

GIST, 삼차원 집적구조 도입해

성능과 안정성 높은 무음극 리튬금속배터리 개발

- 신소재공학부 엄광섭·정건영 공동연구팀, 기존 리튬이온전지 활용하면서 리튬의 수지상 성장 제한하면서도 저장 효율 높여 에너지밀도 2배 이상 증가 및 약 190회 충·방전 중 안정성 확인
- 차세대 리튬금속전지 개발 관건 해결해 초고에너지밀도 무음극 리튬배터리의 연구 기틀 마련 ... 최상위 국제학술지 'Energy & Environmental Science' 게재



▲ (왼쪽부터) 엄광섭 교수, 정건영 교수, 조기엽 박사, 조성준 박사

글로벌 기후변화 위기에 대응하기 위해 **재생에너지 정책에 대한 관심이 증가하는** 가운데 재생에너지의 변동성에 효과적으로 대응하기 위한 **고에너지 밀도의 차세대 이차전지 개발에도 관심이 높아지고 있다.**

광주과학기술원(GIST, 총장 임기철)은 신소재공학부 엄광섭 교수와 정건영 교수 공동연구팀이 **삼차원 집적구조***를 리튬 금속의 담지체로 활용해 리튬을 안정적으로 저장함으로써 리튬금속전지의 **내구성과 안정성을 증대시키는 기술을 개발했다고 밝혔다.**

* **삼차원 집적구조(3D-integrated architecture):** 서로 다른 성질을 갖는 소재를 적층하여 제작한 삼차원 리튬 담지체.

현재 광범위하게 사용되고 있는 리튬이온전지는 음극재로 흑연을 활용하고 있는데 이를 리튬 금속 음극으로 대체하면 기존 리튬이온전지 시스템을 활용하면서도 **에너지밀도***를 약 2배 이상 증가시킬 수 있다.

그러나 낮은 **충·방전 효율, 부피팽창 및 전지의 폭발 위험성에 따른 리튬 금속 음극의 불안정한 반응성과 수지상 결정의 성장***은 리튬금속전지*의 상용화에 걸림돌이 되고 있다.

* **에너지밀도(energy density):** 전지가 저장할 수 있는 에너지의 총량. 일반적으로 전지의 부피당 (Wh/L) 혹은 무게당(Wh/kg)으로 표시.

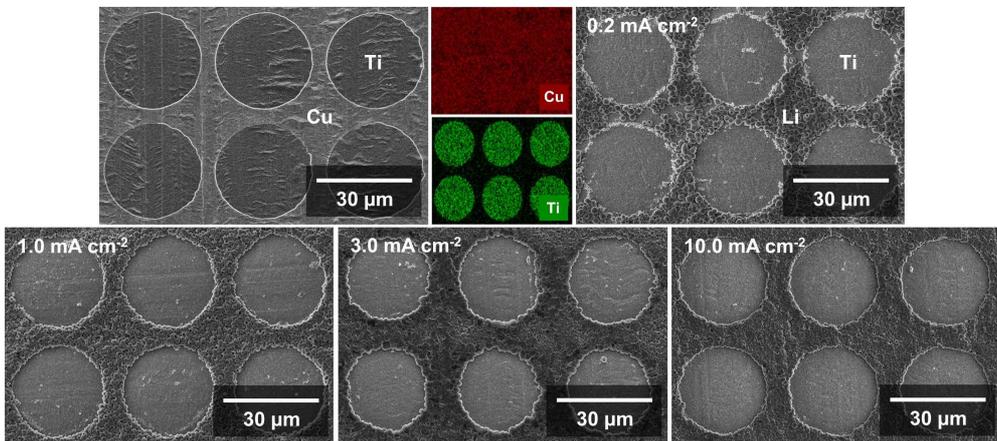
* **리튬 수지상 결정(Li-dendrite):** 전지 충·방전 과정에서 리튬 금속이 음극 표면에 불균일하고 뾰족한 형상으로 성장하는 현상.

* 리튬금속전지(lithium metal battery): 현 리튬이온전지 시스템에서 리튬 금속을 음극재로 활용하는 전지.

최근 삼차원 리튬 담지체*를 활용해 그 내부에 리튬 금속을 저장하여 상기 리튬 금속 음극의 기술적 한계를 극복하려는 노력이 산업적·학술적으로 많은 주목을 받고 있으나 담지체 표면에 리튬이 석출되어 리튬 금속의 안정적인 저장이 어렵다는 문제가 지적되어 왔다.

* 삼차원 리튬 담지체(3D-structured host): 배터리 내부 전극의 전류 공급의 기능을 위해 제공되는 2차원 평면의 집전체를 내부 부피를 갖도록 3차원으로 설계한 전지부품.

연구팀은 리튬 금속과 소재 내부 결정구조의 불일치성 정도에 따라 이종 금속의 리튬 친화도가 달라지며 이에 따라 리튬 금속의 석출 위치를 조절할 수 있다는 사실에 주목했다.



▲ 석출 위치가 조절된 리튬 금속의 전자현미경 사진. 리튬(Li)과의 결정학적 불일치가 큰 티타늄(Ti) 표면에는 리튬 금속이 석출되지 않고 불일치가 상대적으로 작은 구리(Cu) 표면에서만 리튬이 석출됨. 리튬의 석출 위치는 고 전류밀도에서도 높은 선택성을 가짐.

상용 구리 박막 표면에 리튬 금속과의 결정학적 불일치가 큰 티타늄(Ti) 패턴을 형성하여 리튬 석출의 위치 선택성을 확인하였으며, 고전류 밀도에서도 높은 선택성으로 리튬의 석출 위치를 조절할 수 있음을 증명했다.

연구팀은 또한 삼차원 리튬 담지체의 낮은 리튬 저장 효율을 개선하기 위해 삼차원 집적구조를 고안했다. 집적구조 설계에 웨트-에칭(wet-etching)* 방식을 도입해 집적구조의 제작 단계를 간소화하였으며, 특히 에칭 반응의 부산물인 구리염화물을 활용하여 담지체 내부의 리튬친화도를 높이는 방식으로 리튬의 수지상 성장을 제한하면서도 리튬의 저장 효율을 높일 수 있는 접근법을 개발하였다.

* 웨트-에칭(wet-etching): 특정 용액(etchant)에 대한 소재의 반응성 차이를 이용하여 패턴을 만드는 선택적 식각법.

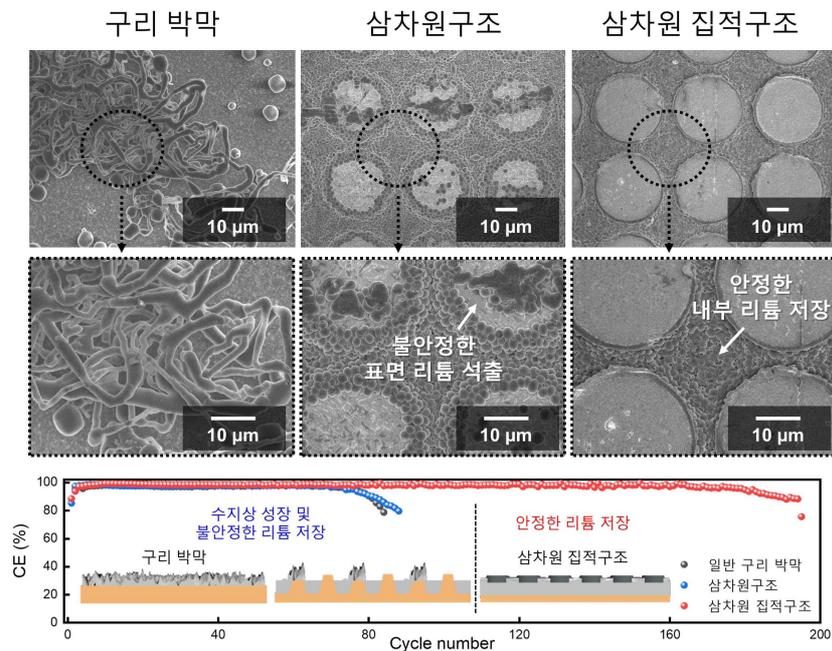
연구팀은 일반적인 삼차원 담지체를 사용했을 때보다 삼차원 집적구조를 도입한 경우에 리튬 금속 음극의 사이클 수명이 약 2배 이상 증가하는 것을 확인했다.

상용 구리 박막 및 일반적인 삼차원 담지체는 약 80회의 충·방전 사이클 이후에서 단락*이 일어났지만, 개발된 삼차원 집적구조는 약 190회 동안 안정적인 성능을 보였다.

* 단락(short-circuit): 전위차를 갖는 두 부분이 전기적으로 접촉되는 현상. 접점에서 과량의 전류가 흐르게 되어 발열로 인한 화재나 폭발이 일어나기도 함.

또한, 가장 고도화된 차세대전지 시스템으로 평가받는 무음극 리튬금속전지*의 성능 및 안정성을 크게 개선하여 삼차원 집적구조의 우수성을 증명하였다.

* 무음극 리튬금속전지(anode-free lithium metal batteries): 음극재를 사용하지 않고 양극재에 저장된 리튬만을 활용하여 구동하는 전지(용어설명 참고).



▲ 구리 박막, 일반적 삼차원구조 및 삼차원 집적구조의 리튬 저장 거동 비교. (상) 리튬 석출 반응 후의 전자현미경 사진, (하) 리튬 금속 음극의 사이클 성능 비교.

엄광섭 교수는 "이번 연구 성과는 차세대 리튬금속전지 개발에 있어서 가장 문제가 되어 왔던 리튬 수지상 형성을 억제하고, 또한 리튬 전착 거동을 소재를 통해 조절 가능하다는 것을 확인했다"며 "향후 초고에너지밀도 무음극 리튬배터리의 연구의 기틀을 마련했다는 데 의의가 있다"고 설명했다.

GIST 신소재공학부 엄광섭 교수와 정건영 교수가 지도하고, 조기엽 박사와 조성준 박사가 주도한 이번 연구는 한국연구재단 중견연구자 지원사업 및 GIST 차세대에너지연구소의 지원을 받아 수행되었으며, 연구 결과는 에너지·환경과학 분야 최상위 국제학술지 '에너지 및 환경과학(Energy & Environmental Science)'(IF=32.5, JCR 상위 0.5%)에 최근 게재되었다.

논문의 주요 정보

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Energy & Environmental Science (IF=32.5)
- 논문명 : Metal shields with crystallographic discrepancies incorporated into integrated architectures for stable lithium metal batteries
 - ※ DOI: <https://doi.org/10.1039/D3EE02372A>
- 저자 정보 : GIST 조기엽 박사(공동제1저자), GIST 조성준 박사(공동제1저자), GIST 정건영 교수(공동교신저자), GIST 엄광섭 교수(공동교신저자)