

## (재)하이브리드인터페이스기반 미래소채연구단

## ■ (재)하이브리드 인터페이스 기반 미래소재연구단 소개

연구단명 (재)하이브리드 인터페이스 기반 미래소재 연구단

연구단장 김광호 교수 (부산대학교)

설 립 일 2013년 11월 26일 사 업 명 글로벌프런티어사업

주관부처 과학기술정보통신부

참여기관 부산대학교, 서울대학교, KAIST, 연세대학교, 고려대학교,

한양대학교, 포항공과대학교, 성균관대학교, 부경대학교, 영남 대학교, 강원대학교, 가천대학교, 한국해양대학교, 제주대학교, 전남대학교, GIST, 재료연구소, 한국화학연구원, 한국세라믹

기술원 (16개 대학, 3개 국책연구소)

### □ 연구 추진 배경

- 급변하는 미래 산업 변화에 대처하고 대한민국의 지속적인 성장동력 확보를 위한, 세계 최고 수준의 소재기술 개발의 필요성 증대
- 첨단 소재로 현재 거론되고 있는 나노 소재는 표면 원자의 활성화로 기존 소재와 특이한 성질을 보이지만 다른 복합기능들을 동시에 구현 하기 어렵고 볼륨이 작아 산업적인 응용에 여러 제약이 있는 상황
- 나노 소재의 한계를 극복하며, 새로운 기능이 복합화될 수 있는 미래 소재 창출로 원천기술 개발을 확보하고 First Mover형 혁신 소재 기술 및 IP 창출 필요

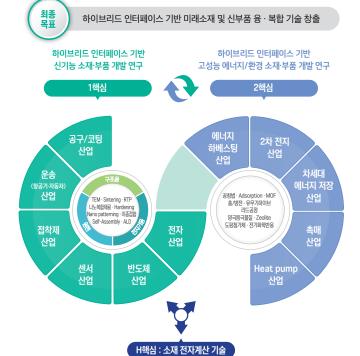
## □ 기대효과



## □ 연구 목표 및 내용

미래 혁신 제품을 개발할 수 있는

## 46 세계 1등 원천기술 확보 99



## □ 연구 성과



















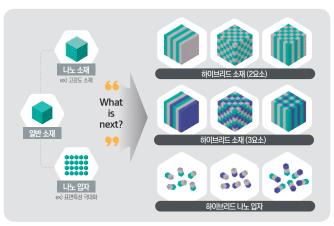


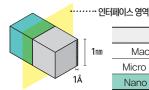
>> 이외 50여 개 기술 개발 진행중

## ■ Hybrid Interface Materials: HIM이란?

하이브리드 인터페이스 기반 미래소재

- 서로 다른 이종 물질 혹은 이종 스케일 간의 하이브리드 연결 기술을
   통해 새로운 성능이 부여된 소재
- 전자, 원자, 분자, 구조적 수준의 연결 기술과 인터페이스 물질 및 볼륨의 설계—창제—평기를 통하여 다양한 고기능, 융복합 기능, 과거에 없었던 새로운 기능을 창출





Grain size	S/V ratio(%)
Macro scale (10 $\mu$ m $\sim$ )	≦ 0.006
Micro scale (0.1 $\mu$ m $\sim$ 10 $\mu$ m)	0.6 - 0.006
Nano scale (1nm $\sim$ 0.1 $\mu$ m)	60 - 0.6

[Nano 스케일] Nano 스케일일 때 인터페이스 영역이 전체 면적의 최대 60%를 차지함

서로 다른 이종 물질 혹은 이종 소재가 만나는 경계면을 인터페이스 영역이라고 합니다. 하이브리드 인터페이스 영역에서는 기존에 없던 새로운 물리화학적 특성이 나타나고 이를 제어하게 되면 소재의 특성을 크게 향상시킬 수 있습니다.

## 미래소재연구단 유망기술 LIST

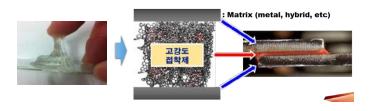
연구 기술명		연구책임자
하이브리드 이종소재 접합용 고강도 구조용 접착제	01	부산대학교 <b>최영선</b>
하이브리드 인터페이스 제어를 통한 초고성능 알루미늄합금 제조기술	02	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 재료연구소 <b>한승전</b>
Li-Battery용 세계 최고성능의 하이브리드 인터페이스 양극 소재	03	한양대학교 <b>선양국</b>
차세대 탄소기반 에너지저장소재 및 제조공정 기술	04	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 한국해양대학교 <b>강 준</b>
차세대 하이브리드 에너지저장 디바이스	05	한국과학기술원 <b>강정구</b>
극미세 표유 자기장 에너지 하베스팅용 자기-전기 복합체 기술	06	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 재료연구소 <b>류정호</b>
하이브리드 유무기 소재 복합계면 물성 평가 기술	07	연세대학교 <b>한병찬</b> / 한국과학기술원 <b>김용훈</b>
2D 하이브리드 소재 포토디텍터의 IR 반응 최적화 기술	08	광주과학기술원 <b>이병훈</b>
3D 집적이 가능한 Roll type 2D 정보소재 공정 기술	09	광주과학기술원 <b>이병훈</b>
고효율 블록공중합체 자기조립 2D 기술	10	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 한국과학기술원 <b>김상욱</b>
웨어러블 디바이스용 초저저항 유연투명전극 제조 기술	11	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 한국과학기술원 <b>정연식</b>
인터페이스 최적화 리튬—황 전지용 하이브리드 소재	12	한양대학교 <b>선양국</b>
전기화학공정을 이용한 고성능 복합열전소재 제작 기술	13	재료연구소 <b>임재홍</b>
제1원리 전산소재기술에 의한 빅데이터 구축 및 다성분계 이종계면구조 예측 기술	14	연세대학교 <b>한병찬</b>
재료 원자구조 시각화 가상현실 소프트웨어 개발	15	연세대학교 <b>한병찬</b> / 한국과학기술원 <b>김용훈</b>
차세대 수처리 전극용 대면적 BDD, DLC 코팅 기술	16	미래소재연구단 <b>김광호</b>
탄소코팅막 제조장비 내 실험적 측정온도 전산해석 기술		미래소재연구단 <b>김광호</b> / 제주대학교 <b>최수석</b>
고성능 슈퍼커패시터용 전극재 나노구조화 설계 및 합성 기술	18	미래소재연구단 <b>김광호</b>
원자층증착법에 의한 나노인터페이스 층이 삽입된 고신뢰성 경질코팅막 제조 기술	19	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 부산대학교 <b>권세훈</b>
저온 재생 MOF 수분흡착제 및 에너지 절약형 흡착식 냉난방 기술	20	한국화학연구원 <b>장종산</b>
고효율 나노세공물질의 접합소재 합성과 촉매응용 기술	21	한국화학연구원 <b>장종산</b> / 전남대학교 <b>조성준</b>
전기화학공정을 이용한 고방열기판 전극형성 기술	22	재료연구소 <b>임재홍</b>
자기구조 해석을 위한 실시간 전자현미경 홀더 시스템	23	포항공과대학교 <b>최시영</b>
인공지능 기반 소재물성 분석 인프라 구축	24	포항공과대학교 <b>최시영</b>
전산모사기술을 통한 고강도/전도성 혁신적 구리소재 설계 기술	25	연세대학교 <b>한병찬</b>
액상 Na 내부식성 및 기계적 성질이 우수한 삽입금속 및 접합기술	26	부산대학교 <b>최영선</b> / 부산대학교 <b>강정윤</b>
유·무기 하이브리드 나노입자 기반 고인성 고분자 복합재료 ·····	27	부산대학교 <b>최영선</b> / 고려대학교 <b>방준하</b>
이차원 하이브리드 나노구조체 기반 광대역 고감도 광센서	28	광주과학기술원 <b>이병훈</b> / 성균관대학교 <b>이성주</b>
화학기상증착법을 이용한 저온 그래핀 합성 공정 기술	29	광주과학기술원 <b>이병훈</b> / 광주과학기술원 <b>함문호</b>
In-situ 원자단위 표면개질을 통한 고활성 나노인터페이스 소재 합성 기술	30	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 부산대학교 <b>권세훈</b>
Mn 첨가에 따른 생체흡수성 Mg-Zn-Ca계 합금 생체 적합성 향상 기술	31	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 부산대학교 <b>조경목</b>
고강도 내마모용 Hybrid CNT+AB,,/Mg 복합재료 제조공정 및 나노인터페이스 특성 제어 기술 ··	32	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 부산대학교 <b>조경목</b>
다이아몬드 공정에서 전하를 활용한 새로운 합성 기술	33	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 서울대학교 <b>황농문</b>
초고해상도 블록공중합체 자기조립 공정 기술	34	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 한국과학기술원 <b>정연식</b>
3차원 백금나노아키텍처 촉매 제조 및 연료전지 활용 기술	35	미래소재연구단 <b>김광호</b> / 한국과학기술원 <b>정연식</b>
멀티스케일 시뮬레이션을 통한 재료 디자인		미래소재연구단 <b>김광호</b> / 한국과학기술원 <b>이혁모</b>
나노시트를 기반으로 하는 이종 혼합체의 흡착 및 촉매 소재	37	한국화학연구원 <b>장종산</b> / 이화여자대학교 <b>황성주</b>
나노구조 복합소재를 통한 이차전지 특성향상 기술	38	한양대학교 <b>선양국</b> / 전남대학교 <b>김재국</b>
초고율의 active 하이브리드 인터페이스 기술	39	한국과학기술원 <b>강정구</b> / 한국과학기술원 <b>김형준</b>
투과전자현미경법을 이용한 다기능성 금속소재의 미세구조 특성 평가 기술	40	포항공과대학교 <b>최시영</b> / 강원대학교 <b>임성환</b>
하이브리드 유무기 소재 복합계면 물성 평가 기술	41	연세대학교 <b>한병찬</b> / 부산대학교 <b>이승걸</b>

## 하이브리드 이종소재 접합용 고강도 구조용 접착제

초고강도 하이브리드 접착소재 원천기술 개발 │ 부산대학교 **최영선** 

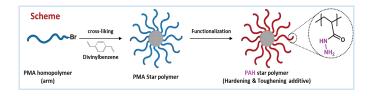
## 기술 개요

- 미래형 수송기기 구조체 접합에 적용 가능한 하이브리드 이종소재 접합 용 고강도 접착소재의 필요성 대두
- 새로운 고분자 공중합체 입자를 합성하여 높은 접착강도와 우수한 내충 격성을 가지는 세계 최고 수준의 고강도 구조용 접착소재 기술



## 기술 특징

- 하이브리드 이종소재 접합용으로 고접착성과 내충격성을 가지는 성형 공 중합체(star polymer) 입자를 합성하여 고강도 구조용 접착제에 도입
- 성형 공중합체는 코어와 팔로 구성되어 상용성, 접착력, 내충격성 등의 기 능적 특성을 수월하게 조절 가능



■ 또한, 극한환경용으로 설계가 가능하여 극저온용 하이브리드 구조용 접착 제로도 활용 가능



## 적용분야

- 다양한 조합의 하이브리드 이종소재의 접합용으로 적용
- 하이브리드 복합구조체의 접합으로 미래형 수송기기 즉, 하이브리드/전기 자동차, 항공기, 선박 등의 구조체에 적용



## 활용사례

### ■ 대표적 활용 사례

 세계 최초로 고강도 구조용 접착제 접합에 의한 친환경차 동력 모터 코 어 제작 → 양산 초기 단계



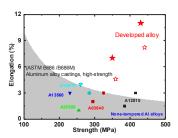
- 특허 출원 6건
- 학술지 게재
  - Enhanced Low-Temperature Impact-Peel Resistance of Nano-Toughened Epoxy Resins (Science of Advanced Materials).

## 하이브리드 인터페이스 제어를 통한 초고성능 알루미늄합금 제조기술

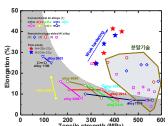
하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 | 미래소재연구단 김광호, 재료연구소 한승전

## 기술 개요

- AI 합금내 제 2상의 형상과 분포를 제어하여 강도와 연성을 동시 향상
  - 양자역학 기반의 제 1 원리를 이용한 계면에너지 계산과 상형상 예측
  - 기지 또는 제 2상의 첨가원소 분배를 이용한 계면에너지 tailoring
- 구형 입자 강화 또는 나노규모 라멜라 강화상 알루미늄 복합재료 구현으로 인한 강도와 그 상반특성인 연성을 동시 향상



개발된 주조용 AI합금의 강도 및 연성



개발된 가공용 Al합금의 강도 및 연성

## 적용분야

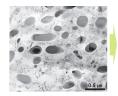
- 방산, 자동차, 공작기계, 조선 그리고 건설기계 등의 전방산업의 핵심소재
  - 사업화 방안: A 주조전문기업에 특허 및 기술 이전 (일광주공, 2017.12) 및 사업화 지도



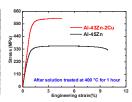
고인성, 고성형성 AI 소재

## 기술 특징

- 기존 상용 AI 합금 대비 비약적인 강도와 연성의 동시 향상
  - 상용 알루미늄합금 주조내는 연성이 3% 이내, 개발품의 경우 300MPa 이상의 강도와 10%이상의 연성을 동시 보유
  - 상용 AI 기공재 대비 인장강도 10%, 연성 250% 향상
  - 가공후 강도와 연성이 동시 향상된 나노 라멜라 복합재
- 일반적으로 냉간가공은 강도의 증가와 연성의 감소를 야기함
  - 개발소재는 냉간가공후 강도 뿐만 아니라 연성도 동시 증가
  - 가공후 가공이 더욱 용이한 소재의 개발







계면에너지 감소에 의한 제 2상 미세화와 기계적 특성의 증가

## 활용사례

## ■ 논문

- Scientific Reports, 5, 15050 (2015).
- Scientific Reports, 5, 17364 (2015).
- Scientific Reports, 6, 30907 (2016).
- Scientific Reports, 7, 12195 (2017).
- 특허: 국내출원 1건, 국외출원 3건, 국내등록 1건
- 석출물을 포함하는 강도와 연신율이 향상된 알루미늄-아연 합금 및 이의 제조방법, KR101760076B1 (2017)
- 알루미늄-아연-구리 (Al-Zn-Cu) 합금 및 이의 제조방법, 10-2017-0048119 (2017)
- 냉간가공에 의한 강도 연신율 동시 향상 Al-Zn 합금, 국외 출원 (미국, 중국, 일본) (2017,06,05)

## Li-Battery용 세계 최고성능의 하이브리드 인터페이스 양극 소재

인터페이스 최적화 맞춤형 rod-shape 이차전지소재 원천 및 상용화 기술 개발 I 한양대학교 선양국

## 기술 개요

- 차세대 리튬이차전지 개발을 위한 양극소재 원천기술 개발
  - 기존 양극 소재 대비 에너지밀도와 안정성을 획기적으로 향상시킨 양극 소재 개발 완료

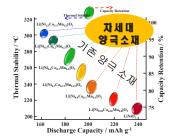
### 기존 양극소재

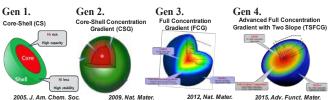
용량을 높이면 안정성이 낮아지는 근본적 한계를 가짐.



### 차세대 양극소재

미세구조 조절과 맞춤 설계를 통해 높은 에너지 밀도와 우수한 안정성을 동시에 구현함.





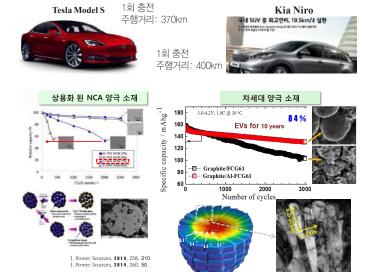
## 적용분야

■ 높은 에너지 밀도와 우수한 안정성을 가지는 차세대 전지 기술로서, 모바일 IT 기기, 전동공구의 소형 배터리 분야와 전기 자동차, 대형 에너지 저장 시스템 등 다양한 중대형 배터리 분야에 적용 가능하여 산업적으로 중요도가 높음.



## 기술 특징

- 현재 Tesla에 사용되는 NCA 양극소재는 5년 사용시 초기 용량의 80% 수 준으로 성능이 하락함.
- 차세대 양극소재 100% 활용 하였을 때, 3,000번의 충방전(10년 사용 가능) 후에도 초기 용량의 84%가 유지되는 획기적인 리튬이온 양극소재임.



## 활용사례

■ 상용화 실적



- 특허: 국내출원 5건, 국내등록 5건, 국외등록 1건
- 리튬 복합 산화물 및 이의 제조 방법, 10-1605254 (2016)
- 3V class spinel complex oxides as cathode active materials for lithium secondary batteries, method for preparing the same by carbonate coprecipitation, and lithium secondar batteries using the same, US 9,553,313 B2 (2017)

## 차세대 탄소기반 에너지저장소재 및 제조공정 기술

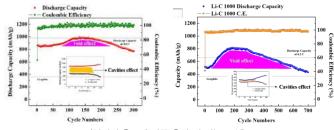
하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재 · 부품 개발 | 미래소재연구단 김광호, 한국해양대학교 강 준

## 기술 개요

- 현재 리튬이온전지에 사용 중인 흑연 음극소재보다 고용량을 갖는 장수 명의 하이브리드 인터페이스 음극소재 원천기술 개발
- 고용량을 발현하나 사용 중 치명적인 열화문제가 발생하는 Si, Sn 등의 차세대 재료의 사용없이, 탄소재료만 사용하여 고용량 장수명 특성을 구현
- 하이브리드 인터페이스 기반 One-step, 저비용의 공정기술 개발



■ 충전과정 중 이들 nano-cavities에 수많은 리튬이 저장될 수 있어 고용량 구현 및 안정적인 탄소구조로 인하여 장수명까지 확보.



〈열처리 온도에 따른 용량 및 성능 곡선〉

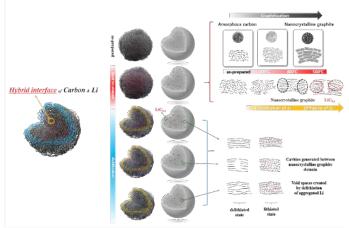
■ Si, Sn, Transition metal oxide 등의 차세대 물질의 사용없이, 탄소소재의 사용만으로, 기존 전극물질보다 2~3배 이상의 고용량을 갖는 성능을 확보하게 됨.

## 적용분야

- 모바일장치, 전기자동차, 전기추진선박 및 ESS 등 에너지저장장치에 적용
- 리튬이 아닌 나트륨을 도핑할 경우 나트륨기반 이차전지(Na-ion battery, Sea-water battery)에도 확대적용 가능한 공정 및 소재기술임.

## 기술 특징

■ 리튬이 도핑된 탄소 재료를 하이브리드 인터페이스 기반의 One—step 공 정으로 합성. 합성된 재료의 열처리 및 방전과정 중 delithiation공정을 통 하여 탄소와 리튬이 접해있는 하이브리드 인터페이스에 수많은 nano cavities를 형성.



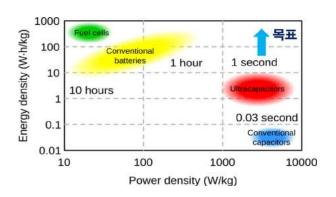
- 특허 : 국내출원 4건, 국외출원 1건
  - 탄소나노입자-탄소재 복합체 및 그 제조방법, 10-2017-0005350 (2017)
- 실리콘 나노입자를 포함하는 리튬이차전지용 음극활물질 및 그 제 조 방법, 10-2017-0009817 (2017)
- 금속원자가 도핑된 유기금속-탄소 복합체 및 그 제조방법, 10-2017-0009822 (2017)
- 내부에 공동이 형성된 리튬-탄소 복합체 및 그 제조방법, PCT 10-2017-0167786 (2017)

## 차세대 하이브리드 에너지저장 디바이스

분자/원자 레벨제어에 의한 고효율 에너지 소재 및 Device 개발 I 한국과학기술원 강정구

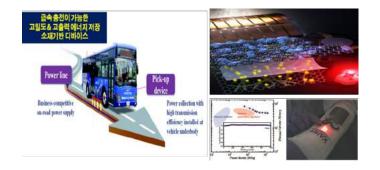
## 기술 개요

- 기존 대비 최고 100배 빨리 충전할 수 있고 높은 에너지 밀도를 갖는 에 너지 저장 장치(ESS)를 개발하는 기술
- 슈터커패시터 타입 양극과 배터리 타입 음극을 기반으로 차세대 하이브 리드 ESS 디바이스를 개발하는 기술



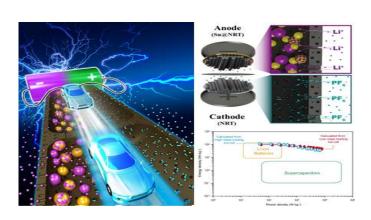
## 적용분야

- 초고용량의 에너지 저장 밀도를 가지고 긴 수명을 가진 다양한 하이브리 드 에너지 저장 소재/디바이스의 디자인을 통해서 차세대 전기자동차, 로 봇 등 획기적인 ESS 산업에 적용될 수 있으며, 상용화를 통해 고부가가치 를 창출할 것으로 예상
- 급속충전이 가능하여 Wireless 충전이 가능한 모바일 ESS, 태양전지로 부터 충전 가능한 ESS 융합 디바이스 기술 개발

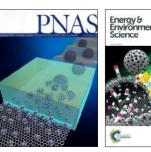


## 기술 특징

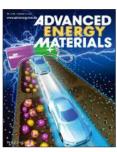
- 원자수준의 크기로 제조된 입자를 에너지 저장 전극으로 활용하였으며, >100,000 사이클의 반복된 반응에서도 100% 충방전 용량이 유지
- 높은 에너지 밀도를 가짐과 동시에 슈퍼커패시터에 상응하는 충방전 속 도를 가지기 때문에 급속 충전이 가능하여, 최고 수준의 에너지 밀도 (274 Wh/kg)를 확보하였고 이를 충전하는데 (20초 가능
  - \* 전기차용 로드맵 (일본, 중국: 2020년 250 Wh/kg 목표)



- 논문
  - Nature, PNAS, EES, Advanced Energy Materials 등







- 특허: 국내출원 10건, 국외출원 6건, 국내등록 8건, 국외등록 2건
- Energy Storage Device Based on Nanocrystals Including Metal Oxide Rescaled by Lithiation and Supercapacitor Using the same, US 14/754478 (2016)
- Carbonaceous Structure and Method for Preparing the Same, Electrode Material and Catalyst Including the Carbonaceous Structure and Energy Storage Device Including the Electrode Material, US 15/720209 (2017)

## 극미세 표유 자기장 에너지 하베스팅용 자기-전기 복합체 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 **김광호**, 재료연구소 **류정호** 

## 기술 개요

- 압전-자왜 소재의 계면 결합 현상을 이용한 자기-전기 복합체소재 기술 및 에너지소자 응용기술 개발
- 이종소재간 계면결합 극대화, 소재 특성 최적화를 통한 극미세 표유 자기 장 에너지 하베스팅 기술 개발

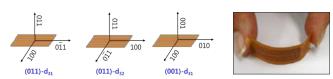


■ IoT 무선센서를 이용한 원격감시용 자율 전원 모듈 개발



## 기술 특징

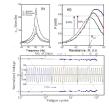
■ 배향제어 유연성 압전 단결정 섬유 복합체와 이를 이용한 에너지 하베스팅 소자 기술

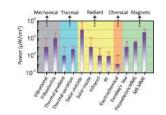


■ 압전 단결정 소재의 이방성 거대 압전 특성, 복합체의 저주파 벤딩 진동 모드, 압전-자왜 결합 극대화, 응력 균일화 기술 적용



■ 〉 1mW (60Hz, 〈 10G 자기장) 이상의 DC 출력, 수명시험 확인 다른 에너지 하베스팅 기술 대비 우수한 단위 부피당 전력 밀도





## 적용분야

- 전력선 표유 자기장을 이용한 에너지 하베스팅
  - : 실시간 전력 인프라 구조진단 무선 IoT 센서네트워크 전원
  - : 진동+자기 복합 에너지 하베스팅 시스템





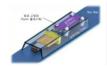
■ IoT 무선센서를 이용한 원격감시용 자율 전원 모듈 개발





### 활용사례

■ 활용 사례: 고압 수배전 건전성 진단 시스템

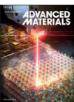






- 논문
  - EES, Adv. Mater., Adv. Energy Mater., Sust. Energy Fuel 게재









■ 특허 : 한국, 미국, 유럽, 중국, 일본 특허 등록

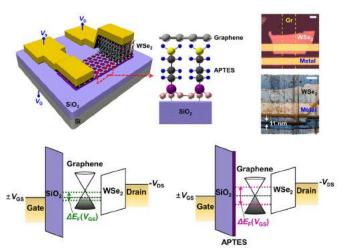


## 하이브리드 유무기 소재 복합계면 물성 평가 기술

Materials Computation | 연세대학교 한병찬. 한국과학기술원 김용훈

## 기술 개요

- 그래핀 배리스터 아키텍쳐는 그래핀과 반도체 물질의 이종접합으로 만들 어진 차세대 트렌지스터로써, 낮은 동작 전압(operating voltage)과 높은 점멸비를 가능하게 함으로써 차세대 전자 소자의 구현에 있어서 매우 중 요한 역할을 할 것으로 기대됨.
- 본 연구에서는 그래핀의 전하 웅덩이 현상을 완화시키고 WSe2 층의 두 께를 최적화함으로써 WSe2 기반 그래핀 배리스터 소자 특성을 최적화함.



▲ WSe, 기반 그래핀-전이금속칼코겐 이종접합 트랜지스터 모식도

## Novel transport mechanism: "Trap-assisted tunneling process"

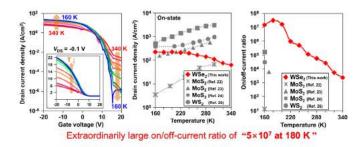
- ▲ WSe, 기반 배리스터의 작동 및 작동원리
- 제1원리 계산을 통해 WSe,의 결함 에너지 준위가 그래핀 디락 에너 지 부근에 존재하여 전하가 터널링 하는 것을 돕는다는 trap-assisted tunneling process를 통해 저온에서 높은 점멸비가 나타남을 전산모사를 통해 설명함.

### 적용분야

- 전이금속 칼코겐(TMD) 소재의 결함 에너지 준위가 그래핀 배리스터 소자 구동원리에 중요한 역할을 하는 것을 밝힘으로써 그래핀 배리스터 아키 텍쳐를 구성함에 있어 중요한 가이드 라인을 제공.
- 극조언에서도 동작할 수 있는 저차원 소재를 개발함으로써, 향후 반도체 사용이 제한된 환경에서의 응용 가능성을 시사함.

## 기술 특징

- WSe<sub>2</sub> 기반 그래핀 배리스터는 기존의 열이온 방출 이론(thermionic emission theory)만으로 설명할 수 없는 저온에서의 성능이 향상되는 독 특함을 보임.
- 이는 기존 MoS<sub>2</sub>, MoSe<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, 그래핀 배리스터(on/off current ratio: 10⁴-10⁵ A/cm²)와 비교하여 낮은 온도에서 작동하는 WSe<sub>2</sub> 기반 그래핀 배리스터(on/off current ratio: 10<sup>7</sup>-10<sup>8</sup> A/cm<sup>2</sup>)로 높은 점멸비를 갖음.



## 활용사례

- Advanced Materials, 28, 5293 (2016)

## 2D 하이브리드 소재 포토디텍터의 IR 반응 최적화 기술

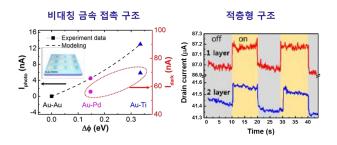
인공 두뇌급 고성능 소자 구현을 위한 3D 집적 반도체 소재 원천 기술 개발 l 광주과학기술원 이병훈

## 기술 개요

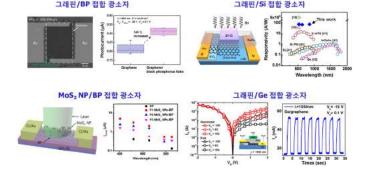
- 포토디텍터의 구조적인 이해를 바탕으로 다양한 2D 물질간의 접합을 통해 광반응성이 향상된 포토디텍터 제작 방법 연구
- 하이브리드 소재의 종류에 따라 반응하는 파장 조합을 선정 할 수 있는 장점이 있고, 향후 SWIR 보다 긴 MIR, far-IR 영역의 빛에 대한 반응을 위한 연구 진행 중
- 2D 이종 접합 구조를 사용하여 암전류, 동작전압 조건을 최적화하며 기존 반도체 포토디텍터를 대체하기 위한 성능 구현을 목표로 연구 중

## 기술 특징

■ 내부 전계 차이를 높이는 "비대칭 금속 접촉 구조"와 광흡수율을 높일 수 있는 "적층형 구조"를 통해 단일 2D 물질의 광반응성 최적화



■ 그래핀/반도체 물질 하이브리드 구조를 통해 다양한 파장의 흡수가 가능 하고 70~ 5000 A/W의 광 반응성을 가지는 포토디텍터를 구현

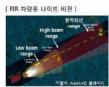


## 적용분야

- 개발 기술은 IoT 인프라 구축을 위해 사용되는 센서로 이용가능성이 있으며, 의료용, 산업용, 군용 등 다양한 분야에서 응용 가능함
- 현재 개발 기술을 이용한 사업화는 시제품 제작 단계에 들어가 있으며, 시 제품 제작과 시제품 성능 인증을 진행 중



[금성의 적외선 vs. 가사광 영상 ]





### 활용사례

### ■ 논문

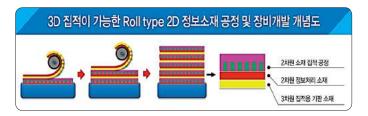
- Zero-bias operation of CVD graphene photodetector with asymmetric metal contacts, ACS photonics (2017)
- 특허 : 국내출원 1건, 국외출원 1건
  - 이득 조절이 가능한 그래핀-반도체 쇼트키 접합 광전소자 (10-2016-0024910)
  - Graphene-semiconductor Schottky junction photodetector of having tunable gain (미국, 15/440,992)

## 3D 집적이 가능한 Roll type 2D 정보소재 공정 기술

인공 두뇌급 고성능 소자 구현을 위한 3D 집적 반도체 소재 원천 기술 개발 / 광주과학기술원 이병훈

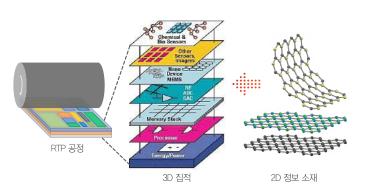
## 기술 개요

- 집적 공정 기술의 물리적 한계에 도달한 반도체 소재/소자 기술의 원천적 인 문제 해결을 위한 대면적 다기능 2차원 정보 소재 공정 기술
- 2차원 기판, 절연체, 전극 간 하이브리드 인터페이스 최적화를 통해 RTP 공정용 2D 정보 소재를 개발
- RTP 공정 기술을 통해 2D 정보 소재의 3D 집적 기술을 확립하여 미래 3D 집적 반도체 소재 기반 기술을 개발



### 기술 특징

■ 2D 정보 소재 기반의 미래 소자를 Roll-to-Plate(RTP) 공정으로 기존의 실리콘 로직 소자에 적층하여 다기능 소자 구현





## 적용분야

■ 매우 광범위한 소자 및 응용 기술에 적용 가능



- 적용 가능 제품군
  - 1) 초 저전력, 고성능 로직 반도체 및 관련 소재, 장비
  - 2) 초 저전력 메모리 반도체 및 관련 소재, 장비
  - 3) Reconfigurable FPGA 시장 중 고성능 FPGA 제품 (연 7조원 시장의 30%)

산업군	세계시장	국내기업 예상 점유율	본연구단 개발시 예상 기술 기여율	매출창출기여 (본연구단)	시장조사 기관
시스템 반도체	742조	30%	5%	11.7조	iSupply/KSIA
메모리 반도체	130조	50%	5%	3.8조	iSupply/KSIA
FPGA	28조	20%	10%	0.6조	iSupply/KSIA
사업화 기대효과 (주요기술)	기술이전 및 벤처기술 → 1단계 (2개), 2단계 (3개), 3단계 (2개) 예상매출액 : 1,000억 × 4개 = 4,000억 고용창출 : 4,000억 / (2억/인)= 2,000명				

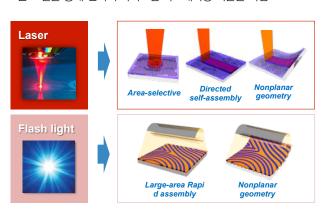
- 논문: Impact factor 10 이상 14건
- 특허 : 출원 34건, 등록 7건
  - 다층 그래핀의 제조방법 (2017.06.21) / 등록
  - 진공열처리를 이용한 그래핀 전사 방법 및 그래핀 전사 장치 (2016. 07.11) / 출원
  - 쇼트키 접합 그래핀 반도체를 이용한 삼진 배리스터 (2016.11.11) / 출원

## 고효율 블록공중합체 자기조립 2D 기술

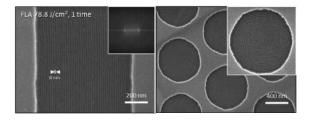
하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호. 한국과학기술원 김상욱

## 기술 개요

- 기존 자기조립 나노패터닝 기술이 가지고 있는 기술적 한계를 새로운 공 정과의 융합을 통해 극복하여 차세대 소재 및 응용 소자에 적용할 수 있 는 기술 개발
- 공정 속도를 최적화하여 기술효율성을 극대화하고, 배향 및 공간의 자유 로운 조절을 통해 선택적 자기조립 나노패터닝 기술을 확립

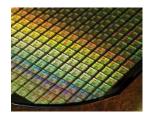


■ 플래쉬 램프를 통해 짧은 시간동안 순간적으로 고온의 열을 가해주어 웨 이퍼 규모의 대면적에 초 미세 나노패턴을 형성하고, 미리 만들어 놓은 가 이드 패턴을 따라 정렬된 형태로 자기조립 구현



## 적용분야

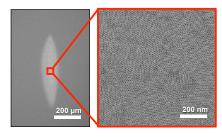
- 기존 자기조립 나노패터닝 공정이 가지고 있는 한계인 느린 공정속도. 많 은 결함의 형성, 배향 및 공간 조절의 어려움 등을 극복하여 반도체 산업 등 초 미세 패턴을 요구하는 첨단 기술 분야에 응용 가능함
- 차세대 전자 및 광전사 소자 등 다양한 분야에서 부상하고 있는 유연소자 에도 적용이 가능하여 광범위한 분야에 적용 가능한 기술 실용성을 가질 것으로 기대



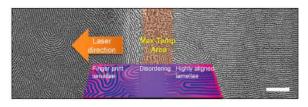


## 기술 특징

- 공정 시간의 단축과 배향 및 공간의 자유로운 조절을 구현하고자 레이저 나 플래쉬 램프 공정과 같은 빛을 조사시키는 공정과 융합시킴
- 광학계를 이용해 레이저 빔의 모양을 조절하여 레이저가 조사된 부분만 선택적으로 자기조립 구현



■ 레이저 빔의 조사를 통해 형성된 강력한 온도장을 특정 방향으로 이동시켜 자기조립의 배향을 레이저 빔의 이동 방향과 같은 방향을 가지도록 제어



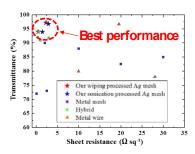
- 논문
  - Nature Communications, 7, 12911 (2016)
  - Advanced Energy Materials, 7, 1602596 (2017)
- 특허 : 국내출원 4건
  - 다중 금속 나노패턴 제조 방법, 10-2016-0147246 (2016)
  - 대면적 그레인을 가지는 패턴, 10-2016-0148810 (2016)
  - 고굴절률 메타물질 제조방법. 10-2016-0151633 (2016)
  - 자기조립 패턴 및 이의 형성 방법, 10-2017-0108551 (2017)

## 웨어러블 디바이스용 초저저항 유연투명전극 제조 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재 · 부품 개발 | 미래소재연구단 김광호. 한국과학기술원 정연식

## 기술 개요

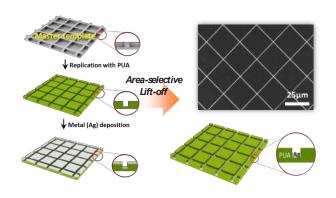
- 매우 다양한 디스플레이 기반 기술에 활용 가능한 고성능의 투명 유연 전 극 제작 기술 개발
- 고분자와 금속 나노메쉬 하이브리드 형태의 내장형 금속패턴으로 초저 저항의 유연 투명 전극을 구현 [학술지 기준 세계 최고수준의 성능지수 (FoM): 1,33×104 (94% 투과도)]





## 기술 특징

■ 메쉬 형태의 마스터몰드를 활용하여 음각 형태의 PUA 메쉬 패턴 구현 후. 낮은 표면에너지를 활용하여 내장형 금속 그물 형태를 제외한 불필요한 부분의 금속 제거

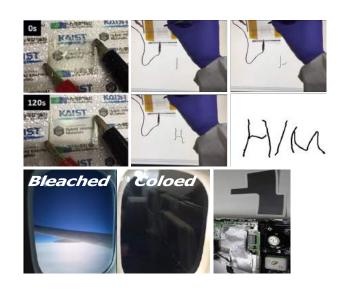


■ 에탄올을 이용한 Wiping 공정만으로 투명전극을 매우 쉽게 구현할 수 있 어 초저비용의 간편 공정이 가능



## 적용분야

- 평면 기판 기반으로부터 유연 기판 기반의 디스플레이로 패러다임이 변 화하고 있는 현 시점에서, 저비용 고성능의 초저저항 유연투명전극 기술 은 산업적으로 큰 부가가치를 창출해 낼 수 있는 잠재성을 가지고 있음
- 유연 투명 히터, 터치 스크린 패널, 전기변색 장치, 방열 필름, 전자파 차 폐 필름 등 매우 많은 적용분야에 응용되어 여러가지 유연소자의 구현/상 용화에 기여 할 수 있을것임



- 논문
  - Area-Selective Lift-Off Mechanism Based on Dual-Triggered Interfacial Adhesion Switching: Highly Facile Fabrication of Flexible Nanomesh Electrode / ACS nano 2017, 11, 3506-3516
- 특허 : 국내출원 1건
  - 초음파 분산을 이용한 선택적 리프트-오프 공정 기반의 유연 투명전극 및 그 제조 방법 (2017.01.04)

## 인터페이스 최적화 리튬-황 전지용 하이브리드 소재

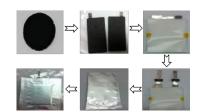
인터페이스 최적화 맞춤형 rod-shape 이차전지소재 원천 및 상용화 기술 개발 한양대학교 선양국

## 기술 개요

- 리튬—황 전지의 현 시점에서의 성능적 한계를 극복하기 위한 하이브리드 양극 소재의 원천 기술 개발.
- 리튬-황 전지의 양극 구조가 탄소 네트워크로 구성되는 독립적 구조체를 가지는 대면적 전극을 다수 적층하여 고용량, 고에너지 밀도의 대면적화 리튬-황 파우치 셀 제조 기술 구현.



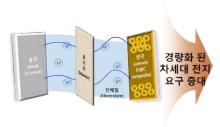




대면적 리튬-황 파우치 제조 과정

## 적용분야

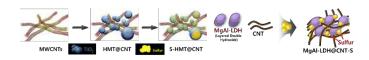
- 전지의 용량 개선의 요구가 증가함에 따라 기존 리튬 이온 전지의 한계를 넘을 수 있는 에너지 밀도가 뛰어난 차세대 전지의 기술 필요성 확대.
- 리튬-황 전지는 저비용, 친환경적 소재인 황을 기반으로 고에너지 밀도를 가지는 차세대 전지 기술로써, 전기 자동차, 대형 에너지 저장 시스템 등 다양한 중대형 배터리 분야에 적용 가능.



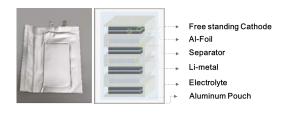


## 기술 특징

- 금속 산화물, 금속 수산화물과 같은 무기 재료와 탄소나노튜브, 그래핀과 같은 탄소, 유기 재료를 함께 합성하여 하이브리드 양극 소재 개발.
- 물리화학적 흡착 능력을 통해 다황화물의 용출을 억제할 수 있는 무기재료 (금속 산화물, 금속 수산화물 등)와 전국 구조 및 전도성 향상을 통한황 활성화 증가를 가져올 수 있는 탄소 재료를 통해 용량과 수명과 같은 전기화학적 성능 개선.



■ 본 연구단에서 개발된 독립적 구조체를 이용하여 다중 양극을 적층하여 고용량 (0.5 Ah) 및 고에너지 밀도 (170 Wh kg<sup>-1</sup>, 500 Wh L<sup>-1</sup>이상) 리튬─황 대면적 파우치 셀 제조 가능.



- 논문: 표지모델 선정
  - Advanced Energy Materials, 6, 1501480 (2016).
  - Advanced Materials Technologies, 1, 1600052 (2016).





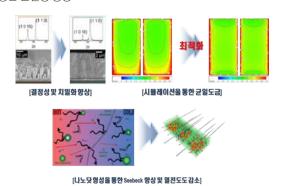
- 특허 : 국내출원 5건, 국내등록 4건, 국외등록 1건
- 리튬황전지용 양극, 이를 포함하는 리튬황전지 및 이의 제조 방법 (2015.10.02) / 등록
- 리튬 황 전지, 및 그 제조 방법 (2017.11.22) / 등록

## 전기화학공정을 이용한 고성능 복합열전소재 제작 기술

고효율 유·무기 하이브리드 열전 모듈 원천기술 개발 N료연구소 **임재홍** 

## 기술 개요

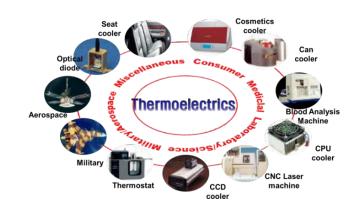
- 고품질 박/후박 열전소재 요소 기술
  - : 고밀도/고전기전도도 열전 나노복합소재 제조 기술
- 나노 결정구조 제어 요소 기술
  - : 나노닷 및 결정구조 제어를 통한 열전소재 성능향상 기술
- 대면적 균일 열전소재 제조기술 개발
  - : 시뮬레이션을 통한 도금 적용인자의 도금두께 편차에 미치는 영향 분석을 통한 균일성 향상



## 적용분야

## ■ 기술응용분야

- 미니어쳐급~하이파워급 열전모듈
- 반도체 공정 설비 제조업체에 공급
- 피부미용기 응용
- 정수기, 제습기, 화장품 냉장고 등 가전제품
- 소형 발전모듈 시장 진출을 위한 기반 확보



### 기술 특징

## ■ 벌크형 열전모듈 대체

- 재료비 절감(자원 소비 최소화 및 재순환 가능)
- 공정 축소에 따른 생산비용 절감

## ■ 중소기업 적합형 생산 구조

- 시설비용이 박막 대비 저렴
- 소량 다품종 생산 기능
- 신제품 개발비용 절감
- 증설이 용이함
- 소형 열전발전 시장 진입 용이
- 경쟁기술 대비 우수성



## 활용사례

### ■ 특허 : 국내출원 1건, 국내등록 6건

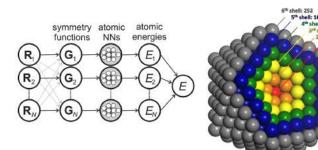
- 열전 반도체의 제조방법/2012-11-28/10-1208065/등록
- 열전 반도체 모듈 및 이의 제조방법/2014-04-11/10-1386682/등록
- 열전 반도체의 제조방법/ 2014-05-26/10-1402229/등록
- 열전 반도체 모듈 및 이의 제조방법/ 2014-0902/10-1439461/등록
- 열전 반도체 소자 및 이를 포함한 열전 반도체 모듈/2017-08-08/10-1767908/등록
- 전해 도금용 차폐판/2017-05-12/10-1734302/등록
- 열전 소자 및 그 제조 방법/2017-11-22/출원

## 제1원리 전산소재기술에 의한 빅데이터 구축 및 다성분계 이종계면구조 예측 기술

Materials Computation | 연세대학교 한병찬

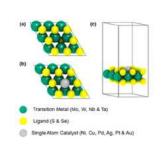
## 기술 개요

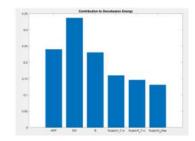
- 제1원리 전산 소재과학으로 빅 데이터베이스 구축 〉〉 데이터 마이닝 및 머신러닝 기법 적용 〉〉 다성분계 하이브리드 계면 구조의 고속 정밀 예측 〉〉 멀티스케일 전산 플랫폼 완성
- 고성능 신소재 후보군 발굴 및 최적화 디자인 컨셉 제안 〉〉 실험적 검증 및 합성 촉진 〉〉 개발 비용/시간 획기적 감축



## 적용분야

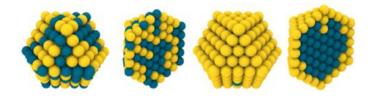
- 4차 산업혁명과 빅 데이터 제어 등 관련기술을 활용하여 소재 성능 최적 화에 적용, 신소재 개발 비용 획기적 감축
- 데이터베이스를 바탕으로 촉매, 흡착제, 생체소재 등에 대한 신규 소재 예 측 플랫폼을 구축 가능
- 스마트 팩토리 공정의 효율화 극대화





## 기술 특징

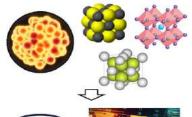
- 다성분 복잡 계면 구조 예측용 머신러닝 기법 개발 : 제1원리 계산 〉〉 박 데이터베이스 구축 〉〉에너지 레벨 결정인자 데이터 마이닝 〉〉임의 조성 을 가진 계면에 대한 구조적 특성을 고속으로(기존 방법 대비 100배 이 상) 예측할 수 있음.
- 데이터베이스를 기반으로 한 물성 예측 : 새로운 물질에 대한 빠른 물 성 예측과 핵심 인자를 발견하기 위해 머신러닝 방법 중 Al(Artificial Intelligence), 인공 신경망 기법을 병합함.



### 활용사례

■ 플랫폼 구축









데이터베이스 구축

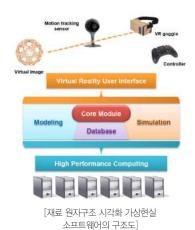
선소재 예측

## 재료 원자구조 시각화 가상현실 소프트웨어 개발

Materials Computation | 연세대학교 한병찬, 한국과학기술원 김용훈

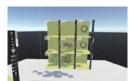
## 기술 개요

- Virtual Reality User Interface
  - 나노소재의 원자구조를 가상현실 공간에서 시각화
- Modeling
  - 원자구조파일을 읽거나 자체적으로 원자구조 생성
- Core module
  - 원자구조의 편집과 각구성요소간 데이터 전달
- Simulation
  - 시각화된 원자구조를 입력값으로 고성능 컴퓨터 자원을 이용하여 원자수준 시뮬레이션을 수행
- Simulation
  - 시뮬레이션 결과를 데이 터베이스에 저장하여 다 른 작업에 재사용 가능 한 상태로 저장

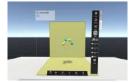


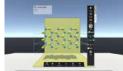
## 적용분야

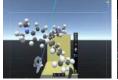


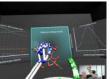


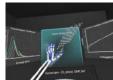
단위격자 표시 및 반복형태 표시







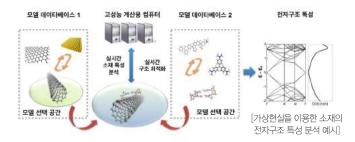




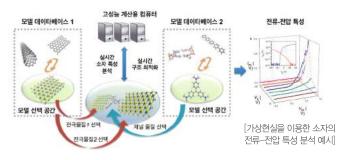
「가상현실을 이용한 원자구조 시각화 및 편집도구 시제품]

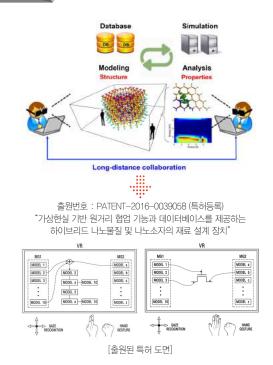
## 기술 특징

■ Mode I: 소재 특성 분석



■ Mode || : 소자 특성 분석



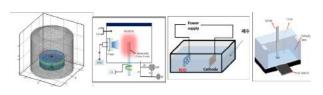


## 차세대 수처리 전극용 대면적 BDD, DLC 코팅 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호

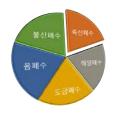
## 기술 개요

- 대면적 Hot Filament Chemical Vapor Deposition 기술로 수처리용 BDD(Boron doped diamond) 전극의 개발
- Susceptor의 rotation을 통한 균일한 Boron Doped Diamond의 증착 기술 개발
- 수처리용 금속 도핑 DLC 합성 원천기술 개발



## 적용분야

- 비 분해 유기성 폐수의 정화
- 토양 오염 처리
- 밸러스트(Ballast) 수처리의 적용
- 염소(chlorine) 발생 용 전극으로의 활용

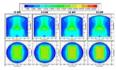


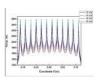


## 기술 특징

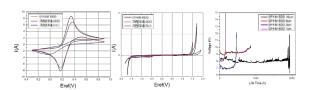
- 대면적 코팅으로 기존 기술들보다 시간당 제품 생산량의 증가가 가능하 며, susceptor의 회전을 통한 균일한 코팅
- ANSYS Workbench 온도 시뮬레이션 수치 해석을 통한 정확한 코팅 제어



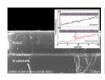


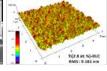


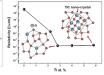
- Acetone의 bubbling 기술과 티타늄 모재의 중간층(Nb)의 구조 제어를 통한 다이아몬드 증착 비용(~65%) 절감
- Cyclic voltammetry 측정 결과 상용화된 타사 제품 대비 전기적 전기 화 학적 특성이 뛰어나며 기대 수명 시간은 10um일 경우 400일 이상 지속됨



■ Diamond liked carbon에 Ti 입자를 도핑하여 수처리 특성을 가지고 향상 된 밀착력을 가지는 기능성 전극 구현







- 특허 : 국내출원 1건, 국내등록 2건, 국외등록 3건
  - A fabrication method of DLC/Ti electrode with multi-interface layers for water treatment, 미국, 14979410 (2015)
  - 다층계면구조를 갖는 수처리용 DLC/Ti 전극 제조 방법, 대한민국, 10-1573178 (2015)
  - 다층계면구조를 갖는 수처리용 DLC/Ti 전극 제조 방법, 대한민국, 10-1582446 (2015)
  - 多層界面構造を持つ水処理用 DLC/Ti 電極体及びその 製造方法, 일 본, 6077637 (2017)
  - 具有多层界面结构的水处理用 DLC/Ti 电极制造方法, 중국, 201511 031315.3 (2017)
  - 티타늄금속기판 위에 다이아몬드 코팅층이 형성된 수처리용 구조재 및 그 제조 방법, 대한민국, 10-1695590 (2017)

## 탄소코팅막 제조장비 내 실험적 측정온도 전산해석 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호. 제주대학교 최수석

## 기술 개요





[HFCVD]

상용유체코드를 이용한 3차원 전산해석

이색분광원리를 적용한 온도측정법



운전조건 제시

고품질의 박막제조를 위한 최적의

## 적용분야

## 〈 전산해석 〉

■ 상용 HFCVD 장비의 국산회를 위하여 다양한 형상에 대한 전산해석을 통 한 운전조건 제시



## 〈 온도측정 〉

■ 상용이색분광온도계 대비 1/3의 가격의 광학장비를 이용한 고온물체의





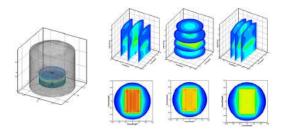


상용 HFCVD 시스템의 온도측정 및 고온물체 진단에 응용

## 기술 특징

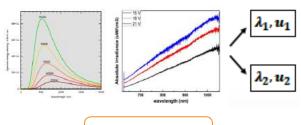
### 〈 전산해석 〉

■ CFD(Computational Fluid Dynamics) 코드인 ANSYS-FLUENT를 이 용하여 열유동을 계산함으로 시스템내부의 3차원 온도분포를 예측할 수 있음.



## 〈 온도측정 〉

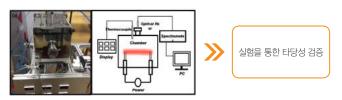
■ 광학장비를 통하여 고온물체의 열복사선을 분석하고 이색분광원리를 통 하여 온도를 측정할 수 있음.



두 값의 비율을 통해 온도측정

## 활용사례

■ 활용사례 – 검증실험



- 논문
- Nuc. Inst. Meth. Phys. Re. B., 387, 54-62 (2016)
- Int, J. Hydr, Ener., 41, 16813-16822 (2016)
- J. Nanosci, Nanotech., 16, 10541-10547 (2016)

## 고성능 슈퍼커패시터용 전극재 나노구조화 설계 및 합성 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 ┃ 미래소재연구단 김광호

## 기술 개요

- 다양한 공정기법을 통한 나노복합구조체 합성으로 고성능 슈퍼커패시터 용 전극재 개발
- 고성능 최적화 소재 적용 슈퍼커패시터 전지 제작/응용
- 열수열법, 액상화학증착법, 저온탄화법, 기상플라즈마합성법



열수열법

저온탄화법

플라즈마합성법

## 적용분야

- 전기자동차, 중장비 기기 등 고출력에너지장치 분야
- 태양전지/수퍼커패시터 가로등, 심장충격기 등 고속충방전 및 장기 사이 클 수명 요구장치
- 군사, 우주, 항공 및 의료용 등의 고부가 장비의 대출력 펄스파워 전원







## 기술 특징

- 기상상온반응에 의한 고다공성 탄소 나노구조체 합성 기술
- 이종원소 도핑 복합나노구조체 구조제어 및 성능 향상
- 고비표면적 고다공성 질소도핑 카본의 고정전용량

# ✓ PVP polymer • NaOH

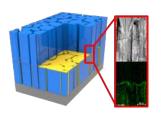
- 논문
  - Chem. Eng. J., 317, 461-470 (2017)
  - Sustainable Energy & Fuel, 1, 529-539 (2017)
  - Dalton Transactions, 46, 6601-6611 (2017)
  - J. Mater. Chem. A 3, 22102-22117, (2015) 외 10건
- 특허 : 국내등록 2건
  - 플라즈마 화학 기상 합성법을 활용한 탄소 기반 고비표면적 나노 폼 소재 및 그 제조방법, 1018026360000 (2017. 11. 22)
- 정전용량을 향상시킨 수퍼커패시터 및 그 제조방법. 1016705970000 (2016,10,24)

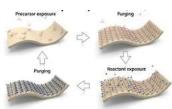
## 원자층증착법에 의한 나노인터페이스 층이 삽입된 고신뢰성 경질코팅막 제조 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호. 부산대학교 권세훈

## 기술 개요

- 다양한 기계부품의 수명과 성능향상을 위해 적용되었던 기존 경질코팅막 의 고유 구조결함에 의한 수명 저하 문제 극복이 가능한, 원자층 증착법 기반의 나노인터페이스 층이 적용된 고신뢰성 경질코팅막 소재 원천기술 개발
- 자기 제한적 분자자기조립방식의 원자층증착법을 활용하여, 나노인터페 이스 층을 경질코팅막 내에 삽입하여 우수한 내부식, 고경도 특성을 구현





## 적용분야

- 공구강, 금형, 자동차 및 항공 부품 등 다양한 기계부품의 수명과 성능향 상을 위한 고경도 경질코팅막은 산업적으로 중요성이 매우 높음.
- 기존 공정에 비해, 단순화된 공정과 낮은 제조비용으로 인해, 미래 수송기 기용 다양한 부품에 적극적인 활용이 가능해져 미래 수송기기의 에너지 절감 및 가격 경쟁력 확보에 기여할 수 있음.



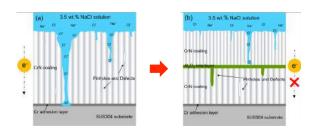




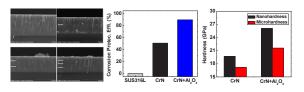


## 기술 특징

■ Bottom-up 방식의 고균일 도포성을 가지는 원자층 증착법을 통해 설계 · 합성된 나노인터페이스 소재가 고경질 코팅막 내부에 삽입된 미세 피복 구조의 새로운 경질코팅막 구조



■ 나노인터페이스 층의 조성 및 구조 최적화를 통해 Long-Term 고신뢰성 구현이 가능한 특징을 가짐.



■ 기존 경질코팅막 공정과 유사한 공정시간을 가짐에도, 기존 경질박막대비 경도 및 부식성이 크게 개선된 성능을 보임.

- 논문 : SCI급 9건 게재
- 특허 : 국내출원 5건, 국내등록 1건
  - 내부식 및 기계적 특성이 향상된 고경도 코팅막의 제조방법 (2016,09,13) / 등록
  - PVD와 ALD를 조합하여 구성되는 내식성 향상 코팅막 및 그 제조방법 (2016.11.28) / 출원
  - 내부식 특성이 향상된 고경도 코팅막의 제조방법 (2016.11.28) / 출원
  - 원자층 증착법에 의한 산화알루미늄 인터페이스 층이 주기적으로 삽입 된 고경도 코팅막 및 그 제조방법 (2017.11.28) / 출원
  - PEALD를 이용한 PEMFC의 분리판용 TIN 박막의 제조방법 (2016.03.11) / 출원

## 저온 재생 MOF 수분흡착제 및 에너지 절약형 흡착식 냉난방 기술

MOF 응용 복합구조체 원천기술을 통한 고활성 흡착제 · 촉매 개발 ▮ 한국화학연구원 장종산

## 기술 개요

- 에너지절약형 수분흡착식 냉방기술은 수분증발에 의한 냉각 에너지와 70°C 이하에서 저온 재생 가능한 차세대 나노세공체 MOF 수분흡착제를 사용하는 신개념의 냉방 기술임
- 흡착식 냉난방기술은 오존발생이 없고 온실기체 배출 문제가 없는 수분 을 냉매로 사용하는 친환경 에너지 절약형 기술임
- 70°C 이하 저급열원(폐열/폐온수)을 구동 에너지원으로 사용 시 전기식 냉방장치 대비 1/20 이하의 저전력 소모



## 적용분야

■ 가정용/업무용/산업용 에너지 절약형 흡착식 냉방/히트펌프, 제습냉방, SMART 공조 시스템, 제습, 건조 등 수분제어 기술 등의 핵심기술에 적용 가능



■ MOF 흡착제는 산업용 기체분리, 에너지 저장, 제습기, 공기청정필터, 방독면, 유해가스 제거 등에 적용 가능



## 기술 특징

■ 흡착식 냉방장치는 흡수식 냉방장치(LiBr/H2O 작용액 사용)에 비해 소형 화에 유리하고 70°C 이하의 저급열원 사용 가능(흡수식 장치는 80°C 이 상에서만 구동)







■ 저온 재생 화학(연) MOF 수분흡착제는 50~70°C 범위의 저온 재생 능력 과 상업용 실리카겔 흡착제 대비 유효 수분흡착량이 1.5~4배 크게 향상 된 세계최고 수준의 차세대 흡착제임



\*MOF: Metal-Organic Framework (초다공성 배위고분자 소재)

## 활용사례

- 논문: MOF의 수분흡착제 흡착식 냉각 응용연구 표지논문 게재 "Design of hydrophilic metal organic framework water adsorbents for heat reallocation," Adv. Mater., 27, 4775 (2015).
- 특허 : 국내등록 9건, 국외등록 7건

	한국 10-0806586 (미국 8980128)	수분의 흡착 및 탈착을 위한 흡착제 (Adsorbent for water adsorption and desorption)
	한국 10-1273877 (미국 9302258)	결정성 하이브리드나노세공체 분말을 포함하는 복합체 및 그 제조 방법 (Composites comprising crystalline porous hybrid powders and a method for preparing thereof)
인국 10-1/21566 (미국특허 출원 15/575, 246) 포함하는 흡착제 및 이의 inorganic hybrid nanopo		수분 또는 알코올의 흡착을 위한 유무기 하이브리드나노세공체를 포함하는 흡착제 및 이의 용도 (Adsorbents comprising organic- inorganic hybrid nanoporous materials for sorption of water or alcohol and use thereof)

■ 미국 STREM Chemicals 社에 MOF 물질 일부 판매 중



## 고효율 나노세공물질의 접합소재 합성과 촉매응용 기술

MOF 응용 복합구조체 원천기술을 통한 고활성 흡착제·촉매개발 | 한국화학연구원 장종산, 전남대학교 조성준

## 기술 개요

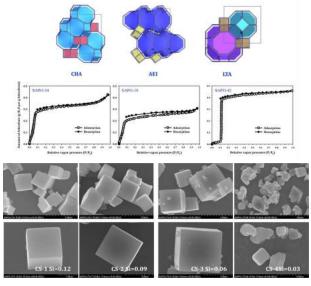
- MOF(Metal Organic Framework)이라는 신규 다공성물질이 소개되면서 촉매반응, 흡착, 분리등 다양한 분야의 연구가 이루어짐.
- 분말상의 촉매 소재에 자가결합성이 있는 하이브리드 인터페이스를 도입 하거나 이를 지닌 물질을 이용하여 혁신적인 촉매 특성을 유지할 수 있도 록 함.
- 메조세공 제올라이트를 비롯한 미세세공과 메조세공이 공존하는 나노분 말 소재를 활성 하이브리드 인터페이스를 이용하여 결합함으로써 산업적 응용이 가능하도록 하고 이를 통해 고용과 부가가치를 창출함.
- 나노분말 소재 성형에 활용할 수 있는 접합소재는 제올라이트뿐만이 아니라 MOF를 비롯한 다양한 세공물질에도 동일하게 적용함으로써 혁신 촉매 소재를 개발할 수 있음.

## 적용분야

- 하이브리드 결합 소재를 이용한 나노복합체 연구는 기체분자 저장/분리
   및 촉매용 나노세공형 원천 소재의 개발의 기반으로써 화학공정, 정밀화
   학, 전자 및 자동차산업 등 다양한 분야에 적용되어 에너지 효율화, 환경
   오염 감소 등을 통하여 삶의 질 향상에 기여함.
- 친환경 화학소재 생산 기술은 21세기 화학산업을 주도할 촉매 원천 기술의 국가 경쟁력을 강화하고, 현재 환경 처리 분야에 치중되어 있는 환경산업발전의 새로운 비전을 제시할 것임.
- 새로운 친환경 화학소재들을 생산하기 위한 원료 및 기반기술을 제공하여 화학산업구조의 탈 석유화를 촉진함.

### 기술 특징

- MOF와 같은 소재는 비표면적이 넓고 수분 흡착 특성이 우수하나 열적 안 정성에서 기존의 알루미노 실리케이트 제올라이트와 비교하여 작음.
- 따라서 SAPO와 같은 중성 골격구조를 지니고 있는 분자체를 이용함으로써
   수분 탈착에 필요한 에너지를 감소시킴으로서 효율을 극대화할 수 있음.
- 신규 다공성 SAPO 분자체를 제조함으로써 기존의 SAPO 분자체의 지적 재산권 부분도 극복할 수 있으며 고유의 다독성 분자체 제조기술을 확보하고자 하였음.
- SAPO-42는 상업용 흡착제에 필적하는 ~0.1P/P₀에서 제올라이트 1g 당물 0.35g을 초과하는 물 흡수에 대해 탁월한 성능을 나타냄.



- 논문
  - Nature Communications, 7, 10922 (2016).
  - Chem, Commun. 52, 280 (2016).
  - Adv, Porous Mater., 4, 179 (2016).
- 특허 : 국외출원 1건, 국내등록 1건
  - 제올라이트 성형입자의 제조방법 및 상기 제조방법에 의해 제조된 제올라이트 성형입자 PCT/KR2016/002845 (2016).
  - 제올라이트 성형입자의 제조방법 및 상기 제조방법에 의해 제조된 제올라이트 성형입자 10-1623910 (2016).



## 전기화학공정을 이용한 고방열기판 전극형성 기술

고효율 유/무기 하이브리드 열전 모듈 원천기술 개발 자료연구소 임재홍

## 기술 개요

- 고집적화된 전자소자들은 재료 내 발생되는 열로 인하여 디바이스 수명, 효율 감소 발생한 열을 효과적으로 방출시켜주는 방열회로기판 사용 필수
- 차세대 방열기판인 Si₃N₄에 전극형성 기술은 전무하여, 전기화학공정을 통하여 고신뢰성 금속 전극 형성
- 표면 에칭 공정 및 표면처리 공정을 통한 기판과 금속 전극간에 밀착력 향상



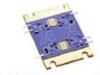
TaN thin film resistor on AIN



TaN/Ti/Pd/Au thin film on AIN (LD, PD submount)



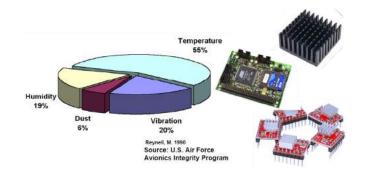
RuO2 thick film resistor on AIN



1.8-2.2GHz power amplifier on AlN substrate over Cu flange

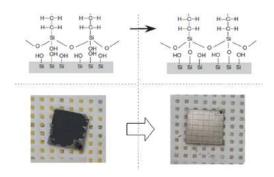
## 적용분야

- 진공공정 및 고온공정(>1000℃)이 필요하지 않아 향후 대량생산이 가능할 것으로 기대
- Sn free 무전해 도금 공정으로 친환경적 미래산업에 부합
- AIN, 알루미나 등 다른 방열기판에도 손쉽게 적용 가능
- 기술응용분야
  - : Industrial power supply/regulator/inverter/converter etc. PDP, LCD BLU(LED TV) – LED lighting, Motor PCB



## 기술 특징

- 방열기판에 전극을 형성하는 기존 공정 진공/고온 열처리 공정이 필수 적으로 필요하지만 이러한 기존의 공정들은 원천기술이 이미 선점
- 따라서 본 연구에서는 이러한 기술적 문제를 해결하고자 습식기반 촉매 처리 및 습식도금을 통하여 고전도/고신뢰성의 전극을 형성
- 표면처리 공정: nitride층에 silane기를 흡착시키기 위해서는 표면에 OH기 형성 과정이 필요〉NHO₃용액에 처리하여 OH기를 형성 및 silane 처리 후 Pd-TiO₂층을 ink dropping을 통해 형성하고 무전해 도금을 통해 고밀착력 전극 형성



## 활용사례

- 특허 : 국내출원 2건, 국외출원 2건
  - SILANE공정(APTES)을 이용한 강도/열전도도가 향상된 Si₃N₄ 방열기판,
     PCT/KR2017/009374 (2017)
  - 전기화학공정을 이용한 유기-무기 복합 반도체 소자 및 이의 제조방법, PCT/KR2016/003811 (2016)
  - 방열 기판 및 이의 제조방법, 10-2017-0093253 (2017)
  - 전기화학공정을 이용한 유기-무기 복합 반도체 소자 및 이의 제조방법, 10-2016-0000223 (2016)

## ■ 이전가능기술

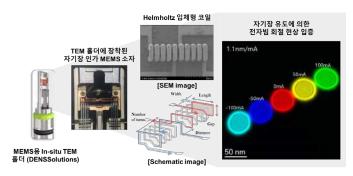
- 발열핀의 절연층 형성 및 전극 형성 기술
- 방열기판의 대면적 전극형성 기술
- 방열기판의 미세패턴 형성 기술

## 자기구조 해석을 위한 실시간 전자현미경 홀더 시스템

다기능성 소재 특성 평가 및 해석 기술 개발 모항공과대학교 최시영

## 기술 개요

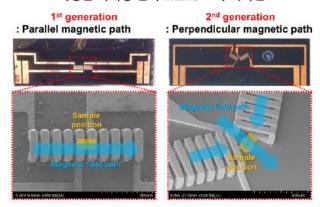
- 투과전자현미경(TEM)용 홀더 내에 자기장을 효율적으로 인가하기 위한 소자 제작 기술 및 분석 기술
- MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 기법을 활용한 초소형 자기 장 인가 소자 개발
  - 나선형의 입체형 헬름홀츠(Helmholtz) 코일을 이용한 미소 영역에서의 자기장 집중화를 통해 효율적인 자기장 인가 가능
  - 실제 TEM 내에서 자기장에 의한 전자 빔의 회절 현상을 통해 전류량에 따른 자기장 인가를 입증



## 기술 특징

- 다양한 형태의 입체형 코일 제작을 통해 원하는 방향과 세기의 자기장을 인가할 수 있도록 설계
- MEMS 기법의 입체형 코일 제작 기술을 활용하여, 기존의 거대 전자기 코일 사용에 의한 홀더 부피 증가 문제를 해결해, 렌즈 거리에 따른 공간 분해능을 대폭 항상시킬 수 있음

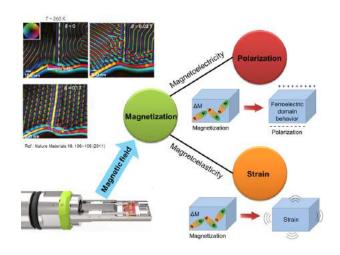
### 다양한 자기장 인가 MEMS 소자 디자인



■ 국소부위의 자기장 인가가 가능하므로 기존의 홀더 시스템에 비해, 전류 의 세기를 감소시켜 전류 효율성 증대하며, 자기장으로부터 TEM 렌즈에 영향을 최소화하여 이미지 작업의 해상도 저하를 방지할 수 있음

## 적용분야

- 투과전자 현미경을 통한 다강성 소재 및 다양한 전자기 소재에서 외부 자기장 인가를 통한 미세 구조적 전기적/자기적 물성 변화 해석 연구가 가능해짐
- In—situ TEM 홀더 DENSsolutions 社와 협업하여 자기장 인가 MEMS 소자를 상용화 시킬 수 있음



- 특허 : 국내출원 1건
  - 입체형 코일 구조를 갖는 자기장 발생 소자 및 그 제조 방법 (2016,10,12) / 출원

## 인공지능 기반 소재물성 분석 인프라 구축

다기능성 소재 특성 평가 및 해석 기술 개발 모항공과대학교 최시영

## 기술 개요

- Scanning transmission electron microscopy(STEM)을 이용한 원자 단위의 결정 구조 관찰과, 머신러닝 기반의 인공지능 원자구조 해석 기법 을 통한 원자구조 정밀해석기술
  - 저전압 모드 및 fast scanning을 통해 얻은 심각한 STEM 이미지 노이
     즈를 줄이기 위해 머신러닝 기반의 새롭고 강력한 이미지 처리 기술을 개발함
  - 본 기술을 통해 노이즈가 심한 STEM 이미지에서도 원자 칼럼의 위치를 정확하게 결정함과 동시에 위치에 대한 기하학적 정밀 분석이 가능하며, 이를 통해 물질의 구조-특성의 관계에 대한 연구를 수행할 수 있음

## 머신러닝 이미지 처리를 통해 개선된 원자 위치 정보 정확도



Original STEM image

기술 특징

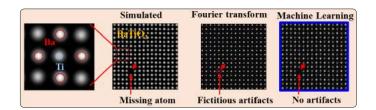






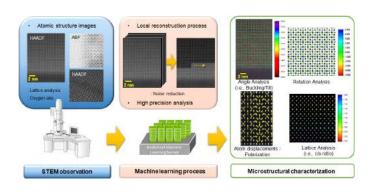
Machine learning

### ■ 유저 친화적 인터페이스 구축을 통해. 누구나 손쉽게 사용 가능하도록 만듦



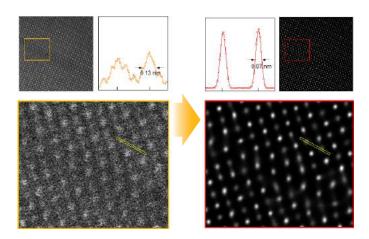
## 적용분야

- 해상도는 높지만 노이즈가 많이 발생하는 차세대 고해상도 STEM에서, 고 정밀 원자 구조 분석에 매우 중요하게 사용될 것으로 기대됨
  - 특히 STEM의 ABF 모드에서 약한 산소 원자의 위치와 같은 파악하기 힘든 정보를 얻기 위한 기술로 활용 가능성을 가짐



## ■ 본 기술은 국부적으로 이미지를 나누어 처리하기 때문에, 기존 기술인 푸리에 필터링에서의 평균 효과로 인한 artifacts 발생을 막을 수 있음

- 이미지의 contrast도 기존보다 더 향상되어 이미지의 정보를 더욱 정확 하게 추출할 수 있게 함



- 온라인 서버 접속을 통해 원본 데이터를 처리하여 정량 분석 결과 및 향 상된 이미지 데이터를 받을 수 있도록 함
  - 원격 서버 접속을 하는데 필요한 라이센스는 온라인으로 구입할 수 있 도록 할 예정

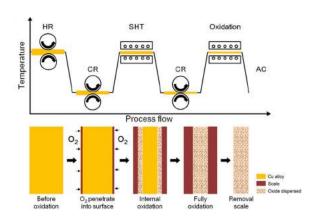
- 특허 : 국내출원 1건
  - 원자구조 해석용 인공 지능 개발 (2017.11.20) / 출원

## 전산모사기술을 통한 고강도/전도성 혁신적 구리소재 설계 기술

Materials Computation | 연세대학교 한병찬

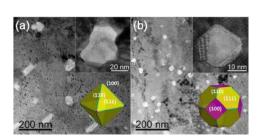
## 기술 개요

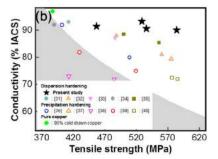
- 기존 알루미나 분산동 대비 전기 전도도 15%, 기계적 강도 20% 이상 향상시킨 혁신 소재 구현
- 근본 원리: 순수 알루미나 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 나노입자에 극소량의 Ti을 도핑하여, 형상 제어가 가능함을 밝힘 (판상형에서 구형체로 상전이): <u>제1원리 전</u> 산모사를 통한 메커니즘 규명



## 기술 특징

- 구리기지와 분산 알루미나 나노 입자간 계면에너지를 미량의 전이금속 도핑을 통해 제어함: 제1원리 전산 예측 + TEM 관측 + 실험적 검증
- 구리기반 저가 및 쉬운 제조 공정으로 내열성 소재로 개발





## 적용분야

■ 컴퓨터 CPU 핵심부품간 연결선, 내열성이 요구되는 전기 및 전자부품, 내 마모용 소재 등 다방면으로 활용 가능한 소재





### 확용사려

### ■ 논문

- Scientific Reports, 5, 15050 (2015)
- Scientific Reports, 5, 17364 (2015)
- Scientific Reports, 6, 30907 (2016)





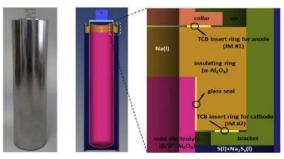


## 액상 Na 내부식성 및 기계적 성질이 우수한 삽입금속 및 접합기술

초고강도 하이브리드 접착소재 원천기술 개발 부산대학교 **최영선**, 부산대학교 **강정윤** 

## 기술 개요

- MW급 에너지 저장 장치(Energy Strorage System, ESS) 중 하나인 NaS(Sodium—sulfur) 전지 내 Ceramic—Metal 접합체를 제작하기 위한 고강도 하이브리드 인터페이스 삽입금속 개발.
- 고온 전지(350°C 이상) 특성상 액상의 Na가 Ceramic-Metal 접합체의 삽입금속에 닿아 접합 면적 감소 및 접합강도 저하. → 높은 액상 Na 내부 식성 및 접합강도 갖는 삽입금속 개발.

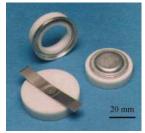


Tubular NaS Battery

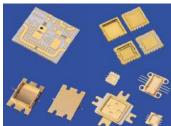
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Metal 접합부

## 적용분야

- Ceramic—Metal 이종 재료 접합체는 이차전지, 전자 센서, 전자 소재산업 분야에 적용 가능하며, 접합용 삽입금속 조성 및 접합 프로세스는 산업적으로 큰 중요성이 있음.
- 액상 Na를 사용하는 분야 (Na based 이차 전지, 소듐 냉각로)에서 액상 Na 내부식성과 접합강도를 높인 건전한 Ceramic—Metal 부품체를 형성할 것으로 기대.



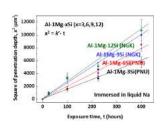
Ceramic-Metal Component

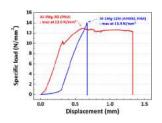


Ceramic Packaging Product

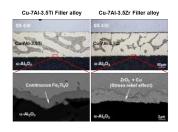
## 기술 특징

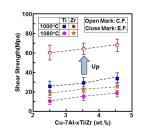
- 저온용 Al-1Mg-xSi (x=3,6,9,12) 합금 개발
  - 기존 NGK사 대비 Si 함유량을 낮춰 부식생성물의 양을 감소 시켜 액상 Na 부식 속도 25.5% 저하 및 동등한 접합 강도 구현.





- 고온용 Cu-7Al-xZr 합금 및 New Bonding Process 개발
  - 기존 Ti 첨가 합금 대비 액상 Na 부식 향상 및 접합강도 상승.





- 논문
  - J. Mater. Proc. Tech., 241, 112-119 (2017)
  - Korean J. Met. Mater., 54, 899-907 (2016)
  - Corrosion Science, 98, 748-757 (2015)
- 특허 : 국내출원 1건, 국내등록 1건
  - 다공성 금속 구조체의 제조방법, 10-1759653 (2017)
  - 금속폼재의 확산접합 방법, 10-2016-0120794 (2016)

## 유·무기 하이브리드 나노입자 기반 고인성 고분자 복합재료

초고강도 하이브리드 접착소재 원천기술 개발 │ 부산대학교 **최영선**, 고려대학교 **방준하** 

## 기술 개요

- 산업기술의 첨단화에 따라 고경량/고기능성 복합소재에 대한 개발이 산업 각계에서 필수적으로 요구됨
- 새로운 형태의 유·무기 나노입자를 합성하고 복합재료 강화재로 도입하여, 기존 소재의 한계를 극복하는 고경량/고강도 나노복합재료를 개발함



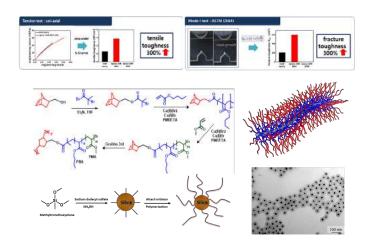
## 적용분야

- 우주항공, 수송기기, 반도체 소자 및 부품산업 전 분야에 공통적으로 적용 가능한 고분자복합재료는 산업적으로 큰 중요성이 있음
- 개발된 유·무기 나노입자 강화재는 다양한 상업용 수지에 적용 가능

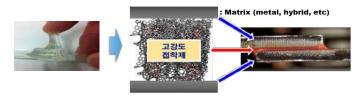


## 기술 특징

- 복합소재의 고인성과 강화재의 분산성을 동시에 구현하고자 코어쉘 구조 의 유·무기 나노입자를 설계
- 병솔형 공중합체(Bottle brush polymer)의 주 사슬에 내충격성 고분자블 록 도입으로 고강도·고인성 구현, 곁 사슬에 miscible 블록 도입으로 분산 성을 향상시킴
- 복합재료 강화재로 널리 쓰이는 실리카 나노입자의 표면개질을 통한 우수한 특성 구현. 다양한 특성의 고분자 블록을 실리카 나노입자 표면에 접목하여 활용



- 대표적 활용 사례
  - 세계 최고의 고강도 구조용 접착제 핵심 구성 성분으로 활용 → 양산 초기 단계



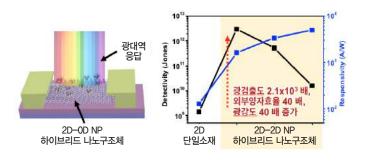
- 특허 : 국내출원 5건, 국외출원 1건, 국내등록 2건, 국외등록 1건
  - 열안전성이 우수한 코어쉘 구조의 나노 입자 블록 공중합체 복합체의 제조 방법 (2013,02,25) / 등록
  - Block copolymer, method of forming the same, and method of forming pattern, US9255170B2 (2015,07,07) / 등록
  - 에폭시 접착제용 첨기제 및 이를 포함하는 구조용 에폭시 접착제 조성 물 (2017,05,12) / 출원
  - 높은 연신율 및 내충격성을 갖는 구조용 접착제 조성물 (2017,05,12) / 출원

## 이차원 하이브리드 나노구조체 기반 광대역 고감도 광센서

인공 두뇌급 고성능 소자 구현을 위한 3D 집적 반도체소재 원천기술 개발 | 광주과학기술원 이병훈. 성균관대학교 이성주

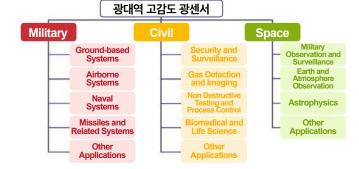
## 기술 개요

- 밀도와 크기가 제어된 신기능성 영차원 나노 입자 합성 원천기술 개발
- 이차원 면소재와 영차원 나노입자 소재 집적공정 개발을 통하여 이차원 하이브리드 나노구조체 소자 구현
- 기존 이차원 단일소재 대비 우수한 광대역(Visible IR), 광검출도 및 광 감도(R: 5×103 A/W, D\*: 3×1012 jones), 양자효율 및 응답시간 달성



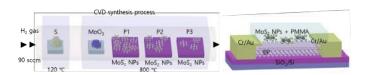
## 적용분야

- 첨단 소재와 공정기술의 접목으로 감지 기능이 획기적으로 개선된 광대 역 광센서는 군사, 민간, 우주산업 전 분야에 걸처 공통적으로 적용 가능
- 신수종 산업(IoT 기반 로봇, 자동차, 모바일)에 적극 활용되는 핵심 소재 및 소자 기술

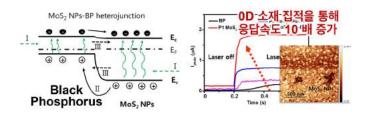


## 기술 특징

■ 기존 이차원 소재의 장점인 우수한 투명성과 기계적 유연성은 유지하면 서, 광대역 응답 특성과 우수한 광검출도 및 감광도를 구현하기 위해 영차 원 형태의 나노 입자를 합성하고, 이차원 면소재에 집적하는 하이브리드 나노구조체 집적공정 개발



■ 표면처리, 공정 온도 및 위치 등 공정 변수를 조절하여 밀도/두께/크기가 제어된 다양한 특성의 영치원 나노입자 합성



■ 이차원 면소재의 광 흡수. 이차원 면소재와 나노입자 사이의 광전하 전달. 전자 정공 쌍의 재결합 억제를 통한 광특성 향상

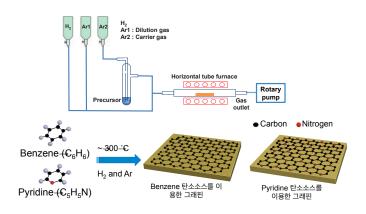
- 논문
  - Nanoscale, 7, 1688 (2015)
  - ACS Nano, 9, 8729-8736 (2015)
  - IEEE Trans. Nanotech., 14, 238-242 (2015)
  - Nanoscale, 8, 16995 (2016)
  - Chem. Mater., 29, 3143-3151 (2017)
  - Small, 1703065 (2017)
- 특허: 국내출원 3건
  - 층 수 제어가능한 이황화몰리브덴, 10-2015-016000 (2015)
  - 비휘발성 메모리 소자, 10-2017-0057884 (2017)
  - 다기능성 단일 채널 흑린 기반. 10-2017-0094933 (2017)

## 화학기상증착법을 이용한 저온 그래핀 합성 공정 기술

인공 두뇌급 고성능 소자 구현을 위한 3D 집적 반도체소재 원천기술 개발 라우구과학기술원 이병훈, 광주과학기술원 함문호

## 기술 개요

- 그래핀과 유사한 구조를 가지는 탄소소스를 이용하여 저온에서 그래핀을 합성하는 공정 기술 개발
- 저온에서 그래핀을 합성하기 때문에 공정 비용을 절감할 수 있으며, RTP 공정에 적용하기에 적합함.



## 적용분야

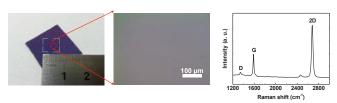
- 그래핀 저온 합성 기술은 전자소자, 광소자, 태양전지 등 그래핀의 활용 분야를 확장할 수 있음.
- 특히 반도체 소자와 배선, 유연 소자 등의 그래핀 기반 미래형 전자소자의 산업화와 실용화를 앞당기는 데 기여할 것으로 기대



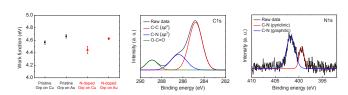
## 기술 특징

- 화학기상증착법을 이용하여 그래핀과 유사한 구조를 가지는 탄소소스(벤젠, 피리딘)를 이용하여 저온(300°C)에서 그래핀을 대면적으로 합성함.
- 벤젠 탄소소스를 통해 합성하면 pristine 그래핀이 합성 가능하며 피리딘 탄소소스를 이용하면 도핑된 그래핀이 합성 가능함.(피리딘 내 질소 원자 포함)

〈벤젠 탄소소스를 이용하여 저온에서 합성된 그래핀의 물성 분석〉



〈피리딘 탄소소스를 이용하여 질소가 도핑된 그래핀의 물성 분석〉



### 활용사례

### ■ 논문

- Low-temperature-grown continuous graphene films from benzene by chemical vapor deposition at ambient pressure, Scientific Reports (2015,12)
- 특허 : 국내출원 1건, 국내등록 1건
  - 질소 도핑 그래핀의 제조방법 (2017.03.02) / 출원
- 벤젠을 이용한 그래핀의 합성 방법 (2016.05.27) / 등록

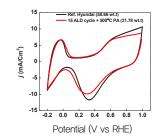


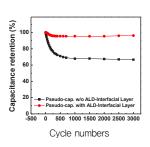
## in-situ 원자단위 표면개질을 통한 고활성 나노인터페이스 소재 합성 기술

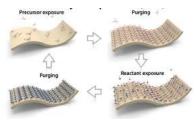
하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호, 부산대학교 권세훈

## 기술 개요

- 자기 제한적 분자자기조립방식의 원자층증착법을 활용하여 Inert한 Carbon 및 Polymer 등 이종 계면에서의 원자단위의 고정밀/균일 핵생성 제어를 통해. 표면 활성이 극대화된 Sub 5nm 수준의 나노인터페이스소 재 원천기술 개발
- 새로운 표면개질기법 및 대용량/대면적 신공정 기술 적용을 통해 기존 종 래 기술 대비 최소화된 물질 사용량을 통해 우수한 활성 및 기능성을 구현





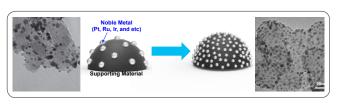




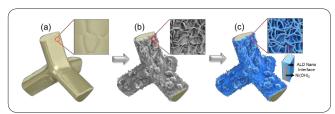
- 미래 친환경 연료전지의 가장 높은 가격비중을 차지하는 촉매의 높은 가 격비중과 오랜 공정시간 해결을 통해, 미래 친환경 에너지원인 수소를 활 용하는 연료전지의 대중화에 기여할 것으로 기대
- Inert한 Carbon 및 Polymer 등 이종계면에서 균일한 나노 인터페이스 구 현을 통해. 다양한 에너지 및 전자소자 구현에 기여할 것으로 기대

## 기술 특징

■ in-situ 원자단위 표면개질법 적용을 통해. 이종표면상 고밀도 기능기를 구현. 불활성 특성을 가지는 이종계면에서 고균일/고밀도/고촉매활성 구 현이 가능한 나노인터페이스를 구현



■ 자체 개발된 유동층 원자층증착법을 적용하여, 현재 상용화 되어 있는 연 료전지용 Pt/C 촉매대비, 2배 이상의 활성표면적 및 50% 이상의 Pt 저감 이 가능하며, 기존대비 1/10 이하로 제조 공정시간 단축이 가능함.



■ 또한, 본 기술은 Pseudo-capacitor에 활성 나노인터페이스로 적용시, Cycle Retention 특성 및 용량의 동시 향상이 가능함.







## 활용사례

■ 논문 : SCI급 9건 게재

■ 특허 : 국내출원 6건, 국내등록 1건

- 폴리머 이종계면에서의 초박막형성방법 (2014.04.29) / 출원
- PVD와 ALD를 조합하여 구성되는 내식성 향상 코팅막 및 그 제조방법 (2016.11.28) / 출원
- 내부식 특성이 향상된 고경도 코팅막의 제조방법 (2016.11.28) / 출원
- PEALD를 이용한 PEMFC의 분리판용 TIN 박막의 제조방법 (2016.03.11) / 출원

## Mn 첨가에 따른 생체흡수성 Mg-Zn-Ca계 합금 생체 적합성 향상 기술

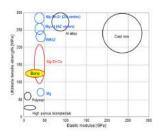
하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 | 미래소재연구단 김광호, 부산대학교 조경목

## 기술 개요

- 세계적 생체재료 시장 확대로 Mg 합금 중 Mg-Zn-Ca계 합금 물성이 사 람 뼈와 유사하여 생체 재료 적용 가능성 높음
- 생체흡수용 마그네슘 재료 개발 위해 Mn 첨가로 강도와 연성, 그리고 내 식성 확보하여 생체 적합성 보다 향상



전 세계 생체재료 시장 (2015)



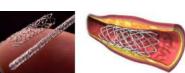
사람 뼈와 각종 재료의 물성 분포

## 적용분야

- 합금원소 설계 통한 생체 안정성 확보, 기계적 특성 및 내식성 향상으로 Mg-Zn-Ca계 합금 생체 적합성 향상
- 향상된 특성 바탕으로 뼈 이식용 임플란트 소재, 혈관 또는 비혈관용 스텐 트 소재 등 생체재료에 보다 활용 가능



생체재료록 이용한 뼈 골적 치료과정



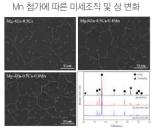
금속 생체재료 여러 형태와 적용 부위

혈관용 스텐트 및 시술 방법

## 기술 특징

- Mn 합금원소 추가로 생체 위험성 낮고 결정립 미세화 효과 가져오며 이 를 통해 기계적 물성 및 내부식성 확보
- 주조공정 시 Mn 합금원소 영향으로 편석, 기공 및 주상 구조 (columnar structure) 감소로 제품 건전성 및 성형성 확보

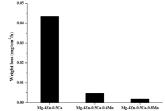
응력-변형률 곡선



Mn 첨가에 따른 상 부피분율 및 결정립 크기

	Volume fraction (%) of Ca <sub>3</sub> Mg <sub>6</sub> Zn <sub>3</sub> phase	Grain size (µm)
Mg-4Zn-0.5Ca	1.60	124
Mg-4Zn-0.5Cn-0.4Mn	2.62	72
Mg-4Zn-0.5Cn-0.8Mn	3.83	46

Hank's solution 내 부식속도 비교



## 활용사례

- 논문
  - J Alloy Compd, 676, 461-468, (2016)



J Alloy Compd, 695, 1166–1174, (2017)

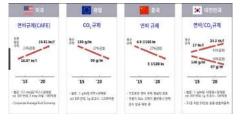


## 고강도 내마모용 Hybrid CNT+AB,/Mg 복합재료 제조공정 및 나노인터페이스 특성 제어 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호, 부산대학교 조경목

## 기술 개요

- 수송기기 분야 연비 및 CO<sub>2</sub> 규제에 따른 파워트레인 부품 경량화 위한 Mg 복합재료 제조 원천 기술 개발
- 탄소 나노 신소재 (CNF 및 CNT)를 강화재로 하는 Mg 금속 복합재료 개 발로 경량화 및 고온물성 확보



Carbon Nano Tube 모식도

세계 각국의 승용차 연비/CO, 규제

- 비강도 우수한 CNF 및 CNT 강화재 적용 Mg 복합재료 제조로 경량화, 고 강도 및 고온물성 확보
- 경량화와 기계적 물성 확보로 자동차 파워트레인 부품 뿐만 아니라 선박 엔진 부품 및 항공기 동체 등에도 활용 가능

자동차 파워트레인



자동차 wheel



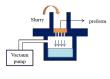
선박 추진기관



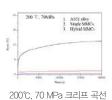


## 기술 특징

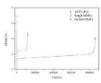
- 용탕가압 침투법 (Squeeze Infiltration) 적용으로 탄소 나노 강화재 예비 성형체에 Mg 합금 용탕을 충분히 침투시킬 수 있으며 가압으로 인한 소 재 치밀도 확보
- 탄소 나노 강화재 (CNF 및 CNT) 분산기술 확보로 탄소 나노 재료간 응집 을 제어 하고 균일 분산된 Mg 복합재료 제조
- 기존 Mg 합금 대비, 제조한 Mg 복합재료 고온특성 향상







진공 탈포 방법



용탕가압 침투법

AB,, 주변 CNT 및 binder 부착 모습 250℃, 50 MPa 크리프 곡선

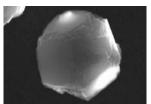
- Creep Properties of squeeze-Infiltrated Carbon Nanotube and Aluminum Borate Whisker Reinforced AS52 Mg Metal Matrix Composites. Metals and Materials International (2017) 외 2건

## 다이아몬드 공정에서 전하를 활용한 새로운 합성 기술

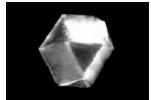
하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호, 서울대학교 황농문

## 기술 개요

- 하전된 나노입자이론을 기반으로 Hot-filament CVD의 기상에 존재하는 전자의 밀도제어를 통한 다이아몬드 박막증착 속도 및 결정성 향상 기술 개발
- 제일 원리 계산을 통하여 다이아몬드 공정에 미치는 Charge 효과를 규명 하고, 이를 공정디자인에 적용
- CVD 공정 도중 발생하는 Charge와 Diamond Particle의 영향 관계를 확 인하고, 공정에 미치는 효과를 규명







Control variable: density of electron

## 기술 특징

- 과잉전하(Excess Charge)는 다이아몬드 Cluster의 Bond Strength에 영 향을 미침. C2H6 분자모델에서 과잉전하가 있을 시에 C-H 및 C-C 결합 에너지가 낮아지는 계산결과를 보임.
- C-H 결합 에너지가 낮아지는 계산결과로부터, 다이아몬드 표면을 안정화 시키고 있는 C-H가 Charge로 인해 쉽게 떨어져 다이아몬드의 성장속도 를 촉진시킬 것을 알 수 있음.
- C-C 결합 에너지가 낮아지는 계산결과로부터, 다이아몬드 Cluster 의 Carbon Bond가 Liquid-like 하며 Charge가 있는 조건에서 쉽게 Diffusion 할 수 있음을 알 수 있음.

### Bond dissociation energy

	C2H6		
	(optimized)	(unoptimized)	
C-H	4.61	4.61	Si-H
C-H (-)	3.50	3.79	Si-H (-)
C-H (+)	1.31	0.90	Si-H (+)
C-C	3.98	3.98	Si-Si
C-C (-)	2.57	2.77	Si-Si (-
C-C (+)	2.40	1.63	Si-Si (+

\* FHI-alms code / B3LYP-functional

Bond dissociation energy

	Si2H6		
	(optimized)	(unoptimized)	
Si-H	4.00	4.00	
Si-H (-)	1.67	1.49	
Si-H (+)	2.08	1.82	
Si-Si	3.21	3.21	
Si-Si (-)	1.33	1.04	
Si-Si (+)	1.78	1.60	

<sup>\*</sup> FHI-alms code / B3LYP-functional

## 적용분야

- 4차 산업혁명, 지구환경문제 등으로 소재의 고효율화, 고성능화에 대한 수요가 급증함. 다이아몬드는 우수한 물성으로 인해 전자소재, 구조소재 등 다양한 산업 분야에서 그 응용이 기대됨.
- 특히, 다이아몬드의 높은 열전도도와 높은 캐리어 이동도로 인해 기존의 Si반도체를 보완할 고온, 고성능 반도체 재료로 주목받고 있음.
- 박막 증착 공정 과정이 필요한 실리콘 박막, 반도체 공정 등 CVD를 활용 하는 공정에서 박막의 물성 변화에 적용이 가능함.

- 논문
  - Carbon, 106, 289-294 (2016)
- 저서
  - Non-Classical Crystallization of Thin Films and Nanostructures in CVD and PVD Processes, ISSN 0931-5195, Springer
  - Diamond: Low-Pressure Synthesis, Materials Science and Materials Engineering, ELSEVIER



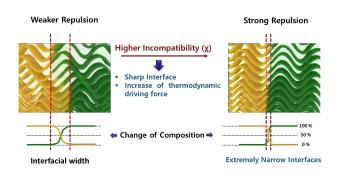


## 초고해상도 블록공중합체 자기조립 공정 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호. 한국과학기술원 정연식

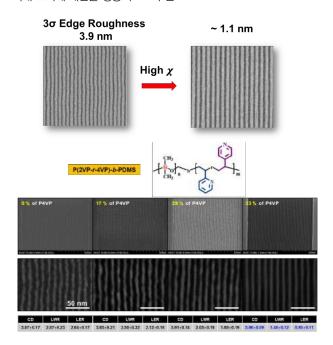
## 기술 개요

- 블록공중합고분자(Block Copolymer, BCP)의 고분자-고분자 하이브리드 인터페이스의 상호작용 정도를 제어함으로써 패턴 해상도, 패턴 품질, 패 턴 형성 속도 등을 극대화
- 초고밀도 패턴인 5나노급 자기조립 패턴 형성 기술을 개발하고 반도체, 센서 소자, 3차원 촉매 등의 응용 기술을 개발



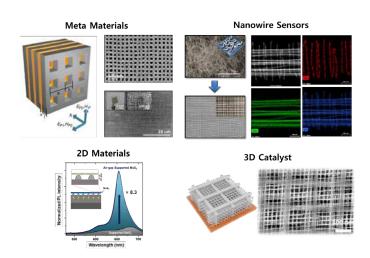
## 기술 특징

■ 거대 X 인자를 통해 고분자-고분자 인터페이스 상호작용을 제어할 수 있는 BCP 소재를 합성하여 Edge roughness가 최소화된 패턴 및 5나노미터대 초미세 패턴을 성공적으로 구현



## 적용분야

- Sub-10 nm급 초고밀도 패턴을 저비용으로 대면적에 구현할 수 있는 거의 유일한 기술로서 다양한 응용 분야에 있어 유용한 기반 공정 기술로 활용 가능
- 본 연구팀에서는 차세대 반도체 공정 기술 이외에도 광학 메타물질의 대 면적 제작 공정 기술, 고성능 센서 소자 제작 기술, 3차원 촉매 제작 기술, 2차원 소재 성능 향상용 나노패턴 기판 제작 등에 활용함



## 활용사례

## ■ 논문 게재 예정

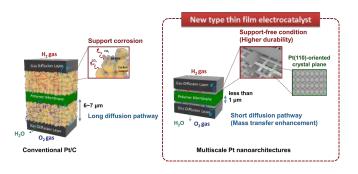
- Transferrable Plasmonic Au Thin Film Containing Sub-20 nm Nanohole Array Constructed via High-resolution Polymer Selfassembly and Nanotransfer Printing
- Block Copolymer-patterned Air-gap Supporting Structures
   Stably Eliminate Substrate Effects Imposed on Two-dimensional
   Semiconductors

## 3차원 백금나노아키텍처 촉매 제조 및 연료전지 활용 기술

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재 · 부품 개발 | 미래소재연구단 김광호. 한국과학기술연구원 정연식

## 기술 개요

- 기존 연료전지 상용 촉매(Pt/C)의 경우 가격이 비싸며 카본부식으로 인해 내구성이 취약함.
- 카본이 없는 고효율 고내구성의 3차원 백금 나노아키텍처 촉매를 제작하고 촉매로 활용함.

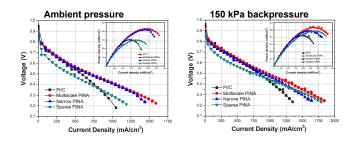


## 적용분야

■ 다양한 템플릿을 활용하여 연료전지용 적절한 기공과 표면적을 갖는 멀 티스케일 백금나노아키텍처 전극촉매 제조.

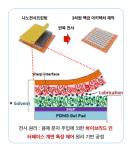


■ 실제 연료전지 구동시 짧은 확산거리와 잘 제어된 구조로 인해 우수한 물 질 전달 향상을 보임. (최대출력밀도 27% 향상)

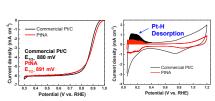


## 기술 특징

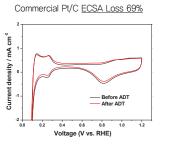
■ 용매 분자 주입에 의한 하이브리드 인터페이스 계면 특성 제어 원리 기반 공정을 통해 3차원 백금 나노구조체 제작.



■ 반쪽전지 통한 촉매 특성 분석.



■ 열화테스트 후 상용촉매의 활성 표면적 감소율은 69%인 반면 백금 나노 아키텍처 촉매의 경우 카본부식이 없기에 5%로 우수한 내구성을 보임.



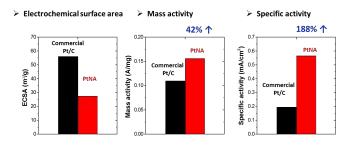
Multiscale PtNA ECSA Loss 5%

Before ADT

After ADT

Voltage (V vs. RHE)

■ 상용촉매 대비 mass activity 42%, specific activity 188% 향상.



- 논문 게재 예정
  - Highly efficient and stable multiscale Pt nanoarchitecture electrode for polymer electrolyte membrane fuel cells.

## 멀티스케일 시뮬레이션을 통한 재료디자인

하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발 I 미래소재연구단 김광호. 한국과학기술원 이혁모

## 기술 개요

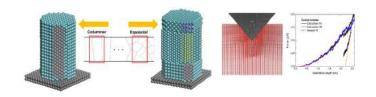
■ 계면에서 일어나는 현상을 컴퓨터 시뮬레이션으로 미리 예측, 재료를 디 자인하는 방법 제시



컴퓨터 시뮬레이션으로 재료 디자인

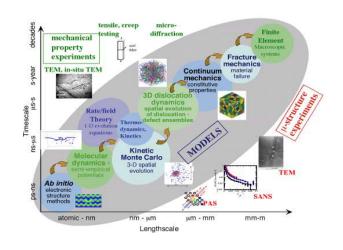
## 적용분야

- 박막은 태양전지나 각종 센서같은 전자소자, 표면코팅, 혹은 최근 각광받고 있는 플렉서블 전자소자 등에 매우 널리 사용되고 있음
- 다양한 종류의 시뮬레이션을 이용하여 박막의 상태와 기계적 성질 간의 관계를 도출해낼 수 있다면 간단한 기계적 성질의 측정으로 박막 내부의 상태를 쉽게 도출해낼 수 있을 것
- 반대로 합성하는 박막의 상태를 조절하여 사용처에 맞는 원하는 기계적 성질을 만들어낼 수 있을 것으로 기대



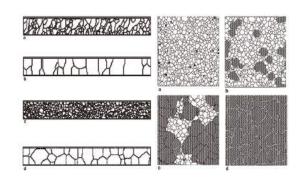
## 기술 특징

- 다양한 종류의 시뮬레이션 기법을 이용하여 박막 성장 조건에 따른 계면 에서 일어나는 현상을 관찰
- 열역학 데이터를 기반으로 직접 실험하는 것이 아닌, 컴퓨터 시뮬레이션만 으로 계면에서 일어나는 상호 확산으로 인한 상 변화를 정량적으로 예측
- 물질의 근본적 원리를 통해 재료의 여러가지 특성들을 계산하는 DFT 시 뮬레이션을 통해 박막의 기계적 특성 예측

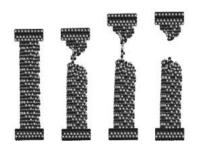


## 활용사례

■ Pt-Co 박막 결정립의 3차원 성장거동 확인



■ β-SiC 나노와이어의 인장 시험

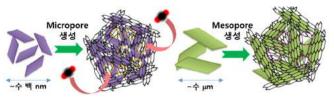


## 나노시트를 기반으로 하는 이종 혼합체의 흡착 및 촉매 소재

MOF 응용 복합구조체 원천기술을 통한 고활성 흡착제 · 촉매 개발 ┃ 한국화학연구원 장종산, 이화여자대학교 황성주

## 기술 개요

■ 높은 비등방성과 큰 비표면적을 갖는 무기 나노시트와 다양한 흡착소재 와의 나노미터 수준의 혼성화를 통해 다수의 흡착자리와 잘 제어된 다공 크기의 다공구조를 형성함으로써 수분 및 온실가스 등 타겟 물질에 대한 선택성과 흡착 기능을 최적화하는 기술 개발.



〈다양한 무기나노시트를 이용한 다공구조 흡착소재 합성〉

■ 높은 열적 화학적 안정성을 지닌 무기 나노시트와 기존 흡착소재와의 혼 성화를 통해 보다 향상된 열적/화학적 강도를 가지는 실용성 높은 흡착 소재 합성.

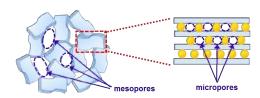
## 적용분야

- 우수한 흡착-탈착성능과 높은 안정성을 갖는 수분 흡착소재의 개발을 통해 에너지 절약형 냉방기의 실용화에 적용가능함.
- 이산화탄소 등 온실가스 흡착소재 개발은 사회적으로 중요한 이슈이며, 급격히 성장하고 있는 환경산업의 핵심기술임.
- 무기나노시트와의 혼성화를 통한 기존 흡착 소재의 안정성 향상 및 흡착 기능성 최적화 기술에 관한 산업재산권을 확보할 수 있음.

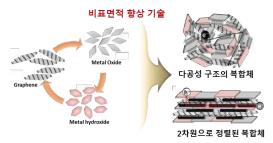


## 기술 특징

■ 무기 나노시트의 혼성화를 통한 메조기공 형성과 비표면적 극대화로 다 수의 흡착자리를 가진 우수 흡착 소재 합성.



■ 소량 무기나노시트 도입을 통해 그래핀 기반 혼성체의 자체응집에 의한 표면적 저하 문제점을 극복하며 최적화된 다공구조를 갖는 나노혼성체 합성.



■ 무기나노시트의 높은 안정성으로 MOF 등의 기존소재의 화학적 열적 안 정성 개선.

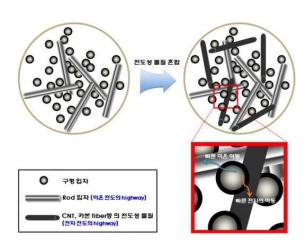
- 논문 : SCI급 11편 게재
- 특허: 국내출원 7건, 국내등록 3건
  - 이산화탄소 흡착제 및 이의 제조 방법 (2017.12.07) / 등록
  - 다공성 나노혼성 복합체, 이의 제조 방법, 및 이를 포함하는 이산화탄소 흡착제 / 2016.07.07 / 등록
  - 향상된 수분 흡착능을 가지는 신규 금속유기구조체-이중층 수산회물 혼성화 나노복합체 및 그의 제조방법 (2017.02.27) / 출원
  - 층상 티타네이트 나노시트 혼성효과를 이용한 그래핀 지지체 및 이 중층 수산화물을 함유하는 이산화탄소 흡착제 및 그의 제조 방법 (2017,02,27) / 출원
  - 다공성 나노복합체, 이의 제조 방법, 및 이를 포함하는 전극 물질 (2015.08.19) / 출원

## 나노구조 복합소재를 통한 이차전지 특성향상 기술

인터페이스 최적화 맞춤형 rod-shape 이차전지소재 원천 및 상용화 기술 개발 | 한양대학교 선양국, 전남대학교 김재국

## 기술 개요

- 이차전지의 수명특성 및 고율특성을 향상시키기 위한 방안으로 이온전도 가 용이한 rod-shape와 spherical-shape이 혼재된 나노 구조 복합소재 합성
- 다양한 나노 구조 복합소재 합성 및 이를 통한 이차전지 특성 향상



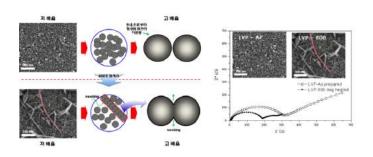
## 적용분야

- 전기자동차, 우주항공, 로봇 등 4차 산업 전 분야에 우선적으로 요구되는 이차전지 특성 향상은 산업적으로 큰 중요성이 있음
- 나노 구조 복합소재를 통한 이차전지의 특성이 향상되어 4차산업에 전반 적으로 활용될 것으로 기대
- 특히, 높은 출력이 요구되는 전기자동차 및 우주항공 분야에 적극 활용되어 고성능 구현에 기여할 것으로 기대



## 기술 특징

■ 용량발현에 기여하는 구형 나노입자와 이온전도도 향상에 기여하는 rodshape 입자의 나노 구조 복합소재를 통한 이차전지의 출력특성 향상 및 impedance 감소



■ 단일 구조 형태의 소재와 특성을 비교하였을 때 보다 향상된 고율 특성 및 수명특성을 보임

## 활용사례

■ 논문 : SCI급 18편 게재

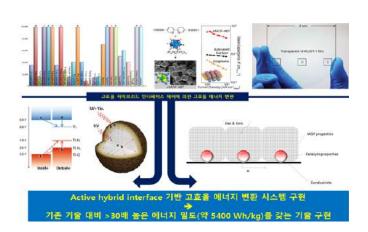
■ 특허 : 국내출원 5건, 국내등록 1건

## 초고율의 active 하이브리드 인테페이스 기술

분자/원자 레벨제어에 의한 고효율 에너지 소재 및 Device 개발 | 한국과학기술원 강정구, 한국과학기술원 김형준

## 기술 개요

- 자동차 등 대형시스템을 위한 기존 배터리 대비 〉30배 높은 에너지 밀도 를 갖는 화학적 연료로 전환할 수 있는 고효율 에너지 변환 기술
- Active 하이브리드 인터페이스 설계 및 구현을 통한 온실가스를 높은 에너 지 밀도와 고출력을 낼 수 있는 고부가가치 연료로 전환할 수 있는 기술



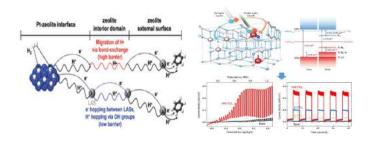
## 적용분야

- 에너지 사용에 따른 환경문제를 야기시키는 이산화탄소 등 유해분자를 유용한 화합물로 변환할 수 있는 획기적인 성능을 갖는 촉매소재 산업에 적용
- 배터리 대비 〉30 배 높은 에너지 밀도를 갖는 메탄올 등 액체연료와 가솔 린 (Methanol—to—Gasoline) 등 고부가가치 연료 확보를 통한 고부가가치 화학산업



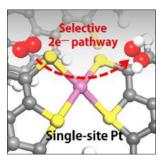
## 기술 특징

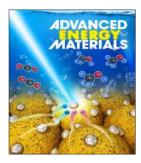
- 원자크기의 Pt 금속을 분산할 수 있는 기술을 세계 최초로 확보하여 수소 (배터리 대비 약 200배 높은 에너지 밀도)의 스필오버를 통한 초고율의 전기화학적 에너지 변환 기술 개발
- 코어─쉘 금속의 금속산화물의 표면에 전이금속을 추가적으로 붙여 이산 화탄소로 부터 배터리 대비 약 30배 높은 에너지 밀도를 갖는 메탄올을 얻는데 성공하여 초고효율의 전환기술 확보



### 환용사례

- 논문
  - Nature Communications., Advanced Energy Materials 등





- 특허: 국내출원 10건, 국외출원 6건, 국내등록 8건, 국외등록 2건
  - Method for Improving Solar Energy Conersion Efficiency of Semiconductor Metal Oxide Photocatalysis Using H2/N2 Mixed Gas Plasma Treatment, US 15/194985 (2016)
  - Design and Fabrication of Atomic-Scale Interlayers Enabling and Selective Electrochemical Conversion Catalysts of Carbon Dioxide into Value-Added C2+ Fuels, P-15991 (2017)
  - 계측정 육방정계형 아연 입자 및 이의 제조방법, KR 10-2016-0106364 (2016)

## 투과전자현미경법을 이용한 다기능성 금속소재의 미세구조 특성 평가 기술

다기능성 소재 특성 평가 및 해석 기술 개발 **포**항공과대학교 최시영, 강원대학교 임성환

## 기술 개요

- 전자현미경을 이용한 하이브리드 인터페이스 금속 및 세라믹 소재의 원 자단위 결정구조 분석 기술 개발
- 고분해능 전자현미경과 EELS 및 관련이론을 조합하여 계면 및 구조결함 에서 원자구조 특성 분석
- 분석 투과전자현미경 (EELS 및 EDS)을 이용한 조성 및 전자구조 분석
- 컴퓨터를 이용한 정량 투과전자현미경법에 의한 결정구조 특성 분석
- 박막 및 벌크 재료에서 미세 결정구조와 물리적 성질과의 관계 규명

## 기술 특징

### Function of TEM

## 이미지분석 미세구조 해석

명시야상(BF) 암시야상(DF) **HRTEM** 

**Image** Simulation

## 결정구조 해석

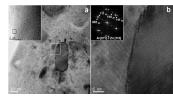
제한시야 회절 (SAD) Kikuchi 도형 수렴성빔 전자회절

화학성분 분석

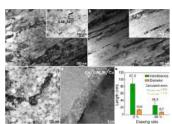
에너지분산 분광법 (EDS) 에너지손실전자 분광법(EELS)

### **Equipments**

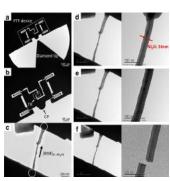




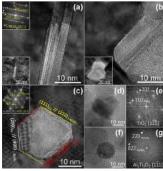
Zn precipitation in Al-43Zn-2Cu alloy



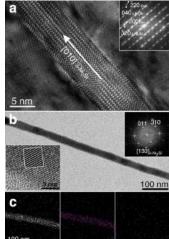
Uniformly arrayed precipitates of the colddrawn Cu-Ni-Si-Ti alloys



Ni2Si nanowire with a push-to-pull device the grain of Cu-6Ni-1,5Si alloy



Dispersed y-Al2O3 nanoparticles in Cu-0.8%Al alloy



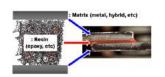
Schematic pictures of the tensile tests on a High resolution TEM images of DP region in

- 논문
  - Scientific Reports, 5, 15050 (2015).
  - Scientific Reports, 5, 17364 (2015).
  - Scientific Reports, 6, 30907 (2016),
  - Scientific Reports, 7, 12195 (2017).

## 하이브리드 유무기 소재 복합계면 물성 평가 기술

## 기술 개요

- 전산모사를 통해 접착 성능 평가 방법(ASTM D1002, D1876)을 모사하여 변형에 따른 하이브리드 계면에서 일어나는 접착 구조적 변화 및 접착 강 도(Shear, tensile stress curve) 예측
- 탄소나노튜브를 강화재로 이용한 고분자 나노복합재의 구조적 변형 메커 니즘과 기계적 물성간의 관계를 알아보기 위해 분자 동역학을 이용하여 이론적인 연구 진행







ASTM D1002 ASTM D1002

## 적용분야

- 에폭시 계열의 접착제의 경우 최근 경량화 자동차 구조 접착용으로 연구 개발이 되고 있으며 산업적으로 매우 중요함 또한 시뮬레이션 툴을 활용 한 고강도/고내열성 하이브리드 접착소재의 원천기술을 확보에 도움을 줄 것으로 기대
- 탄소섬유 제조 시 첨가된 나노물질이 기계적 강도에 미치는 영향을 정립 하여 복합재가 쓰이는 관련 분야에 기초 데이터로 활용이 가능







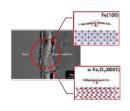


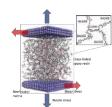


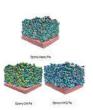


## 기술 특징

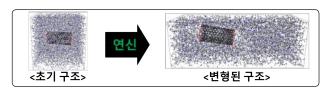
■ DFT 시뮬레이션을 통한 에폭시 접착 소재—철 금속 하이브리드 계면 내 접착 원리와 메커니즘 분석 연구를 통해 최적 접착 구조. 접착 에너지. 전 자 구조, 주요 접착 기재 파악 완료







- MD 시뮬레이션을 통한 3차원 망상 구조 형태 경화된 에폭시 구조 모사 후 안정화된 복합 계면 모델 확립
  - → 접착 특성 평가 시뮬레이션 프로토콜 개발을 통한 복합계면 특성 평가
  - → 이를 기반으로 신소재 스크리닝 및 물성 예측 플랫폼 개발
- MD 시뮬레이션을 통한 고분자 나노복합재 연신에 따라 복합재 내 기계적 물성 변화 확인 및 직경이 작은 CNT를 사용할수록 물성의 향상도가 더 증가하나 짧은 CNT의 사용에 의한 void의 형성으로 인해 기계적 물성이 저하됨을 파악



- Composite Science and Technology, 126, 9-16 (2016)
- RSC Advances, 6, 39587-39594 (2016)
- Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 53, 62-67 (2017)
- Carbon, 119, 492-501 (2017)
- Journal of Power Sources, 365, 372-379 (2017)
- Journal of Power Sources. 362. 115-122 (2017)
- Journal of Polymer Science, Part B, 55, 1470-1478 (2017)

## ■ 보도자료

- Advances In ENGINEERING에 Featured article로 수록



