

고분자 관련 연구실 소개

경상대학교 유기반도체재료 연구실

(Organic Semiconductor Materials Laboratory)

주소: (우: 52828) 경남 진주시 진주대로 501, 경상대학교 자연과학대학 352동 406호

전화: 055-772-1491, FAX: 055-772-1489

E-mail: ykim@gnu.ac.kr



연구책임자 | 김윤희 교수
경상대학교

1. 유기반도체재료 연구실 소개

본 연구실에서는 차세대 평판 디스플레이로 주목 받고 있는 OLED(organic light emitting diodes)용 유기반도체재료, flexible display의 구현을 위한 OTFT(organic thin film transistor)의 channel용 유기반도체재료 및 가벼움, 휘어짐, 저가공정의 특성을 지녀 차세대 청정 에너지원으로 활용 가능한 OPV(organic photovoltaic)용 유기반도체재료들을 그 요구 특성에 맞게 설계·합성하여 기본 물성을 평가하는 연구를 하고 있다. 이러한 연구 개발을 바탕으로 본 연구실에서는 세계 최초로 국제 표준 색좌표와 일치하는 순청색 형광 발광재료, 순청색 인광 도펀트 재료, 세계 최고 전하 이동도 성능을 갖는 용액공정용 유기반도체, 연색지수가 높은 백색발광소자를 가능하게 하는 세계 최고 수준의 효율을 나타내는 녹색색 전기발광재료 개발연구를 성공적으로 수행하였다. 또한 산업 통상자원부의 'OLED 재료개발인력양성사업'을 혁신 성과로 수행하였으며, 그 외에도 R&E 프로그램을 통해 과학도 학생들에게 차세대 첨단산업(IT, NT, BT 등)에서 성장 엔진 역할을 하는 화학의 중요성을 인식시키고 탐구능력 및 창의적 문제해결 능력을 신장시키는 것에 관한 연구도 수행하고 있다. 특히, 차세대 디스플레이의 선두 주자인 삼성디스플레이와 공동으로 디스플레이 연구센터를 운영하고, 우수한 연구성과를 도출하고 있다. 또한, OTFT 재료 관련해서는 세계 최고 전하이동도 성능을 갖는 용액 공정용 p형 유기반도체재료를 비롯하여, 세계 최고 전하이동도를 갖는 용액 공정용 n형 유기반도체 재료를 개발하였으며, 친환경 공정이 가능한 고성능 유기반도체 재료를 개발하였다. 차세대 청정 에너지원으로 가능한 OPV용 유기반도체 재료 관련해서는 다양한 종류의 도너, 억셉터 단위체를 조합한 저분자, 고분자 소재를 개발하였으며, 이를 유기태양전지 광활성층 재료로 활용하고 있다.

또한, 본 연구실에서는 개발된



그림 1. 유기반도체재료 연구실에서 수행하는 다양한 연구분야.

신규 유기반도체 재료 분야의 원천 기술 확보를 위해 산·학·연 공동 연구를 수행하고 있다.

현재 본 연구실은 김윤희 교수를 중심으로 박사과정 5명, 석사 과정 10명, 학부 과정 2명이 각자 개인의 독창적이고 도전적인 연구주제를 바탕으로 실험을 진행 중이며, 국내외 유수의 연구실과 협업을 통한 공동 연구 또한 활발히 진행 중이다. 본 연구실 졸업생들은 다국적 기업인 Merck사, 삼성디스플레이, 삼성전자, 삼성 SDI, LG 디스플레이, LG전자, SK 에너지, 두산 등의 대기업은 물론 덕산 네오룩스, SFC, 대림화학, 동진세미켄, 희성 소재 등의 중견기업에 취업하는 등, 본 연구실은 연구 개발뿐만 아니라 인력양성에서도 전국적 경쟁력을 자랑하고 있다.

2. 현재 진행중인 주요 대표 연구 내용 소개

2.1 고효율 고색순도를 갖는 OLED 재료 개발

차세대 디스플레이 시장을 열고 있는 능동형 유기발광다이오드(AMOLED) 산업에서 소재는 말 그대로 핵심이다. 현재 액정 디스플레이를 넘어선 디스플레이로 스마트폰에서 널리 활용되고 있는 AMOLED 디스플레이 분야는 자유자재로 휘어지는 플렉서블 디스플레이를 실현 가능하게 할 수 있는 디스플레이로 활발하게 연구 중이다. OLED는 스스로 빛을 내는 유기물을 기초 소재로 활용한 디스플레이로서, 유기물에 전류가 흐르면 전자와 정공이 결합하면서 빛이 발생하는 원리로 작동하면 이 때 발광층을 구성하는 유기 물질에 따라 빛의 색깔이 달라지고 빛의 삼원색인 적·녹·청색이 구현된다. 본 연구실에서는 OLED용 발광재료, 전자 및 정공전달 재료, host 재료 등 다양한 OLED 재료들을 개발하고 있다. 그 중에서도 가장 이슈가 되는 청색 발광재료의 경우,

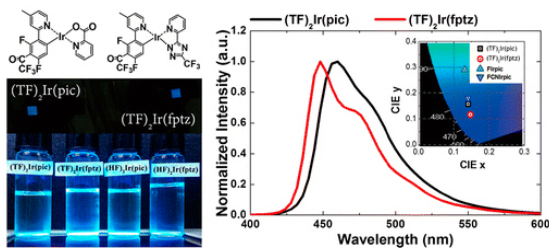


그림 2. 심청색 인광 도펀트 재료 개발.

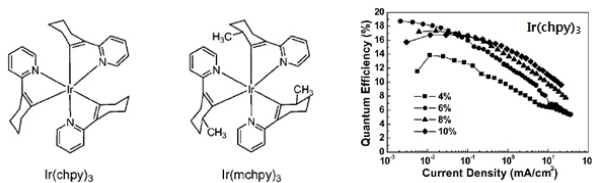


그림 3. 전자구조와 입체구조의 조절에 의해 동일구조에서 세계 최고의 효율을 갖는 황녹색 전기인광재료 개발.

수명, 색순도 및 효율을 모두 만족하는 재료를 개발하는데 어려움이 있다. OLED 디스플레이의 대면적화를 위해서는 저 소비전력, 장수명을 가지는 심청색 발광재료 확보가 중요하다. 본 연구실에서는 최근 OLED용 청색인광재료 중에서 효율 대비 색순도가 가장 뛰어난 심청색 인광 발광재료를 개발하였다. 심청색 인광 dopant는 세계적으로 가장 개발하기 어려운 재료 중 하나로 알려져 있으며, 발표되고 있는 청색인광재료는 대부분 호스트 재료를 개발하는 것이었다. 본 연구실에서 개발한 심청색의 dopant 재료는 17.1%와 8.4%의 높은 외부양자효율을 가지며, CIE(0.141, 0.158)와 (0.147, 0.116)의 뛰어난 심청색 색좌표를 나타내었다(*J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 14321 (2013)). 또한 2015년에는 헵타플로우로프로필기가 도입된 (HFP)₂Ir(mpic) 재료를 개발하였으며, 이 재료의 경우, 21.4%의 최대 외부양자효율(EQE, external quantum efficiency)과 CIE(0.146, 0.165)의 뛰어난 심청색을 나타내었다(*Chem. Commun.*, **51**, 58 (2015)).

또한, 2008년에는 cyclometalated 2-cycloalkenyl-pyridine

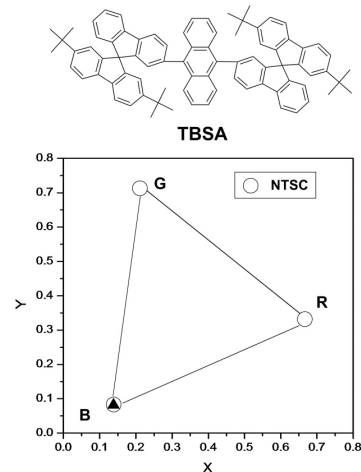


그림 4. 텔레비전 표준 청색 색좌표(NTSC)와 완벽하게 일치하는 청색발광재료를 세계최초로 개발.

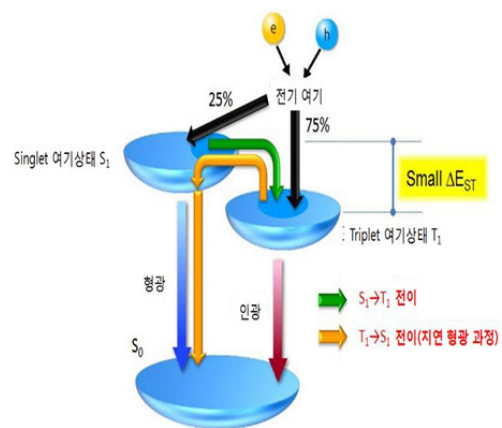


그림 5. 지연형광 발광 메커니즘 모식도.

Ligands를 이용하여 전자구조와 입체구조의 조절에 의해 동일구조에서 세계 최고의 효율을 갖는 황녹색 전기인광재료를 개발하였으며, 이를 활용한 WOLED소자를 개발하였다(*Adv. Mater.*, **20**, 1957 (2008), *Adv. Mater.*, **20**, 2003 (2008)).

또한, 2001년에는 안트라센의 9, 10 위치에 스피로 플로렌 유도체를 도입함으로써 텔레비전 표준 청색 색좌표(NTSC)와 완벽하게 일치하는 청색발광재료 [CIE(0.15, 0.08)]를 세계 최초로 개발하였고(*Adv. Mater.*, **13**, 1690 (2001)), 2005년에는 안트라센의 9, 10 위치에 Bulky한 1,2-diphenylstyryl unit 또는 triphenylsilylphenyl unit을 도입함으로써 2.43.0 cd/A의 nondoping blue 형광 물질을 개발하였다(*Adv. Funct. Mater.*, **15**, 1799 (2005)). 또한, 자일렌 치환기를 도입한 안트라센 유도체를 이용하여 non-doping에서 형광 재료의 한계인 5%를 넘는 5.26% 발광효율과 색 순도(0.159, 0.072)을 보고하였으며(*J. Mater. Chem.*, **22**, 2695 (2012)), 비대칭 구조의 자일렌을 도입하여 가장 심청색(0.15, 0.049)을 가지면서 4.62%의 높은 외부양자효율을 가지는 안트라센 유도체를 개발하였다(*Chem. Commun.*, **49**, 4664 (2013)).

최근에는 형광과 인광물질에 이어 3세대 OLED용 물질로 평가 받고 있는 지연형광물질을 이용한 OLED가 관심을 끌고 있다. 이 물질은 일중항 여기자를 삼중항으로 바꾸어 빛으로 전환하는 인광물질과는 달리, 삼중항 여기자를 일중항으로 바꾸어 빛으로 전환하는 물질로서 이 과정 때문에 지연형광특색을 보인다. 이 지연형광물질도 이론적으로 일중항과 삼중항 여기자를 모두 빛으로 바꿀 수 있기 때문에 100% 내부양자효율이 가능하며, 청색 및 적색 인광소재가 가지고 있는 수명과 효율의 한계를 극복할 수 있는 물질로 기대되고 있다. 특히 인광과 마찬가지로 지연형광물질에서도 진청색을 얻기가 매우 어렵고 이제까지 발표된 물질도 매우 적다. 삼중항 여기자가 일중항 여기상태로 효율적으로 전이되게 하기 위해서는 일중항 에너지준위와 삼중항 에너지준위 차이가 적으면서 형광효율이 높고 색순도가 높으며 수명이 긴 물질을 개발하여야 한다. 본 연구원은 일중항과 삼중항의 에너지 차이는 기저상태와 들뜬상태의 분자궤도가 중첩되는

정도에 비례한다는 점에 착안하여, HOMO와 LUMO의 중첩이 적은 분자를 설계하여 지연형광 현상을 효과적으로 이용할 수 있는 새로운 고효율 청색 형광 도펀트를 개발하고 있다. 또한 본 연구실에서는 azasilene core unit을 합성하고, 이를 청색 지연형광 재료의 donor 단위로 사용한 신규 소재를 개발하여 최대 발광 파장이 468 nm, 최대 외부 양자효율이 22.3%, 색좌표(0.149, 0.197)의 고효율 지연형광 청색 도펀트 재료를 개발하였다(*Chem. Mater.*, **27**, 6675 (2015)). 특히, 이러한 OLED 재료를 이용한 심층소자 제작 및 평가는 서울대, 삼성디스플레이 등과 공동연구로 진행하였다.

2.2 고성능 OTFT 재료 개발

최근 무기물 실리콘 반도체의 높은 공정비용과 낮은 유연성을 극복하고 접거나 늘어나는 유기발광다이오드(OLED), 유기태양전지 등에 활용할 수 있는 유기 반도체 재료를 개발하려는 연구가 활발하다. 이들은 웨어러블(wearable), 모바일(mobile), 플렉서블(flexible)이라는 용도에 사용되는 새로운 전자 디바이스로의 응용 가능성을 가지고 있다. 하지만 기존 유기물을 이용한 박막트랜지스터는 전하이동도가 낮고, 환경규제를 받는 용매를 이용한 공정으로 인해 아몰레드 등 차세대 디스플레이에 적용하는 데 한계가 있었다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구진은 우수한 전하이동도를 가지고, 친환경 공정이 가능한 재료 개발에 힘쓰고 있다.

디케토포로피롤 유도체에 신규한 전자 주개 단위체를 도입하여 새로운 D-A 고분자 반도체 재료(PDPPDBTE, PDPPDTSE)를 개발하였다. 개발된 고분자는 아주 우수한 π - π 결합을 형성하여 유기 박막 트랜지스터에 적용하였을 때 기존의 고분자 중 매우 높은 정공이동도(mobility = $4.97 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, on/off ratio = 1.55×10^7)를 보였다(*Adv. Mater.*, **25**, 524 (2013)). 그리고 티오펜 치환기를 도입한 고분자(PDPPDBTE)는 잉크젯 프린팅 방법으로 이동도를 구현하였을 때 이동도가 $2.41 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 를 보였으며, 이는 잉크젯 방법으로는 세계 최고 이동도 특성 값이다. 뿐만 아니라 PDPPDBTE, PDPPDTSE를 사용하여 만든 TFT 소자에 첨가제로서 1-chloronaphthlene

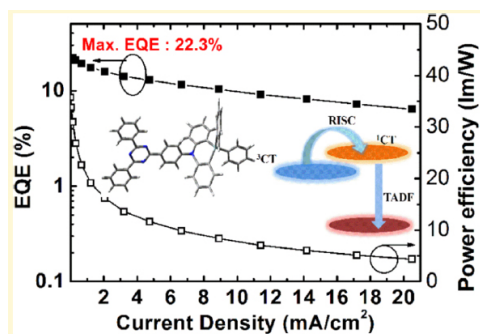


그림 6. 신규 donor 구조인 azasilene unit을 포함한 지연형광 재료의 외부양자효율과 구조.

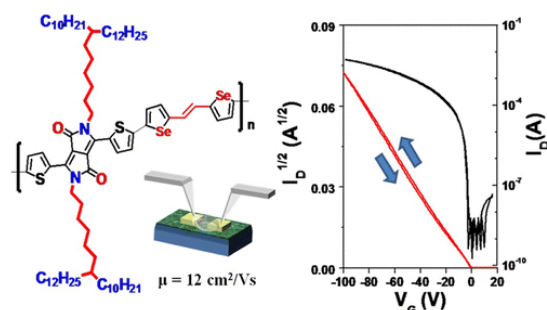


그림 7. 세계 최고 수준의 이동도($12.04 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)를 갖는 유기 반도체 재료 (P-29-DPPDTSE)의 구조(왼쪽)와 트랜스퍼 특성 곡선(오른쪽).

Environmentally benign process (Nonchlorinated, Tetralin)

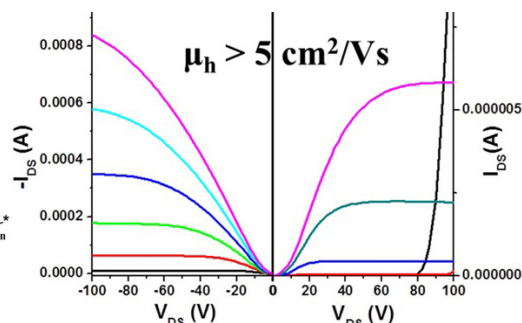
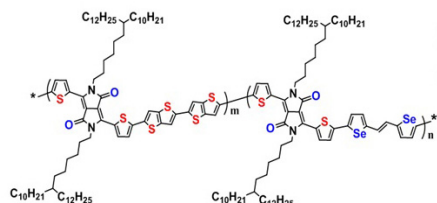


그림 8. 주사슬의 규칙적인 배열에 랜덤하게 불규칙성을 부여하고 주사슬과 결사슬 사이에 선행의 지방족 사슬을 넣어 용해도를 증가시키고 동시에 주사슬간 거리를 좁혀 사슬간 전하이동이 원활하게 이뤄질 수 있도록 설계한 플라스틱 반도체 재료의 구조(왼쪽) 개발한 플라스틱 반도체 재료를 활성층으로 제작한 유기박막 트랜지스터의 출력 특성 곡선(오른쪽).

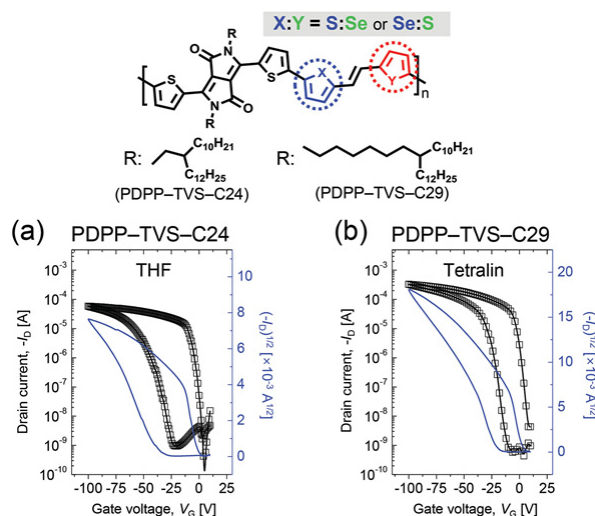


그림 9. 비대칭 단량체의 도입으로 불규칙성을 부여하고 주사슬과 결사슬 사이에 지방족 사슬을 넣어 고용해성을 얻으며, 동시에 주사슬간 거리를 좁혀 사슬간 전하이동이 원활하게 이뤄질 수 있도록 설계한 플라스틱 반도체 재료의 구조와 개발한 플라스틱 반도체 재료를 활성층으로 제작한 유기박막 트랜지스터의 특성 곡선.

(CN)을 도입하여 확장된 체인 간 π - π stacking을 용이하게 함으로써 유기반도체 박막의 분자 배열을 증대시켜, 기존에 보고된 PDPPDBTE의 이동도 $2.77 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 를 $9.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 까지 증가시켰다(*Adv. Mater.*, **25**, 7003 (2013)). 우수한 성능을 가지는 기존 고분자의 결사슬 구조를 최적화하여 세계 최고의 정공 이동도(mobility = $12.04 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, on/off ratio = 1×10^6)를 나타내는 신규 유기반도체 재료(P-29-DPPDTSE)를 개발하였다. 이러한 연구결과는 오랫동안 유기 반도체의 많은 장점에도 불구하고 상업화에 걸림돌이었던 낮은 전하 이동도를 극복한 것으로 차세대 디스플레이인 아몰레드 디스플레이에 적용하기 위해 요구되는 10 이상의 세계 최고 수준의 이동도($12.04 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)를 갖는 유기 반도체 재료의 개발로 미래 디스플레이인 휘어지고 늘어나는 디스플레이의 실용화에 한발 더 다가서게 되었다(*J. Am. Chem. Soc.*, **135**, 14896 (2013)). 뿐만 아니라, 환경적 규제를 받는 할로젠 용매 대신 상

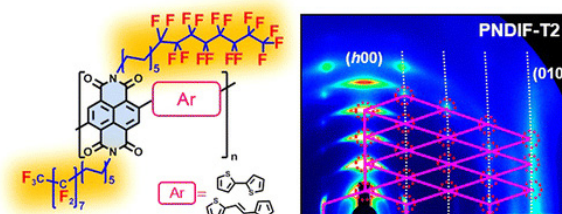


그림 10. 플루오르 알킬그룹을 도입한 n-형 고분자 재료로는 세계 최고 수준의 전하이동도($6.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)를 나타내는 재료(PNDIF-T2, PNDIF-TVT)의 구조.

업적 공정에 허가되어 있는 유기용매인 테트라린과 비할로젠 용매를 이용해 전하이동도 $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상인 플라스틱 반도체 재료(P-DPP-BTT(1)-SVS(9))를 설계하고, 박막 트랜지스터를 만드는 데 성공했다. 더 나아가서는 비대칭 단량체 도입을 통해 신규 플라스틱 반도체 재료(PDPP-TVS-C24, PDPP-TVS-C29)를 개발하여 테트라린과 비할로젠 용매에서 전하이동도 $8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 높은 성능을 가지는 재료를 설계하여 친환경적인 생산공정을 통해 높은 수준의 전하이동도를 달성할 수 있음을 보여준 이번 결과로, 향후 플라스틱 반도체를 이용한 소자의 대량생산 공정 개발에 기여할 것으로 기대된다(*Adv. Mater.*, **26**, 6612 (2014), *Adv. Mater.*, **27**, 3626 (2015)).

본 연구실에서는 세계 최고 수준의 이동도를 갖는 p-형 고분자뿐만 아니라 최근 나프탈렌 다이이미드(naphthalene diimide) 유도체에 전자 주개 물질을 교대 중합하여 n-형 고분자 반도체 재료 중에서 우수한 성능인 $1.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 높은 전하 이동도를 가지는 용액공정용 재료(PNDI-TVT)를 개발하였다. 이는 재료의 산화안정성이 탁월하여 이를 사용하여 만들어진 소자는 신뢰성이 매우 높으면서도 장시간 동안 안정적으로 구동이 가능하였다(*Adv. Funct. Mater.*, **23**, 5719 (2013)), 또한 용액공정용 n-형 고분자 재료로는 세계 최고 수준의 전하이동도($7.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)를 나타내는 CN 그룹이 치환된 재료(PDPP-CNTVT)를 개발하였으며(*Adv. Mater.*, **26**, 7300 (2014)), 최근 나프탈렌 다이이미드(naphthalene diimide) 유도체에 플루오르 알킬그룹을 도입하여 전자 주개 물질을

교대 중합하여 개발한 n-형 고분자 반도체 재료(PNDIF-T2, PNDIF-TVT)는 매우 높은 결정성과 배열성을 가지고 매우 높은 전하이동도($6.50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, on/off ratio = 1×10^5)를 달성하여 앞으로 전자소자 응용 분야의 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다(*J. Am. Chem. Soc.*, **138**, 3679 (2016)).

또한 랜덤 고분자의 전자 주개 및 받개 단량체의 비율의 조절을 통하여 p형과 n형의 반도체 특성을 자유롭게 조절할 수 있으며, 비 할로겐 용매에서 친환경 공정이 가능한 플라스틱 반도체 재료(CNTVT(m):SVS(n) = (1:9, 3:7, 5:5, 7:3, 9:1)를 개발하여 p형 특성, n형 특성 및 양극성 반도체로써 높은 성능을 가지며, 반복단위체의 비율 조절을 통한 극성 및 용해도의 조절이 가능하게 되므로 전자 소자의 응용 및 상용화에 한발 더 다가서게 되었다(*Chem. Mater.*, **28**, 2287 (2016)).

이러한 다양한 OTFT 재료를 이용한 심층 소자 제작 및 평가를 통한 우수한 결과들은 포항공대, 동국대, 인하대, 중앙대등과 공동 연구로 진행되었다.

2.3 파이전자분자의 정밀제어 기술을 통한 유기태양전지 광활성층 재료 개발

최근 선진국을 중심으로 환경에 대한 규제를 강화하고 있는 추세이며 기존의 화석연료 사용을 규제하여 범세계적인 차원에서 신재생 에너지의 개발을 추진하고 있다. 그 중 태양전지 분야는 무한한 에너지 자원인 태양 에너지를 사용한다는 이점으로 인해 주목 받고 있으며 유기태양전지는 차세대 태양전지로서 가볍고 휘어질 수 있는 특징으로 인해 다양한 곳에 적용이 가능하며 roll to roll printing, screen printing 등을 통해 대면적, 저비용 생산에 유리하다는 장점을 가지고 있어 많은 연구가 진행되고 있다. 유기태양전지는 유기물을 사용하여 다양한 용액기반 인쇄공정을 통해 대면적화가 가능하며 제조원가를 획기적으로 낮출 수 있고, 높은 생산성을

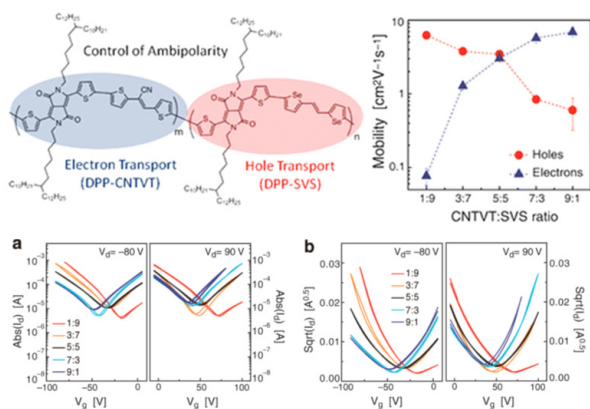


그림 11. 전자 및 정공전달 특성이 높은 모노머의 비율 조절을 통해 높은 용해성을 가지며 p형, n형, 양극성의 극성조절이 가능한 랜덤고분자 (CNTVT(m):SVS(n) = (1:9, 3:7, 5:5, 7:3, and 9:1)의 구조와 전하이동도 특성.

기대할 수 있다. 또한 유기물의 적용으로 유연하고 맞춤형 크기로 제작할 수 있어 웨어러블 디바이스뿐만 아니라 다양한 분야에 적용할 수 있다. 유기태양전지는 기본적으로 공액을 띄는 저분자 또는 고분자를 전자 주개(electron donor)로 이용하고, 전자 받개(electron acceptor) 물질은 전자친화도가 큰 저, 고분자 재료나 풀러렌(fullerene)유도체를 사용하여 유기태양전지 소자의 광활성층에 적용하고 있다.

본 연구실에서는 다양한 저분자 및 고분자의 광활성층 재료를 설계 및 개발하고 있으며, 태양전지의 효율을 결정하는 개방전압(V_{oc}), 단락전류(J_{sc}), 그리고 충진율(FF)과의 관계에 대한 연구를 진행하고 있다. 용액공정용 광활성층 재료를 개발함에 있어 유기용매에 대한 재료의 용해도는 대단히 중요하다. 용해도는 분자의 구조에 많은 영향을 받으며 일반적으로 분자 주쇄에 적절한 알킬그룹을 설계 및 도입하여 용해도를 향상시킬 수 있다. 동시에 광학적, 화학적, 열안정성이 뛰어나도록 분자 구조를 디자인 및 개발을 진행하고 있다.

본 연구실에서 유기태양전지 광활성층 재료로 최근 활발히 연구가 되는 고분자 재료는 최근 태양전지에서 기본적으로 적용하고 있는 D-A타입(donor-acceptor type)의 구조로 전자가 풍부한 donor재료와 상대적으로 전자가 부족한 acceptor재료를 교대 중합을 통하여 분자간 상호작용을 크게 증가시키고 퀴노이드 구조(quinoid structure)를 형성하

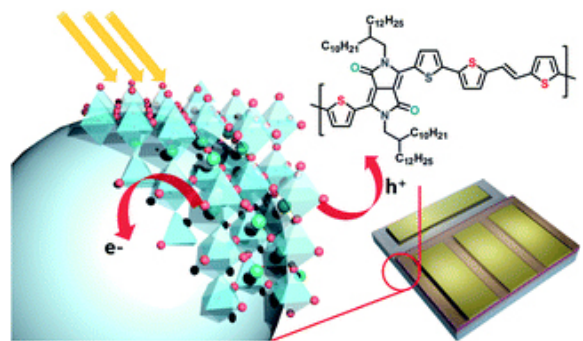


그림 12. Perovskite를 기반으로 하는 유기-무기 하이브리드 OPV에 적용된 고분자 재료 개발.

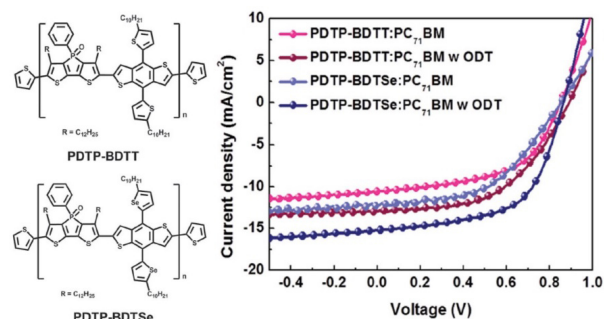


그림 13. DTP를 도입한 고효율의 유기태양전지 재료.

여 밴드갭을 낮추어, 보다 폭넓은 흡수 파장을 유도하는 방법이 연구되고 있다. 파이전자의 공액길이를 확장하여 보다 평면성을 증가시켜 높은 정공이동도를 나타낼 수 있게 설계가 진행되며, 이차원구조(2D structure)로 설계할 수도 있다.

저분자를 이용한 광활성층 재료로 안트라센을 기반으로 하는 star-shaped HBanThBT와 BantHBT를 electron-cascade donor 물질로 합성하여, 5.6%의 높은 광전변환효율을 얻었다(*Adv. Funct. Mater.*, **23**, 1556 (2013)). 또한, A-D-A 형태의 저분자 재료인 DTBBDT-TTPD를 개발하여, 유기 태양전지에 적용하여 10.6 mAcm^{-2} 의 높은 단락전류와 4.48%의 광전변환효율을 얻었다(*J. Mater. Chem. A*, **2**, 16443 (2014)).

최근에는 안트라센 유도체와 나프탈렌 사이에 spacer로 사이오펜을 도입한 TNDHPEA 비대칭 저분자를 합성하여 광전변환효율 약 5.03%의 특성을 보고하였다(*ChemSusChem*, **8**, 1548 (2015)).

새로운 구조 고분자 재료를 이용한 OPV 관련 연구로는 유기 반도체재료에 전자 주개로 dithienobenzodithiophenes (DTBDT)를 도입하여 신규한 donor-acceptor 형태의 유기 반도체 고분자인 PDTBDAT-BZ를 개발하였으며, 이 고분자 재료는 뛰어난 정공 수송 능력에 의해 5.1%의 높은 광전변환효율을 나타냈었다(*Chem. Eur. J.*, **19**, 13242 (2013)).

전자 주개로 DTBDT를 도입한 유도체에 acceptor로 TTEH를 도입하여 높은 결정성을 갖는 고분자를 합성하였으며 이 고분자의 경우 플래너한 구조로 인해 높은 안정성을 가지게 되어 1,000시간 후에도 초기 PCE 값의 95%를 유지하며 높은 광전변환효율(6.24%)을 나타내었다(*Macromolecules*, **48**, 3890 (2015)).

Diketopyrrolopyrrole(DPP)를 가지는 hole transporting 공액 고분자를 개발하여, perovskite를 기반으로 하는 유기 무기 하이브리드 태양 전지에 적용하여, 9.2%의 높은 광전변환효율과 1000 시간 이상의 안정성을 확인하였다(*Energy Environ. Sci.*, **7**, 1454 (2014)).

최근 본 연구실에서는 전자 결여된 dithienophosphole oxide(DTP)을 기반으로 benzodithiophene과 중합하여 새로운 고분자를 합성하였다. DTP유닛은 태양전지의 photocurrent를 용이하게 하는 polarizable 특성을 가지고 있기 때문에 새로운 acceptor로의 도입으로 뛰어난 전하 이동 특성과 매우 효

과적인 PL quenching 효율을 나타낸다. DTP유도체를 도입한 고분자 PDTP-BDIT, PDTP-BDTSe의 특성은 각각 6.10%와 7.08%의 높은 광전변환효율을 나타내었다(*Adv. Funct. Mater.*, **25**, 3991 (2015)).

또한, DTP 유도체에 donor 특성을 갖는 DTBBDT유닛을 도입하여 새로운 고분자를 합성하였으며, 합성된 고분자는 큰 internal dipole moment 와 향상된 분자간 stacking 구조를 나타내어 일반적인 유기태양전지 소자에서 V_{oc} : 0.83 V, J_{sc} : $15.1 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$, FF: 54.3%의 특성을 나타내어 광전변환효율 6.81%를 보고하였다(*Chem. Commun.*, **51**, 11572 (2015)).

이러한 OPV 재료를 이용한 심층 소자 제작 및 평가는 포항공대, KIST 등과 공동 연구로 진행하였다.

3. 본 연구실의 비전 및 전망

차세대 유기반도체 재료 연구 분야에서 원천기술 확보가 무엇보다 시급한 현실이다. 본 연구실에서는 세계 최고의 성능을 나타내는 신규 반도체 재료의 원천기술을 확보하고 이를 특허 등록함으로써 기술료 수입을 기대할 수 있으며, 용액 공정용 유기박막 트랜지스터의 상용화에 가장 요구되는 고이동도 특성을 갖는 재료를 개발하여 유기박막 트랜지스터 상용화 가능성이 기대된다. 특히 차세대 디스플레이인 아몰레드 디스플레이에 적용하기 위해 요구되는 10이상의 이동도를 갖는 재료가 개발되어 미래 디스플레이인 휘어지고 늘어나는 디스플레이의 실용화에 한발 더 다가서게 되었다. 유기 반도체를 활용한 용액 공정용 태양전지의 경우도 우수한 특성을 보이고 있어 유비쿼터스 환경 구축을 실현에 기여할 것으로 보인다. 고이동도의 유기 반도체 재료 개발을 통해 웨어러블, 모바일, 플렉서블이라는 용도에 사용되는 새로운 전자 디바이스로의 공헌을 기대할 수 있으며 향후 디스플레이는 물론 태양전지, 센서, 라디오파 인식장치(RFID), 생물 인식기기 등 다양한 분야에 응용 가능할 것으로 기대된다. 다양한 유기반도체 재료 개발을 통하여, 원천기술 개발확보로 지역사회 발전은 물론 국가경쟁력 제고에도 기여할 것이며, 맞춤형 인력 양성을 통하여, 유기 반도체 분야의 인재양성에도 기여할 것으로 본다.