

# 서강대학교 나노구조재료 연구실

## (Nanostructured Materials Laboratory, Sogang University)

문준혁

서강대학교 화공생명공학과  
junhyuk@sogang.ac.kr

서강대학교 화공생명공학과 나노구조소재 연구실은 고분자 패턴/입자를 이용하여 탄소나노소재를 제작하는 연구를 수행하고 있다. 고분자 소재는 나노입자, 나노다공성재료, 나노패턴 등 다양한 다양한 모폴로지를 갖는 나노소재의 제작이 가능하다. 이러한 고분자 나노소재를 탄화하면, 다양한 구조의 탄소나노소재를 용이하게 얻을 수 있다. 나아가, 본 연구팀은 제작한 탄소나노소재를 이용하여 슈퍼캐패시터와 리튬전지와 같은 차세대 에너지저장소자

의 성능을 향상시키는 연구를 수행하고 있다.

### 1) 3차원 고분자 패턴의 직접 탄화

본 연구팀은 광간섭 리소그래피를 이용하여 다양한 결정구조를 갖는 3차원 고분자 패턴을 제조하고, 얻어진 고분자 패턴을 직접 탄화에 의해 탄소화시킨다. 특히, 본 연구팀은 탄화 과정에 수반되는 고분자 패턴 변형을 최소화하기 위해, 패턴의 표면 에너

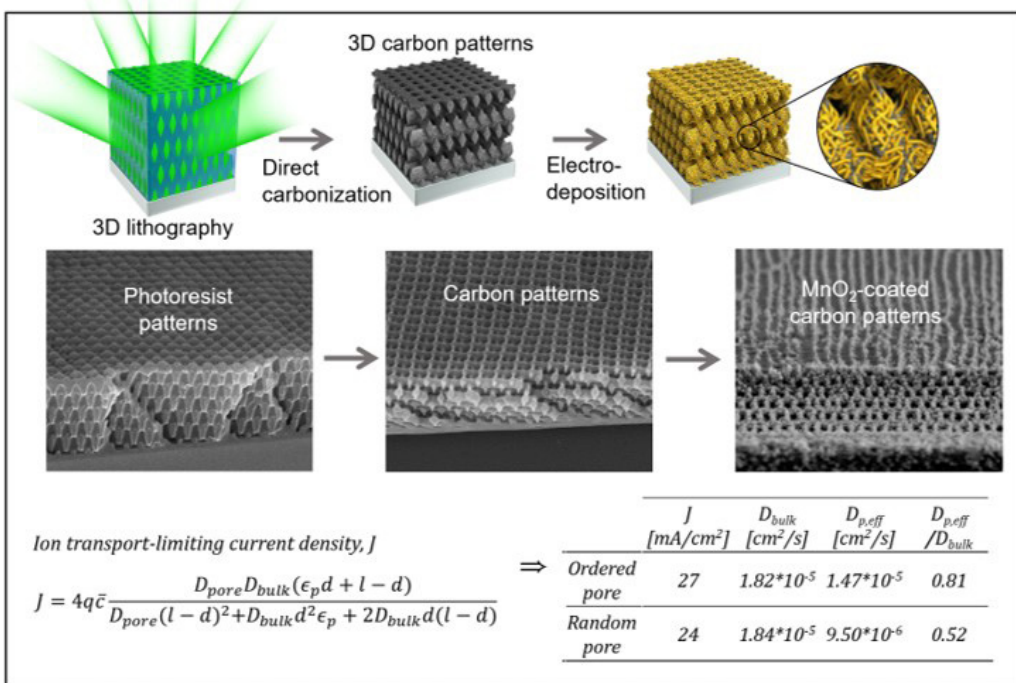


그림 1. (상) 포토리지스트 패턴의 직접 탄화에 의한 탄소패턴의 제작, 탄소패턴표면에 전기화학촉매의 코팅 (하) 네트워크 형 기공에서 전해질 이온의 향상된 이동도 측정 (J. Phys. Chem. C 2017).

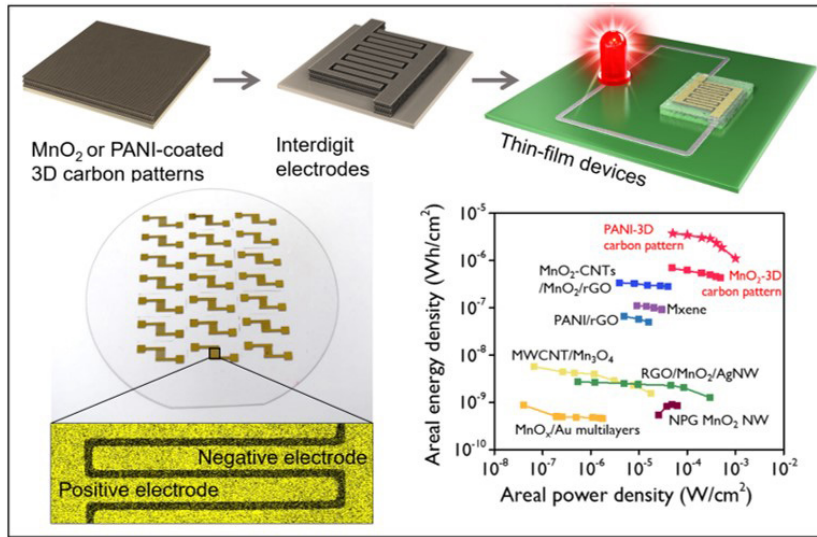


그림 2. (상) 반도체 공정을 이용한 in-plane 전극구조의 제작 및 박막 소자로의 응용 (Nano Energy 2018) (하) 제작된 전극과 이 전극에 서의 슈퍼캐패시터 에너지 저장 특성 비교.

지를 최소화할 수 있도록 액상환경에서 가교를 진행하는 기술('liquid immersion crosslinking')을 개발하였다. 액상 가교기술에 의해 고분자 패턴의 변형을 최소화하면서도 탄소로의 전환율을 크게 향상시킬 수 있다. 3차원 탄소패턴은 일체화된 탄소구조로, 패턴이 가지고 있는 균일한 기공은 전해액 내의 이온의 효과적 통로역할을 할 수 있다. (그림 1) 나아가 3차원 탄소패턴 표면에 electrodeposition을 통해 다양한

전기화학 촉매를 코팅함으로써, 에너지 저장 소재를 제조할 수 있다. (그림 1)

본 연구팀은 최근 3차원 탄소패턴의 표면에 박막의 전기화학촉매를 코팅하고, 이를 in-plane 전극 구조화하여 박막슈퍼캐패시터에 적용하였다. 이 소자는 탄소패턴 전극내에서 빠른 이온이동을 통해 탁월한 율속 특성을 나타내며, 결과적으로 높은 출력 밀도와 에너지 밀도를 동시에 나타낸다. (그림 2)

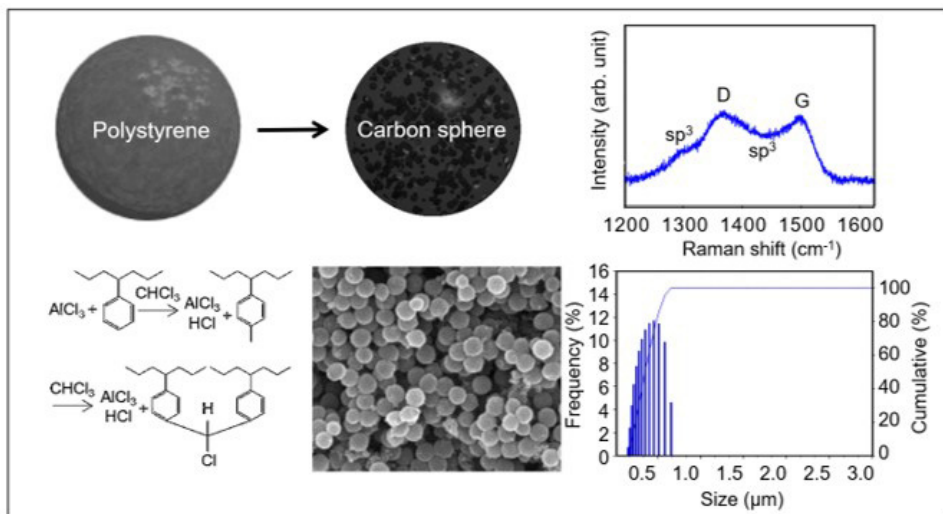


그림 3. (좌) 고분자 입자를 이용한 탄소 나노입자의 제작 (우) 탄소 입자의 라만 스펙트럼 및 크기 분산도.

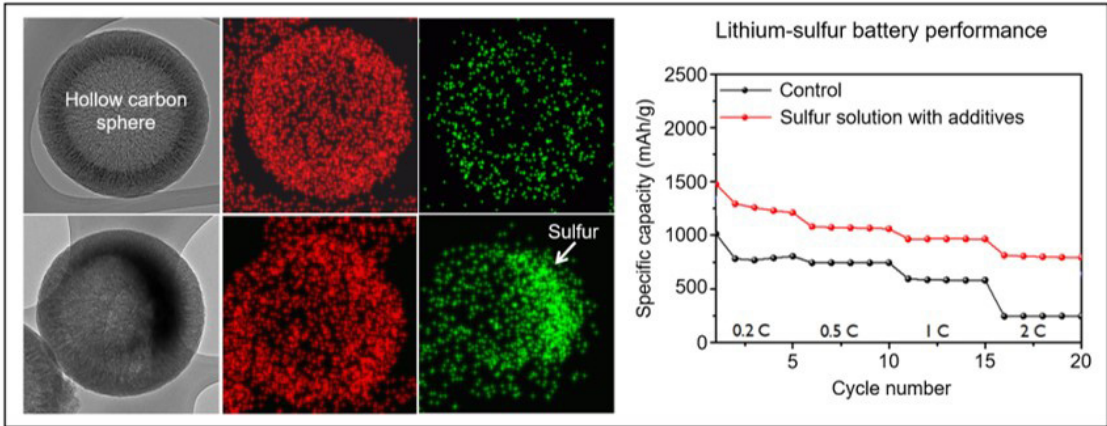


그림 4. (좌) 내부가 비어 있는 탄소입자 및 내부에 황을 담지한 탄소입자의 전자현미경 사진 (우) 황-탄소입자의 리튬-황 전지 특성 (Proc. Nat. Acad. Sci. 2020).

## 2) 구형 고분자 콜로이드 입자를 이용한 탄소소재의 제작

본 연구팀은 폴리스티렌 또는 고분자 공중합체를 이용하여 콜로이드 입자를 제작하고, 이를 가교하여 구형의 탄소나노입자를 얻는다. 이 방법은 수백-수 마이크로 미터 크기 및 단분산 크기 분포의 구형 탄소입자를 쉽게 제작할 수 있다. (그림 3) 나아가, 전기전도도 향상, 전기화학적 기능화를 위해 질소 또는 보론 도핑 및 다양한 화학적 활성화를 통해 마이크로 기공을 형성시킨다. 이러한 마이크로 기공을 갖는 탄소소재는 전기화학소자에 응용이 가능하다.

본 연구팀은 복합소재 콜로이드 입자를 통해 내부가 비어 있고 마이크로 기공의 껍질을 갖고 있는

구형 탄소 입자를 제작하고 이를 차세대 리튬-황 전지에 적용했다. (그림 4) 이 연구에서는 탄소입자의 내부에 황물질 황을 담지했다. 황의 담지를 용이하게 하기 위해 황을 녹인 용액의 계면에너지를 제어했다. 이와 같은 황의 완전한 캡슐화는 충방전 반응 과정에서 황의 유출을 억제하여, 결과적으로 높은 충방전 속도에도 높은 용량의 유지를 나타냈다.

고분자-유래의 탄소재료는 고분자의 모폴로지 제어가 용이하기 때문에, 기존 에너지소자의 전극재료가 갖고 있는 한계점을 극복할 수 있을 것이다. 현재, 본 연구팀은 탄소재료의 나노구조화 뿐만 아니라 빠른 전기화학반응이 가능한 고효성 촉매 기능성 도입에 대해서도 활발히 연구하고 있다.