



Narrowband Deep-Red and Near-Infrared Tetradentate Platinum(II) Complexes for High-Performance OLEDs With Emission Peaks up to 715 nm and EQEs Over 20%

Angewandte Chemie International Edition · 10.1002/anie.5933955

1. 한 줄 요약

사환치형(tetradentate) Pt(II) 착물에 도너-확장과 연결위치 이성질화(linkage-position isomerization) 전략을 결합해, 670-715 nm의 심적색/근적외(DR/NIR) 영역에서 최대 EQE 20.4%와 최소 51 nm(0.14 eV)의 좁은 반치폭을 동시에 달성한 인광 OLED를 보고한 연구다. 기존에 가시광 영역에 한정되어 있던 협대역 중금속 인광체를 DR/NIR로 확장한 첫 사례로 제시된다.

2. 연구 배경

최근 협대역(narrowband) 발광을 갖는 중금속 인광 착물이 가시광 영역에서는 구현되었으나, 심적색·근적외 영역의 협대역 인광 재료는 보고된 바 없었다는 점이 저자들의 출발점이다. DR/NIR 발광체는 에너지 갭 법칙에 따른 비발광 감쇠 증가와 진동 결합에 의한 스펙트럼 광폭화라는 이중 난제를 갖는다. 협대역 DR/NIR 발광은 현재 주로 다중공명 열활성 지연형광(MR-TADF) 재료가 주도하고 있어, 삼중항 활용률이 원리적으로 100%인 인광 계열에서의 대안 확보가 요구되었다. 다만 구체적인 응용 타깃(디스플레이 색순도, 생체 이미징, 광통신 등)에 대한 서술은 초록에 없어 원문 확인 필요.

3. 핵심 기여

첫째, 디벤조[b,d]퓨란(DZF)과 9-페닐-9H-카바졸(PhCz)로 기능화한 트리아릴아민 골격을 기반으로 4종의 신규 사환치형 Pt(II) 발광체(Pt-1,3-DZF, Pt-2,4-DZF, Pt-1,3-PhCz, Pt-2,4-PhCz)를 합리적 분자설계로 확보했다. 둘째, '도너-확장 + 연결위치 이성질화'라는 조합 전략이 발광 여기상태의 성격(excited-state character)을 효과적으로 조절해 협대역 DR/NIR 인광을 가능케 함을 입증했다. 셋째, 진공증착 OLED에서 20%를 넘는 EQE와 고휘도(radiance) 영역에서의 낮은 효율 감소(roll-off)를 동시에 확보했다. 넷째, 인광체로서 MR-TADF 최고 수준에 준하는 EL 반치폭(51 nm)을 달성해 협대역 DR/NIR 인광이라는 새로운 재료 범주를 열었다.

4. 재료·소자 구조

발광체는 사환치형 킬레이트 리간드를 갖는 Pt(II) 착물로, DZF 또는 PhCz로 -확장된 트리아릴아민 도너 프레임워크를 채용하고 1,3- 및 2,4- 연결위치 이성질체 쌍으로 구성된다. 사환치 구조는 강직한 배위 환경을 제공해 구조 완화와 진동 광폭화를 억제하는 방향으로 작용하며, 이성질화는 발광 여기상태의 전하이동/국재화 특성을 조절하는 변수로 사용되었다. 소자는 진공 증착(vacuum-deposited) 방식으로 제작되었다. 다만 호스트 재료, 도핑 농도, 정공·전자 수송층, 층 두께 등 구체적 소자 적층 구성은 초록에 기재되어 있지 않아 원문 확인 필요.

5. 주요 성능 수치

- 발광 피크(EL max): 670-715 nm
- 최대 외부양자효율(EQE): 최대 20.4%
- EL 반치폭(FWHM): 최소 51 nm (0.14 eV)
- 효율 롤오프: 고 radiance 영역에서 "작음"(정량값 원문 확인 필요)
- 발광체 종류: 사환치형 Pt(II) 착물 4종
- 방사휘도(radiance) 최대값, PLQY, 발광 수명, 소자 수명(LT), CIE 좌표: 초록 미기재 — 원문 확인 필요

6. 기존 기술과의 비교

기존 DR/NIR 인광 착물은 에너지 갭 법칙과 강한 진동 진행(vibronic progression)으로 인해 FWHM이 넓은 것이 통상적이었고, 협대역 중금속 인광은 가시광 영역에 국한되어 있었다. 본 연구의 51 nm(0.14 eV)는 저자들의 표현에 따르면 최신 DR/NIR MR-TADF 발광체에 비견되는 수준으로, 협대역성 측면에서 인광이 MR-TADF와 경쟁 가능성을 보여준다. 동시에 인광 특유의 짧은 삼중항 활용 경로 덕분에 고 radiance에서의 롤오프가 작다는 점은, 삼중항 축적에 취약한 TADF 대비 실용적 이점이다. 비교 대상 소자의 구체적 수치 대조표는 초록에 없어 원문 확인 필요.

7. 산업 적용 가능성

700 nm 부근의 협대역 고효율 발광은 근적외 광원(생체 투과 이미징, 광용적맥파·산소포화도 센싱, 근적외 광통신·야간 조명 보조)과 초광색역 디스플레이의 적색 서브픽셀 후보로서 의미가 있다. 특히 협대역화는 인체 감응 파장대 외 불필요한 스펙트럼 낭비를 줄여 동일 소비전력에서 유효 광출력을 높이는 효과를 기대할 수 있다. 진공증착 공정으로 검증되었기 때문에 기존 OLED 양산 라인과의 공정 적합성이 좋다. 다만 Pt는 희소 금속이므로 원가·수급 리스크가 있고, 실제 상용화 판단에는 소자 수명 데이터가 필수인데 초록에 제시되지 않아 원문 확인 필요.

8. 한계와 남은 과제

첫째, 초록에는 운용 안정성(LT50/LT95)이나 광표백 특성이 언급되지 않아 DR/NIR 소자의 최대 약점인 수명 검증이 미확인 상태다. 둘째, 715 nm를 넘어 800-1000 nm의 진성 NIR 영역까지 협대역성과 20%대 EQE를 유지할 수 있는지는 미해결 과제다. 셋째, Pt(II) 사환치 착물은 분자간 Pt...Pt/- 상호작용에 의한 응집체 발광 및 농도 의존성이 크므로, 도핑 농도 창(window)과 박막 형태 제어에 대한 정량 데이터가 필요하다(원문 확인 필요). 넷째, '연결위치 이성질화'가 여기상태 성격을 바꾸는 메커니즘의 이론적 근거(TD-DFT, 재구성 에너지, 허킨스-리스 인자 등)는 초록 수준에서 확인할 수 없다.

9. 연관 논문

(제공된 자료에 참고문헌 목록이 포함되지 않아 실제 인용 문헌 특성은 원문 확인 필요) 주제상 밀접한 계열로는 Che·Li 그룹의 사환치형 Pt(II)/Pd(II) 인광체 기반 고효율·장수명 OLED 연구, 협대역 인광을 다룬 강직 다환 배위자 Pt(II) 착물 연구, Hatakeyama 계열의 DR/NIR MR-TADF 붕소-질소 다중공명 발광체 연구, 에너지 갭 법칙 극복을 다룬 NIR 인광/TADF 소자 리뷰 등이 있다. 본 논문은 의 사환치 인광 설계 전통과 의 협대역 기준을 DR/NIR 영역에서 교차시킨 위치에 있다.

10. 선정 이유

'협대역'과 'DR/NIR'과 '고효율(EQE>20%)'이라는 상충하기 쉬운 세 조건을 인광 재료로 동시에 만족시킨 최초 보고라는 점에서 재료 설계상 파급력이 크다. 특히 배위자 연결위치라는 미세 구조 변수만으로 여기상태 성격과 스펙트럼 폭을 조절했다는 점은, 향후 NIR 발광체 분자설계에 이식 가능한 일반 원리가 될 수 있다. MR-TADF 중심으로 재편되던 협대역 경쟁 구도에 인광 진영의 대안을 제시하며, 롤오프 우위까지 확보해 산업적 검토 가치가 높다. Angewandte Chemie International Edition 게재로 화학·재료 커뮤니티의 검증을 통과한 결과물이다.

11. 키워드 태그

사환치 Pt(II) 착물, 협대역 인광, 심적색·근적외 OLED, 연결위치 이성질화, 도너 -확장, 트리아릴아민 배위자, 외부양자효율 20%, 효율 롤오프 억제