(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0044101
(43) 공개일자 2008년05월20일

(51) Int. Cl.
H01M 10/38 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-0112963
(22) 출원일자 2006년11월15일
심사청구일자 2006년11월15일

(71) 출원인
경상대학교산학협력단
경상남도 진주시 가좌동 900
가야에이엠에이 주식회사
경남 양산시 하북면 백록리 1010-1
(72) 발명자
김기원
경남 진주시 평거동 한보아파트 101동 1409호
안주현
경남 진주시 신안동 평거현대2차아파트 202동 1204호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이덕록

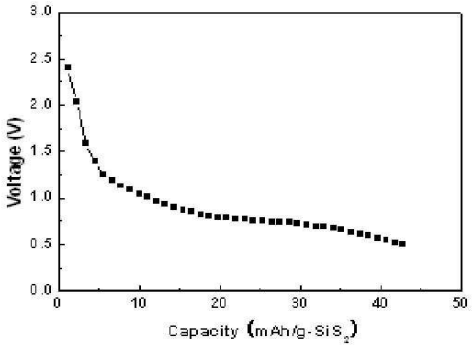
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 리튬/실리콘 설파이드 전지

(57) 요 약

본 발명은 고상의 리튬 음극; 리튬염과 글리미계 또는 카보네이트계 용매 혼합물로 이루어진 전해질; 및 실리콘 설파이드, 카본 및 폴리비닐리덴플로라이드로 이루어진 고상의 실리콘 설파이드 양극으로 구성된 리튬/실리콘 설파이드 전지에 관한 것으로, 본 발명의 전지는 상온에서 작동 가능하며 이론 용량이 크고 방전용량특성 등에서 우수한 특성을 나타낸다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

최재원

경남 진주시 신안동 14-1 흥한스위트 1404호

박동규

부산광역시 금정구 남산동 483-8 14/4

정광철

경남 양산시 남부동 동원로얄듀크아파트 111동 507호

이용희

경남 양산시 하북면 백록리 1010-1

석세훈

경남 양산시 어곡동 삼성로얄파크빌 102동 1204호

정우현

경남 양산시 하북면 백록리 1010-1

특허청구의 범위

청구항 1

고상의 리튬 음극; 리튬염과 글리미계 또는 카보네이트계 용매 혼합물로 이루어진 전해질; 및 실리콘 설파이드, 카본 및 폴리비닐리덴플로라이드로 이루어진 고상의 실리콘 설파이드 양극으로 구성되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 전해질에 리튬염이 0.1 내지 1.5 몰농도로 첨가된 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 양극이 실리콘 설파이드 50~80wt%, 카본 5~25wt%, 폴리비닐리덴플로라이드 5~25wt%로 이루어진 고상의 실리콘 설파이드 양극으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 리튬 음극이 리튬 금속 또는 리튬금속화합물로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 실리콘 설파이드가 유기황 화합물 또는 황과 실리콘의 반응으로 제조되는 화합물로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 리튬염은 리튬헥사플로로포스페이트, 리튬트리플로로메탄술포네이트, 리튬비스트리플로로메탄술폰네이트이미드 또는 리튬테트라플로로보레이트로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 카보네이트계 용매가 에틸렌카보네이트, 프로필렌카보네이트, 부틸렌카보네이트, 디메틸카보네이트, 디에틸카보네이트 또는 에틸메틸카보네이트로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 글리미계 용매가 모노에틸렌글리콜디메틸에테르, 디에틸렌글리콜디메틸에테르, 트리에틸렌글리콜디메틸에테르, 테트라에틸렌글리콜디메틸에테르 또는 폴리에틸렌글리콜디메틸에테르로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 양극과 전해질을 볼밀링기, 애트리터형 볼밀링기 또는 고에너지 믹스 밀링기를 사용하여 혼합하는 제조된 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<5> 본 발명은 신규한 리튬/황화규소계 전지에 관한 것이며, 더욱 상세하게는 고상의 리튬 음극; 리튬염과 글리미계

또는 카보네이트계 용매 혼합물로 이루어진 전해질; 및 실리콘 설파이드, 카본 및 폴리비닐리덴플로라이드로 이루어진 고상의 실리콘 설파이드 양극으로 구성되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지에 관한 것이다.

<6> 최근 전기, 전자 및 정보통신 분야 및 관련 시장의 급속한 발전과 거대화로 인하여 PDA, 핸드폰, 노트북 등의 이동 전자기기에 고성능화, 경량화, 다기능화가 실현되어 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있어 보다 고수명, 경량화 및 고용량의 전지가 요구되고 있으며, 환경 문제와 관련하여 전기자동차의 필요성이 크게 대두됨에 따라 이들 제품의 동력원으로 사용되는 이차전지의 성능개선에 대한 요구도 또한 크게 증가하고 있다. 또한, 에너지 절약 및 에너지의 효율적 활용을 위한 심야 잉여 전력 저장용으로도 고성능, 대용량 전지의 개발이 필요로 하고 있다.

<7> 이러한 요구에 부응하기 위하여 리튬이온 전지의 특성을 개선하려는 노력이 있어 왔으나, 리튬이온 전지의 경우는 가격이 비쌀 뿐만 아니라 이론 용량에 거의 근접한 수준으로 개발이 완료되어 더 이상의 진보를 기대하기가 어려운 상태에 있다.

<8> 이와는 다른 방향으로 새로운 전지 시스템을 개발하려는 노력이 있어왔으며, 그 중의 하나가 리튬-황(sulfur) 전지이다. 리튬-황 전지는 리튬 이온전지의 수배에 이르는 이론 용량을 갖고 있으며 가격이 싸다는 장점이 있으나 황(S)이 부도체로서 반응 중에 고립되어 반응에 참가하지 않게 되는 비가역적 반응에 의해 전지 특성이 급격하게 저하되는 단점이 있다.

<9> 이와 유사한 전지로서 리튬-황화철($Li-FeS_2$)전지가 있다. 그러나 이 전지 역시 경제적인 매력과 리튬-설퍼 전지에 비하여 개선된 특성에도 불구하고 비가역반응에 의해 1차 전지가 아닌 2차 전지로의 실용화에는 많은 난관이 있는 상황이다.

<10> 따라서, 향후에 연료전지 또는 태양 전지와 같은 형태의 자가 발전의 개념의 전지가 아닌 순수 전지에서는 새로운 개념의 전지가 필요하다.

<11> 한편, 리튬 이온 전지에서 실리콘은 주로 음극용로 사용되는 것이 검토되고 있으나, 리튬과 반응하여 리튬-실리콘 화합물이 생성될 때 상당한 부피 팽창을 유발함으로써 사용에 제한을 받고 있다. 이러한 점을 개선하기 위하여 실리콘을 주석, 탄소 등과 합금 또는 복합물 등으로 제조하여 부피 팽창을 억제하거나 흡수하려는 노력이 있어 왔으나, 그 실적 또한 미미한 상황이다.

<12> 전지 재료로서 실리콘 설파이드는 리튬과 직접 반응하는 리튬-실리콘 시스템과는 달리 실리콘-황의 반응으로 이루어지는 시스템 하에서 부피 팽창을 유발하지 않으며, 리튬-황 전지보다는 작으나 리튬이온 전지에 비하여 이론 에너지밀도가 높고, 가격이 저렴하며, 무게가 가볍기 때문에 고에너지밀도의 전지용으로 사용이 가능하다.

<13> 또한, 리튬의 경우와 같이 실리콘은 황과의 친화력이 매우 커서 거의 완벽한 가역반응을 하게 될 뿐만 아니라, 반응 전/후 및 중간 생성 물질 중에 전도성이 없거나 반응에 고립되는 물질이 생성되지 않게 되므로, 기존의 리튬-황 전지에서 나타내었던 비가역 반응에 의한 용량 감소와 같은 문제도 없게 된다.

<14> 이것은 리튬-황 전지에서와 같이 1차 전지로서 뿐만 아니라 2차전지로서의 특성을 갖춘 것이며, 나아가 효율적으로 우수한 전지를 개발할 근거가 될 수 있음을 알 수 있다.

<15> 이 때의 반응식은 아래 식(1)과 같다.

<16> <반응식 1>

<17> $$Li \parallel 4Li + SiS_2 \rightarrow 2Li_2S + Si \parallel SiS_2$$

<18> 다만, 종래의 고체전해질 연구에서와 같이 실리콘도 리튬과 마찬가지로 활성이 커서 취급이 어려운 단점이 있으며, 실리콘 설파이드의 제조가 난해한 문제가 남아 있다.

<19> 그러나 이러한 실리콘 설파이드 분말을 제조하는 문제에 대해서는 최근에 기계화학적 방법에 의하여 경제적이면서도 손쉽게 금속황화물을 제조할 수 있는 방법이 개발(대한민국특허 제363521호, 제407194~5호)되면서 용이하게 공급이 가능하게 되었다.

<20> 해당 방법에 의하면 활성이 강한 금속이라 할지라도 보호 분위기 중에서 황과의 반응으로 쉽게 분말 형태의 금속황화물을 제조하는 것이 가능하다. 그러나 이렇게 제조된 실리콘 설파이드도 전지 제조 과정 중에 상당한 주의를 기울이지 않으면 실리콘 설파이드가 공기 중의 수분과 반응하여 식(2)와 같이 산화규소와 황화수소로 변하

게 된다.

<21> <반응식 2>

<22> $$SiS_2 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2S \quad ----(2)$$

<23> 상기 반응식 (2)와 같은 반응이 일어나게 되면 리튬-실리콘 설파이드 전지가 갖는 이론 용량에 비하여 턱없이 낮은 용량이 결과로서 나타날 수 있다.

<24> 이와 같은 영향으로 실리콘 설파이드의 경우 이온 전도성이 우수하여 몇몇 연구자들에 의해 고체 고분자 전해질의 일부 재료로 연구가 이루어져 왔으나, 실리콘 설파이드를 양극이나 혹은 음극으로 하는 리튬/실리콘설파이드 전지에 적용한 연구결과는 전혀 보고된 바 없다.

<25> 본 발명자들은 상기와 같은 문제점을 극복하기 위하여 예의 연구를 거듭한 결과 본 발명에 이르게 되었다.

<26> 따라서, 본 발명의 목적은, 상기와 같은 배경을 바탕으로 실리콘을 전지에 적용시킴으로써 상온에서 우수한 충,방전효율을 나타내어 이론 용량이 크고 경제적이며 안정적인 전지를 제조하고자 하는 데 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<27> 이와 같은 본 발명의 목적은 고상의 리튬을 음극으로, 고상의 실리콘 설파이드를 양극으로 사용하고, 리튬염과 카보네이트계 또는 글리미계 용매로 이루어진 혼합물을 전해질로 사용하여 구성된 리튬/실리콘 설파이드 전지를 제조함으로써 달성되었다.

발명의 구성 및 작용

<28> 본 발명은 본 발명은 고상의 리튬 음극; 리튬염과 글리미계 또는 카보네이트계 용매 혼합물로 이루어진 전해질; 및 실리콘 설파이드, 카본 및 폴리비닐리덴플로라이드로 이루어진 고상의 실리콘 설파이드 양극으로 구성되는 것을 특징으로 하는 리튬/실리콘 설파이드 전지를 제공한다.

<29> 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명의 구성 및 작용에 대해 보다 상세하게 설명한다.

<30> 본 발명은 상온에서 우수한 충,방전효율특성을 나타내는 리튬/실리콘 설파이드(Silicon sulfide, SiS_2 또는 SiS_x[X=1.0~2.0], 이하 '실리콘 설파이드'라 함) 전지에 관한 것으로서, 리튬금속산화물을 포함하는 고상의 리튬 음극; 고상의 실리콘 설파이드 양극; 및 리튬염과 카보네이트계 또는 글리미계 용매 혼합물로 이루어진 전해질로 구성된다.

<31> 본 발명 전지에서 전해질로는 리튬염과 카보네이트계 또는 글리미계 용매로 이루어진 혼합물이 사용된다.

<32> 상기 리튬염으로는 리튬헥사플로로포스페이트, 리튬트리플로로메탄술포네이트, 리튬비스트리플로로메탄술포네이트이미드 또는 리튬테트라플로로보레이트로 이루어진 군으로부터 선택된 것을 사용할 수 있으며, 리튬트리플로로메탄술포네이트가 바람직하다.

<33> 리튬염과 카보네이트계 용매 혼합물의 조성비는 카보네이트계 용매에 리튬염을 0.1~1.5 몰농도로 첨가하여 구성된다.

<34> 카보네이트계 용매로는 에틸렌카보네이트, 프로필렌카보네이트, 부틸렌카보네이트, 디메틸카보네이트, 디에틸카보네이트 또는 에틸메틸카보네이트로 구성된 군으로부터 선택되는 높은 유전율 상수값을 가진 용매를 사용할 수 있으며, 에틸렌카보네이트와 디에틸카보네이트 혼합 용매가 바람직하다.

<35> 또한, 리튬염과 글리미계 용매 혼합물의 조성비는 글리미계 용매에 리튬염을 0.1~1.5 몰농도로 첨가하여 구성된다.

<36> 일반적으로 리튬염이 0.1mol 이하의 경우 전해질속의 리튬이온의 활성이 저하되어 이온전도도가 낮아지는 문제를 발생시키며, 리튬염을 글리미계와 카보네이트계 용매에 용해시킬 때 최대 1.5 몰농도까지 리튬염이 용해가 되고 그 이상일 경우 리튬염이 용해되지 않고 염의 형태로 남아있게 되어 실제로는 1.5 몰농도가 리튬염의 최대의 용해 농도가 된다. 그래서 리튬염과 용매의 조성비가 리튬염을 0.1~1.5 몰농도일 때 알맞은 이온전도도와 리튬이온의 활성을 가지게 된다.

<37> 글리미계 용매로는 모노에틸렌글리콜디메틸에테르, 디에틸렌글리콜디메틸에테르, 트리에틸렌글리콜디메틸에테르,

테트라에틸렌글리콜디메틸에테르 또는 폴리에틸렌글리콜디메틸에테르로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 사용할 수 있으며, 테트라에틸렌글리콜디메틸에테르가 바람직하다.

<38> 상기 전해질을 분리막의 역할을 하는 셀가드에 함침시켜 사용한다.

<39> 본 발명 전지의 양극으로서 고상의 실리콘 설파이드 화합물의 조성비는 실리콘 설파이드 50~80wt%, 탄소 5~25wt%, 폴리에틸렌옥사이드 또는 폴리비닐리덴플로라이드 5~25wt%로 이루어지는 것이 바람직하다.

<40> 일반적으로 전지는 전극 활물질과 도전재와 결착재로 구성이 되는데, 활물질의 양이 50wt% 이상, 폴리비닐리덴플로라이드의 경우 실리콘 설파이드와 탄소를 잘 결착시키기에 충분한 5~25wt% 양과 실리콘 설파이드가 다른 활물질에 비해 구성물질 중 설퍼로 인한 낮은 전도성을 탄소 성분(5~25wt%)으로 전도성을 올려주는 역할을 하므로 상기 언급한 조성으로 이루어져야 실리콘 설파이드 화합물이 전극(양극)으로서 특성을 나타내기에 알맞게 된다.

<41> 상기 실리콘 설파이드는 유기황 화합물 또는 황과 실리콘의 반응으로 제조되는 화합물로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다.

<42> $$2S + Si \rightarrow SiS_2$$

<43> $$2FeS_x + Si \rightarrow SiS_2 + xFe \quad (1 \leq x \leq 2)$$

<44> 실리콘 설파이드 양극을 제조하기 위하여 실리콘 설파이드 분말, 카본과 고분자를 매우 균질하게 혼합시키는 방법으로 교반기, 혼합기, 볼밀링기, 애트리터 또는 고에너지 믹서밀 등을 사용할 수 있다. 특히, 볼과 용기의 재질은 스테인리스스틸, 철강 등과 같은 금속, 알루미나와 지르코니아 같은 세라믹, 또는 테프론과 같은 고분자 재료가 가능하다.

<45> 본 발명 전지의 음극으로서 고상의 리튬 화합물은 리튬 금속 또는 리튬금속 화합물로 이루어진 군으로부터 선택되어 사용될 수 있다. 리튬금속화합물로는 리튬코발트산화물($LiCoO_2$)이 바람직하다.

<46> 상기와 같이 구성된 리튬/실리콘 설파이드 전지는 그 반응이 가역적이고 이론 용량이 1160 mAh/g 으로 크고, 초기 5 사이클 이후 충,방전효율이 95%이상이며, 초기 5 사이클 이후의 사이클 특성이 거의 변화하지 않는 우수한 방전용량 특성을 나타낸다.

<47> 이하, 본 발명의 구체적인 실시형태를 하기의 실시예를 바탕으로 상세히 설명하고자 한다. 하지만 본 발명의 범위가 이들 실시예에 한정되는 것은 아니다.

<48> **실시예 1 : 리튬/실리콘 설파이드 전지용 리튬 전극 및 실리콘 설파이드 전극의 제조**

<49> 본 발명의 리튬/실리콘 설파이드 전지를 구성함에 있어, 음극으로는 리튬 금속을 사용하였으며, 양극으로는 실리콘 설파이드를 사용하였다.

<50> 실리콘 설파이드 전극은 실리콘 설파이드 50wt%, 카본 25wt% 및 폴리비닐리덴플로라이드 25wt%를 적정하였다. NMP(N-methyl-2-pyrrolidone)를 용매로 사용하였으며, 시료 대 용매의 비는 1g:3cc로 하였다. 이를 볼 밀링기(또는 애트리터형 볼밀링기 또는 고에너지 믹스 밀링기) 에 넣어 15분씩 4회, 총 1시간동안 혼합시킨 후, 알루미늄 호일위에 페이스팅법으로 도포하여 상온에서 6시간, 50℃에서 12시간 동안 건조시켜 필름상의 실리콘 설파이드 전극을 제조하였다. 상기의 방법은 모두 아르곤 분위기 중에서 실시하였다.

<51> **실시예 2 : 리튬/실리콘 설파이드 전지용 전해질의 제조**

<52> 본 발명의 리튬/실리콘 설파이드 전지용 전해질로서, 각각 카보네이트계 및 글리미계 용매를 이용한 전해질을 제조하였다.

<53> 먼저, 카보네이트계 용매에 리튬염으로서 리튬트리플로로메탄술포네이트를 1.0 몰농도로 용해시켜 전해질을 제조하였으며, 카보네이트계 용매로는 에틸렌카보네이트와 디메틸카보네이트, 에틸렌카보네이트와 에틸메틸카보네이트를 사용하였다.

<54> 리튬염 1.0 몰농도에 에틸렌카보네이트와 디메틸카보네이트를 부피비로 1:1을 사용하여 전해질을 제조하였고, 같은 방식으로 에틸렌카보네이트와 에틸메틸카보네이트를 부피비로 1:1로 하여 리튬염 1.0 몰농도로 전해질을 제조하였다.

<55> 이들을 교반기에서 1시간 동안 교반하여 균질하게 혼합된 점성의 액상을 제조하였다. 이어서, 분리막인 셀가드에 혼합 액체전해질을 함침시켜 전해질로 사용하였다. 상기 모든 과정은 아르곤 분위기의 글러브박스에서 실시하였다.

<56> 또한, 글리미계 용매에 리튬염으로서 리튬트리플로로메탄술포네이트를 1.0 몰농도로 용해시켜 전해질을 제조하였으며, 글리미계 용매로는 테트라에틸렌글리콜디메틸에테르를 사용하여 상기와 같은 방법과 조건에서 전해질을 제조하여 사용하였다.

<57> **실시예 3 : 리튬/실리콘 설파이드 전지의 방전특성**

<58> 상기 실시예 1에서 제조한 음극 및 양극과 실시예 2에서 제조한 전해질을 아르곤 가스 분위기의 글러브박스에서 음극, 전해질, 양극 순서로 적층하여 리튬/실리콘 설파이드 전지를 구성하였다.

<59> 이어서, 리튬/실리콘 설파이드 전지의 방전특성을 알아보기 위하여 충,방전테스터기를 사용하여 방전용량을 측정하였다. 전극실험조건은 상온에서 휴지시간을 1시간 동안 유지한 다음, 방전전류밀도를 20mA/g.SiS_2, 종지전압은 1.0V, 0.5V로 하였다.

<60> 도 1은 카보네이트계 용매 혼합물 전해질을 사용한 리튬/실리콘 설파이드 전지의 방전 특성을 실험한 결과를 나타낸 그래프로서, 상온에서 50wt% 실리콘 설파이드의 경우 43mAh/g.SiS_2 의 방전용량을 얻었다.

<61> 도 2는 글리미계 용매 혼합물 전해질을 사용한 리튬/실리콘 설파이드 전지의 방전 특성을 실험한 그래프로서 상온에서 58mAh/g.SiS_2 의 방전용량을 얻었다.

<62> **실시예 4 : 리튬/실리콘 설파이드 전지의 전극반응 특성 실험**

<63> 상기 실시예 3과 동일하게 리튬/실리콘 설파이드 전지를 구성하였다. 전극반응 특성실험 조건은 상온에서 휴지시간 1시간 동안 유지한 다음, 0.1mV/s의 주사속도로 1.0~2.8V의 전압구간에서 순환전압전류법을 실시하였다.

<64> 도 3은 글리미계 용매 혼합물 전해질을 사용한 리튬/실리콘 설파이드 전지의 순환전압전류법을 실험한 그래프로 이때의 전극 반응은 가역적 임을 알 수 있으며, 2.1V와 1.3V이하의 2군데 환원영역 즉, 방전구간이 존재함과 2.4V와 1.2V부근의 2군데 산화영역 즉, 충전구간이 존재함을 확인하였다.

<65> **실시예 5 : 리튬/실리콘 설파이드 전지의 싸이클 특성 실험**

<66> 전지의 구성과 실험조건은 실시예 3과 동일하게 하여 리튬/실리콘 설파이드 전지의 싸이클 특성을 실험하였다.

<67> 도 4는 카보네이트계 용매 혼합물 전해질을 사용한 리튬/실리콘 설파이드 전지의 싸이클에 따라 충,방전 효율을 실험한 그래프로서 초기부터 5회까지는 충,방전 효율이 낮으나 서서히 효율이 좋아져 5번째 사이클부터는 충,방전효율이 95%이상의 우수한 특성을 보여주며 용량감소가 현저하게 줄어들어서 용량이 유지되는 것을 나타내고 있다.

발명의 효과

<68> 상기에서 설명한 바와 같이, 본 발명은 신규한 리튬/실리콘 설파이드 전지는 고상의 리튬 또는 리튬 화합물 음극; 리튬염, 카보네이트계 또는 글리미계 등 유기용매로 이루어진 전해질; 및 고상의 실리콘 설파이드 양극으로으로 이루어져서 상온에서 우수한 방전용량특성을 가지며, 원재료의 가격이 저렴하여 가격경쟁력이 높기 때문에, 전지 산업상 매우 유용한 발명인 것이다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 본 발명에 따른 카보네이트계 용매 혼합물 전해질과 리튬금속, 실리콘 설파이드 양극으로 구성된 리튬/실리콘 설파이드 전지의 방전곡선을 나타낸 그래프이다.

<2> 도 2는 본 발명에 따른 글리미계(glyme) 용매 혼합물 전해질과 리튬 음극, 실리콘설파이드 양극으로 구성된 리튬/실리콘설파이드 전지의 방전곡선을 나타낸 그래프이다.

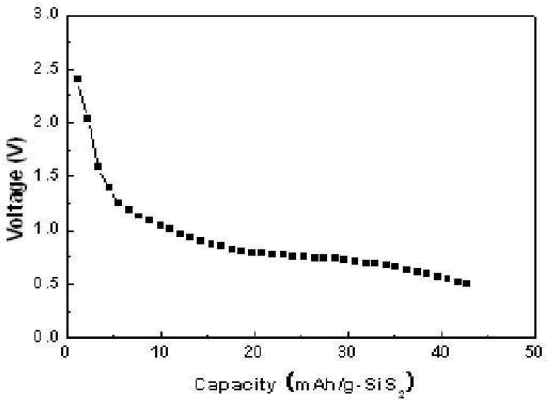
<3> 도 3은 본 발명에 따른 글리미계 용매 혼합물 전해질을 사용한 리튬/실리콘 설파이드 전지의 순환전압전류곡선을 나타낸 그래프이다.

<4> 도 4는 본 발명에 따른 카보네이트계 용매 혼합물 전해질을 사용한 리튬/실리콘 설파이드 전지의 싸이클 횟수에

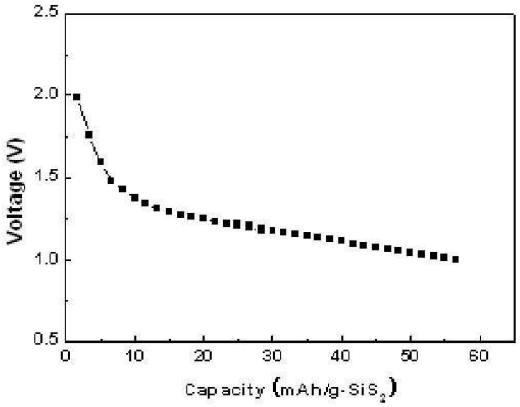
따른 방전효율을 나타낸 그래프이다.

도면

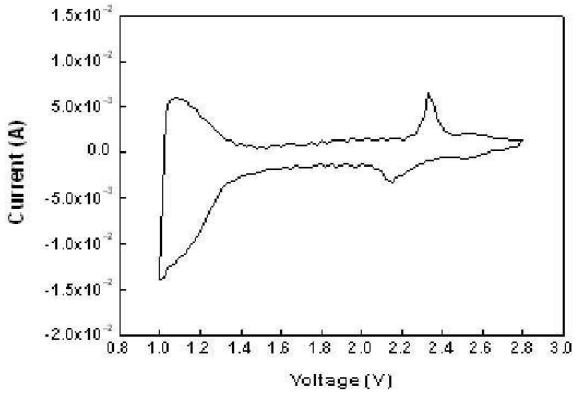
도면1



도면2



도면3



도면4

