

포스텍 고분자 표면 및 유기전자 연구실

Polymer Surface and Organic Electronics Laboratory, POSTECH

연구 책임자 : 조길원 교수

주 소 : (790-784) 경북 포항시 남구 효자동 산 31 포항공과대학교 화학공학과

전 화 : 연구실 054-279-2932/Fax 054-279-8298

홈 페이지 : <http://crg.postech.ac.kr>

1 연구실 소개 |

포스텍 고분자 표면 및 유기전자 연구실은 1988년에 설립되어 기능성 고분자 표면, 계면 연구를 바탕으로 유기전자재료 및 소자에 관한 연구를 수행하고 있다. 본 연구실은 나노수준에서의 유기 반도체 · 도체 · 층간 물질의 분자 설계 및 제조와 표면, 계면 특성 및 나노구조 제어를 통한 유기박막트랜지스터, 유기태양전지, 그래핀 소재 및 소자 기반의 고성능 소프트 일렉트로닉스 개발에 대해 연구하고 있다. 연구 분야로는 크게 유기반도체 박막의 나노구조 및 분자배향 제어를 통한 고성능 유기박막트랜지스터에 관한 연구, 광활성층의 나노 모폴로지 및 전극/광활성층 계면 제어를 통한 고효율 태양전지 개발, 그래핀의 성장 및 구조제어, 그래핀의 도핑 연구 및 생체모사를 이용한 기능성 나노표면 연구가 있다.

2 주요 연구 분야 소개 |

2-1. 유기반도체 박막의 나노구조 및 분자 배향 제어

유기박막트랜지스터의 소자 성능은 유기반도체 층의 나노구조와 분자 배향, 유기반도체층과 절연층의 계면 특성에 많은 영향을 받는다. 따라서 유기분자의 자기조립 단계에서 화학적, 물리적 특성을 정밀히 조절하여 유기 반도체 박막의 전기적 특성을 향상시키는 일은 중요한 연구 분야이다. 그 중 절연체 층의 표면에너지와 dipole moment를 제어하여 유기반도체 분자의 자기조립 특성을 제어하는 연구가 본 연구실에서 활발히 진행되었으며 절연체 표면 위에 다양한 종류의 자기조립 박막(self-assembled monolayer)을 도입하고 그 특성에 따라 반도체 박막의 나노 구조 및 분자 배향이 어떻게 변화하는지 연구되었다. 예를 들면, organosilane 계열 자기조립박막의 알킬 체인 길이와 결정화 정도에 따라 펜타센 박막의 결정 구조와 분자배향이 어떻게 변화해 가는지 체계적으로 밝혀내었다(그림 1a). 유기반도체 분자의 자기조립을 제어하는 또 다른 시도로 공정단계의 물리적 변수들을 제어하는 방법이 있다. 본 연구실에서는 유기반도체/절연고분자 복합체의 상분리 거동을 용매의 증발거동을 통해 조절하여 유기박막트랜지스터의 성능을 크게 향상시킨바 있다(그림 1b). 이와 같은 방법에 새롭게

디자인된 유기반도체 분자들을 도입하여 최종적으로는 기존 무기물 기반 트랜지스터의 성능을 뛰어넘는 유기트랜지스터를 제조하리라 기대하고 있다.

2-2. 광활성층의 나노 모폴로지 제어를 통한 고효율의 유기태양전지 개발

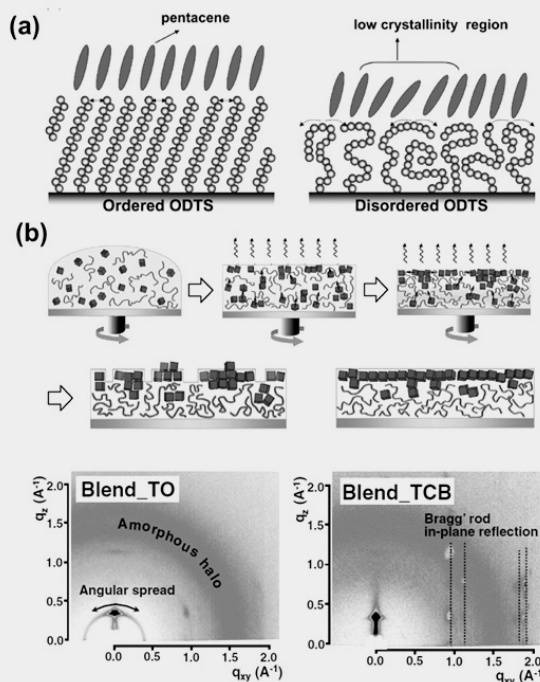


그림 1. (a) 절연층 위 자기조립 박막의 결정화 정도에 따른 펜타센 박막의 결정 구조 및 분자배향 (b) 유기반도체/ 절연고분자 복합체의 수직 상분리 과정 및 용매의 끓는점에 따른 유기반도체의 결정화도 변화 (왼쪽 : toluene (b.p. 111 °C), 오른쪽 : 1,2,3-trichloro benzene (b.p. 214 °C))

광활성 전도성 고분자를 사용한 유기 태양전지는 용액상 저가 공정의 적용, 유연성을 이용한 소프트 일렉트로닉스에서의 적용 등의 장점을 가지고 있다. 유기 태양 전지의 광전 변환효율을 높이기 위해 Bulk-heterojunction (BHJ) 구조가 사용되며 광활성층의 나노모폴로지 및 미세구조를 제어하는 것이 본 연구실의 중요한 연구분야이다. BHJ 구조는 짧은 엑시톤 이동 거리를 고려한 광활성층의 구조로서 전자 주게 물질과 전자 받게 물질이 혼합되어 있는 형태를 가진다. 특히, 두 물질이 혼합된 상태에서 각각의 물질이 상분리된 나노구조를 가져야만 엑시톤으로부터 분리된 전하가 효율적으로 이동하여 전극으로 수집될 수 있다. 본 연구실에서는 전도성 고분자의 자기조립 현상을 이용해 나노구조체를 제작하고 광활성층의 나노모폴로지를 제어 및 조절하는 연구를 진행하고 있다. 용액 상에서 용매의 물리화학적 특성, 각 용질에 대한 용해도가 고분자와 Fullerene의 나노구조체 형성 및 결정화도, 그리고 상분리 정도에 영향을 준다. 이를 이용한 대표 연구를 예로 들면, poly(3-hexylthiophene) (P3HT) 에 대해 용해도가 낮은 한계성 용액을 사용해 P3HT 나노구조체를 형성시키고, 형성된 나노구조체를 광활성층에 도입하여 광흡수도의 향상과 전하 이동도의 향상, 그리고 광전변환효율의 향상 효과를

보았다(그림 2). 한계성 용액에서 형성되는 P3HT 나노구조체는 용액에서 조립 시간이 증가함에 따라 적색광의 광흡수도가 증가하고 전하 이동도가 향상되는 특징을 보이며 광전변환효율의 증가에 기여함을 밝혔다. 또한, P3HT 나노구조체는 광활성층 내부를 끊임없이 연결해주는 전하 이동통로로서 작용하여 300 nm 이상의 두께에서도 전하의 재결합(recombination) 없이 효율적으로 수집될 수 있음을 밝혔다. 나노수준의 주형을 통해서도 정렬된 이중접합을 형성할 수 있다. 50 nm 이하의 나노구조를 가지는 Anodized Aluminum Oxide (AAO)를 이용하여 P3HT의 정렬된 나노막대구조를 형성할 수 있으며, 이를 통해 엑시톤의 분리 및 전하 이동에 최적화된 구조를 광활성층에 도입할 수 있음을 보였다. 또한 이 과정에서 P3HT결정이 나노막대의 길이방향으로 성장하여 전하 포집에 효과적인 통로가 됨을 확인하였다.

2-3. 유기-금속 계면제어를 통한 유기태양전지 효율 최적화 연구

유기전자소자에서 유기-금속의 계면 에너지준위의 조절을 통한 전하의 포집 제어는 유기 전자소자의 성능을 결정짓는 중요한 요소이다.

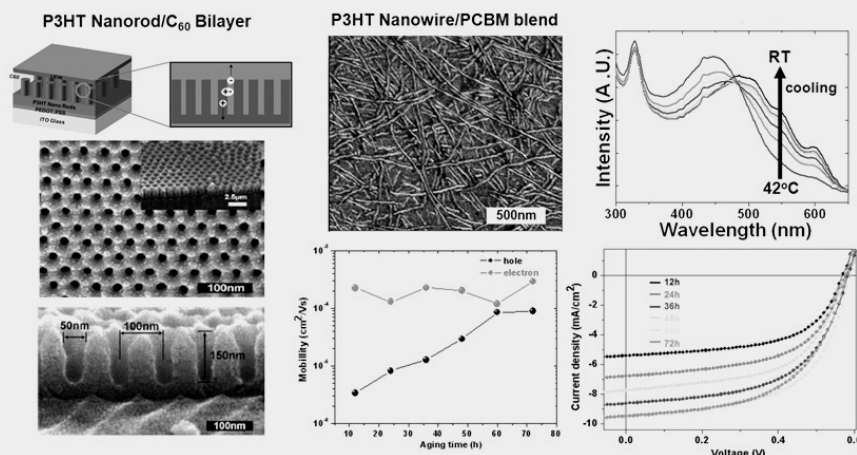


그림 2. 자기조립 P3HT 나노 구조체를 이용한 유기태양전지의 모폴로지 및 전기적 특성에 대한 연구

특히 유기 태양전지의 경우, 광활성층에서 여기된 전하 운반체가 각 전극으로 포집되어 기전력을 일으키기 위해서는 소자 내부 및 계면에서 발생하는 에너지의 손실을 최소화하여 전기적 준위를 유지하여야 한다. 본 연구실에서는 유기태양전지의 계면의 에너지를 직접적으로 조절하기 위해 다양한 극성을 가지는 자기조립박막을 도입하였으며, 이들의 쌍극자모멘트를 이용하여 효과적으로 전하의 포집을 제어하는데 성공하였다(그림 3). 뿐만 아니라 다양한 기능을 가지는 자기조립박막을 동시에 적용하여 표면에너지만을 선택적으로 변화시켜 광활성층의 모폴로지를 효과적으로 제어하는데 성공하였다. 또한 고분자 절연체를 이용하여 반도체 나노입자의 전기적 성질을 조절하는 방법으로 에너지준위의 조절 및 선택적 전하 포집이 동시에 가능한 계면 삽입층을 개발하여 유기 태양전지의 성능을 향상시키는데 성공하였다.

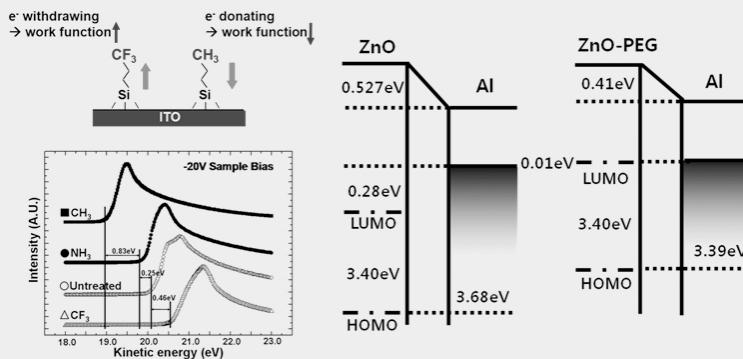


그림 3. (좌) 자기조립박막을 이용한 계면의 에너지준위 조절 (우) 절연체-반도체 복합체를 이용한 유기-금속 에너지준위 조절

2-4. 자기조립 박막을 이용한 그래핀의 도핑 제어 연구

그래핀은 유기전자소자의 전극 또는 트랜지스터의 활성층으로 사용 가능하다. 그래핀이 전극으로 사용되기 위해서는 일함수 조절과 전도도의 향상이 이루어져야 하며, 트랜지스터의 활성층으로 사용하기 위해서는 소자의 점멸비가 향상되어야 한다. 이는 그래핀의 도핑을 제어함으로써 이루어 질 수 있으며, 이를 제어하기 위해 많은 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구실에서는 자기조립 단분자막을 사용하여 그래핀의 도핑을 제어하는 연구를 진행하고 있다. 첫째로 단층박막 그래핀(monolayer graphene)에 접촉하여 있는 자기조립 단분자 막의 작용기를 변화시켜주면서 도핑효과를 보는 연구를 진행하였다(그림 4a). 그 결과 전자주개 역할을 하는 작용기(NH₂)는 그래핀의 n도핑을도와주며, 반대로 전자받개 역할을 하는 표면(SiO₂)은 그래핀을 p도핑 시킨다는 것을 실험으로 밝힌바 있다. 둘째로 이층박막 그래핀(bilayer graphene)의 도핑을 통한 그래핀의 밴드갭을 생성하고 트랜지스터 소자의 점멸비를 향상시키는 연구를 진행하였다(그림 4b). A-B 적층구조를 갖는 이층박막 그래핀의 경우, 아래층의 그래핀과 윗층의 그래핀의 도핑을 방향을 다르게 해주면 인접한 탄소원자의 대칭성이 붕괴되며 밴드갭이 생성되게 된다. 본 연구실에서는 자기조립 단분자막과 유기 분자를 이용하여 이층박막 그래핀의 대칭을 없애 밴드갭을 형성시켰고, 그 결과 트랜지스터의 점멸비가 향상되는 것을 관찰하였다.

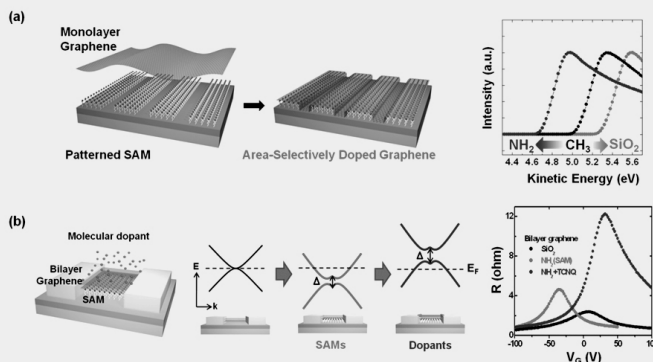


그림 4. (a) 자기조립 단분자막을 이용한 단층박막 그래핀의 도핑에 대한 연구 (b) 이층박막 그래핀의 밴드갭 형성에 대한 연구

2-5. 생체모사를 이용한 기능성 나노표면 연구

자연계에 존재하는 생체재료의 표면은 hydrodynamic, aerodynamic, wetting, 광학특성 및 접착특성에 있어서 탁월한 성능을 발휘한다. 대표적인 예로서 나비날개, 상어의 표피, 도마뱀 발바닥 및 연잎 등을 들 수 있다. 생체재료 표면을 모사한 기능성 나노표면 제조기술을 필요로 하는 응용분야는 자기정화 코팅, 보호막 또는 접착 코팅, 내지문 코팅과 같은 표면 코팅기술뿐만 아니라 광학소자에 이르기까지 그 응용범위가 매우 넓다. 본 연구실에서는 자연모사를 통한 표면 나노구조가 제어된 초발수성 나노표면, 외부자극 응답성 표면 제조와 나노접착 표면의 제조 및 특성에 관한 연구를 진행하고 있다. 현재 진행되고 있는 연구는 자기조립 박막 제조기술, 가역적인 표면 주름 또는 AAO 나노템플레이트를 이용하여 다양한 고분자의 미세패턴을 제조하여 나노구조표면의 젖음특성, 투명도 및 접착특성을 제어하는 연구가 이루어지고 있다(그림 5). 자연모사를 통한 자기정화 또는 외부자극응답성을 갖는 표면 제조기술은 센서용 마이크로소자, 스마트 창문, 차세대 대형 디스플레이뿐만 아니라 bionanotechnology에 적용이 가능하며, 나노 돌기구조는 나노접착력을 필요로 하는 경량 로봇의 접지부위로의 응용이 가능하리라 기대된다.

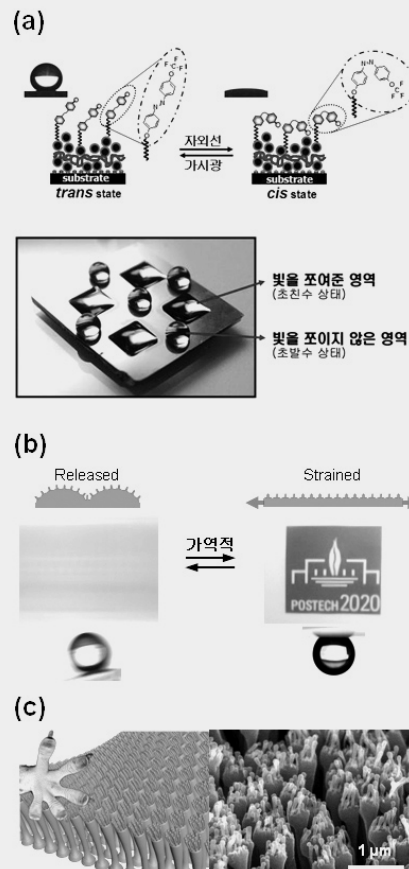


그림 5. (a) 빛에 의해 가역적으로 초친수성과 초발수성을 제어할 수 있는 표면 (b) 외부인장력에 의해 표면의 투명도와 젖음성을 제어할 수 있는 스마트 창문 (c) 게코 도마뱀 발바닥의 모사한 건식 접착 필름

3 연구책임자 |



조길원 교수

- 1975 - 1980, 82 서울대학교 공업화학, 학사, 석사
- 1983 - 1986 The University of Akron, 고분자과학, 박사
- 1986 - 1987 The University of Akron, 고분자연구소, 박사후 연구원
- 1987 - 1988 IBM Research Center, 연구원
- 1988 - 현재 포항공과대학교 화학공학과, 교수
- 2004 - 현재 포항공과대학교 고분자연구소, 소장
- 2009 - 현재 한국과학기술한림원, 정회원
- 2011 - 현재 나노기반 소프트 일렉트로닉스 연구단(글로벌프론티어 연구단), 단장

주요 연구분야

- Polymer Surface, Interface, Thin Film and Adhesion
- Organic and Soft Electronics
(Organic Transistors, Organic Photovoltaic Solar Cells, Graphene Materials and Electronics)



본 연구실에서는 의욕적이고 도전적인 박사급 연구원 및 연구 교수를 초빙합니다.
(054-279-2270, kwcho@postech.ac.kr)