

특집 ■ Quantum Dot

양자점과 디스플레이 응용

한철중*

양자점이란 반도체의 나노결정 (semiconductor nanocrystal)을 의미한다. 이때 나노결정의 크기가 반도체 소재의 보어 직경보다 작아지게 되면 벌크 반도체 소재가 보유하던 밴드갭이 양자화 되어 변화하기 때문에 양자점(quantum dot)이란 이름을 얻게 되었다. 양자점은 크기에 따라 밴드갭이 변화하기 때문에 bandgap tunable 특성을 가장 큰 장점으로 하고 결정 구조를 갖기 때문에 여기 파장영역이 넓은 뿐 아니라 band edge emission이 sharp 하여 발광 파장의 파장 반치폭 (FWHM)이 좁아 광학 소재로서 최고의 특성을 갖고 있다고 여겨지고 있다.

광학 소재로서의 양자점은 기존 건식 제조공정의 낮은 생산성을 극복할 수 있는 습식 제조공정의 등장으로 탄력을 받게 되었다. 화합물 반도체를 구성할 수 있는 II-VI족 혹은 III-V족 전구체의 용액상 반응을 조절하여 양자점의 크기, 성분 및 구조를 자유롭게 바꿀수 있는 기술이 최근 15년 사이에 급속하게 발전하였다. 그 결과 양자점의 톤 규모 양산이 가능해지고 가격이 저렴해져 양자점을 적용한 광학 소재 및 소자가 시장에 등장하기 시작하였다.

양자점은 본연의 반도체로서의 특성과 동시에 형광 특성 (Photo luminescence) 및 전광 특성 (Electro luminescence) 또한 가지고 있어 그 응용분야가 매우 다양하다. 특히 형광 특성과 전광특성의 경우 기존 디스플레이가 갖지 못하고 있던 장점을 가지고 있어 디스플레이 업계에서 적극적으로 기술을 개발하고 있

다. 디스플레이 분야 이외에 태양전지, 바이오마커, 센서 분야에서도 다양한 응용분야가 가능하나 본고에서는 디스플레이로서의 응용분야에 집중하여 고찰해보기로 한다.

현대 디스플레이는 크게 LCD와 OLED 로 양분되어 기술이 개발되고 있다. LCD의 경우 대형 시장을 장악하고 있으며 OLED의 경우 소형, 기능성 시장에 진입하고 있는 상황이다. 이때 LCD와 OLED 모두 처하고 있는 기술적 도전으로써 색재현율의 증가를 들 수 있다.

색재현율은 디스플레이 화면이 갖는 색이 얼마나 실제 사물의 색을 재현할 수 있는지를 의미하는 척도로써, Red, Green, Blue를 구성하는 단위 색상의 색순도가 얼마나 높은지에 직접적으로 연결되어 있다. 즉 단위 색상의 색순도가 높을수록 각 색상의 조합으로 구현되는 조합색의 범위가 넓어지는 개념이다. 현재 디스플레이의 색재현율은 sRGB 라고 불리는 REC709 표준에 기반하여 구축되어 있는데, 인쇄물의 표준으로 인정받고 있는 Adobe RGB 와 비교하게 되면 30% 이상 색재현 영역이 부족한 특성을 나타낸다. 이 때문에 발생하는 실제 사물과 디지털 이미지와의 색상 편차는 특히 전자상거래 분야에서 큰 제약으로 발생해 왔다. (모니터상의 색상과 실제 배달되어온 제품과의 색상 차이 등)

때문에 최근 REC2020 표준에서는 디지털 이미지의 색재현 범위를 Adobe RGB보다 넓은 영역으로 설정하고 이를 달성하기 위한 기술개발 노력을 디스플레이 업계에 요구하고 있다. 이러한 기술개발 달성에 가

* 전자부품연구원 디스플레이소재부품연구센터

양자점과 디스플레이 응용

장 근접해 있는 기술이 양자점 기술이며 이는 LCD와 OLED에 모두 적용 가능한 특징을 보인다.

LCD에서 광원으로 사용되는 BLU (Back light unit)는 450nm 청색 LED와 yellow YAG 형광체의 조합으로 백색광을 만들어 낸 후 이를 컬러필터로 파장을 선별하여 R, G, B를 만들어낸다. 이때 YAG 형광체 대신 양자점을 사용하게 되면 G, B 파장이 더 색순도가 높아지게 되어 컬러필터를 통과한 R, G, B 색의 색재현도를 높일 수 있는 장점이 있다.

색재현율 문제는 LCD 뿐만 아니라 OLED에서도 유사하게 발생하고 있다. RGB 개별 발광체를 사용하는 OLED 방식 뿐 만 아니라 White OLED+컬러필터를 사용하는 방식 모두 LCD보다는 높지만 Rec2020을 달성할만한 색재현율은 달성하지 못하고 있다. 이때 양자점을 발광층 (Emissive layer, EML)으로 사용하게

되면 개별 화소의 색순도를 높일 수 있을 뿐 아니라 White OLED 에서도 색순도가 높은 R, G, B로 구성된 백색광을 구현할 수 있어 Rec 2020표준을 달성할 수 있는 장점이 있다.

더 나아가 기존 OLED 소재가 갖는 효율에 육박하는 특성을 보이며 용액공정에 최적화된 특성을 보유하고 있어 잉크젯 프린팅 등 신공정으로 디스플레이를 제조할 수 있기 때문에 관련 공정기술 개발이 활발히 진행 중이다.

하지만 아직 양자점은 기술개발 해야할 부분이 산적해있다. 무엇보다도 가장 좋은 특성을 나타내는 소재가 Cd 계 소재인 점에서 Cd-free 소재 기술개발이 필요한 상황이다. 현재 In-P 계열의 III-V족 양자점의 특성이 향상되고는 있지만 아직 발광반치폭, 양자효율의 특성이 Rec2020 표준을 충족시킬 정도는 아니기 때문에 이를 달성하기 위한 특성 향상이 요구되고 있다.

더 나아가 양자점이 갖는 취약한 신뢰성을 극복하기 위한 연구 또한 진행되고 있다. 양자점의 신뢰성은 산소 및 수분 존재하에서 광여기 되었을 때 발생하기 때문에 산소 및 수분을 차단할 수 있는 shell 소재의 개발 혹은 양자점 복합소재에 배리어를 형성하는 방식으로 기술 개발이 이루어지고 있다. 궁극적으로 안정적인 양자점소재가 개발된다면 좀 더 다양한 분야에 적극적으로 사용될 것으로 보여진다.

마지막으로 양자점의 제조공정에 요구되고 있는 리간드의 적절한 제거 및 치환을 통한 특성 향상 기술이 요구되고 있다. 양자점은 습식 공정으로 제조되기 때문에 원활한 분산을 위해 분산안정 역할을 하는 리간드의 존재가 필수 불가결하다. 이러한 리간드는 형광특성 (photo luminescence)를 활용하는 경우 문제가 되지 않지만

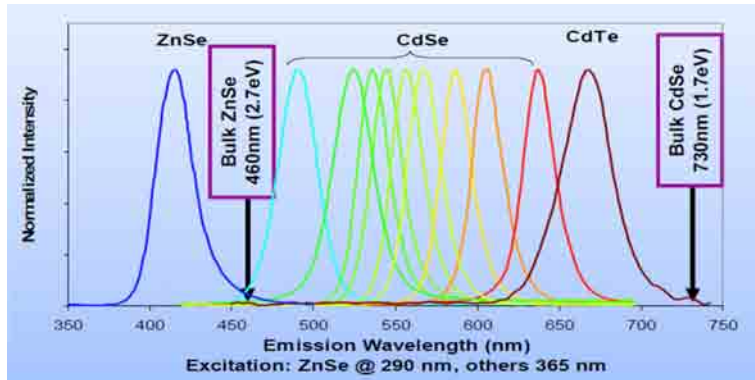


그림 1. 양자점 크기 변화에 따른 발광 파장 변화 특성

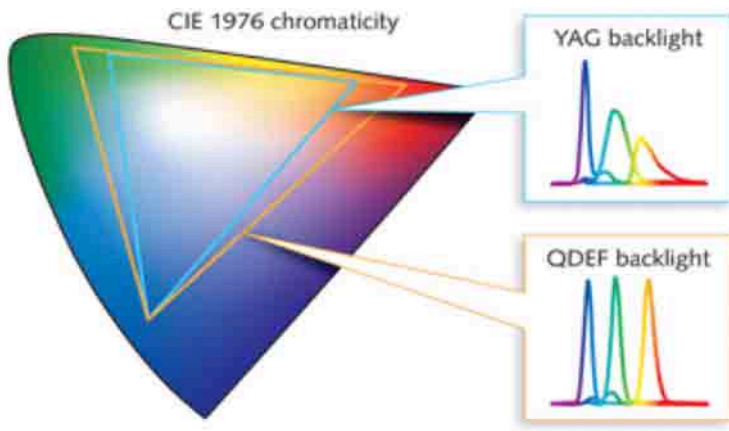
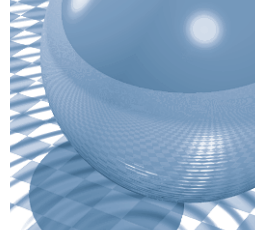


그림 2. YAG 형광체 적용 LCD와 QD 적용 LCD의 색재현 범위 차이



전광특성 (electro luminescence)를 활용하고자 하는 경우 전하주입을 방해하는 특성을 갖기 때문에 이를 조절하기 위한 기술이 요구된다. 전자부품연구원에서는 양자점의 리간드를 공정 및 특성에 따라 조절할 수 있는 기술을 개발하는데에 연구력을 집중하고 있다.

비록 디스플레이 분야에서 각광받고 있는 소재이지만, 디스플레이 외 응용분야도 활발하게 개발되고 있다. 특히 창문과 태양전지로의 역할을 동시에 수행할 수 있는 투명 태양전지인 **luminescent solar concentrator (LSC)** 에도 관련 기술이 적용되고 있으며, 나노입자로서의 특징을 십분 활용하여 바이오 마커 형광체로도 사용되고 있다. 파장변환이 자유로운 특징은 기존 **tunable dye laser** 의 **dye** 대체 물질로 적용되어 **QD-fiber laser** 기술이 활발하게 개발 중이다. 홀로그래픽 소재의 감광 물질로도 적용 중이며 프로젝터의 투명 스크린으로도 적용되어 산업화가 추진중에 있다. 이토록 다양한 응용분야를 갖고 있는 양자점 소재는 원천 기술 및 응용 기술에 대한 국가적인 관심 및 지속적인 연구개발이 필수 불가결하다 하겠다.

참고문헌

- [1] E.-P. Jang, W.-S. Song, K.-H. Lee and H. Yang, *Nanotechnology*, 24, 4 (2013)
- [2] E. Jang, S. Jun, H. Jang, J. Lim, B. Kim and Y. Kim, *Adv. Mat.*, 22, 3076 (2010)

약 력

한철중



한철중 박사는 2002년 KAIST에서 화학으로 박사학위를 취득하였고 2006년까지 LG전선에서 디스플레이 부품소재연구를 진행하다가 전자부품연구원에 입사하였다. 전자부품연구원에서는 Fraunhofer IAP 방문 연구를 통해 양자점 합성 및 응용기술을 연구하였으며 현재는 디스플레이소재부품연구센터에서 근무하고 있다.

Email : cjhan@keti.re.kr