



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0096241
(43) 공개일자 2015년08월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01M 4/38 (2006.01) H01M 10/052 (2010.01)
 H01M 4/46 (2006.01) H01M 4/52 (2010.01)
 (21) 출원번호 10-2014-0017433
 (22) 출원일자 2014년02월14일
 심사청구일자 2014년02월14일

(71) 출원인
일진전기 주식회사
 경기도 화성시 만년로 905-17 (안녕동)
 (72) 발명자
최영필
 충청북도 충주시 국원초2길 20 유원2차아파트 6동 1006호
박철호
 경기도 광명시 구름산로48번길 10
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
최훈식, 이동우, 양한나, 한태근

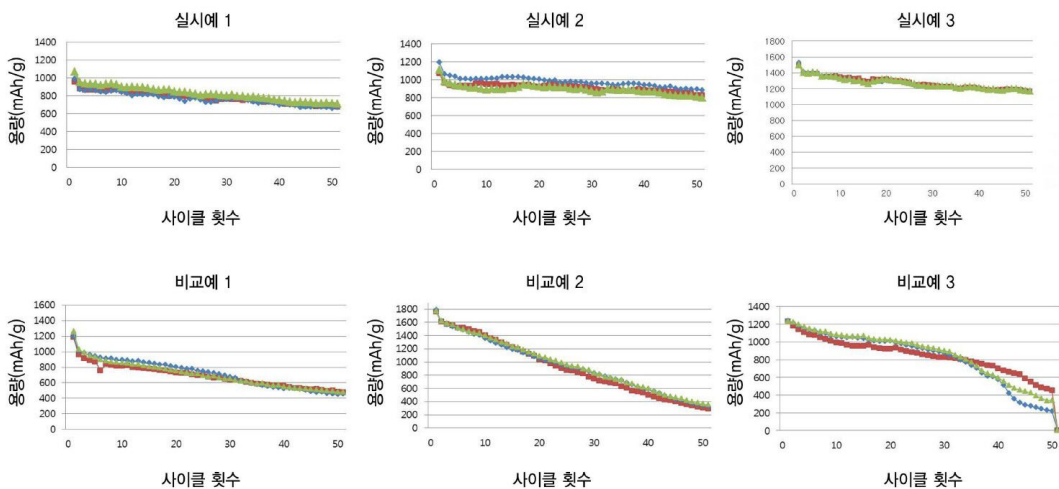
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **리튬 이차 전지용 음극 활물질**

(57) 요약

본 발명에 일 실시예에 따른 리튬 이차 전지용 음극 활물질은, 40 내지 70 at%의 실리콘 (Si) 과, 구리 (Cu) 및 알루미늄 (Al) 을 포함하는 합금으로 이루어지고, 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율은 실질적으로 10 대 90 내지 30 대 70이며, 합금은 철 (Fe) 을 더 포함하고, 지르코늄 (Zr) 또는 티타늄 (Ti) 을 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

대표도



(72) 발명자

김선경

서울특별시 동작구 동작대로1길 35 1003호

김향연

서울특별시 도봉구 노해로69길 103 동아청솔아파트
114동 1104호

이승철

서울특별시 양천구 목동동로 10 목동아파트 1107동
907호

김재용

대전광역시 유성구 엑스포로 501 청구나래아파트
102동 602호

성민석

경기도 화성시 10용사로 286 우남퍼스트빌2차아파
트 205동 1003호

특허청구의 범위

청구항 1

40 내지 70 at%의 실리콘 (Si) 과,

구리 (Cu) 및 알루미늄 (Al) 을 포함하는 합금으로 이루어지고,

상기 합금에 포함되는 상기 구리 (Cu) 에 대한 상기 알루미늄 (Al) 의 비율은 실질적으로 10 대 90 내지 30 대 70이며,

상기 합금은 철 (Fe) 을 더 포함하고, 지르코늄 (Zr) 또는 티타늄 (Ti) 을 더 포함하는, 리튬 이차 전지용 음극 활물질.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 합금의 비정질화도는 40% 이상인 것을 특징으로 하는, 리튬 이차 전지용 음극 활물질.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 합금은 0.1 내지 10 at%의 철 (Fe) 을 포함하는 것을 특징으로 하는, 리튬 이차 전지용 음극 활물질.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 합금은 0.1 내지 10 at%의 지르코늄 (Zr) 을 포함하는 것을 특징으로 하는, 리튬 이차 전지용 음극 활물질.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 합금은 0.1 내지 10 at%의 티타늄 (Ti) 을 포함하는 것을 특징으로 하는, 리튬 이차 전지용 음극 활물질.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 리튬 이차 전지용 음극 활물질에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 수명 특성 및 용량 유지 특성이 우수한 리튬 이차 전지용 음극 활물질에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 종래 리튬 전지의 음극 활물질로는 리튬 금속을 사용하였으나, 리튬 금속을 사용할 경우 덴드라이트(dendrite) 형성으로 인한 전지 단락이 발생하여 폭발의 위험성이 있으므로 리튬 금속 대신 탄소계 물질이 음극 활물질로서 많이 사용되고 있다.

[0003] 상기 탄소계 활물질로서는, 천연 흑연 및 인조 흑연과 같은 결정질계 탄소와 소프트 카본(soft carbon) 및 하드 카본(hard carbon)과 같은 비정질계 탄소가 있다. 그러나 상기 비정질계 탄소는 용량이 크지만, 충방전 과정에서 비가역성이 크다는 문제점이 있다. 결정질계 탄소로는 흑연이 대표적으로 사용되며, 이론 한계 용량이 372 mAh/g이므로 용량이 높아 음극 활물질로 이용되고 있다.

[0004] 차세대 고용량 리튬 전지의 개발을 위해서는 흑연의 용량을 뛰어넘는 고용량의 음극 활물질의 개발이 필수적이다. 이를 위해 현재 활발히 연구되고 있는 물질이 실리콘계의 음극 활물질이다. 실리콘은 고용량인 반면 고에

너지 밀도를 가지며, 탄소계 재료를 이용한 음극 활물질보다 많은 리튬 이온을 흡장 및 방출할 수 있어 고용량 및 고에너지 밀도를 갖는 이차 전지를 제조할 수 있다.

[0005] 그러나, 실리콘계 음극 활물질을 리튬 이차 전지에 적용하는 경우, 충방전 과정에서 팽창 및 수축을 반복하여 리튬 이차 전지의 수명 특성이 저하되는 문제점이 있었다. 더욱이, 휴대폰 및 노트북과 같은 모바일 기기의 사용이 최근에 급증하면서, 이차 전지의 고용량 특성뿐만 아니라 수명 특성의 대한 중요성이 더욱 부각되고 있다.

[0006] 이에, 실리콘이 갖는 고용량 특성을 유지하면서도, 이차 전지의 수명 특성을 상당히 개선할 수 있는 실리콘계 음극 활물질에 대한 요구가 계속되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 수명 특성이 개선된 리튬 이차 전지용 음극 활물질을 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명의 목적은 용량 유지 특성이 우수한 리튬 이차 전지용 음극 활물질을 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 전술한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 일 실시예에 따른 리튬 이차 전지용 음극 활물질은, 40 내지 70 at%의 실리콘 (Si) 과, 구리 (Cu) 및 알루미늄 (Al) 을 포함하는 합금으로 이루어지고, 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율은 실질적으로 10 대 90 내지 30 대 70이며, 합금은 철 (Fe) 을 더 포함하고, 지르코늄 (Zr) 또는 티타늄 (Ti) 을 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 합금의 비정질화도는 40% 이상일 수 있다.

[0012] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 합금은 0.1 내지 10 at%의 철 (Fe) 을 포함할 수 있다.

[0013] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 합금은 0.1 내지 10 at%의 지르코늄 (Zr) 을 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 합금은 0.1 내지 10 at%의 티타늄 (Ti) 을 포함할 수 있다.

[0015] 기타 실시예의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명은 수명 특성이 개선된 리튬 이차 전지용 음극 활물질을 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0017] 본 발명은 용량 유지 특성이 우수한 리튬 이차 전지용 음극 활물질을 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0018] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1a 내지 도 1f는 실시예 1 내지 3, 비교예 1 내지 3의 음극 활물질을 확대한 SEM 사진이다.

도 2a 내지 2d는 실시예 1 내지 3, 비교예 1 내지 3의 음극 활물질에 관한 XRD 데이터를 나타낸다.

도 3은 XRD 패턴으로부터 비정질화도를 계산하는 것을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.

도 4는 실시예 1 내지 3, 비교예 1 내지 3의 음극활물질의 비정질화도를 계산하여 나타낸 표이다.

도 5는 실시예 1 내지 3, 비교예 1 내지 3의 음극 활물질의 활물질 충전량 및 활물질 방전량을 나타낸 표이다.

도 6은 실시예 1 내지 3, 비교예 1 내지 3의 음극 활물질의 사이클 수명 특성을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시

예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

- [0021] 본 발명의 여러 실시예들의 각각 특징들이 부분적으로 또는 전체적으로 서로 결합 또는 조합 가능하며, 당업자가 충분히 이해할 수 있듯이 기술적으로 다양한 연동 및 구동이 가능하며, 각 실시예들이 서로에 대하여 독립적으로 실시 가능할 수도 있고 연관 관계로 함께 실시 가능할 수도 있다.
- [0022] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 “실질적으로” 는 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본 발명의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0023] 본 명세서에서 사용되는 단위 「%」는 특별히 달리 규정하지 않는 한 「원자%」를 의미한다.
- [0024] 본 발명은 실리콘 (Si), 구리 (Cu), 알루미늄 (Al), 철 (Fe) 을 포함하고, 지르코늄 (Zr) 또는 티타늄 (Ti) 을 더 포함하는 합금으로 이루어지며, 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율이 실질적으로 10 대 90 내지 30 대 70인 리튬 이차전지용 음극 활물질을 제공한다.
- [0025] 본 발명에서 실리콘 (Si) 은 음극 활물질이 전지로서 이용될 때에 리튬 이온의 흡장 및 방출에 관여할 수 있다. 본 발명에서 실리콘 (Si) 은 합금 내에 40 내지 70 at%로 포함된다.
- [0026] 실리콘 (Si) 이 합금에 포함되는 양은 음극 활물질의 용량 및 수명 특성과 관계가 있다. 구체적으로, 실리콘 (Si) 이 합금에 더 많이 포함될수록, 음극 활물질의 용량이 향상될 수 있으나, 반대 급부로 수명 특성은 다소 저하될 수 있다.
- [0027] 본 발명에서 구리 (Cu) 및 알루미늄 (Al) 은 실리콘 (Si) 이 분산될 수 있는 금속 매트릭스를 형성한다. 구리 (Cu) 및 알루미늄 (Al) 은 고용체 또는 금속간 화합물을 형성하면서 금속 매트릭스를 형성할 수 있다.
- [0028] 상술한 바와 같이, 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율은 실질적으로 10 대 90 내지 30 대 70이다. 여기서, 합금에 포함되는 두 금속의 비율이 실질적으로 특정 수치에 해당된다는 것은 합금에 포함되는 두 금속이 비율이 공정상의 오차범위 내에서 특정 수치로 첨가되는 것을 포함하는 의미이다.
- [0029] 아래에서 더 설명되는 바와 같이, 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율은 음극 활물질의 용량 및 수명 특성과 관계가 있다. 구체적으로, 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율이 증가하는 경우 음극 활물질의 용량은 저하되지만 수명 특성은 향상되고, 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율이 감소하는 경우 음극 활물질의 용량은 향상되지만 수명 특성은 저하된다.
- [0030] 본 발명에서는 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율을 상대적으로 낮게, 즉 실질적으로 10 대 90 내지 30 대 70으로 설계한다. 이 경우, 음극 활물질의 수명 특성이 다소 저하될 수 있으나, 후술하는 바와 같이, 합금에 추가로 첨가되는 티타늄 (Ti) 및 지르코늄 (Zr) 이 음극 활물질의 수명 특성을 크게 개선시킬 수 있다.
- [0031] 본 발명에서 철 (Fe) 은 실리콘 (Si), 구리 (Cu) 및 알루미늄 (Al) 으로 구성된 합금에 첨가되어 음극 활물질의 충전량 및 방전량을 향상시키는 역할을 할 수 있다. 합금에 첨가되는 철 (Fe) 의 비율은 0.1 내지 10 at%일 수 있으나, 반드시 이에 한정되지는 않는다.
- [0032] 본 발명에서 티타늄 (Ti) 은 실리콘 (Si), 구리 (Cu), 알루미늄 (Al) 및 철 (Fe) 로 구성된 합금에 첨가되어 음극 활물질의 수명 특성을 개선시키는 역할을 할 수 있다. 합금에 첨가되는 티타늄 (Ti) 의 비율은 0.1 내지 10 at%일 수 있으나, 반드시 이에 한정되지는 않는다.
- [0033] 본 발명에서 지르코늄 (Zr) 은 실리콘 (Si), 구리 (Cu), 알루미늄 (Al) 및 철 (Fe) 로 구성된 합금에 첨가되어 음극 활물질의 수명 특성을 개선시키는 역할을 할 수 있다. 합금에 첨가되는 지르코늄 (Zr) 의 비율은 0.1 내지 10 at%일 수 있으나, 반드시 이에 한정되지는 않는다.
- [0034] 상술한 바와 같이, 본 발명의 합금은 티타늄 (Ti) 또는 지르코늄 (Zr) 을 포함한다. 따라서, 본 발명의 합금에는 티타늄 (Ti) 만이 첨가되거나, 지르코늄 (Zr) 만이 첨가되거나, 티타늄 (Ti) 및 지르코늄 (Zr) 이 함께 첨가될 수 있다.

- [0035] 본 발명에서, 합금의 비정질화도는 40% 이상일 수 있다.
- [0036] 여기서 비정질화도는 합금에 결정질 영역이 아닌 비정질 영역이 얼마나 포함되어 있는지를 수치적으로 나타내는 값으로서, 아래에서 더 설명되는 바와 같이, 비정질화도는 XRD 데이터 결과를 분석함으로써 획득될 수 있다.
- [0037] 이렇게 상대적으로 높은 비정질화도는 음극 활물질의 수명 특성 개선에 긍정적인 영향을 줄 수 있다.
- [0038] 실시예 1
- [0039] 본 발명의 음극 활물질을 제조하는 방법은 특별히 제한되지 않으며, 예를 들면, 이 분야에서 공지되어 있는 다양한 미세한 분말 제조 기법 (가스아토마이저법, 원심가스아토마이저법, 플라즈마아토마이저법, 회전전극법, 메커니컬 어로잉법 등) 을 이용할 수 있다.
- [0040] 실시예 1에서는 실리콘 (Si), 구리 (Cu), 알루미늄 (Al), 철 (Fe) 및 티타늄 (Ti) 을 혼합하고, 혼합물을 아크 용해법 등으로 용융시킨 다음, 상기 용융물을 회전하는 구리롤에 분사시키는 단롤 급냉 응고법에 적용하여, $Si_{50}(Cu_{20}Al_{80})_{40}Fe_5Ti_5$ 조성을 가지는 음극 활물질을 제조하였다.
- [0041] 실시예 2
- [0042] 실시예 2에서는 음극 활물질의 조성이 $Si_{50}(Cu_{20}Al_{80})_{42.5}Fe_5Zr_{2.5}$ 의 조성을 가지는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 음극 활물질을 제조하였다.
- [0043] 실시예 3
- [0044] 실시예 3에서는 음극 활물질의 조성이 $Si_{60}(Cu_{20}Al_{80})_{30}Fe_5Ti_5$ 의 조성을 가지는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 음극 활물질을 제조하였다.
- [0045] 비교예 1
- [0046] 비교예 1에서는 음극 활물질의 조성이 $Si_{50}(Cu_{61}Al_{39})_{50}$ 의 조성을 가지는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 음극 활물질을 제조하였다.
- [0047] 비교예 2
- [0048] 비교예 2에서는 음극 활물질의 조성이 $Si_{50}(Cu_{20}Al_{80})_{50}$ 의 조성을 가지는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 음극 활물질을 제조하였다.
- [0049] 비교예 3
- [0050] 비교예 3에서는 음극 활물질의 조성이 $Si_{60}(Cu_{50}Al_{50})_{35}Fe_5$ 의 조성을 가지는 것을 제외하고는 실시예 1과 동일하게 음극 활물질을 제조하였다.
- [0051] 1. SEM 분석
- [0052] 제조된 음극 활물질에 대하여 SEM (Scanning Electron Microscopy) 분석을 수행하였다.
- [0053] 도 1a 내지 도 1c는 실시예 1 내지 3의 음극 활물질을 확대한 SEM 사진이며, 도 1d 내지 도 1f는 비교예 1 내지 3의 음극 활물질을 확대한 SEM 사진이다.
- [0054] 도 1a 내지 도 1f를 참조하면, 실시예 1 내지 3의 음극 활물질이 비교예 1 내지 3의 음극 활물질에 비해 미세한

조직을 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0055]

2. XRD 분석

[0056]

실시에 1 내지 3, 비교예 1 내지 3에서 제조된 음극 활물질에 대하여 Cu k α 선 XRD 측정을 수행하고, 그 결과를 도 2a 내지 도 2d에 나타내었다.

[0057]

구체적으로, 도 2a는 실시예 1 및 3의 음극 활물질에 관한 XRD 데이터를 나타내고, 도 2b는 실시예 2의 음극 활물질에 관한 XRD 데이터를 나타내며, 도 2c는 비교예 1 및 2의 음극 활물질에 관한 XRD 데이터를 나타내고, 도 2d는 비교예 3의 음극 활물질에 관한 XRD 데이터를 나타낸다.

[0058]

3. 비정질화도 분석

[0059]

도 3은 도 2a 내지 2d에서 나타난 XRD 패턴으로부터 비정질화도를 계산하는 것을 설명하기 위한 예시적인 도면이다.

[0060]

비정질화도는 도 3의 (a)로부터 전체 면적을 계산해내고, 도 3의 (b)로부터 결정화 면적을 계산해낸 후에, 아래의 비정질화도 계산식에 값들을 대입하여 획득할 수 있다.

[0061]

$$\text{비정질화도 (\%)} = ((\text{전체 면적} - \text{결정화 면적}) \div \text{전체 면적}) \times 100$$

[0062]

도 4는 실시예 1 내지 3, 비교예 1 내지 3의 음극활물질의 비정질화도를 계산하여 표로 나타낸 것이다.

[0063]

도 4를 참조하면, 실시예 1 내지 3의 음극 활물질은 40% 이상의 비정질화도를 가지는 반면, 비교예 1 내지 3의 음극 활물질은 40% 미만의 비정질화도를 가짐을 알 수 있다.

[0064]

4. 활물질 용량 특성

[0065]

실시에 1 내지 3, 비교예 1 내지 3에서 제조된 음극 활물질을 이용하여 코인 형상의 극판을 제조하고, 충방전 평가를 실시하였다. 구체적으로, 실시예 1 내지 3, 비교예 1 및 3의 음극 활물질, 도전제 (KB 계열 도전제) 및 바인더 (PI 계열 바인더) 를 86.6: 3.4: 10의 중량 비율로 혼합하여 극판을 제조하였다.

[0066]

제조된 극판에 대하여 충방전을 1회 실시한 후 활물질 충전량 (mAh/g) 및 활물질 방전량 (mAh/g) 을 측정하였으며, 그 결과를 도 5에 도시하였다.

[0067]

5. 사이클 수명 특성

[0068]

0.5C으로 충방전을 50회 반복하여 사이클 수명 특성을 측정하였으며, 이러한 충방전 방식은, 본 기술 분야에서 일반적으로 공지되어 있는 리튬 이차 전지용 활물질에 대한 충방전 방식에 준하여 수행하였다.

[0069]

도 6은 위와 같은 충방전에 따른 실시예 1 내지 3, 비교예 1 내지 3의 음극 활물질의 사이클 수명 특성을 나타내고 있다.

[0070]

우선, 비교예 1 및 2의 음극 활물질들이 갖는 활물질 방전량 및 수명 특성에 대해 주목할 수 있다. 도 5 및 6을 참조하면, 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율이 20 대 80인 음극 활물질 (비교예 2의 음극 활물질) 은 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율이 61 대 39인 음극 활물질 (비교예 1의 음극 활물질) 에 비해 높은 활물질 방전량을 가지지만 낮은 수명 특성을 가짐을 확인할 수 있다. 이러한 사실로부터, 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율이 낮은 경우, 이를 테면 20 대 80인 경우 음극 활물질의 용량은 향상되지만 수명 특성은 저하되는 문제점이 있음을 확인할 수 있다.

[0071]

그러나, 도 5 및 6을 다시 참조하면, 본 발명의 실시예 1 및 2의 음극 활물질에서는 위와 같은 문제점이 완전히

게 개선되었음을, 즉 합금에 포함되는 구리 (Cu) 에 대한 알루미늄 (Al) 의 비율이 20 대 80으로 낮지만 현저하게 개선된 수명 특성을 가짐을 확인할 수 있다. 즉, 실시예 1 및 2의 음극 활물질이 비교적 높은 용량을 가지면서도 현저하게 개선된 수명 특성을 가짐을 확인할 수 있는 것이다.

[0072] 나아가, 도 5 및 6에 나타난 실시예 3과 비교예 3의 결과에 주목할 수 있다.

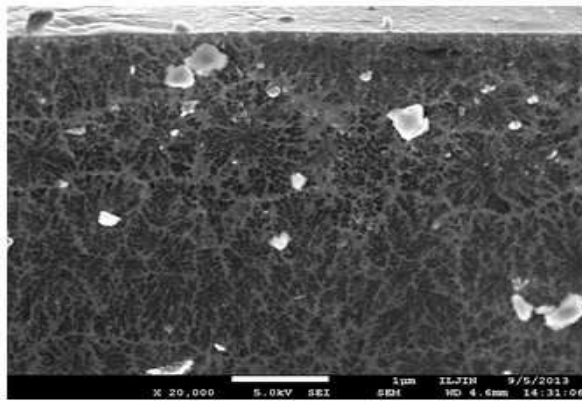
[0073] 상술한 바와 같이, 음극 활물질에 높은 함량으로 실리콘 (Si) 이 첨가되는 경우, 음극 활물질의 용량은 증가하지만 수명 특성은 저하될 수 있다. 이와 같은 실리콘 함량에 따른 음극 활물질 특성 값의 반대 급부는 비교예 3에 잘 드러나 있다. 도 5 및 도 6에 나타난 비교예 3의 결과에서 알 수 있듯이, 비교적 높은 함량으로, 즉 60 at%로 음극 활물질에 실리콘 (Si) 이 첨가되는 까닭에, 비교예 3의 음극 활물질은 대략 1382 mAh/g의 높은 활물질 방전량을 가지지만, 상당히 낮은 수명 특성을 나타내게 된다.

[0074] 그러나, 본 발명의 도 5 및 6에 나타난 실시예 3의 결과를 참조하면, 비교적 높은 함량으로, 즉 60 at%로 음극 활물질에 실리콘 (Si) 이 첨가되어도, 본 발명의 음극 활물질은 실시예 3에 비해 높은 활물질 방전량과 함께 현저하게 개선된 수명 특성을 가짐을 알 수 있다. 즉, 본 발명의 음극 활물질에서는 높은 실리콘 함량을 통해 얻을 수 있는 용량 개선의 이점을 계속적으로 취하면서도, 수명 특성의 저하를 최소화할 수 있는 것이다.

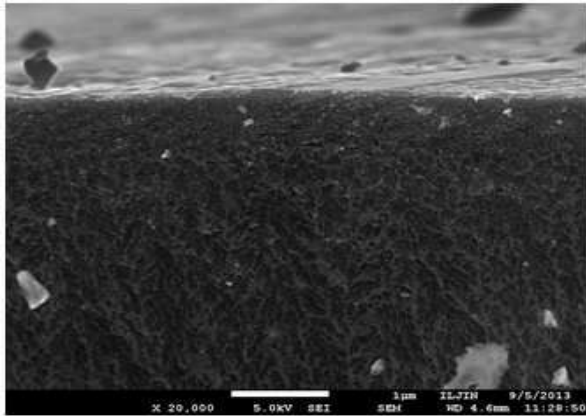
[0075] 이상으로 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 반드시 이러한 실시예로 국한되는 것은 아니고, 본 발명의 기술사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양하게 변형 실시될 수 있다. 따라서 본 발명에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

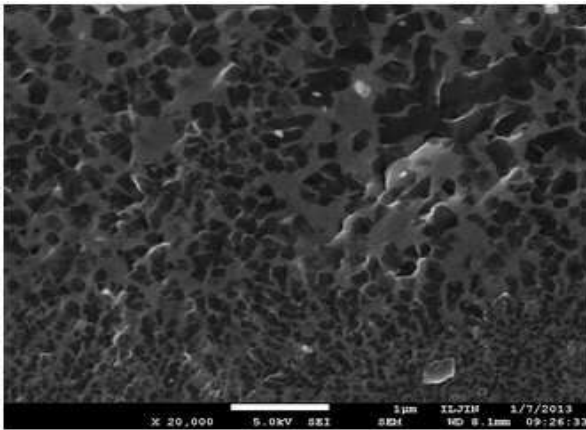
도면1a



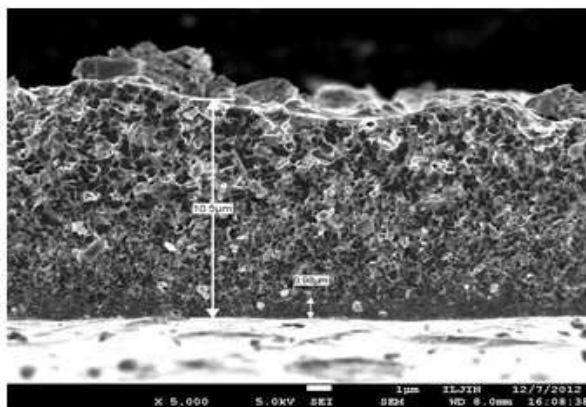
도면1b



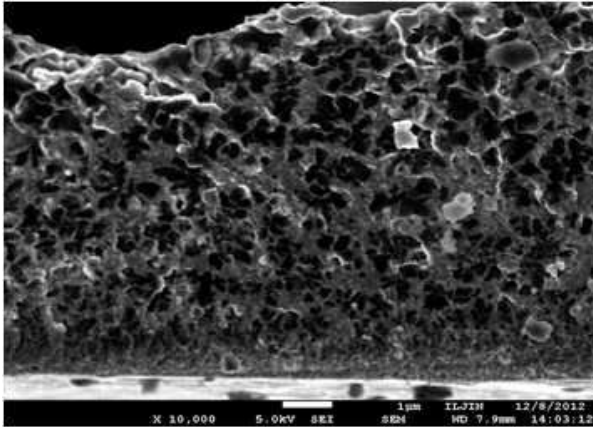
도면1c



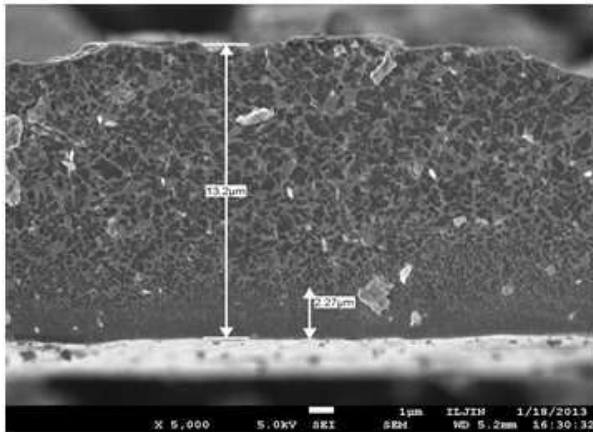
도면1d



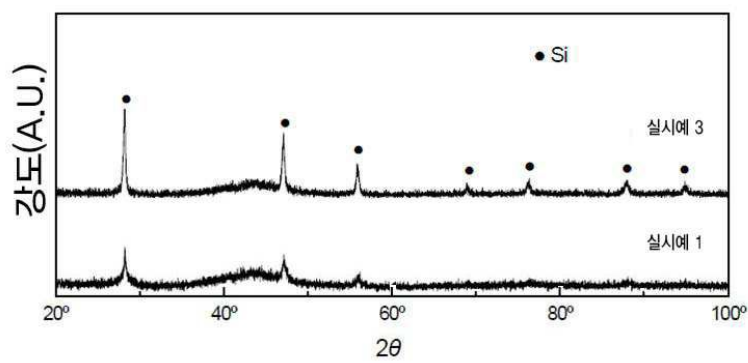
도면1e



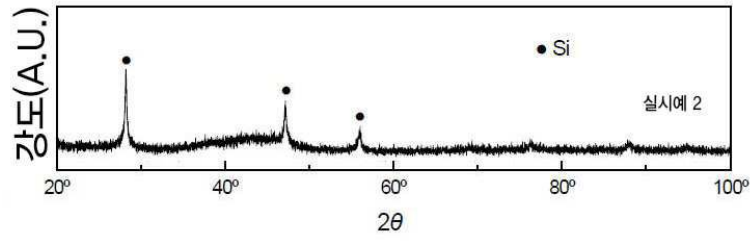
도면1f



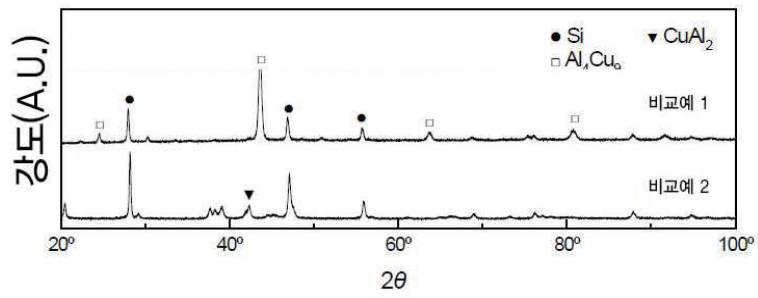
도면2a



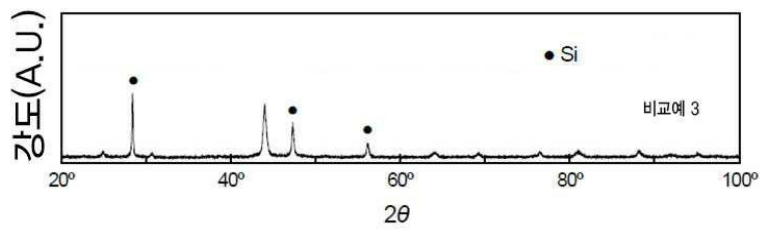
도면2b



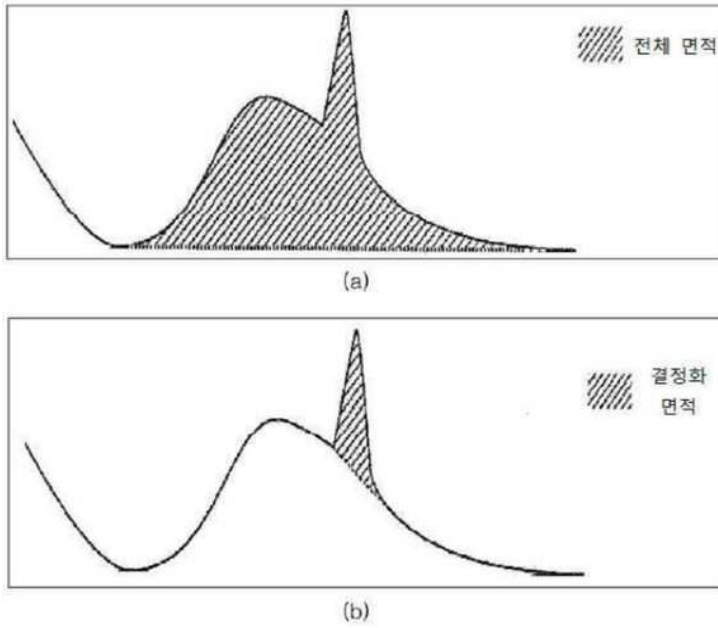
도면2c



도면2d



도면3



도면4

종류	활물질 조성	비정질화도
실시예 1	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{40}\text{Fe}_3\text{Ti}_3$	46.5%
실시예 2	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{42.5}\text{Fe}_3\text{Zr}_{2.5}$	44.7%
실시예 3	$\text{Si}_{60}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{30}\text{Fe}_3\text{Ti}_3$	43.5%
비교예 1	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{67}\text{Al}_{33})_{50}$	19.9%
비교예 2	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{50}$	27.4%
비교예 3	$\text{Si}_{60}(\text{Cu}_{50}\text{Al}_{50})_{35}\text{Fe}_3$	24.8%

도면5

종류	활물질 조성	활물질 충전량 (mAh/g)	활물질 방전량 (mAh/g)
실시예 1	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{40}\text{Fe}_3\text{Ti}_3$	1236.7	1004.6
실시예 2	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{42.5}\text{Fe}_3\text{Zr}_{2.5}$	1355.2	1125.5
실시예 3	$\text{Si}_{60}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{30}\text{Fe}_3\text{Ti}_3$	1757.5	1510.4
비교예 1	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{67}\text{Al}_{33})_{50}$	1444.6	1212.5
비교예 2	$\text{Si}_{50}(\text{Cu}_{20}\text{Al}_{30})_{50}$	2012.7	1770.2
비교예 3	$\text{Si}_{60}(\text{Cu}_{50}\text{Al}_{50})_{35}\text{Fe}_3$	1588.9	1382.2

도면6

