

GIST	지스트(광주과학기술원) 보도자료	
	http://www.gist.ac.kr	
보도시점	배포 즉시 보도 부탁드립니다.	
배포일	2021.02.03.(수)	
보도자료 담당	홍보팀 조동선 팀장	062-715-2061
	홍보팀 이나영 선임행정원	062-715-2062
자료 문의	신소재공학부 엄광섭 교수	062-715-2313

지스트, 성능 월등한 리튬 금속 음극 개발

- 리튬 이온 배터리의 에너지 저장량 획기적 개선 기대

- 휴대전화부터 전기자동차에 이르기까지 배터리는 일상의 필수품이 됐다. 전자제품은 휴대성을 위해 더 작고 가벼운 제품들이 선호되며, 이에 따라 배터리의 크기도 더 작고 가벼워져야 한다. 하지만, 배터리의 무게가 줄어들고 작아질수록 저장할 수 있는 에너지는 줄어들게 된다.
 - 지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 신소재공학부 엄광섭 교수 연구팀은 기존 리튬 이온 배터리 음극보다 3배 이상 가벼운 고용량 리튬 금속 음극을 개발하여 ‘리튬 이온 배터리’의 중량과 부피를 획기적으로 줄이는데 성공했다.
 - 연구팀은 다공성 구조체의 합리적인 설계를 통해 리튬의 덴드라이트* 형태의 성장을 억제하면서도 매우 작은 무게와 부피의 다공성 구조체에 더 많은 양의 리튬을 저장할 수 있는 재료를 개발하였다.
- * 덴드라이트(Dendrite): 아연 이온이 환원되어 금속 전극 표면에 증착될 때 금속 표면 일부에서 비정상적으로 성장하는 나뭇가지 형태의 결정
- 최근 리튬 이온 배터리의 음극(음극판과 리튬이온을 저장하는 음극활물질로 구성) 재료로 흔히 사용되고 있는 흑연보다 10배 이상 용량이

높은 리튬 금속을 음극 재료로 사용하려는 연구가 진행되고 있다. 하지만, 리튬 금속을 음극으로 사용하면 배터리의 충전 과정에서 덴드라이트라는 특수한 형태로 성장한다. 이로 인해 전극의 부피가 팽창 및 수축을 반복하고, 배터리의 수명이 급격히 짧아지며, 폭발의 위험성이 야기되기도 한다.

- 이러한 문제점을 해결하기 위해 다공성 구조체 내부 기공에 리튬 금속을 저장하는 방법이 있으며, 다른 연구들과 비교하여 전극의 반복적인 부피 변화를 방지한다는 유일무이한 장점을 갖는다.
- 하지만 다공성 구조체 내부에 리튬을 저장하려는 기존의 연구에서는 에너지 저장에 직접적으로 기여하지 않는 다공성 구조체 자체의 무게와 부피가 너무 크기 때문에 배터리의 실질적인 에너지 저장량을 저하시키는 현상을 보여왔다. 또한, 다공성 구조체 내부에 이온이 전달되는 속도가 느려서 리튬의 저장이 구조체의 내부가 아닌 표면에 집중되는 문제점 또한 보고된 바 있다.

□ 연구팀은 이러한 문제점에 착안하여 리튬이 구조체 내부에 안정적으로 저장될 수 있으면서도 구조체의 무게와 부피를 획기적으로 줄일 수 있도록 기공률, 기공경, 그리고 전극의 두께나 면적을 자유롭게 제어할 수 있는 전극의 제작 방법을 고안하였다.

- 90% 이상의 기공률을 갖도록 제작한 다공성 전극은 풍부한 기공을 가지고 있어 기존 연구와 비교하여 같은 무게와 부피에 더 많은 리튬을 저장할 수 있다. 또한 나노입자로 구성된 전극은 리튬과 높은 친화성을 갖는 결정면이 표면에 풍부하게 노출되어 있고 기공경 또한 수백 나노미터로 크다. 따라서, 리튬 이온이 기공 내부로 침투하여 성장하기 쉽고, 다공성 구조체의 내부에 리튬을 성공적으로 저장할 수 있었다.
- 연구팀은 다공성 구조체를 리튬코발트산화물 양극과 결합하여 455 W h kg⁻¹의 중량당 에너지 저장량과 904 W h kg⁻¹의 부피당 에너지 저장

량을 갖는 리튬이온배터리를 구현하였고, 이는 기존 리튬이온배터리의 약 1.5배에 달하는 성능이다.

- 엄광섭 교수는 “이번 연구 성과는 리튬 금속을 음극의 기초적인 전극 설계 방법 및 재료 설계 방법을 확립함으로써 배터리의 실질적인 에너지 저장량을 향상시킬 수 있는 기술을 확보한 것이다” 면서, “후속 연구를 통해 여러 종류의 양극 재료에 적용하는 연구를 진행하여 배터리의 고질적인 문제였던 낮은 에너지 저장량을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 기대된다” 고 말했다.
- 지스트 신소재공학부 엄광섭 교수가 지도하고 송하용 박사과정생이 수행한 이번 연구는 한국연구재단 기본과제 및 현대자동차 NGV 과제의 지원을 받아 진행되었으며, 연구 성과는 첨단 소재 분야의 세계적인 학술지인 ‘에너지 스토리지 머티리얼즈’ (Energy Storage Materials)에 2021년 1월 18일자로 온라인 게재됐다. <끝>

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Energy Storage Materials
- 논문명 : Realizing superior energy in a full-cell LIB employing a Li-metal anode via the rational design of a Cu-scaffold host structure with an extremely high porosity
- 저자 정보 : 송하용 박사과정 (제1저자, 지스트), 엄광섭 교수 (교신저자, 지스트)

용어 설명

1. 리튬 금속 음극의 문제점

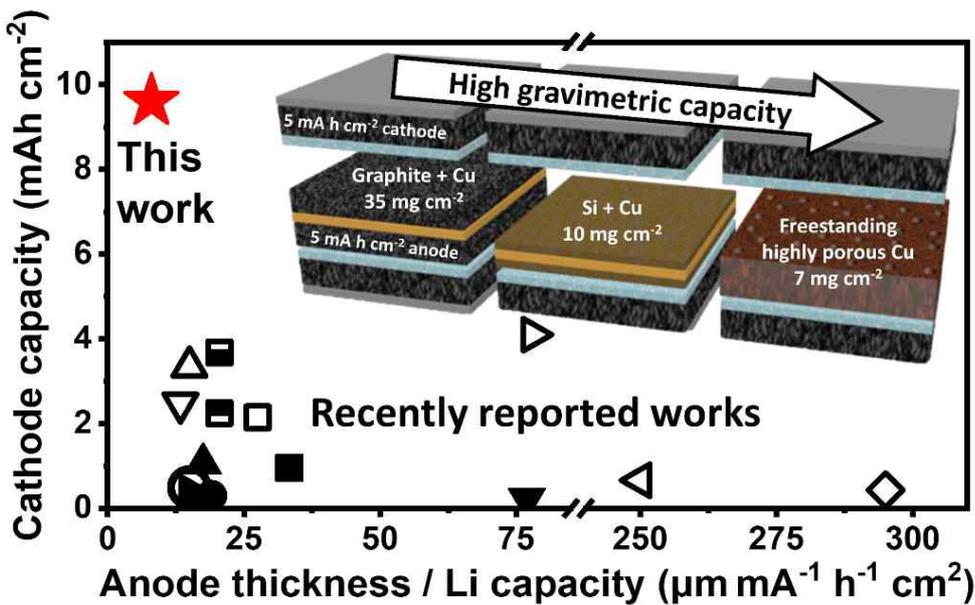
- 리튬 금속 음극은 기존 흑연 음극과 비교하여, 배터리의 출력 전압을 높일 수 있으며, 중량당 에너지 저장량 또한 약 10배 가량 높아, 이론상 가장 높은 에너지 저장량을 실현할 수 있는 음극 재료이며, 실제로 초기의 배터리는 리튬 금속 음극을 채택하여 배터리를 제작하였다. 하지만, 리튬의 독특한 덴드라이트 형태의 전착(electrodeposition) 거동 때문에, 배터리의 충전 과정에서 리튬 금속이 긴 수지 형태로 성장하고, 이는 전극의 부피 심각한 변화를 야기하며 배터리의 수명을 단축시키는 주된 원인이다. 또한 덴드라이트 형태로 성장한 리튬 금속은 배터리의 단락을 야기하기도 하며, 심각한 경우 폭발의 위험성이 있기 때문에 사용이 중단되었다.

2. 기존 다공성 구조체를 사용하는 리튬 금속 음극과 그 문제점

- 다공성 구조체를 이용하여 리튬 금속을 저장하려는 시도는 다음과 같은 장점을 갖는다. (1) 다공성 구조체의 넓은 표면적 덕분에 전류 밀도가 분산되어 리튬의 핵생성량이 많아지는 점, (2) 내부 기공에서 리튬이 성장함으로써 성장한 리튬이 반대쪽 전극에 도달하지 못하여 단락을 야기하지 않는 점, (3) 내부 기공에서 리튬이 성장함으로써 전극의 부피가 다공성 구조체의 부피 이상 성장하지 않는다는 점 등이 있다.

- 문제점으로는 (1) 다공성 구조체는 에너지 저장에 직접적으로 기여하지 않는 서포트 물질로서 다공성 구조체의 무게가 무거울수록, 부피가 클수록 배터리의 에너지 저장량이 줄어든다는 점, (2) 다공성 구조체 내부에 리튬 이온의 공급이 원활하지 못하면 리튬 금속의 성장이 구조체 표면에서 이루어지며 다공성 구조체가 역할을 하지 못한다는 점, (3) 다공성 구조체의 저항이 높으면 출력 전압이 낮아진다는 점 등이 있다.

그림 설명



[그림] 다공성 구조체를 이용한 리튬 금속 음극과 이를 이용한 리튬 이온 이차 전지 및 기존 연구와의 차별성 비교

모식도는 집전체, 양극, 분리막, 음극으로 이루어진 배터리의 구성요소를 나타낸다. 개발한 다공성 구리 구조체는 전도성을 갖기 때문에 무거운 집전체를 추가로 사용할 필요가 없으며, 높은 기공률 덕분에 적은 무게로 많은 양의 리튬을 저장할 수 있다. 이는 차세대 음극 재료로서 각광받던 실리콘의 이론상 한계 용량보다 높은 용량을 갖을 수 있다는 것을 뜻하며, 기존 흑연 음극보다 5배까지 가벼운 음극을 만들 수 있다는 것을 뜻한다. 본 연구 결과는 기존 연구들과 비교하여 동일한 양을 저장하는데 필요한 전극의 두께를 2배 이상 줄였으며, 양극 또한 면적당 용량이 5 mA h cm⁻²으로 높은 양극을 채택하여 실제 상용화되고 배터리와 동일한 수준의 환경에서 테스트한 결과이다.