

G I S T	GIST(광주과학기술원) 보도자료	
	http://www.gist.ac.kr	
보도 일시	배포 즉시 보도 부탁드립니다.	
보도자료 담당	대외협력팀 김미연 팀장	062-715-2020 / 010-5302-3620
	대외협력팀 이나영 행정원	062-715-2024 / 010-2008-2809
자료 문의	신소재공학부 엄광섭 교수	062-715-2313

전기차 주행거리 3배 늘릴 리튬이온 배터리 개발

- 황-금속 화합물 양극과 실리콘 음극을 이용한 배터리 개발...에너지 저장용량 현 리튬이온전지 대비 최대 6배 및 에너지 밀도 3배 향상, 하루에 1회 충전 시 7년 동안 성능 감소 없이 사용 가능
- GIST 신소재공학부 엄광섭 교수 등 공동연구팀, 연구성과 ACS Nano에 게재

- GIST(지스트, 총장 문승현) 신소재공학부 엄광섭 교수팀과 건국대 조한익 교수, 美 조지아공대 등 공동 연구팀이 현재 사용되고 있는 리튬이온 배터리보다 용량이 최대 3배 향상된 새로운 리튬이온 배터리를 개발하는데 성공했다.
 - 이 배터리가 상용화되면 하루에 1회 충전 시 7년 동안 큰 성능 감소없이 사용 가능할 것으로 기대된다.
- 현재 상용 리튬이온 배터리의 전극 재료로써 그래파이트(음극)와 리튬금속 산화물(양극)이 사용되고 있다. 두 재료 모두 에너지 저장 용량이 상대적으로 낮으며 현재 기술로는 이론 용량*에 거의 도달해, 전기자동차의 전기 저장 용량을 증가시키는 데 한계에 직면하였다.

*이론 용량: 리튬이온전지용 전극 물질이 가지는 고유의 최대 리튬 저장량(=전하 저장량)으로 실험적으로 이보다 높을 수는 없다. 예를 들어 그래파이트의 경우에는 탄소 원자 6개 당 하나의 리튬 이온이 저장되는데, 이를 계산하면 374 mAh/g이 된다.

- 전기자동차의 주행거리를 늘리기 위해서는 많은 양의 배터리를 장착하면 되지만, 차체 무게가 증가하고 자동차 연비가 감소하기 때문에 배터리 추가 장착만으로는 주행거리를 늘리는 데 한계가 있다. 따라서 무게 및 부피당 전기 저장 용량이 큰 새로운 전극재료를 이용해 신규 배터리 개발이 필요한 상황이다.

□ 연구팀은 리튬이온 배터리의 새로운 전극 재료로써 황-금속(몰리브데늄) 화합물에 주목하고 이를 이용해 현재의 리튬이온 배터리의 양극재보다 무게당 용량이 최대 6배 향상되고(에너지밀도 3배) 충·방전 2,500회 동안 초기 성능의 90% 이상 유지할 수 있는 새로운 실시간 전기화학적 처리를 개발하였다.

○ 연구팀은 간단한 공정을 통해 제작 가능한 마이크론 크기의 물질을 이용해 나노 크기의 물질로 전환시켜 배터리의 용량 및 안정성 향상에 집중하였는데, 핵심적인 방법은 전극 활성 물질을 셀 제작 후에 실시간으로 나노 크기로 변환시킬 수 있는 “전기화학적 분쇄법(*in situ* electrochemical nano pulverization)*”이다.

*이 기술은 본 연구팀이 전 세계적으로 유일하게 자체 개발한 기술로 복잡한 추가 공정이 필요하지 않아 상용화가 매우 용이하며, 현재 특허 출원 중이다(Metal Sulfide Secondary Battery, Korea Patent Applied : 10-2017-0181620).

□ 또한 연구팀은 리튬이온 배터리의 새로운 전극 재료로써 고용량 ‘실리콘 음극’과 ‘황-금속 화합물 양극’에 주목하고, 황-금속 화합물 양극에 전기화학적 처리를 통해 ‘황-금속 화합물 양극’-‘리튬/실리콘 음극’으로 구성된 신규 고용량·고안정성 배터리를 개발하였다. 신규 배터리는 무게당 저장 용량이 약 1,150 mAh/g으로 현재 상용화된 리튬이온 배터리(150~200 mAh/g 수준)보다 약 6배 높으며, 사용 전압(1.5 ~ 2.0 V)을 고려한 에너지밀도에서는 약 3배 이상 증가함을 확인하였다.

□ 엄광섭 교수는 “이번 연구성과는 고용량·초저가인 황-금속 화합물 소재를 이용한 새로운 리튬이차전지의 성능 및 안정성을 상용에 가까운 수준으로 향상시켰다는데 가장 큰 의의가 있으며, 향후 추가적인 연구개발을 통해 전기자동차(EV)와 에너지저장 시스템(ESS)으로 상용화함으로써 이차전지 시장의 급격한 성장이 가능하길 기대한다”고 말했다.

□ GIST 신소재공학부 엄광섭 교수와 조한익 교수(건국대학교)가 공동으로 주도하고 장의진 박사과정생(GIST 신소재공학부)이 수행한 이번 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 진행됐으며, 연구 성과는 ACS (American Chemical Society)의 저명 나노과학 저널인 ACS Nano (2017인용지수: 13.7)에 12월 24일자로 온라인 게재됐다. <끝>

※ 논문 제목 : *In Situ* Self-Formed Nanosheet MoS₃/Reduced Graphene Oxide Material Showing Superior Performance as a Lithium-Ion Battery Cathode

제 1저자 : 장의진 박사과정생 (GIST 신소재공학부)

공동교신저자 : 조한익 교수 (건국대학교), 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.

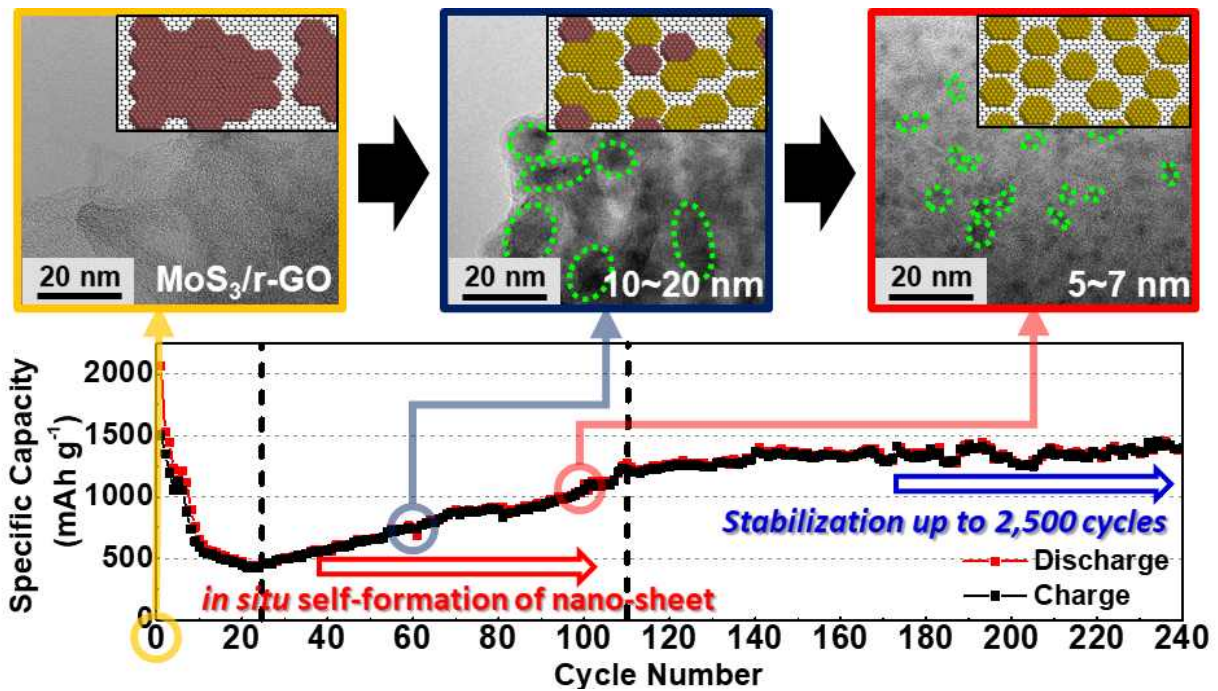
3. 리튬금속산화물 및 황 양극 전극

- LiCoO₂, Li(NiCoMn)O₂, LiMn₂O₄ 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.

4. 고체전해질계면(SEI) 층

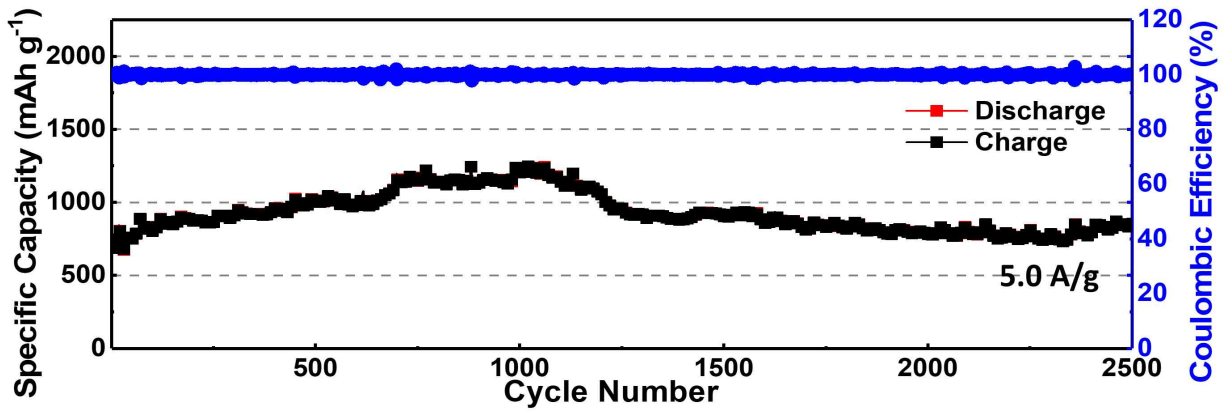
- 리튬이온전지에서 초기에 전해질과 리튬이온의 환원 반응에 의하여 음극의 표면에 자연적으로 형성되는 보호막으로, 기본적으로 전극의 부식을 막는 좋은 역할을 한다. 그러나 형성 될 때 많은 양이 형성되어 두꺼워지면 전기전도도와 리튬이온의 이온전도도가 감소하여 성능이 오히려 감소한다. 또한, 사용가능한 리튬이온의 양이 줄어들어 전체적으로 전지의 성능을 감소시킨다.

그림 설명



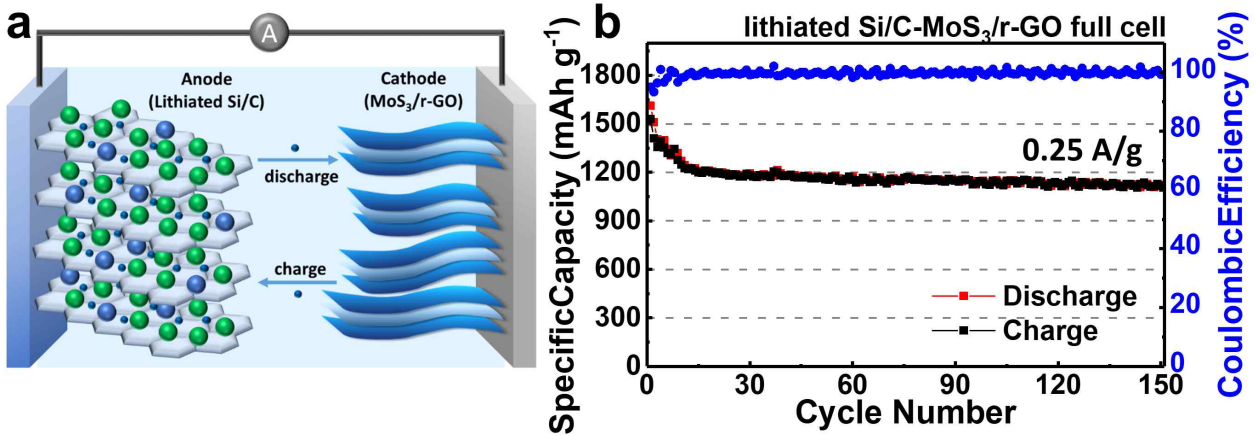
[그림 1] 황-금속 화합물 양극의 실시간 전기화학적 처리를 통한 성능 및 안정성 향상 과정. 그래프의 빨간색/검은색 데이터는 충·방전 1회당 기록된 에너지저장용량(mAh/g)을 의미하며, 충·방전 횟수에 따른 물질의 변화를 전자현미경으로 관찰하였다.

- (i) 충·방전이 진행됨에 따라 초기 20회 동안 고체전해질계면(SEI) 층 형성에 의하여 성능 감소가 있으나, 그 뒤 100회 동안 성능이 회복하여 3배 향상된 1276 mAh/g의 성능을 나타낸다. 또한 회복된 뒤 2,500회 동안 용량을 유지하며 이는 기존 리튬금속산화물 양극에 비해 6배 이상 향상된 성능을 보인다.
- (ii) 충·방전이 진행되기 전에는 마이크론 크기의 층상 형태의 형태를 가졌으며, 용량이 증가하는 부분을 전자현미경으로 관찰한 결과 충·방전을 통하여 마이크론 크기의 물질이 점차적으로 분해되어 100회 후엔 5-7 nm 크기의 입자를 가진다. 일반적으로 나노 입자는 리튬이온배터리에서 마이크론 크기의 물질에 비해 상대적으로 리튬이온의 확산 거리가 짧고 부피에 대한 표면적이 크기 때문에 뛰어난 활동적 성능을 가지며 부피 팽창에 의한 박리가 적다. 나노 크기의 입자는 제작 과정이 복잡하나 본 배터리에 사용한 실시간 전기화학 방법을 사용하면 간단한 방법으로 물질을 제작하고 추가적인 공정비용 없이 쉽게 나노 크기의 입자를 만들 수 있다.



[그림 2] 전기화학 처리를 진행한 황-금속 화합물 양극의 충·방전 횟수 당 실제 측정되는 에너지 저장 용량을 보여주는 그래프. 그래프의 빨간색/검은색 데이터는 충·방전 1회당 기록된 에너지저장용량(mAh/g)을 의미하며, 파란색 데이터는 충·방전 에너지 저장 효율을 의미하는데, 약 99.99%이다.

- (i) 실시간으로 전기화학 처리를 진행한 황-금속 화합물 양극은 2,500회의 충·방전 후에도 활물질 기준으로 약 900 mAh/g의 안정적인 용량을 보여준다. 이는 현재 사용되는 리튬 배터리의 양극인 리튬금속산화물 용량 (150~200 mAh/g 수준)의 약 4~6배 정도가 된다.
- (ii) 특히, 개발 신규 배터리는 위의 그래프와 같이 초기 1,000회 충·방전 동안에는 점차적으로 성능이 증가하는 현상을 보여준다. 1,000회 후에는 감소되는 현상을 보여주지만 2,500회 후의 성능은 최고 성능 (1,000회 충·방전 후)에 비해 성능 감소가 25%정도로 나타나며 초기 성능 (700 mAh/g)과 비교하면 감소되지 않고 유지되고 있다.
- (iii) 이때 충전 속도는 5C-rate로써 약 12분이면 완전 충전이 가능한 높은 속도 특성 또한 보인다.



[그림 3] 개발 신규 배터리 (황-금속 화합물 양극 - 리튬/실리콘 음극 풀셀)의 모식도와 충·방전 횟수 당 실제 측정되는 에너지 저장 용량을 보여주는 그래프. 그래프의 빨간색/검은색 데이터는 충·방전 1회당 기록된 에너지저장용량(mAh/g)을 의미하며, 파란색 데이터는 충·방전 에너지 저장 효율을 의미하는데, 약 99.99%이다.

- (a) 황-금속 화합물 양극과 리튬/실리콘 음극으로 구성된 신규 배터리의 모식도이다.
- (b) 신규 배터리의 충·방전 횟수 당 실제 측정되는 에너지 저장 용량을 보여주는 그래프로 양극 전극 기준으로 무게 당 약 1150 mAh/g의 용량을 보여준다. 이는 현재 리튬 배터리 용량 (150~200 mAh/g 수준)의 6배 정도가 된다. 사용 전압 (2.0~2.5 V) 를 고려할 경우, 에너지 밀도의 경우에도 약 3배 이상 향상된다.