

GIST	지스트(광주과학기술원) 보도자료 http://www.gist.ac.kr	
보도 일시	배포 즉시 보도 부탁드립니다.	
보도자료 담당	홍보팀 김효정 팀장	062-715-2061
	홍보팀 이나영 선임행정원	062-715-2062
자료 문의	신소재공학부 엄광섭 교수	062-715-2313

지스트 엄광섭 교수 공동연구팀, 2배 이상 소형화 가능한 새로운 배터리 개발

- 기존 방법보다 훨씬 간편하게 안전성 향상 기법 개발을 통해 고안정성/고용량의 소형 배터리 개발에 성공
- 연구성과 세계적인 학술지인 'Advanced Functional Materials'에 게재

- 우리가 매일 편리하게 사용하는 스마트폰, 노트북 등 가지고 다니거나 움직일 수 있는 모든 전자제품에는 배터리가 장착되어 있다. 특히 휴대가 용이하도록 전자기기의 크기가 점차 작아짐에 따라 소형 배터리에 대한 수요는 증가하고 있으며, 최근에는 전기자동차와 자전거 등 모빌리티로 확대되고 있다.
- 광주과학기술원(총장 김기선, 이하 지스트) 신소재공학부 엄광섭 교수팀과 홍익대 정재한 교수, 경희대 이정태 교수 공동 연구팀이 기존 리튬이온 배터리를 전기 저장 용량을 유지하면서 2배 이상 소형화 가능한 새로운 리튬이온 기반 고용량 배터리를 개발하였다.
- 본 연구를 통해 개발된 리튬-셀레늄 배터리는 안정성 확보를 기반으로 같은 전기 저장 용량 대비 2배 이상 소형화가 가능하므로 차세대 핸드폰, 노트북 등의 휴대용 전자기기에 이용되면 전자제품에서 배터리가 차지하는 공간이 2배 작아질 것으로 기대된다.
- 현재 상용 리튬이온 배터리의 전극 재료로써 그래파이트(음극)와 리튬금속산화물(양극)이 사용되고 있다. 두 재료 모두 에너지 저장 용량이 상대적으로 낮으며 현재 배터리 셀 제조 기술로는 이론 용량*에 거의 도달해 다양한 전자기기에서 활용 시 추가적인 전기 저장 용량이 필요한 한계에 도달하였다.

* 이론 용량: 리튬이온전지용 전극 물질이 가지는 고유의 최대 리튬 저장량(=전하 저장량)으로 실험적으로 이보다 높을 수는 없다. 예를 들어 그래파이트의 경우에는 탄소 원자 6개당 하나의 리튬 이온이 저장되는데, 이를 계산하면 372 mAh/cm³ (부피당)이 된다.

□ 본 연구팀은 셀레늄을 리튬 배터리의 양극 재료로, 리튬 금속을 음극 재료로 사용하는 리튬-셀레늄 배터리*를 이용하여 현재의 리튬이온 배터리에 비해 부피당 저장 용량을 약 2배 향상시켰다.

* Li-Se 배터리의 양 전극의 이론용량: (Li 음극) 2,060 mAh/cm³, (Se 양극) 3,253 mAh/cm³

- 특히, 리튬-셀레늄 배터리는 셀레늄의 안정성이 낮아 급격하게 배터리 수명이 감소하는 현상이 있는데, 이러한 원인이 리튬-셀레늄 배터리의 상용화의 큰 걸림돌이다. 따라서 연구팀은 본 배터리의 용량을 유지하고 안정성, 즉 수명을 향상시키는 방법에 집중하였다.
- 특히, 본 연구의 핵심적인 방법은 배터리 셀 조립 시 전해질에 전도성고분자(폴리아닐린, Polyaniline)의 단량체인 아닐린(aniline)을 소량 첨가하여 전기화학적으로 전류를 가해 전극 활성 물질 표면에 중합시키는 방법인 “전기화학적 고분자 표면처리법(*in battery* electrochemical polymerization)*”이다.

* 이 기술은 본 연구팀이 전 세계적으로 유일하게 자체 개발한 기술로 복잡한 추가 공정이 필요하지 않아 상용화가 매우 용이하며, 현재 특허 출원 중이다.

- 나아가 전기화학적 고분자 표면처리법을 통해서 셀레늄 양극을 전도성고분자인 폴리아닐린(polyaniline)으로 보호막(protective conducting layer)을 형성하여 고용량·고안정성 리튬-셀레늄 배터리를 안정화시키는데 성공하였다. 특히, 이는 높은 부피용량을 가질 뿐만 아니라 처리 이전의 전극 물질과 비교해 보았을 때 약 3배 이상의 용량 유지율을 보였다(200회 충/방전 기준).

□ 엄광섭 교수는 “이번 연구성과는 기존의 리튬-셀레늄 배터리에 비해 매우 용이한 전기화학적 고분자 표면처리법을 통해 새로운 고용량·고안정성의 리튬-셀레늄 배터리를 도입시켰다는데 가장 큰 의의가 있으며, 향후 추가적인 연구 개발을 통해 다른 차세대 고용량 이차전지(리튬-황전지 등)에서도 적용 가능할 것을 기대한다”고 말했다.

□ 지스트 신소재공학부 엄광섭 교수와 이승민 석박사통합과정생과 이하은 석박사통합과정생이 주도하고, 공동으로 정재한 교수(홍익대학교), 이정태 교수(경희대학교)가 수행한 이번 연구는 한국연구재단 및 LG화학의 지원을 받아 진행됐으며, 연구성과는 첨단 에너지 소재 분야의 세계적인 학술지인 ‘어드밴스드 펑셔널 머티리얼즈’(Advanced Functional Materials)에 2020년 3월 5일자로 온라인 게재됐다. <끝>

※ 논문 제목: *In Battery Electrochemical Polymerization to Form a Protective Conducting Layer on Se/C Cathodes for High-Performance Li - Se Batteries*

공동 제 1저자: 이승민 석박사통합과정생 (GIST 신소재공학부), 이하은 석박사통합과정생 (GIST 신소재공학부)
공동교신저자: 이정태 교수 (경희대학교), 정재한 교수 (홍익대학교), 엄광섭 교수 (GIST 신소재공학부)

용 어 설 명

1. 리튬 이차 전지 및 문제점

- 리튬이온전지는 전해질 내에 전기화학적 전위차가 있는 양극과 음극으로 구성되어 전기에너지가 필요시 전자 및 리튬이온이 자발적으로 음극에서 양극으로 이동하여 전기에너지를 생성한다. 충전 시에는 외부에서 전기에너지를 가하여 다시 리튬이온과 전자를 다시 음극으로 보내어 원래의 상태로 돌릴 수 있다. 즉, 충/방전이 용이하게 가능한 에너지 저장 시스템(2차 전지)이다. 그러나 리튬이온이 전극 물질 내부로 들어갔다 나왔다 하는 과정의 반복에 의해서 장기적으로 사용 시 구조가 붕괴되는 등의 문제로 성능 감소가 일정하게 일어나는 문제가 있다. 따라서 수명을 향상시키고자 하는 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

2. 그래파이트 및 실리콘 음극 전극

- 탄소의 육방형 판상 층상 구조 결정체로 6개의 카본 원자 당 1개의 리튬이온이 저장된다. 이론 용량은 374 mAh/g으로 용량은 매우 낮으나 리튬 이온이 그래파이트 내부로 들어가고 나오는 반응이 매우 안정적이거나 현재 대부분의 상용 리튬 이온 전지의 음극 재료로 사용되고 있다. 그러나 고용량 배터리를 개발하기 위해서는 4200 mAh/g을 가지는 실리콘 전극과 같은 새로운 음극 전극 재료가 필요하다.

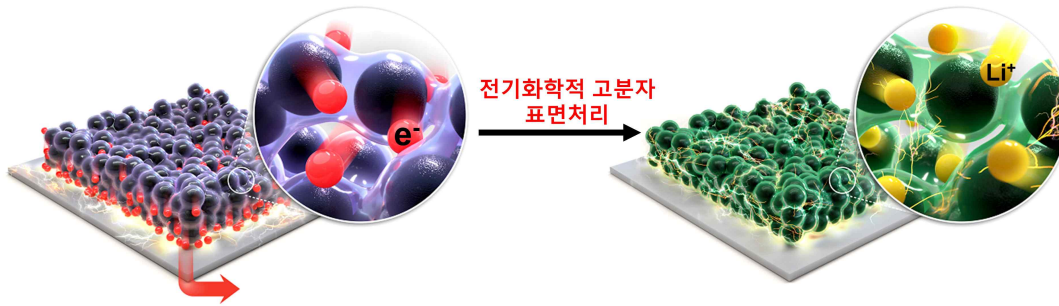
3. 리튬금속산화물 및 칼코젠 양극 전극

- LiCoO_2 , $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$, LiMn_2O_4 등 현재 전기자동차 및 휴대폰에 사용되는 리튬이온전지의 양극 재료로 사용되고 있는 물질로 사용 전위가 리튬대비 약 4.0 V로 높으나 이론 용량은 120~180 mAh/g 수준으로 낮다. 현재 세계적인 배터리 연구그룹과 회사에서 이론용량에 근접할 만큼 기술 개발 수준이 높다. 따라서 현재 배터리보다 용량을 급격히 향상시키기 위해서는 새로운 형태의 초고용량 전극재료의 개발이 필요하다. 특히, 황 전극은 이론적으로 1,672 mAh/g의 매우 높은 용량을 가지고 있고, 가격이 매우 저렴하여 주목받고 있다. 그러나 현재 용량은 400~800 mAh/g 수준이고, 안정성이 매우 낮아 수십 번의 충방전 동안에도 성능 감소가 두드러진다. 또한, 낮은 전도성으로 인해 반응성이 느려지게 된다. 그래서 황과 같은 족에 있는 칼코젠 물질들도 연구가 진행되고 있으며 대표적으로 셀레늄이 있다. 셀레늄은 높은 에너지 밀도를 가지며 (2,528 Wh/L), 황보다 높은 전도성을 가짐으로써 반응성이 빨라진다.

4. 폴리아닐린 (Polyaniline)

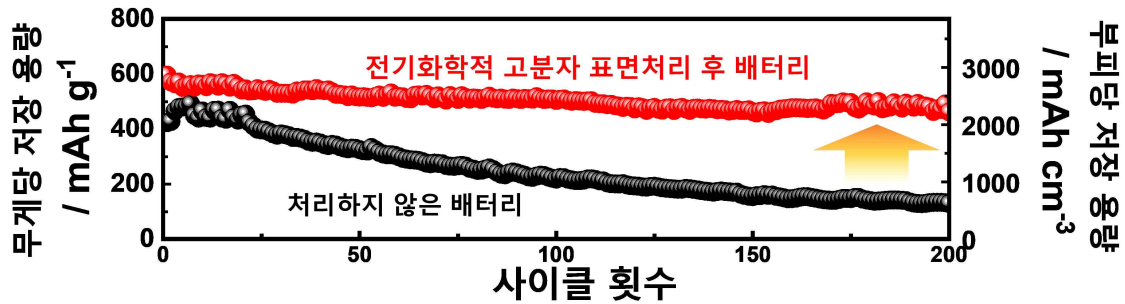
- 폴리아닐린 (Polyaniline)은 전도성 고분자 중 하나로써 아닐린을 단량체를 지니고 있으며 화학적으로 쉽게 중합이 가능하다는 장점을 가지고 있기 때문에 다방면에서 적용이 되고 있다. 폴리아닐린은 아닐린이 중합되는 과정에서 골격 사슬이 가지는 산화 정도에 따라 전도성의 차이를 가지게 된다. 3가지의 산화 상태를 가지고 있는데, 가장 산화가 적게 된 상태부터 순차적으로 leucoemeraldine, emeraldine, pernigraniline라 불린다. Leucoemeraldine과 pernigraniline의 경우에는 전도성을 가지고 있지 않으며 emeraldine 상태의 폴리아닐린이 상온에서 가장 안정적이며 높은 전도도를 가지고 있다. 특히나 전도성은 골격 사슬에 존재하고 있는 질소에 도핑되는 물질 및 양에 따라서 차이를 보이기 때문에 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.

그림 설명



[그림 1] 셀레늄-카본 전극 활물질에 전기화학적 고분자 표면 처리법을 통해 고전도성 보호막을 형성하는 과정의 모식도. 모식도에서 검은색 파티클은 셀레늄-카본 전극 활물질이고 빨간색은 전자, 노란색은 리튬 이온을 나타낸다. 이 모식도는 전도성고분자(폴리아닐린, Polyaniline)의 단량체를 전해질에 첨가해서 제작한 배터리 셀의 조립을 마친 후 충·방전이 진행되기 이전에 4.0 V까지의 선충전 과정을 진행함에 따라 전극 활성 물질 표면의 변화를 보여준다.

- (i) 왼쪽 그림은 선충전 시 전극 활물질 표면에서 고전도성 보호막이 초기에 형성되는 모습을 나타내고 있다. 선충전 과정 시, 양극에서는 전자가 음극으로 이동하면서 산화반응을 일으킨다. 전해질 상에 존재하고 있는 전도성고분자 단량체는 셀레늄-카본 표면에 있는 작용기에 인력작용을 통해 결합되어있는 상태이기 때문에, 선충전 과정을 겪으면서 단량체 역시 산화반응을 일으킨다. 산화반응을 통해 활성화된 단량체는 다른 단량체들과 중합반응을 일으킨다. 초기 중합으로 형성된 고분자의 경우 아직 전도성을 띄고 있는 상태가 아닌 산화 상태이며 고전도성을 띄는 산화 상태의 전도성 고분자는 우측의 그림에서 보는 것과 같다.
- (ii) 우측 그림에서 셀레늄-카본 전극을 감싸고 있는 초록색 막은 선충전이 4.0 V까지 진행 되어서 전도성을 띄는 산화 상태의 고분자이다. 이렇게 형성된 전도성 고분자 막은 셀레늄-카본 전극에서 전도성을 높여 리튬 이온의 확산을 빠르게 일어날 수 있도록 하며 활성 물질이 녹아남을 방지하여 안정적인 구동이 가능하게 한다.



[그림 2] 전기화학적 고분자 표면 처리 후 배터리와 처리하지 않은 배터리의 충·방전 횟수 당 실제 측정되는 무게당 및 부피당 저장 용량을 보여주는 그래프.

그래프의 빨간색(전기화학적 고분자 표면처리 후 양극), 검은색(전기화학적 고분자 표면처리를 하지 않은 상태의 양극) 데이터는 충·방전 1회당 기록된 무게당 저장 용량 (mAh/g)과 부피당 저장 용량(mAh/cm³)을 나타낸다.

전기화학적 고분자 표면 처리를 하지 않은 양극의 경우 200회의 충·방전 이후 30 % 이하의 성능 유지를 보인다. 하지만, 전기화학적 고분자 표면 처리를 진행한 셀레늄-카본 양극의 경우에는 200회의 충·방전 후에도 활물질 기준으로 초기 발현 용량에 비해 78 %의 성능 유지를 보이며 기존의 셀레늄-리튬 배터리에 비해 고안정성을 보인다.