구체적으로, 이 비율은 개개의 구조체의 자유단 근처보다 기판 경계면 근처에서 실질적으로 작게 될 수 있다.

[0096] 도 5A는 상기 설명된 전체적인 공정의 서로 다른 단계 동안에 생산되는 구조체의 4개의 예를 나타낸다. 기판(552)은 초기 단계(551) 동안에 초기에 제공될 수 있다. 상기 설명된 바와 같이, 기판(552)은 베이스 기판 물질과 금속 소스 물질(실리사이드로부터 사용됨)을 포함할 수 있다. 이들 물질의 다양한 예와 조합은 상기 기술된다. 그리고 나서, 기판(552)은 실리사이드 나노구조체를 형성하기에 적합한 표면(554)을 형성하기 위하여 처리된다(단계 553). 기판(552)이 호일이라면, 표면(554)은 호일(미도시)의 양면에서 형성될 수 있다. 일부 예에서, 표면(554)은 나노선을 형성하기 위하여 특정 핵 형성 위치를 포함한다. 또한, 표면(554)은 마스크 물질을 포함할 수 있다. 그리고 나서, 실리사이드 나노구조체(556)은 기판(552)상에 형성된다(단계555). 어떤 구체예에서, 실리사이드 나노구조체(556)는 기판(552)에 뿌리박힌 그들의 말단을 가진다. 실리사이드 나노구조체는 활성 물질을 증착하기 위해 사용되는 넓은 표면적 템플레이트를 형성한다. 마침내, 활성 물질층(558)은 실리사이드 나노구조체(556)상에 증착된다(단계557). 실리사이드 나노구조체(556)는 활성 물질(558)에 대한 기계적 지지부와 기판(552)에 대한 전기적 연결부를 제공할 수 있다.

[0097] 실리사이드 나노구조체(556)와 활성 물질(558)의 조합은, 기판(552)에 인접한 활성층(559)으로 언급될 수 있다. 전체적으로, 활성층(559)은, 전형적으로 실리사이드 템플레이트의 높이에 근접한 활성층의 높이 또는 이 템플레이트를 만드는 나노선의 길이에 의해 특징지어 질 수 있다. 어떤 구체예에서, 활성층의 높이는 약 10 마이크로미터 내지 50 마이크로미터 또는, 좀 더 구체적으로 약 20 마이크로미터 내지 40 마이크로미터이다. 기판과 상기 기판의 두 반대면상에 증착된 두 활성층을 가진 전극은 약 50 마이크로미터 내지 100 마이크로미터의 높이를 가질 수 있다. 더구나, 활성층(559)은 다공성(적어도 약 25% 또는, 좀 더 구체적으로, 적어도 약 50% 또는, 심지어 좀 더 구체적으로, 적어도 약 75%), 단위 면적당 용량 및 다른 특성에 의해 특징지어질 수 있다.

[0098] 더구나, 템플레이트를 코팅하는 활성 물질의 두께는 템플레이트의 높이에 따라 가변할 수 있다. 가령, 활성 물

질층은 기판 경계면 근처 보다 구조체의 자유단 근처에서 더 두꺼울 수 있다. 도 4는 기판(402)상에 배열된 템플레이트 구조체(406)상에 증착된 이러한 활성 물질층(410)의 예를 나타낸다. 어떤 특정 이론에 제한되지 않더라도, 활성 물질의 이러한 분포는 매스 트랜스포트 리미팅 레짐(mass transport limiting regime)을 결과로 낚는 어떤 공정 조건에 의하여 달성될 수 있다고 여겨진다. 이 레짐은 템플레이트의 높이에 따라 활성 물질 전구체 중(가령, 실레인)의 농도 구배 및 기판 경계면 근처보다 구조체의 자유단 근처에 더 높은 증착 속도를 초래한다. 구조체의 기판에 뿌리박힌 말단이 리튬반응동안에 팽윤과 응력을 적게 경험하기 때문에, 이러한 활성 물질 분포는 전기 화학적인 사이클링 관점에서 이로울 것이어서, 구조체와 기판 사이의 접촉력을 보존한다.

[0099] 구체적으로, 활성 물질의 불균일한 분포는, 증착 챔버 내의 비교적 고압 레벨에서 CVD 증착을 수행함에 의하여 달성될 수 있다. 어떤 특정 이론에 제한되지 않더라도, 더 짧은 평균 자유 경로(mean free path)가 고압 레벨에서 달성되고, 이는 곧, 더 빠른 증착속도와 구조체의 자유단 근처의 활성 물질 전구체의 더 빠른 소모로 이어진다. 이는 템플레이트 높이 상에 매스 트랜스포트 리미팅 레짐을 효과적으로 생성한다. 가령, 증착은 약 50 Torr 내지 760 Torr, 좀 더 구체적으로, 약 100 Torr 내지 600 Torr 또는, 심지어 좀 더 구체적으로, 약 200 Torr 내지 600 Torr에서 수행될 수 있다. 특정 예에서, 증착은 약 600 Torr 에서 수행된다. 증착 온도는 약 400 내지 600°C 또는, 좀 더 구체적으로, 약 450°C 내지 550°C 일 수 있다. 특정 예에서, 증착은 약 500°C에서 수행된다. 이들 온도 범위는 열적 CVD 기술을 위해 제시된다. PECVD 기술이 증착을 위해 사용된다면, 온도는 약 200°C 내지 450°C의 범위 일 수 있다. 아르고 또는 수소 내의 실레인 농도는 약 0.5% 내지 20% 또는, 좀 더 구체적으로 0.5% 내지 10%, 심지어 좀 더 구체적으로, 약 1% 내지 5% 범위일 수 있다.

[0100] 또 다른 접근이 낮은 온도에서 PECVD 기술을 사용하여 증착을 수행하기 위함이다. PECVD는 열적으로 흥분된 라디칼보다 더 짧은 수명을 가진 국소적인 라디칼을 생성한다. 그러므로, 평균 자유 경로는 더 짧아지게 되고, 증착은 덜 컨포멀(conformal)하게 되고, 이는 라디칼 농도가 큰 템플레이트의 맨 위쪽에서 더 많은 증착을 제공한다. 또한, PECVD는, 상기에서 언급한 바와 같이, 낮은 온도에서 증착할 수 있게 한다. 낮은 온도는 기판과 측면 반응을 감소시키는데 도움이 될 수 있고, 부스러질 수 있게 될 수 있는 기판 경계면에서의 원치않는 초과량의 실리사이드를 형성할 수 있다. PECVD 증착은 약 1 Torr 내지 50 Torr의 압력 레벨에서, 약 200°C 내지 450°C의 온도 범위에서 및 수소, 헬륨, 질소, 아르곤 단독으로 또는 조합한 것의 약 1% 내지 20%의 실레인 농도에서 수행될 수 있다. 챔버내의 플라즈마는 반응성 종의 좀 더 원하는 분포를 제공하는데 치우칠 수 있다.

[0101] 더구나, 원격 플라즈마 생성기는 이온 및 라디칼과 같은 활성 물질 전구체로부터 활성화된 종을 생성하는데 사용될 수 있다. 활성화된 중(가령,  $^{-2}\text{SiH}_2$ )은 그들의 비-활성화된 상대물(counterpart)(가령,  $\text{SiH}_4$ )보다 더욱 반응적이고, 구조체의 자유단에서 더 빨리 소모되는 경향이 있어서, 매스 트랜스포트 리미팅 레짐을 효과적으로 생성한다. 원격 플라즈마 생성기의 일부 예는 매사추세츠(Massachusetts)의 앤도버(Andover)의 MKS Instruments 에서 시판되는, ASTRON® i Type AX7670, ASTRON® e Type AX7680, ASTRON® ex Type AX7685, ASTRON® hf-s Type AX7645를 포함한다. 일반적으로 생성기는 공급되는 활성 물질 전구체를 사용하여 이온화된 플라즈마를 생성하는 자족적인(self-contained) 장치이다. 또한, 생성기는 플라즈마의 전자에 에너지를 공급하기 위한 고전력 RF 생성기를 포함한다. 그리고 나서, 이 에너지는 중성 활성 물질 전구체 분자(가령, 실레인)으로 전달되어, 이들 분자의 dhs도를 2000K 까지 상승시키고, 분자의 열해리(thermal dissociation)라는 결과가 된다. 이 생성기는 그의 높은 RF 에너지 및 전구체가 이 에너지의 대부분을 흡수하도록 하는 특별한 채널 기하구조때문에, 고급된 전구체 분자의 90% 이상을 해리시킬 수 있다. 생성기는 홀로 사용되거나(가령, 열적 CVD 챔버와 함께) 또는 PECVD 반응기와 조합하여 사용될 수 있는데, 이는 종의 해리를 추가로 제공할 수 있다(가령, 딜리버 라인(deliver line)과 샤워헤드(shower head) 내에서 재조합된 중).

[0102] 도 6A는 상기에서 보여지는 바와 같이, 실리사이드 나노선 템플레이트의 SEM 이미지이다. 이들 나노선은 독일, 로스(Roth)의 Carl Schlenk AG Company에서 시판되는 단단하고 둥글게 말려진 니켈 호일상에 직접 증착된 것이다. 호일은 50 Torr의 압력의 공기를 포함하는 공정 챔버내에, 300°C에서 1분동안 제1 산화되었다. 그리고 나서, 호일은 650°C까지 가열되었고, 실레인의 부피의 1% 함유하는 공정 가스는 10분 동안 챔버내로 도입되었다. 결과로 나온 실리사이드 나노선은 지름이 약 10-50 나노미터이고 길이가 약 1-30 마이크로미터이다. 나노선의 밀도는 약 10-70%였다. SEM 이미지에서 볼 수 있는 바와 같이, 나노선은 매우 넓은 표면적인 템플레이트를 형성한다.

[0103] 도 6B는 비정질 실리콘으로 코팅된 나노선 템플레이트의 SEM 이미지이다. 이 이미지는 도 6A와 동일한 방향에서 찍은 것이다. 실리콘을 증착하기 위해 사용되는 초기 실리사이드 템플레이트는 도 6A와 동일하다. 비정질 실리콘 증착은 10분동안 300°C, 1 Torr에서 수행되었다. 100% 실레인의 50 sccm, 헬륨 500 sccm 및 포스핀 부피

15%의 50 sccm을 포함하였다. RF 전력은 50W였다. 코팅된 나노선의 평균 지름은 271-280 나노미터로 추정되었다. 도 6A 및 도 6B의 SEM 이미지는 동일한 확대율에서, 코팅되지 않은 템플레이트 나노선의 상대적 크기(도 6A) 및 이들 나노선상에 형성된 비정질 실리콘 구조체(도 6B)를 도시하도록 제공되었다. 두 SEM 이미지로부터 볼 수 있는 바와 같이, 비정질 실리콘 구조체는 코팅되지 않은 실리사이드 나노선보다 실질적으로 더 두껍다.

[0104] 도 6C는 도 6A의 것과 유사한 실리콘 코팅된 나노선을 포함하는 활성층의 SEM 이미지의 측면도이다. 나노선은 활성 물질로 코팅된 이후에도 비교적 높은 종횡비를 가진다. 일반적으로, 활성층의 높이는 나노선의 길이에 의해 정의된다. 또한, 활성층은 비교적 높은 다공성을 가지고, 이는 나노선이 리튬반응 동안에, 활성층 내에 과도한 응력을 생성하거나 서로 분리되지 않고, 팽윤될 수 있게 한다. 또한, 다공성은 전해질 성분이 활성층을 통해 자유롭게 이동할 수 있도록 한다.

[0105] 도 6D는 도 6B에 원래 나타난 활성층의 SEM 이미지의 고도 확대도를 나타낸다

[0106] 검은색 화살표는 나노선 사이의 접촉점(가끔 여기서 "상호 연결"로 언급됨)을 가리킨다. 이러한 상호 연결은, 니켈 실리사이드 나노선의 증착 및/또는 비정질 실리콘으로 나노선을 코팅하는 동안에 형성될 수 있다. 상기 표시된 바와 같이, 이러한 상호 연결은 활성층의 기계적 강도와 전기적 전도성을 향상시킨다.

[0107] 도 6E는 전극의 상면에 대한 각도에서 얻은 SEM 이미지이고, 나노선이 기판에-뿌리박힌 말단보다 자유단에서 훨씬 두꺼운 것을 나타낸다. 이 전극을 형성하는 활성 물질 구조체는 기판 경계면 말단보다 훨씬 두꺼운 자유단을 가진다. 이러한 구조체는 도 4에 개략적으로 도시되었고, 상기 기술된다. 도 6E에 도시된 구조체는, 기판에 뿌리박힌 말단은 지름이 약 200 나노미터인 반면, 지름이 1 마이크로미터인 자유단을 가진다고 추정되었다. 구조체의 길이는 약 12-2- 마이크로미터로 추정되었다.

[0108] **전극 배열(일반)**

[0109] 도 7A는 어떤 구체예에 따라, 본 명세서에 기술된 전극을 사용하는 부분적으로-조립된 전기화학적 셀의 평면도의 개략적인 도면이다. 셀은 양성 전극 활성층(702)을 가지고, 이는 양성 전류 콜렉터(703)의 주요 부분을 가리는 것을 나타낸다. 또한, 셀은 음성 전극 활성층(704)을 가지고, 이는 음성 전류 콜렉터(705)의 주요 부분을 가리는 것을 나타낸다. 세퍼레이터(706)는 양성 전극 활성층(702)과 음성 전극 활성층(704) 사이에 있다.

[0110] 일 구체예에서, 음성 전극 활성층(704)은 양성 전극 활성층(702)보다 약간 더 커서, 양성 전극 활성층(704)의 활성 물질에 의하여, 양성 전극 활성층(702)으로부터 방출된 리튬 이온을 트랩핑(trapping) 하는 것을 보장한다. 일 구체예에서, 음성 전극 활성층(704)은 하나 이상의 방향에서 양성 전극 활성층(702)보다 적어도 약 0.25 밀리미터 내지 7 밀리미터 연장된다. 좀 더 구체적인 구체예에서, 음성 전극 활성층(704)은 하나 이상의 방향에서 양성 전극 활성층(702)보다 약 1 밀리미터 내지 2 밀리미터 연장된다. 어떤 구체예에서, 세퍼레이터(706)의 에지는 적어도 음성 전극 활성층(704)의 외부 에지보다 연장되어서, 다른 배터리 구성으로부터 음성 전극의 완전한 전자적 절연성을 제공한다.

[0111] 도 7B는 어떤 구체예에 따라, 본 명세서에 기술된 전극을 사용하는 부분적으로-조립된 전기화학적 셀의 전극 스택의 횡-단면도의 개략적인 도면이다. 한 면에 양성 전극 활성층(702a) 및 반대면에 양성 전극 활성층(702b)를 가지는 양성 전류 콜렉터(703)이 있다. 한 면에 음성 전극 활성층(704a) 및 반대면에 음성 전극 활성층(704b)를 가지는 음성 전류 콜렉터(705)이 있다. 양성 전극 활성층(702a)와 음성 전극 활성층(704a) 사이에 세퍼레이터(706a)가 있다. 세퍼레이터 시트(706a 및 706b)는 양성 전극 활성층(702a)과 음성 전극 활성층(704a) 사이에 기계적인 분리를 유지하는 역할을 하고, 나중에 추가될 액체 전해질(미도시)을 흡수시키기 위한 스폰지 작용을 한다. 활성 물질이 없는 전류 콜렉터(703, 705)의 말단은 셀의 적절한 단자(terminal)(미도시)와 연결하는데 사용된다.

[0112] 전극 층(702a, 704a), 전류 콜렉터(703, 705) 및 세퍼레이터(706a)가 다함께 하나의 전기 화학적 셀 유닛을 형성한다고 말할 수 있다. 도 7B에 도시된 완전한 스택(700)은 전극 층(702b, 704b) 및 추가적인 세퍼레이터(706b)를 포함한다. 전류 콜렉터(703, 705)는 인접한 셀 사이에 공유될 수 있다. 이러한 스택이 반복될 때, 그 결과는 하나의 셀 유닛의 것보다 더 큰 용량을 가진 셀 또는 배터리이다.

[0113] 대용량을 가진 배터리 또는 셀을 제조하기 위한 또 다른 방법은 하나의 매우 큰 셀 유닛을 만들고, 이를 감아서 복수의 스택을 만드는 것이다. 도 8A의 횡-단면 개략도는 얼마나 길고 좁은 전극이 두 시트의 세퍼레이터와 함께 권취되어서, 가끔 젤리롤(jellyroll, 800)로 언급되는 배터리 또는 셀을 형성할 수 있는지를 보여준다. 젤리롤은 곡선의 내부 치수에 맞고, 종종 원통형 케이스(802)에 맞는 모양과 크기이다. 젤리롤(800)은 양성 전극

(806)과 음성 전극(804)을 가진다. 전극 사이의 하얀 공간은 세퍼레이터 시트이다. 젤리롤은 케이스(802) 내로 삽입될 수 있다. 일부 구체예에서, 젤리롤(800)은 그 중심에 맨드릴(mandrel, 808)을 가질 수 있는데, 이는 초기 권취 지름을 설치하고, 내부 권취가 중심축 영역을 차지하는 것을 방지한다. 맨드릴(808)은 전도성 물질로 제조될 수 있고, 일부 구체예에서, 셀 단자의 일부일 수 있다. 도 8B는 양성 전류 콜렉터(미도시)와 음성 전류 콜렉터(미도시)로부터 각각 연장되는 양성탭(812)과 음성탭(814)을 가진 젤리롤(800)의 사시도를 나타낸다. 탭은 전류 콜렉터에 용접될 수 있다.

[0114] 전극의 길이와 너비는 셀의 전체 치수와 활성층과 전류 콜렉터의 두께에 의존한다. 가령, 종래의 18 mm 지름과 85 mm 길이를 가진 18650-유형 셀은 약 300 mm 내지 1000 mm 길이인 전극을 가질 수 있다. 낮은 속도/고용량 장치에 해당하는 짧은 전극은 두껍고 더 적은 권취를 가진다.

[0115] 원통형 디자인은, 전극이 사이클링 동안에 팽윤할 수 있어서, 케이스에 압력을 가할 때, 특히, 어떤 리튬 이온 셀을 위해 사용될 수 있다. 가능한 얇으면서도, (우수하고 안전한 마진을 가지고) 셀 상의 충분한 압력을 여전히 유지할 수 있는 원통형 케이스를 사용하는 것이 유용하다. 각기둥의(평평한) 셀은 유사하게 감기나, 그들의 케이스는 유연하여 내부 압력을 수용하기 위하여 더 긴 면을 따라 구부러질 수 있다. 게다가, 압력은 셀의 서로 다른 부분 내에 동일하지 않으며, 각기둥의 셀의 코너는 빈 공간으로 남을 수 있다. 일반적으로, 빈 포켓은 리튬 이온 셀 내에서 피해야 하는데, 전극 팽윤 동안에 전극이 이들 포켓 내로 불균일하게 밀치는 경향이 있기 때문이다. 게다가, 전해질은 이 빈 포켓에서 응집되고, 전극 사이의 면을 건조하게 하여, 전극들 사이의 리튬 이온의 수송에 악영향을 끼친다. 그럼에도 불구하고, 어떤 장치에 대해, 직사각형 형태 인자에 영향을 받는 이러한 것들에도 불구하고, 각기둥의 셀이 적합하다. 일부 구체예에서, 각기둥의 셀은 직사각형의 전극과 세퍼레이터의 스택을 사용하여, 권취된 각기둥의 셀이 경험할 몇몇 어려움을 피한다.

[0116] 도 8C는 권취된 각기둥의 젤리롤(820)의 상면도를 나타낸다. 젤리롤(820)은 양성 전극(824)과 음성 전극(826)을 포함한다. 전극들 사이의 하얀 공간은 세퍼레이터 시트이다. 젤리롤(820)은 직사각형 각기둥의 케이스(822) 내에 수용된다. 도 8A 및 도 8B에 도시된 원통형 젤리롤과 달리, 각기둥의 젤리롤의 감김은 젤리롤의 가운데 평평한 연장된 섹션으로 시작된다. 일 구체예에서, 젤리롤은, 전극과 세퍼레이터가 감기는 젤리롤의 가운데에 맨드릴(미도시)를 포함할 수 있다.

[0117] 도 9A는 각각 양성 전극(가령, 903a, 903b), 양성 전류 콜렉터(가령, 902), 음성 전극(가령, 905a, 905b), 음성 전류 콜렉터(가령, 904) 및 전극들 사이의 세퍼레이터(가령, 906a, 906b)을 가지는 복수의 셀(901a, 901b, 901c, 901d 및 901e)을 포함하는 스택된 셀의 횡-단면도를 나타낸다. 각 전류 콜렉터는 인접한 셀에 의해 공유된다. 스택된 셀은 특히 각기둥의 배터리에 적합한 거의 어떠한 모양으로 제조될 수 있다. 전형적으로, 전류 콜렉터 탭은 스택으로부터 연장되고, 배터리 단자에 이어진다. 도 9B는 복수의 셀을 포함하는 스택된 셀의 사시도를 도시한다.

[0118] 전극이 상기 기술된 바와 같이 배열되면, 셀은 전해질로 채워진다. 리튬 이온 셀 내의 전해질은 액체, 고체 또는 젤일 수 있다. 고체 전해질을 가진 리튬 이온 셀은 리튬 폴리머 셀로 언급된다.

[0119] 전형적인 액체 전해질은 하나 이상의 용매와 하나 이상의 염, 적어도 하나의 리튬을 포함한다. 제1 차지 사이클(가끔, 형성 사이클로 언급됨) 동안에, 전해질 내의 유기 용매는 음성 전극 표면상에서 부분적으로 분해되어 SEI 층을 형성할 수 있다. 일반적으로, 휴지기(interphase)가 전기적으로 절연되나 이온적으로 전도성이어서, 리튬 이온이 통과할 수 있도록 한다. 또한, 휴지기는 나중의 차징 서브-사이클에서 전해질의 분해를 방지한다.

[0120] 어떤 리튬 이온 셀에 적합한 비-수용성 용매의 예는 다음을 포함한다. 사이클릭 카보네이트(가령, 에틸렌 카보네이트(EC), 프로필렌 카보네이트(PC), 부틸렌 카보네이트(BC) 및 비닐에틸렌 카보네이트(VEC)), 비닐렌 카보네이트(VC), 락톤(가령, 감마-부티롤락톤(GBL), 감마-발레롤락톤(GVL) 및 알파-안젤리카 락톤(AGL)), 선형 카보네이트(가령, 디메틸 카보네이트(DMC), 메틸 에틸 카보네이트(MEC), 디에틸 카보네이트(DEC), 메틸 프로필 카보네이트(MPC), 디프로필 카보네이트(DPC), 메틸 부틸 카보네이트(NBC) 및 디부틸 카보네이트(DBC)), 에테르(가령, 테트라하이드로퓨란(THF), 2-메틸테트라하이드로퓨란, 1,4-다이옥산, 1,2-디메톡시에탄(DME), 1,2-디에톡시에탄 및 1,2-디부톡시에탄), 아질산염(가령, 아세토니트릴 및 아디포니트릴) 선형 에스테르(가령, 메틸 프로피오네이트, 메틸 피발레이트, 부틸 피발레이트 및 옥틸 피발레이트), 아마이드(가령, 디메틸 포름아미드), 유기 포스페이트(가령, 트리메틸 포스페이트 및 트리옥틸 포스페이트), S=O 그룹을 포함하는 유기 화합물(가령, 디메틸 설펜 및 디비닐 설펜) 단독으로 및 조합물이다.

[0121] 비-수용성 액체 용매는 조합하여 사용될 수 있다. 이들 조합의 예는 사이클릭 카보네이트-선형 카보네이트, 사

이클릭 카보네이트-락톤, 사이클릭 카보네이트-락톤-선형 카보네이트, 사이클릭 카보네이트-선형 카보네이트-락톤, 사이클릭 카보네이트-선형 카보네이트-에테르 및 사이클릭 카보네이트-선형 카보네이트-선형 에스테르의 조합을 포함한다. 일 구체예에서, 사이클릭 카보네이트는 선형 에스테르와 조합될 수 있다. 게다가, 사이클릭 카보네이트는 락톤과 선형 에스테르로 조합될 수 있다. 구체적인 구체예에서, 선형 에스테르에 대한 사이클릭 카보네이트의 비율은 부피로, 약 1:9 내지 10:0, 바람직하게는 2:8 내지 7:3이다.

[0122] 액체 전해질을 위한 염은 하나 이상의 다음을 포함할 수 있다. 이는  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiClO}_4$ ,  $\text{LiAsF}_6$ ,  $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ ,  $\text{LiN}(\text{C}_2\text{F}_5\text{SO}_2)_2$ ,  $\text{LiCF}_3\text{SO}_3$ ,  $\text{Li}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_3$ ,  $\text{LiPF}_4(\text{CF}_3)_2$ ,  $\text{LiPF}_3(\text{C}_2\text{F}_5)_3$ ,  $\text{LiPF}_3(\text{CF}_3)_3$ ,  $\text{LiPF}_3(\text{iso-C}_3\text{F}_7)_3$ ,  $\text{LiPF}_5(\text{iso-C}_3\text{F}_7)$ , 사이클릭 알킬 그룹을 가진 리튬염(가령,  $(\text{CF}_2)_2(\text{SO}_2)_{2x}\text{Li}$  및  $(\text{CF}_2)_3(\text{SO}_2)_{2x}\text{Li}$ ) 단독 및 조합이다. 혼한 조합은  $\text{LiPF}_6$  및  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiPF}_6$  및  $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$ ,  $\text{LiBF}_4$  및  $\text{LiN}(\text{CF}_3\text{SO}_2)_2$  이다.

[0123] 일 구체예에서, 액체 비수용성 용매(또는 용매의 조합)의 염의 전체 농도는 적어도 약 0.3 M이고, 좀 더 구체적인 구체예에서, 염농도는 적어도 약 0.7M 이다. 상한 농도 제한은 가용성 제한으로 될 수 있거나, 약 2.5M 이하이고, 좀 더 구체적인 구체예에서, 약 1.5M 이하이다.

[0124] 전형적으로, 고체 전해질은 세퍼레이터 없이 사용되는데, 고체 전해질 자체가 세퍼레이터의 역할을 하기 때문이다. 그것은 전기적으로 절연성, 이온적으로 전도성 및 전기 화학적으로 안정하다. 고체 전해질 형태에서, 상기술된 액체 전해질 셀에 대한 것과 동일하게 염을 포함하는 리튬이 사용되나, 유기 용매에 용해되기 보다는, 고체 폴리머 합성물 내에 유지된다. 고체 폴리머 전해질의 예는 폴리비닐이덴 플루오라이드(PVDF) 또는 클로라이드 또는 그 파생물의 코폴리머, 폴리(클로로트리플루오로에틸렌), 폴리(에틸렌-클로로트리플루오로-에틸렌), 또는 폴리(플루오리네이트 에틸렌-프로필렌), 폴리에틸렌 산화물(PEO) 및 PEO와 연계된 옥시메틸렌, PEO-PPO-PEO 가교결합된 3작용성의 우레탄, 폴리(비스(메톡시-에톡시-에톡사이드))-포스파젠 (MEEP), 트리올-타입 PEO 가교결합된 2작용성의 우레탄, 폴리((올리고)옥시에틸렌)메타크릴레이트-코-알칼리 메탈 메타크릴레이트, 폴리 아크릴로니트릴(PAN), 폴리메틸메타크릴레이트(PNMA), 폴리메틸메틸니트릴(PMAN), 폴리실리옥산 및 그 파생물의 코폴리머, 아크릴레이트-계 폴리머, 다른 유사한 용매-없는 폴리머, 다른 폴리머를 형성하기 위한 응축 또는 가교-결합된 상기 폴리머의 조합물 및 상기 폴리머의 어떠한 물리적 혼합물과 같이, 전도 동안에, 부착 또는 움직이기 위한 전해질염의 리튬 이온을 위한 전자의 고립쌍을 가진 원자를 포함하는 모노머로부터 준비되는 이온적으로 전도성인 폴리머일 수 있다. 얇은 라미네이트의 강도를 개선하기 위하여, 상기 폴리머 내의 조합에서 사용될 수 있는 다른 작은 전도성 폴리머는 폴리에스테르(PET), 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리비닐이덴 플루오라이드(PVDF), 폴리카보네이트(PC), 폴리페닐렌 설파이드(PPS) 및 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE)을 포함한다.

[0125] 도 10은 어떤 구체예에 따라, 감겨진 원통형 셀의 횡-단면도의 개략적인 도면이다. 젤리롤은 나선형으로 감겨진 양성 전극(1002), 음성 전극(1004) 및 두 시트의 세퍼레이터(1006)을 포함한다. 젤리롤은 셀 케이스(1016) 내로 삽입되고, 캡(1018) 및 개스킷(1020)은 셀을 밀봉하는데 사용된다. 어떤 구체예에서, 셀은 다음 작업 이후 까지 밀봉되지 않는다는 것을 주목해야 한다. 어떤 경우에, 캡(108) 또는 셀 케이스(106)는 안전 장치를 포함한다. 가령, 과도한 압력이 배터리 내에 축적된다면, 안전 통풍구(safety vent) 또는 과열 밸브(burst valve)가 개방하기 위해 사용될 수 있다. 어떤 구체예에서, 일방-통로 가스 배출 밸브는 양성 물질의 활성화 동안에 방출된 산호를 방출하는데 포함된다. 또한, 포지티브 열 계수(PTC) 장치가 캡(1018)의 전도성 경로 내에 통합되어서, 셀이 단락 회로를 겪는 결과 손상을 감소시킬 수 있다. 캡(1018)의 외부 표면은 양성 단자로서 사용될 수 있으나, 셀 케이스(1016)의 외부 표면은 음성 단자로서 역할을 할 수 있다. 대안적인 구체예에서, 배터리의 극성은 바뀌어서, 캡(1018)의 외부 표면이 음성 단자로 사용될 수 있고, 셀 케이스(1016)의 외부 표면은 양성 단자로서의 역할을 할 수 있다. 탭(1008 및 1010)은 양성 전극과 음성 전극 및 해당 단자 사이에 연결부를 설립하는데 사용될 수 있다. 적절한 절연 개스킷(1014 및 1012)이 삽입되어, 내부 단락의 가능성을 막을 수 있다. 가령, Kapton™ 필름은 내부 절연체를 위해 사용될 수 있다. 제작동안에, 캡(1018)은 셀을 밀봉하기 위하여, 셀 케이스(1016)으로 잔주름을 지게 할 수 있다(crimped). 그러나, 이 작업 이전에, 전해질(미도시)이 젤리롤의 다공성 공간을 채우기 위해 가해져야 한다.

[0126] 전형적으로, 강성한 케이스는 리튬 이온 셀을 위해 사용되나, 리튬 폴리머 셀은 유연하고, 호일-타입(폴리머 라미네이트) 케이스 내로 포장될 수 있다. 다양한 물질이 케이스에 대해 선택될 수 있다. 리튬-이온 배터리를 위하여, Ti-6-4, 다른 Ti 합금, Al, Al 합금 및 300 시리즈 스테인레스 강이 양성 전도성 케이스 부분 및 말단 캡에 대해 적합할 수 있고, 상업적으로 순수한 Ti, Ti 합금, Cu, Al, Al 합금, Ni, Pb 및 스테인레스 강이 음성

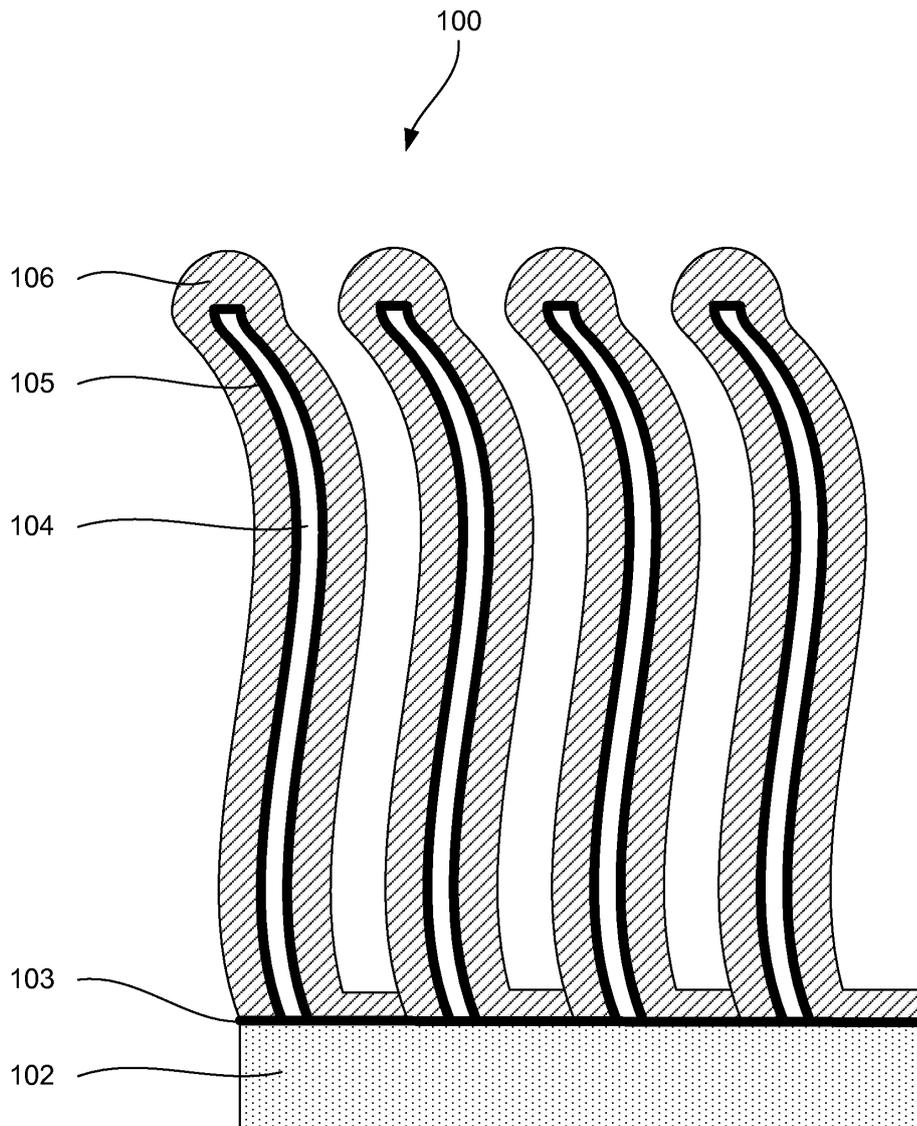
전도성 케이스 부분 및 말단 캡에 대해 적합할 수 있다.

[0127] 상기 기술된 배터리 적용에 추가하여, 금속 실리사이드는 연료 셀 내에서 사용될 수 있고(가령, 애노드, 캐소드 및 전해질), 이형-접합(hetero-junction) 태양 셀 활성 물질, 다양한 형태의 전류 콜렉터 및/또는 흡수 코팅물이 사용될 수 있다. 이들 적용의 일부는 금속 실리사이드 구조체, 실리사이드 물질의 고전도성 및 빠르고 값싼 증착 기술에 의해 제공되는 넓은 표면적으로부터 도움이 될 수 있다.

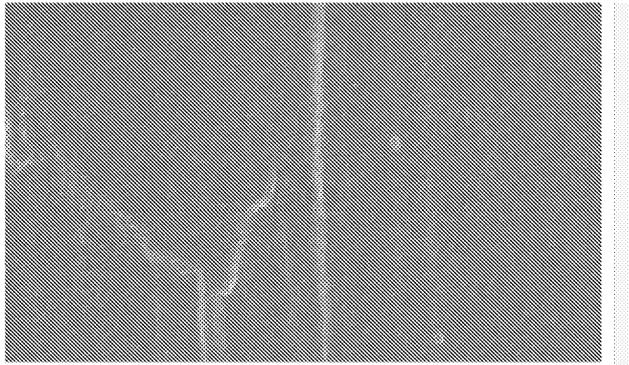
[0128] 상기 개념이 이해의 명확성을 위하여 다소 자세하게 기술되었더라도, 일부 변화에 및 수정예가 첨부된 청구항의 범위 내에서 실행할 수 있다는 것은 명백할 것이다. 상기 공정, 시스템 및 장치를 실행하는 많은 대안적인 방법이 있다는 것을 주목해야 한다. 따라서, 본 구체예는 제한적이 아닌 설명적으로 해석되어야 한다.

**도면**

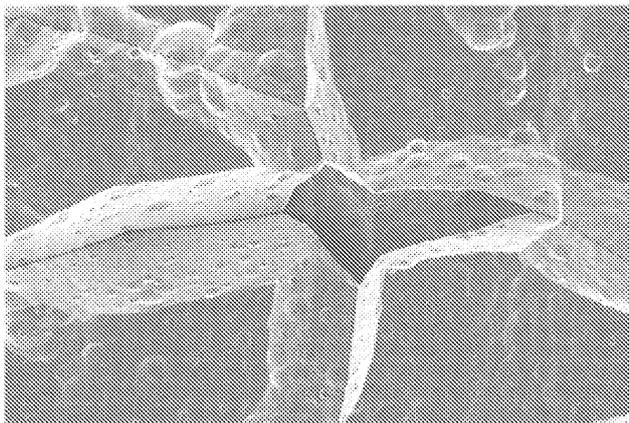
**도면1**



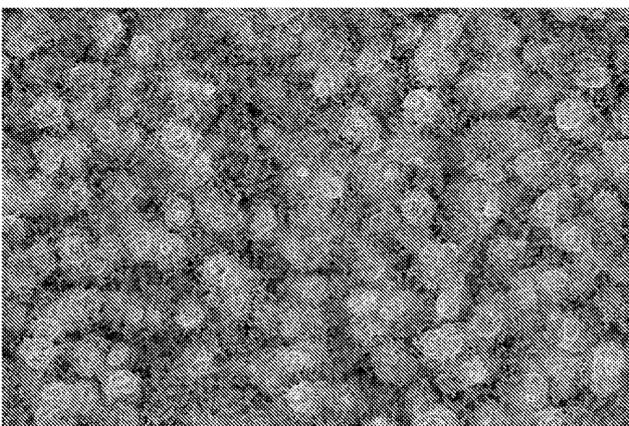
도면2a



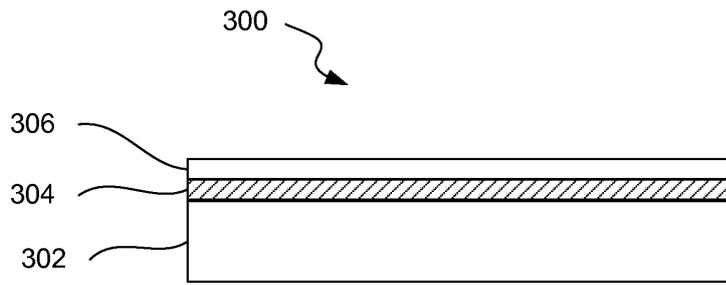
도면2b



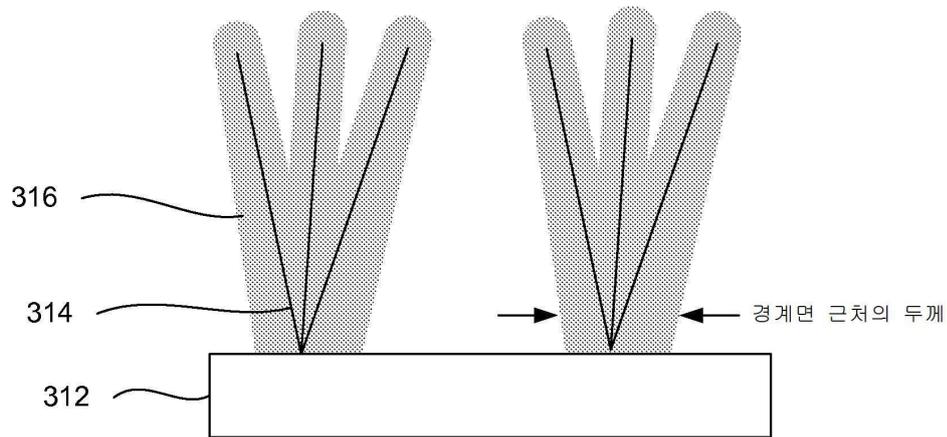
도면2c



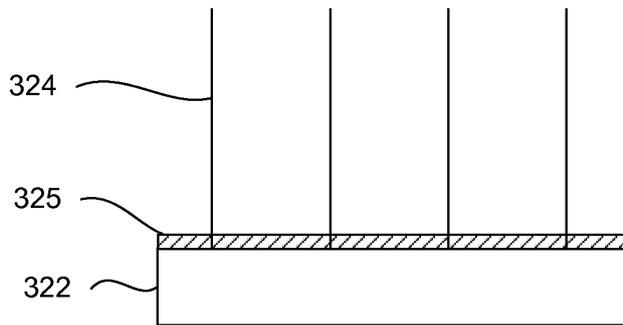
도면3a



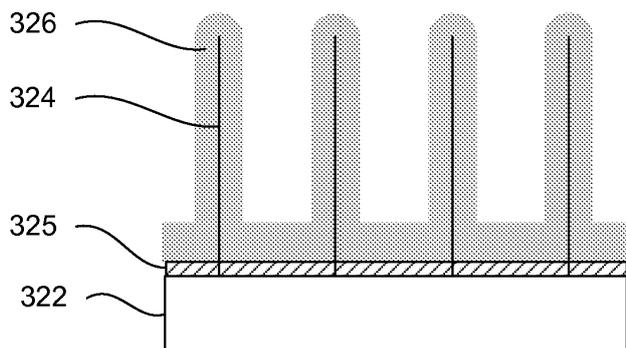
도면3b



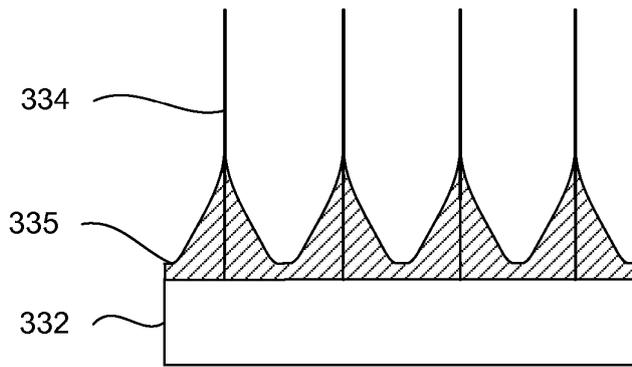
도면3c



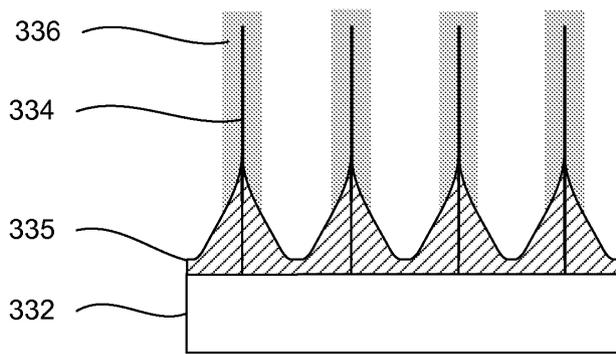
도면3d



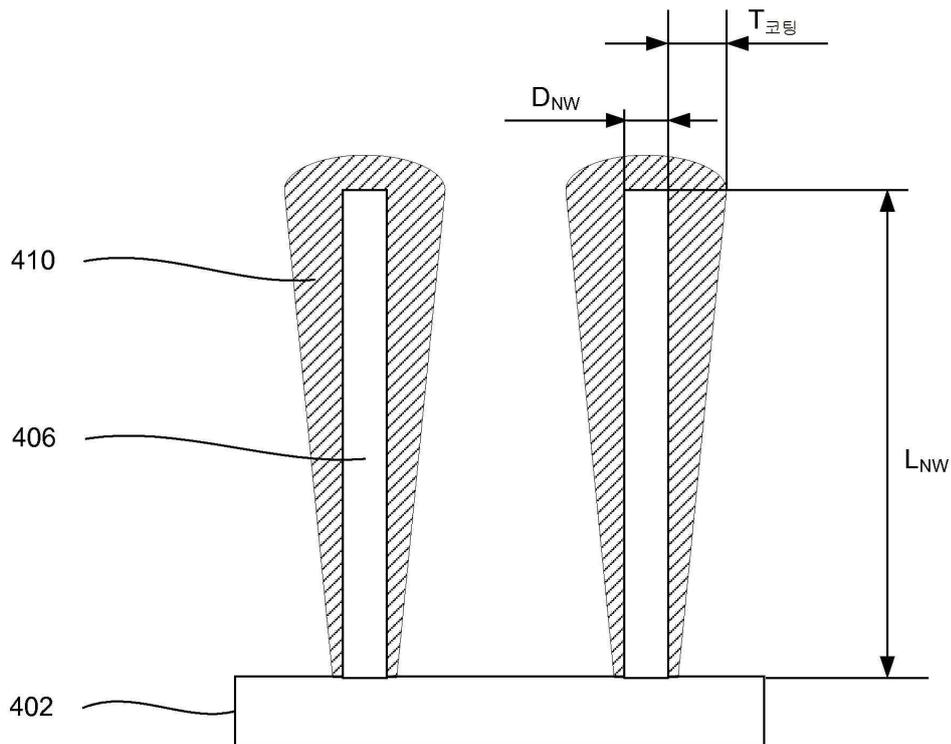
도면3e



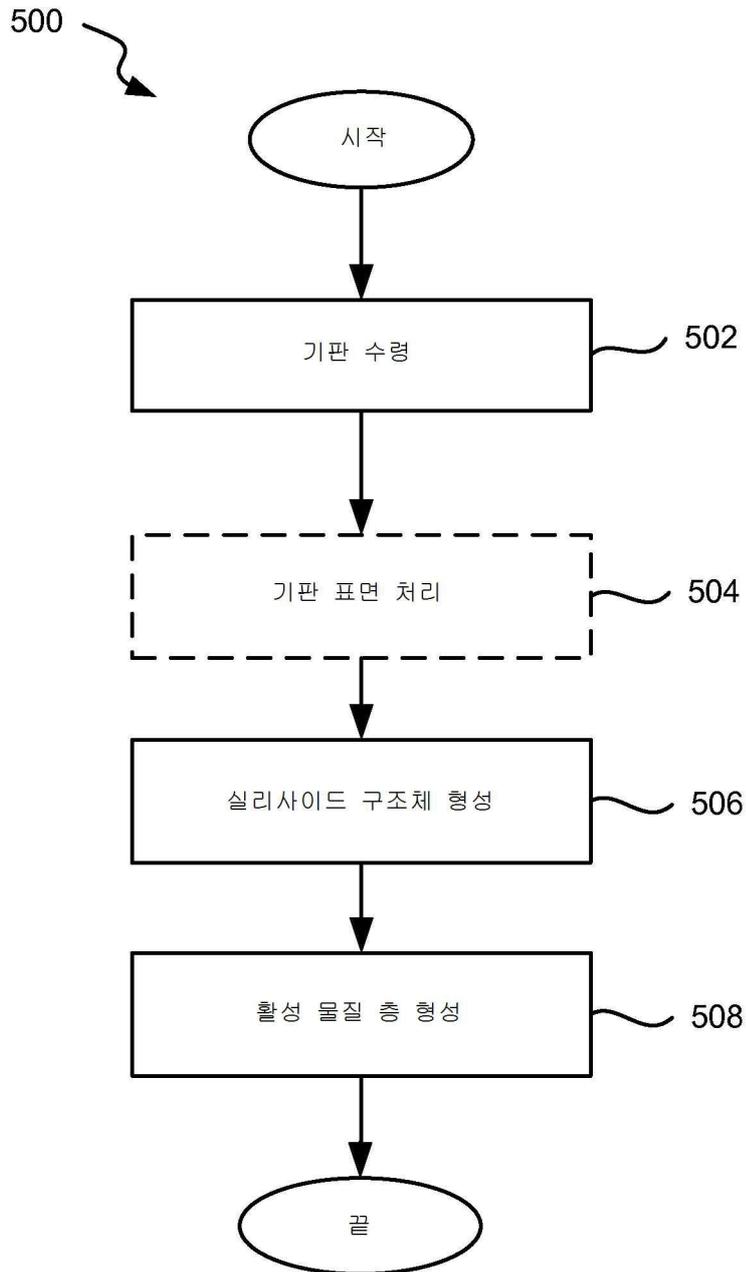
도면3f



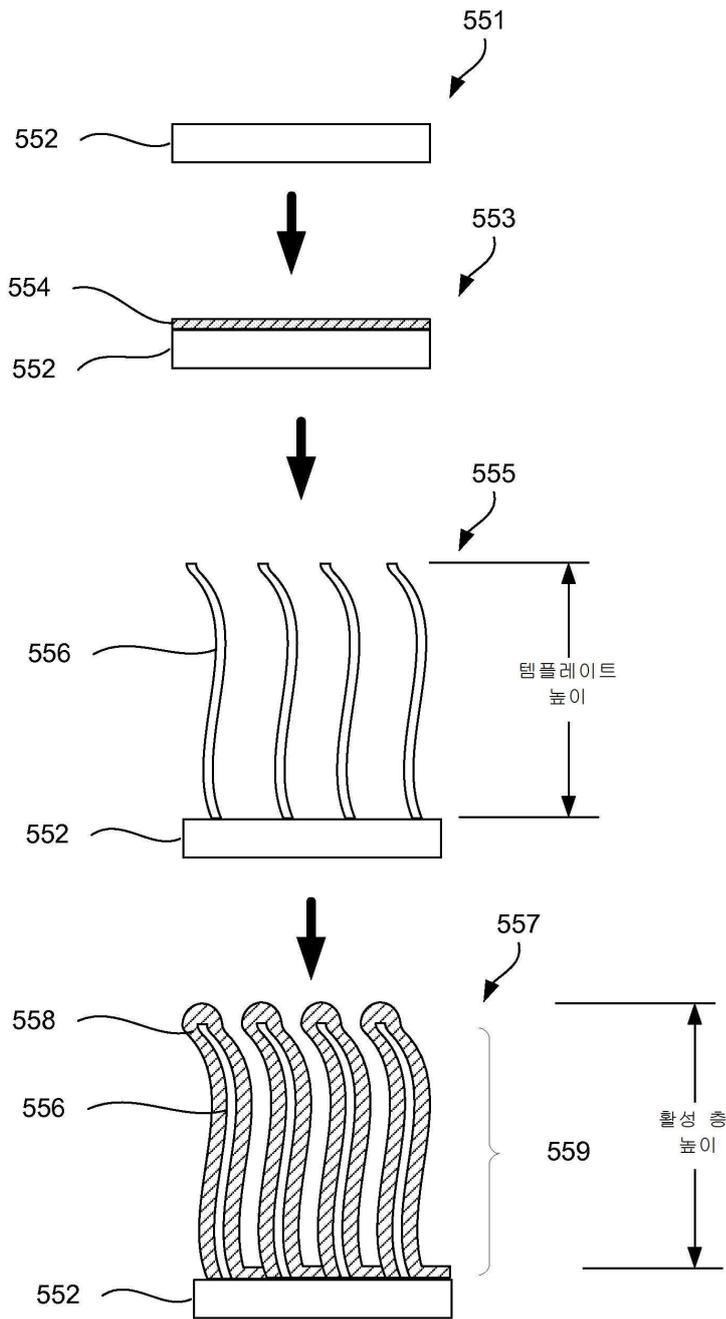
도면4



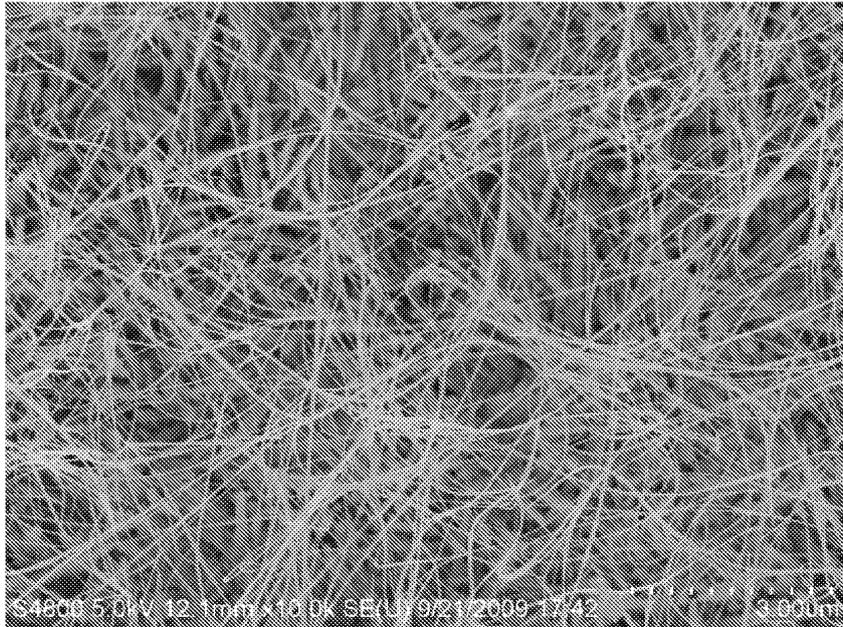
도면5



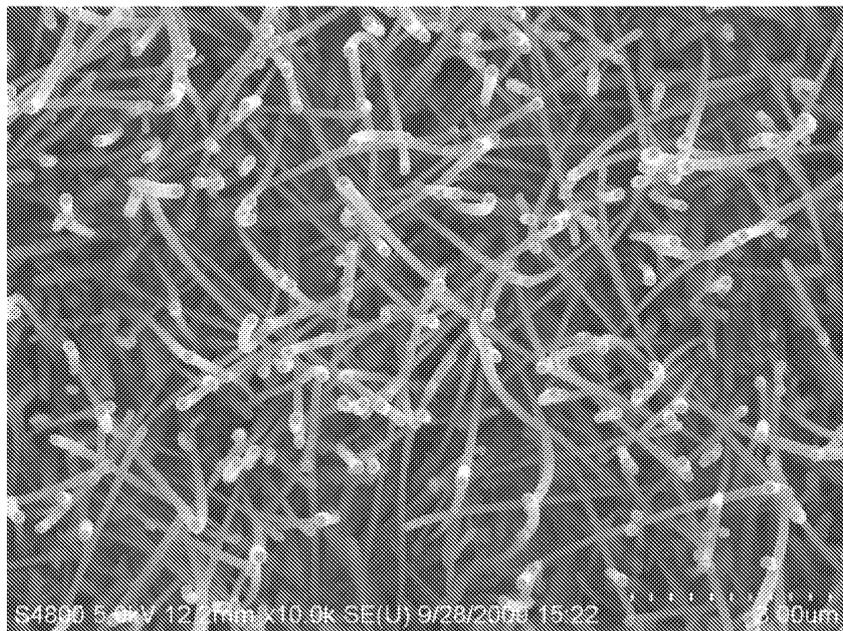
도면5a



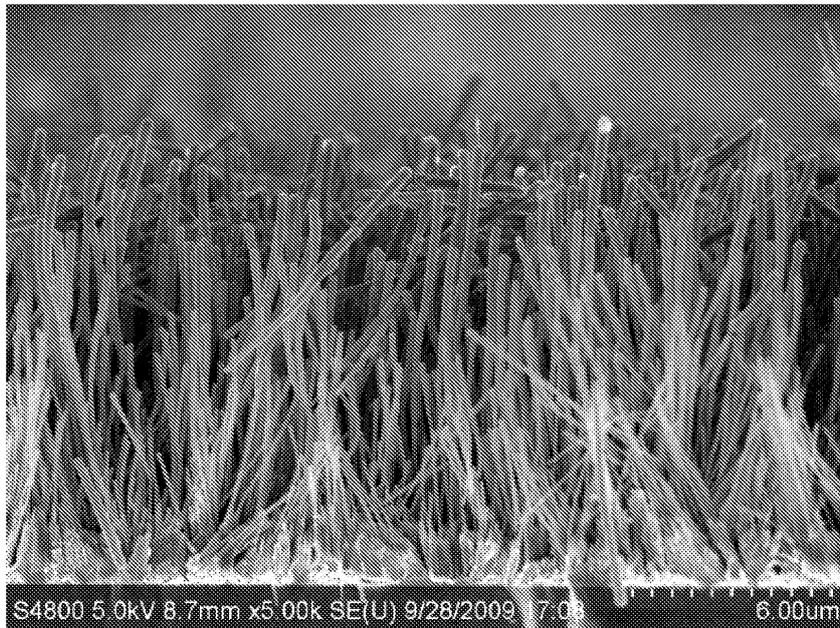
도면6a



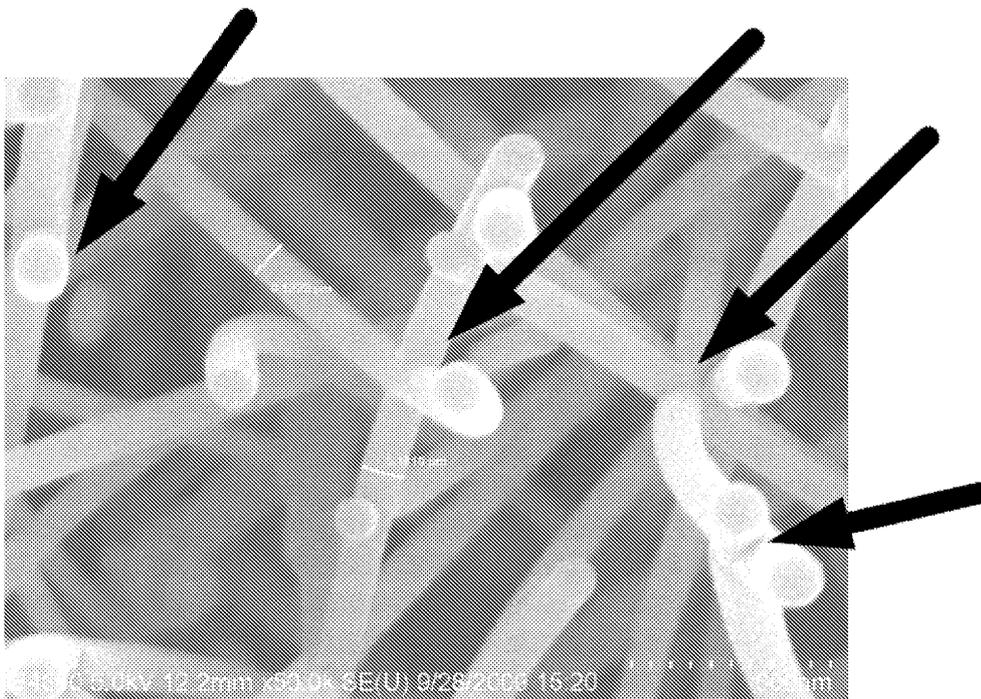
도면6b



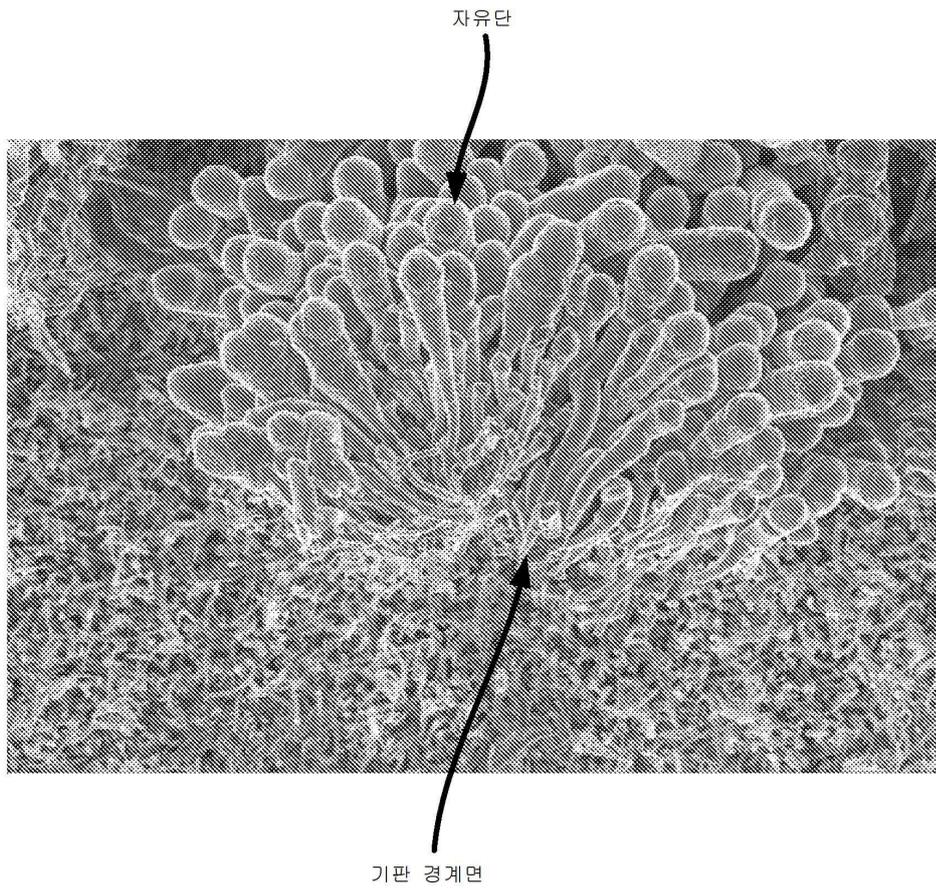
도면6c



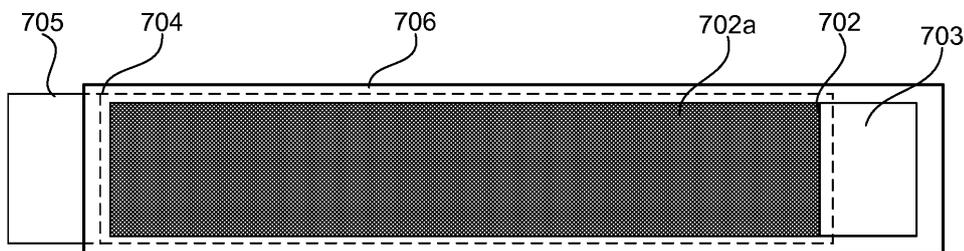
도면6d



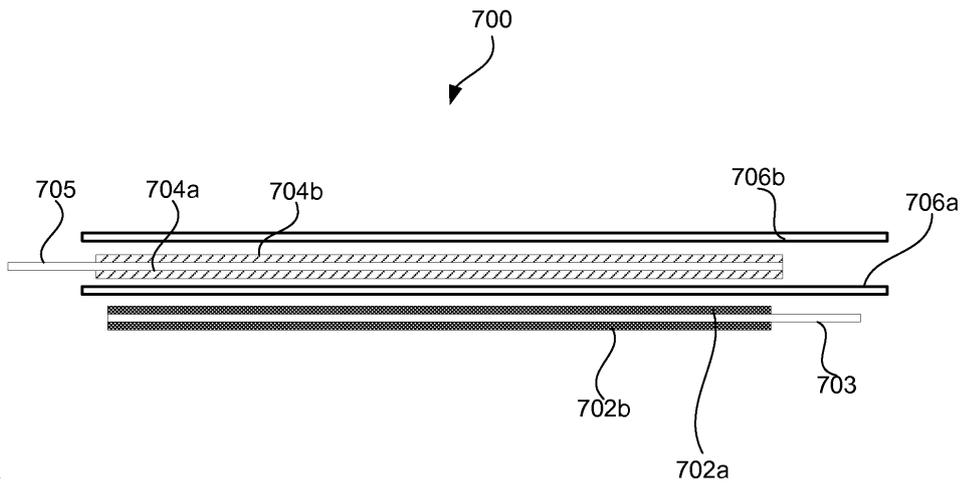
도면6e



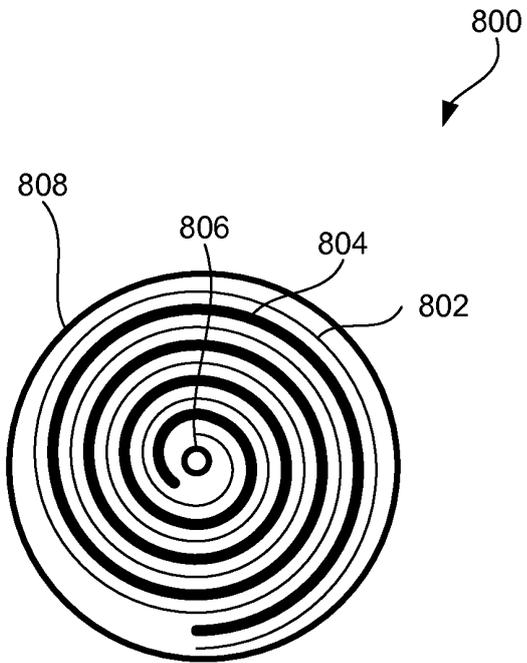
도면7a



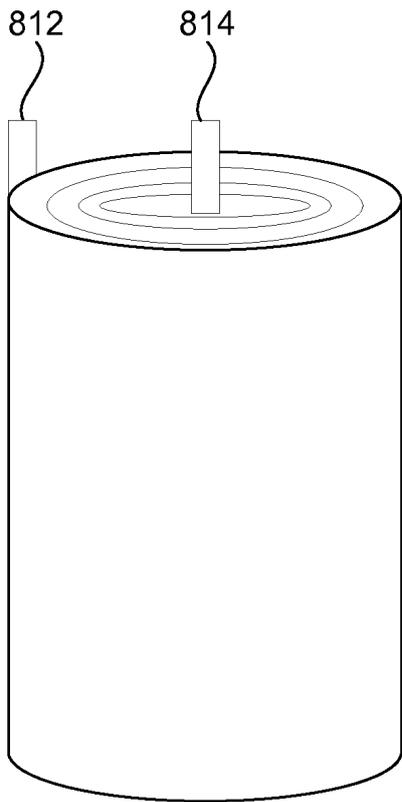
도면7b



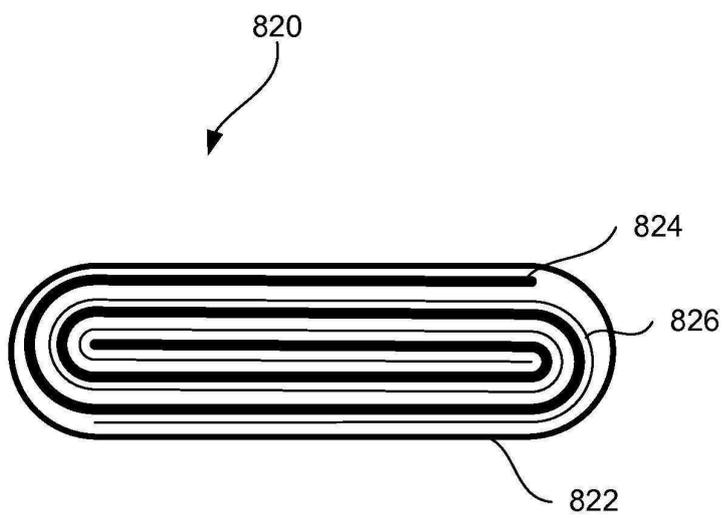
도면8a



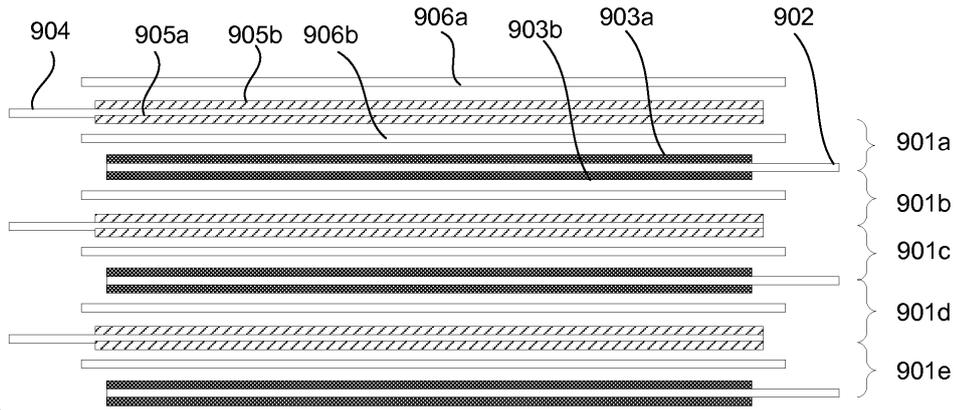
도면8b



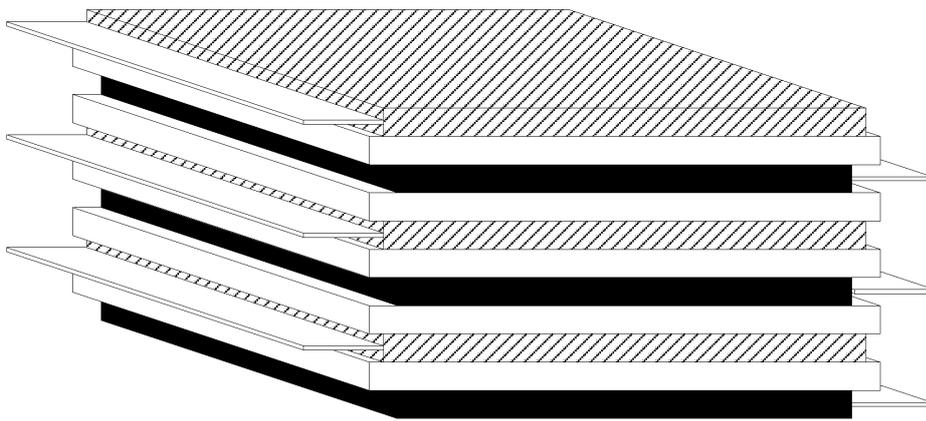
도면8c



도면9a



도면9b



도면10

