

전기차 배터리 수명 늘릴 '실리콘 음극' 후공정 개발

- 기존 수명 대비 약 7배 향상, 150회 충·방전 동안 93%의 용량 유지
- 고에너지 밀도의 음극 전지 상용화 시, 전기차 주행거리 개선 기대



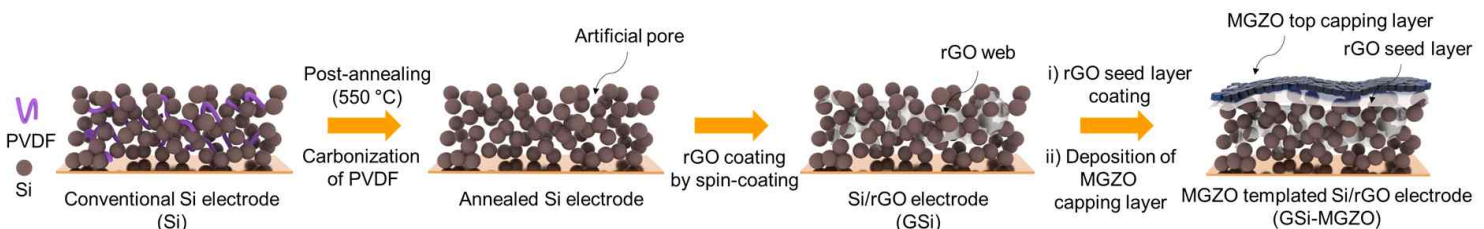
▲ (왼쪽부터) 지스트 김형진 교수, 한국에너지기술연구소 우중제 박사·김지훈 박사

전기차 배터리에 활용될 차세대 소재로 주목받는 실리콘 음극의 안정성을 기존 수명 대비 약 7배 향상할 수 있는 기술이 지스트 연구진에 의해 개발됐다.

지스트(광주과학기술원, 총장 김기선) 에너지융합대학원 김형진 교수 연구팀은 한국 에너지기술연구원과의 공동 연구에서 그래핀 산화물과 금속 산화물을 완성된 실리콘 음극에 적용하여 안정성을 크게 개선할 수 있는 후공정을 개발하였다.

* **실리콘 음극:** 단위 무게당 이론용량이 최대 4,200 mAh/g에 달해 기존 흑연 상용 음극 대비 10배가 넘는 이론용량을 갖는 차세대 음극이다.

연구팀이 개발한 후공정(post-electrode-engineering)은 150회 충·방전 동안 93%의 용량을 유지시킬 수 있어 전기차의 주행거리를 크게 늘릴 수 있을 것으로 기대된다.



▲ **실리콘 전극에 적용한 후공정 프로세스.** 열처리를 통해 다공성의 전극을 확보하고 그래핀 산화물과 금속 산화물의 이중 처리를 통해 전극의 안정성을 높일 수 있다.

현재 전기차의 주행거리 향상을 위해 리튬 배터리의 음극재로 흑연이 사용되고 있다. 이론적으로 실리콘 음극은 기존의 흑연 음극보다 동일한 부피에서 최대 10배 더 많은 전기를 저장할 수 있어 고에너지 밀도 배터리 개발을 실현할 차세대 음극으로 평가받고 있다.

하지만 배터리 충전 시 실리콘 음극은 약 4배가량 팽창하는 단점이 있고, 팽창한 음극이 방전 시 다시 수축되긴 하지만 이전과 같은 형태로 돌아오진 않는다. 이는 배터리의 안정성에 위협이 되고 많은 시간과 비용을 투자해야만 안정성을 확보할 수 있어 상용화에 걸림돌이 되고 있다.

연구팀은 이러한 실리콘의 불안정성을 해결하고자 열처리를 통해 다공성의 특징을 띠게 한 실리콘 음극 상에 그래핀 산화물(graphene oxide)*을 용액 공정으로 도포하고 진공 증착법을 통해 금속 산화물** 박막을 코팅했다.

* **그래핀 산화물:** 탄소 원자가 육각형 벌집 모양으로 결합한 구조가 평면상에 반복되는 소재로 기계적 강도가 좋고 전류 전도 특성이 우수해 미래의 전자 소재로 연구되고 있다.

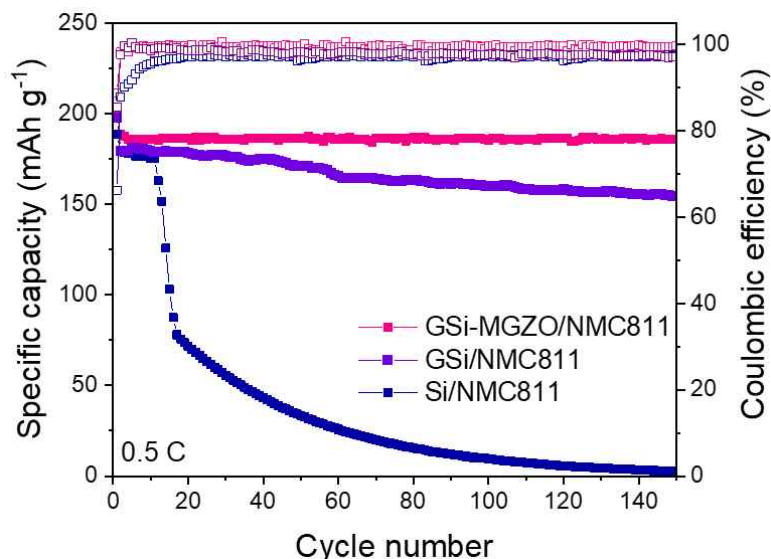
** **금속 산화물:** 금속 원자와 산소원자가 결합한 형태의 화합물로서 얇은 박막으로 형성할 수 있으며 안정한 특성으로 인해 코팅재료로 산업에 많이 활용되고 있다.

그래핀 산화물은 충·방전 과정 중에서 실리콘 입자와 응집되면서 전자 전도를 향상시키는 다리 역할을 수행하는 한편, 실리콘 입자의 부피 팽창을 억제하는 완충제 역할을 한다.

여기에 전해질과의 부반응과 전극의 구조적 안정성을 확보하기 위해 안정한 특성의 금속 산화물 박막을 전극에 증착하여 높은 안정성을 확보했다.

후공정을 통해 연구팀이 개발한 실리콘 전극은 기존 실리콘 전극 수명의 7배에 해당하는 150회 충·방전 시험에 성공했고, 기존 실리콘 전극이 20회 동작에서 37%의 저조한 용량 유지율(150회, 1.3%)을 보인 반면에 이번 연구를 통해 개발한 전극은 150회 동작에서도 93%를 달성했다.

1시간 내 충전을 위해 고전류를 이용하는 충·방전 속도 평가에서 기존 실리콘 전극이 고전류 환경에서 정상 작동하지 않은 반면, 이번 연구를 통해 개발한 실리콘 전극은 원래 용량의 85%를 충전할 수 있었다.



▲ 온전지 충·방전 시험 결과. 후공정을 통해 제작한 실리콘 음극에서 가장 우수한 동작 안정성을 확인할 수 있다.

또한 이번 연구는 그래핀 산화물이 충·방전 과정에서 실리콘 입자와 전기화학적 응집을 통해 실리콘-탄소 복합체를 자연적으로 형성하여 실리콘의 안정성 개선에 기여하는 현상을 처음으로 규명하였다.

김형진 교수는 “이번 연구는 후공정을 통해 부피 팽창에 취약한 음극의 안정성을 개선하는 선례를 제시했다는 데 가장 큰 의의가 있다”며 “향후 고에너지 밀도의 음극 상용화를 앞당길 수 있는 새로운 공정의 개발에 기여할 것으로 기대된다”고 말했다.

지스트 김형진 교수와 한국에너지기술연구원 우중제 박사가 주도하고 김지훈 박사가 참여한 이번 연구는 지스트 내 연구조직인 ‘지스트 연구원(GRI)’ 및 한국에너지기술연구원 사업의 지원을 받아 수행되었으며, 연구 결과는 에너지 및 연료 분야 상위권 (7%)의 국제 저명 학술지인 ‘Journal of Materials Chemistry A’의 최신호(3월 21일) 온라인판에 게재되었다.

논문의 주요 내용

1. 논문명, 저자정보

- 저널명 : Journal of Materials Chemistry A (Impact factor: 12.732, 2020년 기준)
- 논문명 : Viable post-electrode-engineering for the complete integrity of large-volume-change lithium-ion battery anodes
- 저자 정보 : 김지훈 (제1저자, 한국에너지기술연구원), 마지영 (공동저자, 한국에너지기술연구원), 윤호철 (공동저자, 지스트), 서석호 (공동저자, 지스트), 박형훈 (공동저자, 지스트), 김진혁 (공동저자, 전남대학교), 박준수 (공동저자, 국방과학연구소), 우중제 (공동 교신저자, 한국에너지기술연구원), 김형진 교수 (공동 교신저자, 지스트)

용어 설명

1. 실리콘 음극

- 단위 무게당 이론용량이 최대 4,200 mAh/g에 달해 기존 흑연 상용 음극 대비 10배가 넘는 이론용량을 갖는 차세대 음극이다.

2. 그래핀 산화물

- 탄소 원자가 육각형 벌집 모양으로 결합한 구조가 평면상에 반복 되는 소재로 기계적 강도가 좋고 전류 전도 특성이 우수해 미래의 전자 소재로 연구되고 있다.

3. 금속 산화물

- 금속 원자와 산소원자가 결합한 형태의 화합물로서 얇은 박막으로 형성할 수 있으며 안정한 특성으로 인해 코팅재료로 산업에 많이 활용되고 있다.