

부문위원회 특별기고

분자전자 소재 및 소자 연구의 현황과 미래 전망

1. 서론

한국고분자학회 분자전자 부문위원회는 1992년 설립 이래 고분자·유기 전자재료와 소자 분야에서 국내 연구자들의 학술 교류를 선도하고 있습니다. 전도성 고분자의 분자 수준의 설계에서 출발한 부문위의 교류활동은 30여 년 사이에 반도체, 발광 다이오드, 태양전지와 더불어 웨어러블 디바이스, 에너지 저장 장치, 바이오일렉트로닉스 등 폭넓은 영역으로 확장되고 있습니다. 분자전자 부문위원회는 매년 정기 춘·추계학술대회에서 학술 세션을 운영하고, 매년 심층 토론회를 개최하며 최신 성과를 공유하고 미래 연구방향에 대한 논의를 진행하고 있습니다. 여기서는 분자전자분야의 주요 연구 이슈와 전망을 정리하고자 합니다.

2. 현재 핵심 연구 이슈

유기 태양전지는 비폴러렌 수용체 소재의 등장 이후 에너지 변환 효율이 크게 향상되었습니다. 활성층 나노구조 최적화와 에너지 손실 억제가 핵심 과제이며, 유연하고 반투명한 특성 덕분에 실내광 에너지 하베스팅이나 빌딩 일체형 태양전지와 같은 분야로 응용이 확장되고 있습니다. 페로브스카이트 태양전지는 단일접합과 탠덤 구조 모두에서 효율이 빠르게 향상되며 상용화가 가시권에 들어섰고, 소자 내 계면 결함 패시베이션, 무연 조성 탐색과 함께 장기 안정성 확보에 대한 연구가 활발히 진행 중입니다.

OLED는 디스플레이와 조명 분야에서 상용화에 성공했으나, 고효율, 고안정성, 청색 발광은 여전히 난제로 남아 있습니다. 다중공명 열활성화 지연형광(MR-TADF) 소재는 좁은 발광 스펙트럼과 높은 양자효율을 동시에 달성하였고, 응집 소광과 소자 수명 문제를 해결하기 위한 소재 설계와 소자구조에 대한 연구가 집중되고 있습니다. 그 외 교류 구동 전계발광 소자는 간단한 구조를 바탕으로 신축성 디스플레이·조명의 새로운 플랫폼으로 주목받고 있습니다. 페로브스카이트 소재 역시 발광 다이오드와 광검출기 등 광전자 소자 전반으로 응용 범위가 확대되고 있습니다.

유기 트랜지스터에서는 p형에 이어 n형 유기 반도체의 성능 개선이 꾸준히 진행 중입니다. 특히나 고분자 기반의 유기 전기화학 트랜지스터(OECT)는 이온-전자 혼합 전도, 낮은 구동 전압, 생체 적합성을 두루 갖추어 인공 시냅스와 인공 뉴런 등 뉴로모픽 전자소자에 적합한 플랫폼으로 부각되고 있으며, 저전력, 유연성, 생분해성 등의 유기 소재의 장점을 극대화할 수 있는 생체 통합형 지능 시스템에서 경쟁력을 높이고 있습니다. 유기 메모리 소자 역시 비휘발성 정보 저장과 뉴로모픽 연산의 접점에서 꾸준한 연구가 진행 중입니다.

신축성 전자소자는 최근 빠르게 성장하고 있는 분야입니다. 고분자 전자재료의 본질적인 유연성을 바탕으로 신축성 태양전지, 트랜지스터, 발광 소자, 에너지 저장 소자 등을 구현하려는 연구가 관심을 받고 있으며, 마찰전기 나노발전기나 열전소자 등 에너지 하베스팅 소자에서도 고분자 및 유기 소재의 역할이 커지고 있습니다. 특히나 고분자 열전소재는 경량성과 용액공정 적합성을 바탕으로 저온 폐열 회수 등에서 높은 가능성을 보여줍니다. 또한 전도성 고분자와 하이드로젤을 생체 전극이나 세포 자극 플랫폼에 활용하는 바이오일렉트로닉스 연구도 활발히 이루어지고 있습니다. 그 외에 고분자 및 유기 전기변색 소재는 스마트 윈도우와 에너지 절감형 건축 외피 기술로 이어지고 있으며, 비선형 광학소재와 분자 포토닉스 연구는 광통신, 광센싱, 고속 광변조 등의 응용을 목표로 연구가 이어지고 있습니다. 유기 화학센서와 바이오센서 분야에서는 분자 인식 기능을 활용한 고감도·고선택성 검출이 꾸준한 연구 주제로 다뤄지고 있으며, 현장 진단기기나 환경 모니터링 등 실용화 방향으로 연구가 확대되고 있습니다.

3. 향후 전망 및 발전 방향

분자 수준의 구조-물성 관계 이해와 소자 수준의 성능 구현을 하나의 체계로 연결하는 통합적 연구가 앞으로 더욱 중요해질 것입니다. 방사광을 활용한 구조 분석이나 실시간 분광 측정 같은 분석법이 중요한 방법으로 활용되고 있습니다. 또한, 기계학습을 활용해 소재의 물성을 예측하고 역설계하는 AI 기반 소재 탐색 방법론도 중요성이 더욱 커지고 있습니다.

산업과의 접점도 더욱 확대되어야 합니다. 유기 태양전지의 BIPV 적용, OLED의 차세대 디스플레이·조명 분야 확장, 유연·인쇄 전자 기반 제조 혁신은 분자전자 소재가 실생활과 연계될 수 있는 대표적인 사례입니다. 또한 이온트로닉스, 소프트로보틱스, 디지털 헬스케어, 뉴로모픽 컴퓨팅 등 인접 분야와의 융합연구 역시 지속적으로 확장 중입니다.

국제 협력은 부문위원회 활동에 있어 활발히 진행되고 있습니다. KJF-ICOMEF은 1989년부터 한국과 일본이 해마다 번갈아 개최해 온 국제학술대회로, 매년 200~300명이 참여하는 유기전자재료 분야의 대표적 국제 학술대회로 성장하였습니다. COVID-19 기간에도 온라인으로 교류를 이어왔고, 대면 학회가 재개되면서 참여 규모가 다시 증가하고 있습니다. 고분자 학회와 지속적으로 협력을 지속하고 있는 대만과의 학술교류도 기대를 모으고 있습니다. 2026년 3월 국립대만대학교에서 열린 제1회 한국-대만 공동 심포지엄에서는 양국 연구자 각 10명씩 유기·하이브리드 전자재료 분야의 성과를 발표하고 공동연구 가능성을 논의했습니다. 올해 부산에서 열리는 IUPAC-PSK50 국제학술대회도 우리나라의 분자전자 연구의 글로벌 위상을 높이는 계기가 될 것으로 기대됩니다.

우수한 학문 후속세대의 양성을 위해 화학, 재료, 전기전자, 물리 등 학문 경계를 넘나드는 학제 간 교육과 산학 연계 프로그램, 그리고 국제 학회와 공동 연구를 통한 글로벌 역량 강화도 중요합니다. 한국고분자학회가 주최하고 이녹스가 후원하는 PSK-이녹스 신진연구자 웨비나는 이러한 방향을 보여주는 좋은 사례입니다. 각 부문위원회가 주관하여 우수한 박사후연구원을 초청하는 이 온라인 세미나는 신진연구자가 연구 성과를 학술 커뮤니티와 산업계에 알리고 선배 연구자와 직접 소통하는 장이 되고 있습니다.

4. 결론

분자전자 부문위원회는 지난 30여 년간 국내 고분자 연구 커뮤니티와 함께 성장해 왔습니다. 유기 전자재료에서 출발한 활동은 에너지, 바이오, 환경, AI 등 다양한 영역과 교차하며 범위를 넓혀 가고 있습니다. 앞으로도 국내외 연구자를 연결하고 새로운 학술 흐름을 이끄는 플랫폼의 역할을 수행할 것으로 기대됩니다.

한국고분자학회 분자전자 부문위원회