

명세서

발명의 명칭: 탄소나노튜브 분산액, 이의 제조방법, 이를 포함하는 전극 슬러리 조성물, 이를 포함하는 전극 및 이를 포함하는 리튬 이차전지

기술분야

- [1] 본 출원은 2021년 12월 22일자로 한국 특허청에 제출된 제10-2021-0185214호 및 2022년 12월 9일자로 한국 특허청에 제출된 제10-2022-0171427호에 대한 출원일의 이익을 주장하며, 그 내용은 본 명세서에 포함된다.
- [2] 본 명세서는 탄소나노튜브 분산액, 이의 제조방법, 이를 포함하는 전극 슬러리 조성물, 이를 포함하는 전극 및 이를 포함하는 리튬 이차전지에 관한 것이다.

배경기술

- [3] 이차 전지는 화학에너지가 전기 에너지로 변환되는 방전과 역방향인 충전 과정을 통하여 반복적으로 사용할 수 있는 전지이다. 이차 전지는 양극, 음극, 전해질, 및 분리막으로 구성되며, 상기 양극 및 음극은 일반적으로 전극 집전체와, 전극 집전체 상에 형성된 전극 활물질층으로 이루어진다. 상기 전극 활물질층은 전극 활물질, 도전재, 바인더 등을 포함하는 전극 슬러리 조성물을 전극 집전체 상에 도포, 건조한 후 압연하는 방식으로 제조된다.
- [4] 도전재는 전극 활물질의 전도성을 개선하기 위한 것으로, 종래에는 카본 블랙과 같은 점형 도전재가 주로 사용되었다. 그러나, 점형 도전재는 전기 전도성 향상 효과가 높지 않아 충분한 효과를 얻기 위해서는 과량으로 사용되어야 하고, 이로 인해 전극 활물질 함량이 감소하여 전지 용량이 저하된다는 문제점이 있었다.
- [5] 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 도전재로 전도성이 높은 탄소나노튜브(Carbon NanoTube, CNT)를 적용하는 시도가 활발하게 이루어지고 있다. 탄소나노튜브는 적은 양으로도 높은 전도성을 구현할 수 있기 때문에, 탄소나노튜브를 사용할 경우, 카본 블랙을 사용하는 경우에 비해 도전재 함량을 현저하게 줄일 수 있으며, 이에 따라 전기 용량을 높일 수 있다는 장점이 있다.
- [6] 한편, 흑연의 한계 (낮은 이론 용량)를 극복하기 위해 고용량 소재가 요구됨에 따라 실리콘 기반의 음극재가 대두되고 있다. 그러나, 실리콘은 리튬과 반응 시, 100~400% 수준의 부피팽창으로 인해 초기 비가역 용량이 크게 발생할 뿐만 아니라, 충방전 도중 활물질 구조 붕괴 및 집전체로부터의 탈리가 일어나 전기적 접촉을 손실함으로써 전극 수명 특성의 저하를 야기시킨다.
- [7] 따라서, 실리콘의 부피팽창을 완충시키고, 전기적 접촉을 유지할 수 있도록 선형의 탄소나노튜브 (단일벽 또는 다중벽 탄소나노튜브) 도입이 절실하다.
- [8] 그러나, 탄소나노튜브는 번들 타입 또는 인탱글 타입으로 성장하는 소재 자체의 특성상 슬러리 내에서의 분산성이 떨어져 코팅성 및 공정성이 떨어지고,

전극 활물질층 내에서 고르게 분포하지 않는다는 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해, 탄소나노튜브를 분산제 및 용매와 먼저 혼합하여 탄소나노튜브 분산액을 제조한 후 상기 탄소나노튜브 분산액을 전극 슬러리 조성물에 적용하는 방법이 적용되고 있다.

- [9] 또한, 각종 분산제 종류, SWCNT 순도 및 수분산 정도 등에 따라 전지 효율에 영향을 끼칠 수도 있다.

[10] [선행기술문헌]

[11] [특허문헌]

[12] JP 2010-251293 A

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [13] 분산 안정성이 개선된 탄소나노튜브 분산액, 이의 제조방법, 이를 포함하는 전극 슬러리 조성물, 이를 포함하는 전극 및 이를 포함하는 리튬 이차전지에 관한 것이다.

과제 해결 수단

- [14] 본 발명의 일 실시상태는 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT); 및

[15] 셀룰로오스계 분산제를 포함하고,

- [16] 상기 셀룰로오스계 분산제는 하기 수학적 1로 계산된 값이 7 이상 13 이하인 것인 탄소나노튜브 분산액을 제공한다.

[17] [수학적 1]

- [18] 셀룰로오스계 분산제의 치환도(degree of substitution: DS)/(셀룰로오스계 분산제의 중량평균분자량) * 10⁶

- [19] 또한, 본 발명의 일 실시상태는 본 발명의 일 실시상태는 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT); 및 셀룰로오스계 분산제를 혼합하는 단계를 포함하는 것인 상술한 탄소나노튜브 분산액의 제조방법을 제공한다.

- [20] 또한, 본 발명의 다른 실시상태는 상술한 탄소나노튜브 분산액, 실리콘계 전극 활물질 및 바인더를 포함하는 전극 슬러리 조성물을 제공한다.

- [21] 또한, 본 발명의 다른 실시상태는 상술한 전극 슬러리 조성물에 의해 형성된 전극 활물질층을 포함하는 전극을 제공한다.

- [22] 또한, 본 발명의 다른 실시상태는 상술한 전극을 포함하는 리튬 이차전지를 제공한다.

발명의 효과

- [23] 본 발명의 일 실시상태에 따른 탄소나노튜브 분산액은 분산 안정성이 개선된 효과를 갖는다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [24] 이하, 본 발명에 대해 상세히 설명한다.

- [25] 본 명세서에 있어서, '탄소나노튜브 분산액'은 탄소나노튜브를 포함하는 분산액을 의미한다. 구체적으로, 분산액에 탄소나노튜브가 분산된 것을 의미하며, 서로 응집되지 않은 것을 의미한다.
- [26] 본 명세서에 있어서, 다른 언급이 없는 한 '탄소나노튜브'는 '단일벽 탄소나노튜브'를 의미한다.
- [27] 본 명세서에 있어서, 단일벽 탄소나노튜브는 벽을 이루고 있는 결합수가 1개인 탄소나노튜브를 의미한다.
- [28] 본 명세서에 있어서, 상기 탄소나노튜브는 복수개의 탄소나노튜브가 응집되거나, 배열되어 형성되는 2차 형상을 갖는 것일 수 있으며, 예를 들면, 복수 개의 탄소나노튜브가 일정한 방향으로 나란하게 배열 또는 정렬된 다발(bundle) 혹은 로프(rope) 형태의 번들형(bundle type) 탄소나노튜브 또는 복수 개의 탄소나노튜브가 일정한 방향성 없이 얽힌 구 또는 포테이토 형태의 인탱글형(entangled type) 탄소나노튜브일 수 있다.
- [29] 본 발명의 일 실시상태는 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT); 및
- [30] 셀룰로오스계 분산제를 포함하고,
- [31] 상기 셀룰로오스계 분산제는 하기 수학적 1로 계산된 값이 7 이상 13 이하인 것인 탄소나노튜브 분산액을 제공한다.
- [32] [수학적 1]
- [33] 셀룰로오스계 분산제의 치환도(degree of substitution: DS)/(셀룰로오스계 분산제의 중량평균분자량) * 10⁶
- [34] 본 발명의 일 실시상태에 따른 탄소나노튜브 분산액은 도전성이 우수한 단일벽 탄소나노튜브를 포함하면서도, 탄소나노튜브의 분산성이 향상되어 탄소나노튜브끼리 서로 현상이 최소화된 특성을 갖는다. 상기 특성은 분산액의 점도가 현저히 낮은 것으로부터 확인할 수 있다.
- [35] 본 발명의 일 실시상태에 따른 탄소나노튜브 분산액은 셀룰로오스계 분산제를 포함한다. 상기 셀룰로오스계 분산제는 분산성과 리튬이온 도전성이 높은 특징을 갖는다. 즉, 상기 셀룰로오스계 분산제를 포함하는 탄소나노튜브 분산액을 이용하여 리튬이온 전지를 제조 시, 성능이 높은 리튬이온 전지를 제조할 수 있다.
- [36] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제는 상기 수학적 1로 계산된 값이 7 이상 13 이하인 것을 특징으로 한다. 바람직하게는, 상기 수학적 1로 계산된 값이 8 이상 10 이하 또는 9 이상 11 이하일 수 있다. 상기 수치 범위를 만족할 때, 분산제의 구조 안정성이 향상되고, 분산액의 분산성이 향상되고, 분산액의 점도가 안정되며, 분산액에 포함된 탄소나노튜브가 고르게 분포할 수 있다. 상기와 같은 특성을 갖는 분산액을 전지에 적용 시, 전지의 효율과 용량이 향상되는 효과가 있다.
- [37] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제의 치환도는 0.3

이상 2 이하일 수 있다. 바람직하게는, 0.5 이상 1.2 이하 또는 0.7 이상 1 이하일 수 있다. 상기 수치 범위를 만족할 때, 분산제의 분산액에 대한 용해도가 우수하며, 탄소나노튜브의 분산성을 향상시킬 수 있다.

- [38] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제의 치환도는 셀룰로오스 반복 단위 당 셀룰로오스에 치환된 치환 그룹의 평균 개수를 의미한다. 이때, 상기 치환 그룹은 메틸기, 에틸기, 히드록시기, 벤질기, 트리틸기, 시아노기, 카르복시메틸기, 카르복시에틸기, 히드록시 에틸기, 아미노에틸기, 니트로기 등일 수 있다.
- [39] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제의 중량평균분자량이 3만 내지 100만일 수 있다. 바람직하게는, 5만 내지 80만 또는 6만 내지 20만일 수 있다. 상기 수치 범위를 만족할 때, 분산제의 분산액에 대한 용해도가 우수하며, 탄소나노튜브의 분산성을 향상시킬 수 있으며, 분산 안정성을 향상시킬 수 있다. 상기 중량평균분자량의 단위는 g/mol일 수 있다.
- [40] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제는 메틸셀룰로오스, 에틸셀룰로오스, 히드록시에틸셀룰로오스, 벤질셀룰로오스, 트리틸셀룰로오스, 시아노에틸셀룰로오스, 카르복시메틸셀룰로오스(Carboxy Methyl Cellulose; CMC), 카르복시에틸셀룰로오스, 아미노에틸셀룰로오스, 니트로셀룰로오스, 셀룰로오스에테르, 카르복시메틸셀룰로오스 나트륨염(CMCNa) 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [41] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제는 카르복시메틸셀룰로오스(CMC), 카르복시메틸셀룰로오스 나트륨염(CMCNa) 또는 이들의 조합일 수 있다. 상기 물질들은 물에 대한 용해도가 좋고, 증점성이 높으며, 우수한 코팅성을 갖는다. 상기 재료를 포함하는 분산액을 전지에 적용 시 전지 성능이 향상될 수 있다.
- [42] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 비표면적(BET)가 750 m²/g 이상일 수 있다. 바람직하게는, 900 m²/g 이상 또는 1,000 m²/g 이상일 수 있다. 상한은 특별히 한정하지 않으나, 2,000 m²/g 이하 1,800 m²/g 이하 또는 1,500 m²/g 이하일 수 있다. 상기 수치 범위에서, 단일벽 탄소나노튜브의 응집 현상을 제어하고 전기전도도를 향상시킬 수 있다.
- [43] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브 분산액은 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)를 포함한다.
- [44] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)의 순도는 96% 이상, 97% 이상, 바람직하게는 99% 이상일 수 있다. 상기 순도는 탄소나노튜브 질량 중 탄소 원소(C)의 중량비를 의미할 수 있다. 상기 수치 범위를 만족할 때, 탄소나노튜브의 전기전도도가 향상되는 효과가 있다.
- [45] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 함량이 상기 탄소나노튜브 분산액 전체 중량을 기준으로 0.1wt% 내지 5wt%일 수 있다. 또한, 0.4wt% 내지 4wt% 또는 1wt% 내지 2wt%일 수 있다. 상기 수치 범위를 초과하는

경우, 전극 제조 시에 로딩량이 줄어들어 공정비용이 증가하고, 전극 건조 시에 바인더 마이그레이션(migration)이 발생하여 접착력이 감소하거나, 탄소나노튜브 분산액의 점도가 증가한다는 등의 문제점이 발생할 수 있다. 즉, 상기 수치범위를 만족할 때, 제조된 전극의 초기 효율 및 고율 유지용량이 향상될 수 있다.

- [46] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브는 2 이상의 탄소나노튜브 단위체를 포함할 수 있다. 상기 탄소나노튜브 단위체는 흑연 시트(graphite sheet)가 나노 크기 직경의 실린더 형태를 가질 수 있으며, sp^2 결합 구조를 가진다.
- [47] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브 단위체의 직경은 1 nm 이상 200 nm 이하, 1 nm 이상 150 nm 이하 또는 1 nm 이상 100 nm 이하일 수 있다. 상기 수치 범위에서 탄소나노튜브의 분산성을 향상시키고, 전극에 적용 시 저항이 증가하는 것을 방지할 수 있다.
- [48] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브 단위체의 길이는 0.1 μ m 이상 200 μ m 이하, 0.1 μ m 이상 150 μ m 이하 또는 0.5 μ m 이상 100 μ m 이하일 수 있다. 상기 수치 범위에서 탄소나노튜브의 분산성을 향상시키고, 전극에 적용 시 저항이 증가하는 것을 방지할 수 있다.
- [49] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브의 종횡비(길이/직경)가 5 내지 50,000 또는 10 내지 15,000일 수 있다. 상기 수치 범위에서 탄소나노튜브의 분산성을 향상시키고, 전극에 적용 시 저항이 증가하는 것을 방지할 수 있다.
- [50] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브의 평균 입경(D50)이 0.1 μ m 내지 10 μ m, 0.5 μ m 내지 1 μ m, 1 μ m 내지 5 μ m, 2 μ m 내지 4 μ m일 수 있다. 상기 평균 입경(D50)은 탄소나노튜브의 입경 분포 곡선에 있어서, 개수 누적량의 50%에 해당하는 입경을 의미하는 것이며, 상기 평균 입경(D50)은 예를 들어, 레이저 회절법(laser diffraction method)을 이용하여 측정할 수 있다. 상기 범위에서 탄소나노튜브가 서로 응집되지 않고, 분산성이 향상될 수 있다. 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브의 비표면적(BET)은 10 내지 5,000 m^2/g , 바람직하게는 30 m^2/g 내지 3,000 m^2/g , 더욱 바람직하게는 500 m^2/g 내지 2000 m^2/g 일 수 있다. 탄소나노튜브의 비표면적이 상기 수치 범위를 만족할 경우, 전도성 향상 효과가 우수한 효과가 있다.
- [51] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 평균 입경(D10)이 0.1 μ m 이상 10 μ m 이하일 수 있다. 바람직하게는, 0.3 μ m 이상 8 μ m 이하 또는 0.5 μ m 이상 5 μ m 이하일 수 있다.
- [52] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 평균 입경(D90)이 0.1 μ m 이상 20 μ m 이하일 수 있다. 바람직하게는, 1 μ m 이상 20 μ m 이하 또는 5 μ m 이상 20 μ m 이하일 수 있다.
- [53] 상기 평균 입경(D10)은 탄소나노튜브의 입경 분포 곡선에 있어서, 개수 누적량의 10%에 해당하는 입경을 의미하고, 평균 입경(D50)은 개수 누적량의

- 50%에 해당하는 입경을 의미하고, 평균 입경(D90)은 개수 누적량의 90%에 해당하는 입경을 의미한다.
- [54] 상기 평균 입경 조건 중 어느 하나 이상을 만족할 때, 탄소나노튜브가 서로 응집되지 않고, 분산성이 향상될 수 있다.
- [55] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브 분산액은 상술한 단일벽 탄소나노튜브 외에 다중벽 탄소나노튜브를 더 포함할 수 있다.
- [56] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 수계 용매를 포함할 수 있다.
- [57] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 수계 용매는 물, 알코올 및 에테르로 이루어진 군으로부터 선택된 어느 하나 이상을 사용할 수 있다.
- [58] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 수계 용매는 에테르류(디옥산, 테트라하이드로 푸란, 메틸셀로솔브 등), 에테르 알코올(에톡시 에탄올, 메톡시 에톡시 에탄올 등), 에스테르류(초산메틸, 초산에틸 등), 케톤류(시클로헥사논, 메틸에틸 케톤 등), 알코올류(에탄올, 이소프로판올, 페놀 등), 저급 카르보산(초산 등), 아민류(트리에틸아민, 새 메탄올 아민 등), 질소 함유 극성 용매(N, N-디메틸포름아미드, 니트로메탄, N-메틸피롤리돈, 아세토니트릴 등), 유황 화합물류(디메틸 술폰사이드 등) 등을 사용할 수 있다.
- [59] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브 분산액의 25°C 및 15 sec⁻¹의 전단 속도(shear rate)에서의 점도가 10,000 cPs 이하일 수 있다. 바람직하게는 5,000 cPs 이하, 3,000 cPs 이하 또는 2,000 cPs 이하일 수 있다. 본 발명의 목적을 고려할 때, 상기 점도는 낮을수록 좋으므로 하한은 특별히 한정하지 않으나, 10 cPs 이상, 30 cPs 이상 또는 50 cPs 이상일 수 있다. 상기 점도 범위를 만족할 때, 탄소나노튜브 분산액의 탄소나노튜브가 서로 응집되지 않고, 전극 제조에 사용시 공정성이 개선된 효과를 갖는다.
- [60] 상기 탄소나노튜브 분산액의 점도는 이 기술이 속하는 분야에서 일반적으로 사용되는 방법으로 측정될 수 있다. 예를 들어, Brookfield사의 DV NextCP Rheometer를 사용하여, 25°C의 측정 온도 및 15 sec⁻¹의 전단 속도에서 측정된 것일 수 있다. 보다 정확한 측정을 위해, 제조된 탄소나노튜브 분산액을 1주일 동안 25°C에서 보관한 후 측정할 수 있다.
- [61] 본 발명의 일 실시상태는 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT); 및 셀룰로오스계 분산제를 혼합하는 단계를 포함하는 것인 상술한 탄소나노튜브 분산액의 제조방법을 제공한다.
- [62] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT); 및 셀룰로오스계 분산제를 혼합하는 단계는 물성이 변화하지 않는 온도 조건 하에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 50°C 이하, 보다 구체적으로는 5°C 내지 50°C의 온도에서 수행될 수 있다.
- [63] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 탄소나노튜브 분산액의 제조방법은 상기 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)를 분산시키는 단계를 포함할 수 있다.

- [64] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)를 분산시키는 단계는 볼 밀(ball mill), 비드 밀(bead mill), 디스크 밀(disc mill) 또는 바스켓 밀(basket mill), 고압 균질기(high pressure homogenizer) 등의 방법에 의해 수행될 수 있으며, 보다 구체적으로는 디스크 밀 또는 고압 균질기(high pressure homogenizer)를 이용한 밀링 방법에 의해 수행될 수 있다.
- [65] 상기 디스크 밀에 의한 밀링 시, 비드의 크기는 탄소나노튜브의 종류와 양, 그리고 분산제의 종류에 따라 적절히 결정될 수 있으며, 구체적으로는 상기 비드의 직경은 0.1mm 내지 5mm, 보다 구체적으로는 0.5mm 내지 4mm일 수 있다. 또, 비드 밀링 공정은 2,000rpm 내지 10,000rpm의 속도로 수행될 수 있고, 보다 구체적으로는 5,000rpm 내지 9,000rpm의 속도로 수행될 수 있다.
- [66] 상기 고압 균질기에 의한 밀링은, 예컨대 고압균질기의 플런저 펌프(plunger pump)로 상기 혼합물 가압하고 균질용 밸브의 틈으로 이를 밀어냄으로써 상기 틈을 통과할 때의 공동(cavitation), 전단(shear), 충격(impact) 및 파열(explosion) 등의 힘에 의해 이루어지게 된다.
- [67] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)를 분산시키는 단계는 탄소나노튜브가 충분히 분산될 수 있도록, 10분 내지 120분, 보다 구체적으로는 20분 내지 90분 동안 수행될 수 있다.
- [68] 본 발명의 일 실시상태는 상술한 탄소나노튜브 분산액, 전극 활물질 및 바인더를 포함하는 전극 슬러리 조성물을 제공한다.
- [69] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극 활물질은 실리콘계 전극 활물질을 포함한다. 상기 실리콘계 전극 활물질은, 금속 실리콘(Si), 실리콘 산화물(SiO_x, 여기서 $0 < x < 2$) 실리콘 탄화물(SiC) 및 Si-Y 합금(상기 Y는 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 13족 원소, 14족 원소, 전이금속, 희토류 원소 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택되는 원소이며, Si은 아님)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다. 상기 원소 Y로는 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Sc, Y, Ti, Zr, Hf, Rf, V, Nb, Ta, Db, Cr, Mo, W, Sg, Tc, Re, Bh, Fe, Pb, Ru, Os, Hs, Rh, Ir, Pd, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, B, Al, Ga, Sn, In, Ti, Ge, P, As, Sb, Bi, S, Se, Te, Po, 및 이들의 조합으로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.
- [70] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 실리콘계 전극 활물질은 탄소계 전극 활물질에 비해 높은 용량 특성을 나타내므로, 실리콘계 전극 활물질을 추가로 포함할 경우, 더 우수한 용량 특성을 얻을 수 있다. 다만, 실리콘계 전극 활물질은 충방전 시에 부피 변화가 커 충방전이 반복되면 전지 특성이 급격히 저하되어 사이클 특성이 충분하지 못하고, 이로 인해 상용화에 어려움이 있었다. 그러나, 본 발명과 같이 탄소나노튜브를 도전재로 사용할 경우, 실리콘계 전극 활물질 적용 시에 사이클 특성이 개선되는 효과를 얻을 수 있다. 따라서, 본 발명의 탄소나노튜브 분산액과 실리콘계 전극 활물질을 포함하는 본 발명의 전극

슬러리 조성물을 사용하면, 용량 특성과 사이클 특성이 우수한 이차 전지를 구현할 수 있다.

- [71] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극 활물질은 상기 실리콘계 전극 활물질과 함께 다른 종류의 전극 활물질을 더 포함할 수 있다. 상기 다른 종류의 전극 활물질로는, 예를 들면, 인조흑연, 천연흑연, 흑연화 탄소섬유, 비정질탄소 등의 탄소질 재료; Al, Sn, Pb, Zn, Bi, In, Mg, Ga, Cd, Si합금, Sn합금 또는 Al합금 등 리튬과 합금화가 가능한 금속질 화합물; SnO₂, 바나듐 산화물, 리튬 바나듐 산화물과 같이 리튬을 도프 및 탈도프할 수 있는 금속산화물; 또는 Sn-C 복합체과 같이 상기 금속질 화합물과 탄소질 재료를 포함하는 복합물 등을 사용할 수 있으며, 이 중에서도 탄소질 재료가 특히 바람직하다.
- [72] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극 활물질은 상기 실리콘계 전극 활물질과 다른 종류의 전극 활물질을 합한 전극 활물질의 총량은 전극 슬러리 조성물 내 전체 고형분 함량을 기준으로 70 내지 99wt%, 바람직하게는 80 내지 98wt%일 수 있다. 전극 활물질의 함량이 상기 범위를 만족할 때, 우수한 용량 특성을 구현할 수 있다.
- [73] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 바인더는 활물질들 간 또는 활물질과 집전체와의 접착력을 확보하기 위한 것으로, 당해 기술 분야에서 사용되는 일반적인 바인더들이 사용될 수 있으며, 그 종류가 특별히 한정되는 것은 아니다. 상기 바인더로는, 예를 들면, 폴리비닐리덴플로라이드(PVDF), 비닐리덴플루오라이드-헥사플루오로프로필렌 코폴리머(PVDF-co-HFP), 폴리비닐알코올, 폴리아크릴로니트릴(polyacrylonitrile), 카르복시메틸셀룰로우즈(CMC), 전분, 히드록시프로필셀룰로우즈, 재생 셀룰로우즈, 폴리비닐피롤리돈, 테트라플루오로에틸렌, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 에틸렌-프로필렌-디엔 폴리머(EPDM), 술폰화-EPDM, 스티렌-부타디엔 고무(SBR), 불소 고무, 또는 이들의 다양한 공중합체 등을 들 수 있으며, 이들 중 1종 단독 또는 2종 이상의 혼합물이 사용될 수 있다.
- [74] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 바인더는 전극 슬러리 조성물 내의 전체 고형분 함량을 기준으로 5wt% 이하로 포함될 수 있으며, 바람직하게는 1 내지 3wt%로 포함될 수 있다. 바인더의 함량이 상기 범위를 만족할 경우, 전극 저항 증가를 최소화하면서 우수한 전극 접착력을 구현할 수 있다.
- [75] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극 슬러리 조성물은, 점도 조절 등을 위해, 필요에 따라, 용매를 추가로 포함할 수 있다. 이때, 상기 용매는 물, 유기 용매 또는 이들의 혼합물일 수 있다. 상기 유기 용매로는 예를 들면, 디메틸포름아미드(DMF), 디에틸 포름아미드, 디메틸 아세트아미드(DMAc), N-메틸 피롤리돈(NMP) 등의 아미드계 극성 유기 용매; 메탄올, 에탄올, 1-프로판올, 2-프로판올(이소프로필 알코올), 1-부탄올(n-부탄올), 2-메틸-1-프로판올(이소부탄올), 2-부탄올(sec-부탄올), 1-메틸-2-프로판올(tert-부탄올), 펜탄올, 헥산올, 헵탄올 또는 옥탄올 등의

알코올류; 에틸렌글리콜, 디에틸렌글리콜, 트리에틸렌 글리콜, 프로필렌 글리콜, 1,3-프로판디올, 1,3-부탄디올, 1,5-펜탄디올, 또는 헥실렌글리콜 등의 글리콜류; 글리세린, 트리메틸올프로판, 펜타에리트리톨, 또는 소르비톨 등의 다가 알코올류; 에틸렌글리콜모노 메틸에테르, 디에틸렌글리콜모노 메틸에테르, 트리에틸렌글리콜 모노 메틸에테르, 테트라 에틸렌글리콜모노 메틸에테르, 에틸렌글리콜모노 에틸에테르, 디에틸렌글리콜모노 에틸에테르, 트리에틸렌글리콜 모노 에틸에테르, 테트라 에틸렌글리콜모노 에틸에테르, 에틸렌글리콜모노 부틸 에테르, 디에틸렌글리콜모노 부틸 에테르, 트리에틸렌글리콜 모노 부틸 에테르, 또는 테트라 에틸렌글리콜모노 부틸 에테르 등의 글리콜 에테르류; 아세톤, 메틸 에틸 케톤, 메틸프로필 케톤, 또는 사이클로펜타논 등의 케톤류; 초산에틸, γ -부틸 락톤, 및 ϵ -프로피오락톤 등의 에스테르류 등을 들 수 있으며, 이들 중 어느 하나 또는 둘 이상의 혼합물이 사용될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [76] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극 슬러리 조성물은, 필요에 따라 점도 조절제, 충전제 등과 같은 첨가제를 추가로 포함할 수 있다.
- [77] 본 발명의 일 실시상태는 상술한 전극 슬러리 조성물에 의해 형성된 전극 활물질층을 포함하는 전극을 제공한다. 구체적으로, 상기 전극은 상술한 본 발명의 전극 슬러리 조성물을 도포하고, 건조시켜 전극 활물질층을 형성함으로써 제조될 수 있다. 보다 구체적으로는, 상기 전극 활물질층은 전극 집전체 상에 전극 슬러리 조성물을 도포한 후, 건조하는 방법, 또는 전극 슬러리 조성물을 별도의 지지체 상에 도포한 다음, 이 지지체로부터 박리하여 얻은 필름을 전극 집전체 상에 라미네이션하는 방법을 통해 형성할 수 있다. 필요에 따라, 상기와 같은 방법을 통해 전극 활물질층을 형성한 다음, 압연하는 공정을 추가로 실시할 수 있다. 이때, 건조 및 압연을 최종적으로 제조하고자 하는 전극의 물성을 고려하여 적절한 조건에서 수행될 수 있으며, 특별히 한정되지 않는다.
- [78] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극 집전체는 전지에 화학적 변화를 유발하지 않으면서도 도전성을 가진 소재라면 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 구리, 스테인리스 스틸, 알루미늄, 니켈, 티탄, 이들의 합금, 이들의 표면에 탄소, 니켈, 티탄, 은 등으로 표면처리한 것 또는 소성 탄소 등이 사용될 수 있다.
- [79] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극 집전체는 통상적으로 $3\mu\text{m}$ 내지 $500\mu\text{m}$ 의 두께를 가질 수 있으며, 집전체 표면에 미세한 요철을 형성하여 전극 활물질의 결합력을 강화시킬 수도 있다. 또한, 상기 전극 집전체는 예를 들어, 필름, 시트, 호일, 네트, 다공질체, 발포체, 부직포체 등 다양한 형태로 사용될 수 있다.
- [80] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전극은 음극일 수 있다.
- [81] 본 발명의 일 실시상태는 상술한 전극을 포함하는 리튬 이차 전지를 제공한다.
- [82] 본 발명의 일 실시상태는 양극; 음극; 및 상기 양극 및 음극 사이에 구비된

분리막 및 전해질을 포함하고, 상기 양극 및 음극 중 어느 하나 이상이 상술한 전극인 것인 리튬 이차 전지를 제공한다.

- [83] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 분리막은 음극과 양극을 분리하고 리튬 이온의 이동 통로를 제공하는 것으로, 통상 이차 전지에서 분리막으로 사용되는 것이라면 특별한 제한 없이 사용 가능하다. 구체적으로는, 상기 분리막으로 다공성 고분자 필름, 예를 들어 에틸렌 단독중합체, 프로필렌 단독중합체, 에틸렌/부텐 공중합체, 에틸렌/헥센 공중합체 및 에틸렌/메타크릴레이트 공중합체 등과 같은 폴리올레핀계 고분자로 제조한 다공성 고분자 필름 또는 이들의 2층 이상의 적층 구조체가 사용될 수 있다. 또 통상적인 다공성 부직포, 예를 들어 고융점의 유리 섬유, 폴리에틸렌테레프탈레이트 섬유 등으로 된 부직포가 사용될 수도 있다. 또, 내열성 또는 기계적 강도 확보를 위해 세라믹 성분 또는 고분자 물질이 포함된 코팅된 분리막이 사용될 수도 있으며, 선택적으로 단층 또는 다층 구조로 사용될 수 있다.

- [84] 본 발명의 일 실시상태에 있어서, 상기 전해질로는 리튬 이차전지 제조시 사용 가능한 유기계 액체 전해질, 무기계 액체 전해질, 고체 고분자 전해질, 겔형 고분자 전해질, 고체 무기 전해질, 용융형 무기 전해질 등을 들 수 있으며, 이들로 한정되는 것은 아니다.

발명의 실시를 위한 형태

- [85] 이하, 실시예를 통해 본 발명을 더욱 상세히 설명한다.
- [86] <실시예 1>
- [87] 순도가 99%인 단일벽 탄소나노튜브(TUBALL 01RW03, 비표면적: 1,160m²/g OCSiAI社 제조), 셀룰로오스계 분산제로서 카르복시메틸 셀룰로오스{치환도(degree of substitution: DS) 0.87, sigma aldrich社 제조, 제품번호 419273, 중량평균 분자량 9만}, 용매로서 물을 혼합하여 1kg의 혼합물을 제조한 후, 고-전단력 인-라인 믹서(IM001 K&S社)를 이용하여 혼합하고, 고압균질기를 이용하여 고압 처리하여 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다. 이때, 단일벽 탄소나노튜브의 D10이 0.88um, D50이 4.72um이고, D90이 18.5um이었다.
- [88] 이때, 상기 카르복시메틸 셀룰로오스의 하기 수학적 1로 계산된 값이 9.67이었다.
- [89] [수학적 1]
- [90] 셀룰로오스계 분산제의 치환도(degree of substitution: DS)/(셀룰로오스계 분산제의 중량평균분자량) * 10⁶
- [91] <비교예 1>
- [92] 순도가 99%인 단일벽 탄소나노튜브 대신 순도가 80%인 단일벽 탄소나노튜브(TUBALL 01RW02, OCSiAI社 제조)를 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다.

- [93] <비교예 2>
- [94] 순도가 99%인 단일벽 탄소나노튜브 대신 순도가 75%인 단일벽 탄소나노튜브(TUBALL 01RW01, OCSiAl社 제조)를 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다.
- [95] <비교예 3>
- [96] 분산제로 카르복시메틸 셀룰로오스 대신, 폴리비닐피롤리돈 및 탄닌산을 사용하고, 아래 표 1의 입도 특성을 갖는 단일벽 탄소나노튜브를 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다.
- [97] <비교예 4>
- [98] 분산제로 카르복시메틸 셀룰로오스 대신, 폴리비닐피롤리돈 및 HP20(Sokalan HP20, BASF社 제조)을 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다.
- [99] <비교예 5>
- [100] 분산제로 카르복시메틸 셀룰로오스 대신, 폴리비닐피롤리돈 단독 물질을 사용한 것을 제외하고는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다.
- [101] <비교예 6>
- [102] 실시예 1에서 사용된 카르복시메틸 셀룰로오스 대신, 카르복시메틸 셀룰로오스{치환도(degree of substitution: DS) 1.2}, 중량평균 분자량 9만}을 사용한 것 외에는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다. 이때, 상기 카르복시메틸 셀룰로오스의 하기 수학적 1로 계산된 값이 13.33이었다.
- [103] <비교예 7>
- [104] 실시예 1에서 사용된 카르복시메틸 셀룰로오스 대신, 카르복시메틸 셀룰로오스{치환도(degree of substitution: DS) 0.6, 332601000, Thermo Scientific社 제조}, 중량평균 분자량 9만}을 사용한 것 외에는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다. 이때, 상기 카르복시메틸 셀룰로오스의 하기 수학적 1로 계산된 값이 6.67이었다.
- [105] <비교예 8>
- [106] 실시예 1에서 사용된 카르복시메틸 셀룰로오스 대신, 카르복시메틸 셀룰로오스{치환도(degree of substitution: DS) 0.87, 419303, Sigma-Aldrich社 제조}, 중량평균 분자량 25만}을 사용한 것 외에는 실시예 1과 동일한 방법으로 탄소나노튜브 분산액을 제조하였다. 이때, 상기 카르복시메틸 셀룰로오스의 하기 수학적 1로 계산된 값이 3.48이었다.
- [107] <물성 평가>
- [108] 단일벽 탄소나노튜브의 순도 측정
- [109] 아래 계산식의 방법으로 순도를 측정 및 계산하였다.
- [110] [계산식]

- [111] 순도=100*(시험용기와 회분량-시험용기질량)/(시험용기와 건조된 시료질량-시험용기질량)
- [112] 구체적으로, 전기로를 이용하여 전극 제조과정 중에 혼입될 수 있는 불순물 함량을 분석하였다. 테스트 절차 KS L 3412 방법에 따라 시료를 건조하고 테시게이터 안에서 상온까지 온도를 낮추었다.
- [113] 저울을 이용하여 건조시킨 시험 용기(A)의 질량을 ± 0.002 g 단위까지 측정하고, 테시게이터 안에 있는 시료의 온도가 상온까지 내려오자마자 25 내지 50 g의 시료(B)를 도가니 안에 넣어 질량을 측정하였다. 시료와 시험 용기를 ± 0.002 g 단위까지 질량을 재측정한다.
- [114] 시료를 포함한 시험 용기를 전기로 안에 위치시킨 후 느린 속도로 공기를 전기로 안으로 주입하고, 시료의 온도가 1시간 내에 500 °C 또는 2시간 내에 750 °C에 도달하도록 전기로를 작동시켰다.
- [115] 시료의 산화를 돕기 위하여, 시료를 주기적으로 혼합하여 주었으며, 회분화가 완료된 시점에서 (검은 얼룩이 사라짐) 전기로의 온도를 다시 950 °C까지 승온시키고 1시간 동안 유지하였다. 전기로에서 재를 포함한 시험 용기를 꺼내고 테시게이터 안에서 상온까지 냉각한 후 재를 포함한 시험 용기의 질량을 측정하였다. 시료를 다시 950 °C의 전기로 속에 넣고 30분 동안 가열한 다음, 질량(C)을 ± 0.002 g 단위까지 측정하였다.
- [116] 셀룰로오스계 분산제의 치환도 측정
- [117] 250ml 비커에 실시예 및 비교예에서 사용된 셀룰로오스계 분산제 샘플 4g, 95% 에탄올 용액 75ml 및 페놀프탈레인 (1% 에탄올 용액)을 넣고 교반하면서 수산화 나트륨 표준 용액 (0.4mol/L)을 첨가하였다.
- [118] 이후, 자석 가열 교반기를 이용하여 교반하고, 염산 표준 용액(0.4mol/L)으로 적정하였다.
- [119] 검붉은 색에서 투명한 색을 띄게 되면 적정을 종료하였다.
- [120] 아래 식 1을 이용하여 셀룰로오스계 분산제의 치환도를 계산하였다.
- [121] [식 1]
- [122] $DS = (0.162 * A) / (1 - 0.058 * A)$
- [123] 상기 A는 셀룰로오스계 분산제 1g을 중화하기 위해 사용되는 수산화 나트륨의 밀리몰수(mmol/g)이고, 상기 A의 계수 0.162 및 0.058의 단위는 g/mmol이다.
- [124] 상기 A는 아래 식 2를 이용하여 계산하였다.
- [125] [식 2]
- [126] $A = (B * C - D * E) / F$
- [127] 식 2에서,
- [128] B는 첨가된 수산화 나트륨 표준 용액의 부피(mL)이고,
- [129] C는 첨가된 수산화 나트륨 표준 용액의 농도(mol/L)이고,
- [130] D는 적정 시 사용된 염산 표준 용액의 부피(mL)이고,
- [131] E는 적정 시 사용된 염산 표준 용액의 농도(mol/L)이고,

- [132] F는 셀룰로오스계 분산제 샘플의 무게(g)이다.
- [133] 셀룰로오스계 분산제의 중량평균 분자량 측정
- [134] 검출기: RI-detector; 컬럼: Agilent PL aquagel-OH30 8um; eluent: 0.2M NaNO₃+0.01M NaH₂PO₄ (pH 7); 표준물질: PEF/PEO를 사용한 Gel permeation chromatography (GPC)법을 사용하여 측정한다.
- [135] 단일벽 탄소나노튜브의 입도 측정 방법
- [136] 레이저 회절법(laser diffraction method)을 사용하였으며 시판중인 레이저 회절 입도 측정 장치(Malvern Mastersizer3000)를 사용하였다. 측정 장치에서 입경 분포의 50%기준에서의 평균 입경(D50)을 산출하였다. 한편, D10및 D90은 각각, 입경 분포 10% 및 90%에서의 입도를 의미한다.
- [137] 분산액의 점도 측정 방법
- [138] Brookfield사의 DVNextCP Rheometer를 사용하였으며, 25°C의 온도 및 15 sec⁻¹의 전단 속도에서 측정하였다.
- [139] 셀 초기 효율 측정
- [140] 아래와 같은 방법으로 코인셀을 제작하였다.
- [141] 각 실시예 및 비교예의 탄소나노튜브 분산액에 전극 활물질(Silicon microparticle 및 graphite를 7:93의 중량비로 포함)을 물과 함께 혼합하고 불-밀 방법으로 30분 동안 혼합하여 전극 슬러리를 제조하였다.
- [142] 상기 전극 슬러리를 Cu foil 집전체에 도포하고, 60°C 및 진공 조건에서 4시간 동안 건조하였다.
- [143] 상기 건조된 전극을 직경 11mm에 맞게 펀칭한 뒤, 대극을 Li metal로 하여 코인 하프 셀을 제작하였다. 이때, 분리막은 Celgard 2450, 전해질은 LiPF₆ (1.3 M) in ethylene carbonate (EC): diethylene carbonate (DEC) in 30:70 volume ratio with 10 wt% of fluoroethylene carbonate (FEC)의 조성으로 준비하여 주액하였다.
- [144] 전압 범위 0.01~1.5V로 상온 및 0.1 A/g에서 코인셀의 초기 충방전 특성을 평가하였다.
- [145] 셀 고율 유지 용량 측정
- [146] 위 제조된 코인 셀에 대해, 2A/g 및 4A/g에서 각각 코인셀의 후기 충방전 특성을 평가하였다.

[147] [표1]

구분	실시 예 1	비교 예 1	비교 예 2	비교 예 3	비교 예 4	비교 예 5	비교 예 6	비교 예 7	비 교 예 8
SWCNT 순도	99%	80%	75%	99%	99%	99%	99%	99%	99%
셀룰로오스계 분산제의 치환도	0.87	0.87	0.87	미포 함	미포 함	미포 함	1.2	0.6	0.8 7
셀룰로오스계 분산제의 중량평균 분자량	90,000	90,000	90,000	미포 함	미포 함	미포 함	90,000	90,000	250,000
수학식 1	9.67	9.67	9.67	-	-	-	13.33	6.67	3.4 8
D10(um)	0.88	0.89	0.89	0.45	0.88	0.88	1.51	2.22	2.0 5
D50(um)	4.72	4.73	4.74	1.59	4.72	4.72	5.1	8.11	22
D90(um)	18.5	21.75	23.74	9.74	18.5	18.5	30	32.1	90. 3
점도(cps)	1,411	4,500	7,196	79.8	15,000 초과	15,000 초과	4,060	5,044	15,000 초과
초기 효율(%)	78.5	71.4	70.6	71.5	71.1	63.4	72.5	72.3	72
고율유지용량(mAh/g, @2A/g)	300	100	100	100	80	측정 불가	150	140	110
고율유지용량(mAh/g, @4A/g)	200	50	50	60	40	측정 불가	90	80	60

[148] 상기 결과로부터, 순도가 99%인 단일벽 탄소나노튜브 및 수학식 1로 계산된 값이 7 이상 13 이하인 셀룰로오스계 분산제를 포함하는 탄소나노튜브 분산액은 점도가 낮게 나타났으며, 초기 효율 및 고율 유지 용량이 높은 것을 확인할 수 있었다(실시예 1). 반면에, 단일벽 탄소튜브의 순도가 95%에 미달하는 경우 점도가 높게 나타났으며, 초기 효율 및 고율 유지 용량이 낮은 것을 확인할 수 있었다(비교예 1 및 2). 또한, 단일벽 탄소튜브의 순도가 95% 이상이라도

셀룰로오스계 분산제를 포함하지 않는 경우 초기 효율 및 고율 유지 용량이 낮은 것을 확인할 수 있었다(비교예 3 내지 5).

- [149] 한편, 단일벽 탄소튜브의 순도가 95% 이상이라도 수학식 1로 계산된 값이 7에 미달하거나(비교예 7 및 8), 수학식 1로 계산된 값이 13을 초과하는 경우(비교예 6) 초기 효율 및 고율 유지 용량이 낮은 것을 확인할 수 있었다.

청구범위

- [청구항 1] 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT); 및 셀룰로오스계 분산제를 포함하고, 상기 셀룰로오스계 분산제는 하기 수학적 1로 계산된 값이 7 이상 13 이하인 것인 탄소나노튜브 분산액.
[수학적 1]
셀룰로오스계 분산제의 치환도(degree of substitution: DS)/(셀룰로오스계 분산제의 중량평균분자량) * 10^6
- [청구항 2] 청구항 1에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제의 치환도는 0.3 이상 2 이하인 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 3] 청구항 1에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제의 중량평균분자량이 3만 내지 100만인 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 4] 청구항 1에 있어서, 상기 셀룰로오스계 분산제는 메틸셀룰로오스, 에틸셀룰로오스, 히드록시에틸셀룰로오스, 벤질셀룰로오스, 트리틸셀룰로오스, 시아노에틸셀룰로오스, 카르복시메틸셀룰로오스(Carboxy Methyl Cellulose; CMC), 카르복시에틸셀룰로오스, 아미노에틸셀룰로오스, 니트로셀룰로오스, 셀룰로오스에테르, 카르복시메틸셀룰로오스 나트륨염(CMCNa) 또는 이들의 조합인 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 5] 청구항 1에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 비표면적(BET)가 $750 \text{ m}^2/\text{g}$ 이상인 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 6] 청구항 1에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 함량이 상기 탄소나노튜브 분산액 전체 중량을 기준으로 0.1wt% 내지 5wt%인 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 7] 청구항 1에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 평균 입경(D10)가 0.1 μm 이상 10 μm 이하인 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 8] 청구항 1에 있어서, 수계 용매를 포함하는 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 9] 청구항 1에 있어서, 상기 단일벽 탄소나노튜브의 평균 입경(D10)가 0.1 μm 이상 10 μm 이하인 것인 탄소나노튜브 분산액.
- [청구항 10] 청구항 1에 있어서, 25°C 및 15 sec⁻¹의 전단 속도(shear rate)에서의 점도가 10,000 cPs 이하인

- 것인 탄소나노튜브 분산액
- [청구항 11] 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT); 및 셀룰로오스계 분산제를 혼합하는 단계를 포함하는 것인 청구항 1 내지 10 중 어느 한 항에 따른 탄소나노튜브 분산액의 제조방법.
- [청구항 12] 청구항 11에 있어서,
상기 순도가 95% 이상인 단일벽 탄소나노튜브(SWCNT)를 분산시키는 단계를 포함하는 것인 탄소나노튜브 분산액의 제조방법.
- [청구항 13] 청구항 1 내지 10 중 어느 한 항에 따른 탄소나노튜브 분산액, 전극 활물질 및 바인더를 포함하는 전극 슬러리 조성물.
- [청구항 14] 청구항 13에 따른 전극 슬러리 조성물에 의해 형성된 전극 활물질층을 포함하는 전극.
- [청구항 15] 청구항 14에 있어서,
상기 전극은 음극인 것인 전극.
- [청구항 16] 청구항 15에 따른 전극을 포함하는 리튬 이차 전지.