

차세대 광원 LED 응용을 위한 형광체 기술 현황

김영국, 박영조 · 재료연구소

[요약문]

최근 유력한 차세대 광원으로 떠오르고 있는 발광 다이오드(LED, light emitting diode)는 화합물 반도체의 특성을 이용해 전기를 자외선, 가시광선, 적외선 등으로 전환시키는 반도체 소자로 에너지 효율이 매우 높고, 수명이 길어 교체 비용이 적으며, 진동이나 충격에도 강하고, 수은 등 유독물질의 사용이 불필요하기 때문에 에너지 절약, 환경보호, 비용절감 차원에서 매우 유리하다. 현재 LED 분야에 있어 주로 연구개발이 진행되고 있는 분야는 조명용 백색 LED 분야 및 디스플레이 소자 분야이다. LED를 이용한 백색 조명 및 디스플레이 기기의 개발을 위해서는 그 응용 분야에 맞는 효율이 우수한 형광체의 개발이 필수적이다. 본고에서는 현재 조명용 백색 LED 및 디스플레이 분야에 응용되는 형광체의 개발 현황을 위주로 연구동향을 분석하였다.

1. 서 론

최근 유력한 차세대 광원으로 떠오르고 있는 발광 다이오드(LED, light emitting diode)는 화합물 반도체의 특성을 이용해 전기를 자외선, 가시광선, 적외선 등으로 전환시키는 반도체 소자로 아직은 주로 가전제품, 리모컨, 대형 전광판 등 신호표시, 전달용으로 사용되고 있다. 적색 및 녹색을 발생시키는 LED는 오래 전에 개발되어 신호 표시용으로 널리 사용되고 있었으나, 청색 발광 LED의 경우 1990년대 초에 고휘도 적색 LED가 개발되고 수년 후 일본의 Nichia사에서 GaN계 반도체를 이용한 고휘도 청색 LED를 개발함에 따라 전광판이나 신호등, 휴대전화 등에 응용되고 있다. 특히 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 청색을 각각 나타내는 LED 소자가 모두 개발됨에 따라 LED를 조명광원으로 사용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

고휘도의 LED 광원을 조명등으로 사용하여 기존의 백열전구나 형광등을 대체한다면 에너지 효율이 매우 높고, 수명이 길어 교체 비용이 적으며, 진동이나 충격에도 강하고, 수은 등 유독물질의 사용이 불필요하기 때문에 에너지 절약, 환경보호, 비용절감 차원에서 매우 유리하다.

미국의 사설기관인 Optoelectronics Industry Development Association(OIDA)가 2002년에 발표한 보고서에 의하면, 실내 조명을 대체한 LED의 사용으로 전세계의 조명에 필요한 전력 소모를 50% 이상 줄일 수 있으며, 화석 연료를 이용한 전기 에너지의 발생을 줄여서 이산화탄소의 발생을 줄이고 환경을 보호하며, 새로운 고부가 가치 산업을 성장시켜 많은 고용을 창출할 수 있다고 한다.

또한 LED는 중대형 LCD TV, monitor 등의 광원으로서도 매우 유리하여 현재 LCD에 주로 사용되고 있는 냉음극 형광등(CCFL, cold cathode fluorescent lamp)에 비하여 색순도가 우수하고 소비전력이 적으며, 소형화가 용이하기 때문에 최근 삼성, LG 등 국내 가전업체에서도 LED를 배면광(BLU, back light unit)으로 이용하는 LCD TV를 개발하여 시판하기 시작하였다. 또한 유기 반도체를 이용하는 유기발광소자(OLED, organic light emitting diode)도 개발되고 있으며 2004년에는 40인치급 OLED 디스플레이 시제품이 발표되는 등 실용화에 접근하고 있다.



LEDs Save 53Watts

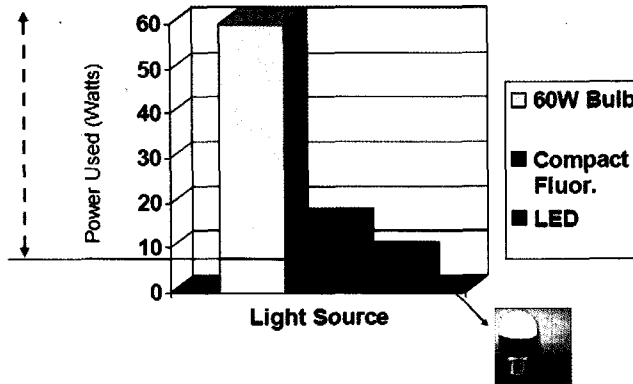


그림 1. 조명용 백색 LED의 에너지 절감 효과[S. Denbars, UCSB(2007)]

이와 같이 현재 LED 분야에 있어 주로 연구개발이 진행되고 있는 분야는 조명용 백색 LED 분야 및 디스플레이 소자 분야이다. LED는 기본적으로 좁은 파장영역의 빛만을 발생하므로 단일소자 차원에서 백색광 발현은 어려우며 적, 녹, 청의 삼원색을 조합하여 백색을 얻는 등 여러 가지 방안이 시도되었다. 그 중에서도 청색 또는 자외선 LED 위에 적절한 형광체 분말을 도포하여 파장 변환을 통해 백색광을 발현시키는 방안이 가장 실용화 가능성이 높으며 현재 많은 기업에서 활발한 연구개발이 이루어지고 있다. 또한 디스플레이 소자 분야에 있어서도 OLED, 양자점 LED 등 새로운 형태의 디스플레이 소자 개발이 국내외 기업, 연구기관 등지에서 활발히 진행되고 있다. 특히 양자점 LED의 경우 OLED 구조에서 반도체 나노입자를 형광체로 이용하여 장수명 동작이 가능할 것으로 기대되며 향후 기술 개발을 통해 실용화가 가능할 것으로 예상된다. LED를 이용한 백색 조명 및 디스플레이 기기의 개발을 위해서는 그 응용 분야에 맞는 효율이 우수한 형광체의 개발이 필수적이다. 본고에서는 현재 조명용 백색 LED 및 디스플레이 분야에 응용되는 형광체의 개발 현황을 위주로 살펴보고자 한다.

2. 백색 조명 LED용 형광체 기술 현황

형광체는 일반적으로 외부에서부터 빛, 전기 등의 형태로 에너지를 흡수하여 고유한 파장의 빛을 내는 발광물질을 말한다. 형광체는 구성 성분 및 발광 기구에 따라 유기형광체, 무기형광체, 나노형광체, 양자점형광체 등으로 구분할 수 있다. 유기형광체는 유기 반도체 내에서 여기된 전자가 정공과의 재결합을 통해 바닥상태로 떨어질 때 빛이 생성되며, 무기 형광체는 무기물질로 이루어진 모체와 활성제 이온으로 구성되며 모체의 구성성분에 따라 황화물, 산화물, 질화물계 등이 있으며, 물리적, 화학적 안정성이 매우 우수하다. 또한 무기 형광체에서 입자크기를 수십 나노미터 크기로 줄인 나노 형광체는 표면실장형칩 또는 자체발광 LED용으로 유용하지만 표면의 결함 및 산란 문제로 발광특성이 좋지 못하다. 백색조명용 LED에 응용되기 위해서는 형광체의 여기 파장이 여기광의 파장과 일치하며 가시광선에서 높은 양자효율의 발광을 달성하여야 하며 표면에서의 광산란을 억제하기 위해서는 결정립 크기를 제어하여야 한다. 또한 LED의 온도가 200℃까지 올라갈 수 있기 때문에 이 온도까지 화학적으로 안정하여야 하며 결합제인 에폭시나 규소수지와 혼합하기 위해서는 형광체 표면 형상이 좋고 좁은 입도분포를 가져야 한다. 또한 결정성 및 조성에 대한 최적화가 필요하며 저렴한 비용으로 생산할 수 있어야 한다. 형광체 분야에는 많은 특허가 출원/등록되어 있으며 상업화를 위해서는 산업재산권 측면에서도 많은 고려가 있어야 한다.

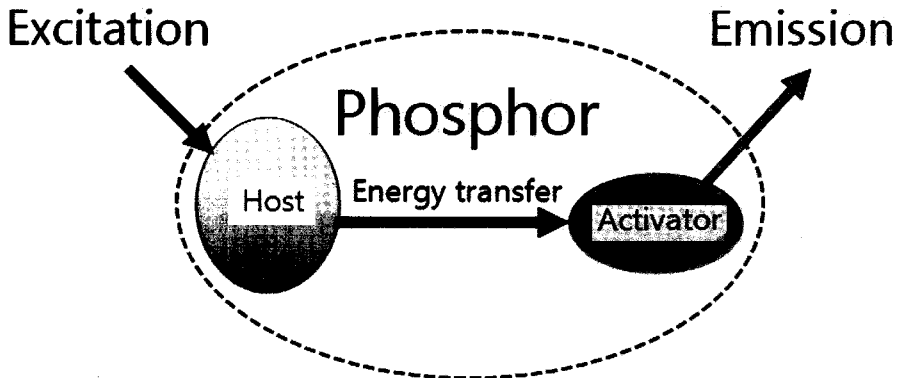


그림 2. 형광체의 빛 변환 과정

일반적으로 형광체는 외부 에너지를 흡수하는 모체(host)와 모체로부터의 에너지 전달을 통해 빛을 발생시키는 활성제(activator)로 이루어지며 이러한 활성제들이 발광 과정에 관여하여 에너지 준위 및 발생하는 빛의 파장을 결정한다. 특히 무기 형광체에서는 활성제로 Ce^{3+} , Eu^{2+} 등 란타넘계 이온들이 사용된다. 이들은 전자가 d 궤도에서 f 궤도로 전이할 때 상대적으로 폭이 넓고 강한 발광을 나타내며 모체의 조성 등을 제어함으로써 발광특성을 조절할 수 있다.

백색 조명용 LED는 1997년경 적색, 청색, 녹색 LED를 조합하여 발표되었으나 각 발광 파장대역의 LED가 각각의 열화비율이 달라 사용시간이 경과함에 따라 변색되고 일부 LED는 온도에 따라 발광파장이 변화하여 장시간 사용시 LED의 자체 발열에 의한 색변화가 발생하는 등의 문제가 있어 조명용 백색광 분야에 적용하는 것이 쉽지 않다. 또한 조명에 있어 중요한 색온도(CCT, color converted temperature) 및 연색성 지수(CRI, color rendering index) 면에서도 백열등이나 형광등에 비해 떨어지는 성능을 나타내었다. (註: 색온도는 형광체의 발광스펙트럼을 고온의 흑체(black body) 복사 스펙트럼과 연관지어 해당하는 흑체의 온도를 구한 것으로 색온도가 높을수록 눈이 부시고 푸른 빛을 띠는 백색이 된다. 백열전구처럼 따뜻한 느낌을 주는 백색인 경우 색온도가 그 이하로 낮아야 한다. 연색성 지수는 태양광을 물체에 비출 때를 기준으로 인공 조명기구의 빛을 물체에 비출 때 15개 기준색상을 인지하는 정도를 나타낸 평가지수를 말한다.)

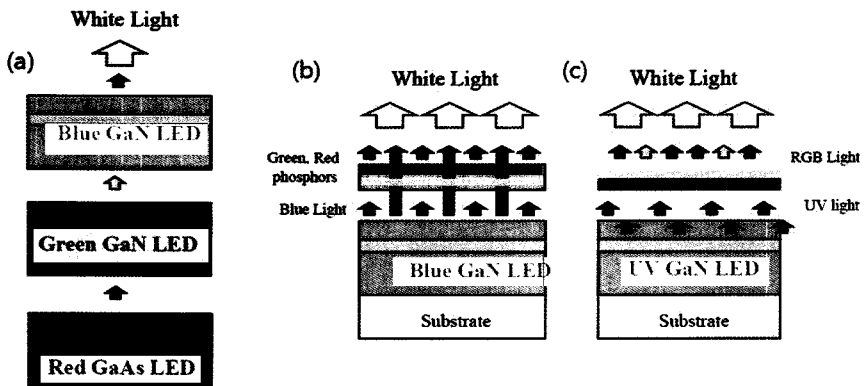


그림 3. 백색광 LED 구현 방안 (a) 적색, 청색, 녹색 LED를 조합, (b) 청색 LED + 형광체, (c) 자외선 LED + 형광체



현재 가장 광범위하게 실용화되어 있는 백색 LED는 청색 LED 칩 위에 황록색 형광체를 도포하여 소자를 제조함으로써 백색을 구현하고 있다. 이 방법은 1997년 일본의 니치아사가 GaN 박막으로 제조된 청색 LED 소자위에 $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ (YAG:Ce) 형광체형광체를 결합하여 개발하였다. 이러한 방식으로 얻어지는 백색광은 휘도가 높으나 색상면에서 조절이 어렵고 주위 온도 변화에 따른 색변환 현상이 치명적인 단점이다. 색온도(CCT, color converted temperature) 및 연색성 지수(CRI, color rendering index)에 있어서도 많은 개선이 필요하여 적색계통의 형광체를 첨가하여 발광스펙트럼을 넓히려는 시도가 있어 왔다. 또한 최근에는 자외선 LED가 개발됨에 따라 LED 위에 적, 녹, 청색의 형광체를 다중도포하여 백색광을 얻는 방안이 제시되었으며 이 경우 넓은 발광스펙트럼을 가지게 되어 연색성 지수를 높일 수 있게 되었다. 기술적인 면에서 LED의 핵심 요소 기술은 고효율·고출력 칩 및 패키징 기술이다. 칩 및 모듈 패키징 기술의 개발에 따라서 중저휘도 LED에서 고휘도 LED를 거쳐서 궁극적으로는 조명용 백색 LED로 변화되고 있다. 이러한 발전 상황에 따라서 패키징 기술에서 확보하여야 할 기술로서 저에너지 광원인 LED를 이용하여 고휘도 백색광을 구현하는데 있어서 효율이 우수한 LED의 칩 개발뿐만 아니라 절대적으로 필요한 것이 형광 소재이다. 형광체는 청색 칩에서 나오는 근자외선 또는 청색의 빛 에너지를 여기원으로 하여 우리가 직접 눈으로 보는 가시광선으로 전환하는 물질이므로 백색광의 구현에 필수불가결한 핵심 소재이다.

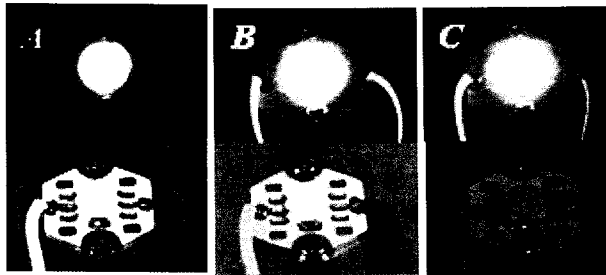


그림 4. 고연색 색온도 제어 LED 광소자

현재 세계의 선진 연구그룹들은 고효율의 백색 LED를 개발하기 위해 청색 LED의 효율을 높이고 발광 효율이 우수한 형광체를 개발하기 위해 전력을 투구하고 있다. 아울러 백색 LED의 일반 조명 시장 진입을 앞두고 조명의 고효율화와 더불어 녹색/황색/적색 형광체를 적절하게 혼합하여 사용함으로써 고연색과 색온도 제어가 가능한 감성 조명의 개발에 집중하고 있다. 그 중에서도 적색 형광 소재는 조명용 백색 LED 기술에 있어서 색온도가 제어된 고연색의 백색광을 구현하여 조명의 고품위화를 구현하는 필수 핵심 소재이다(그림 4). 이러한 적색 형광 소재는 최고 난

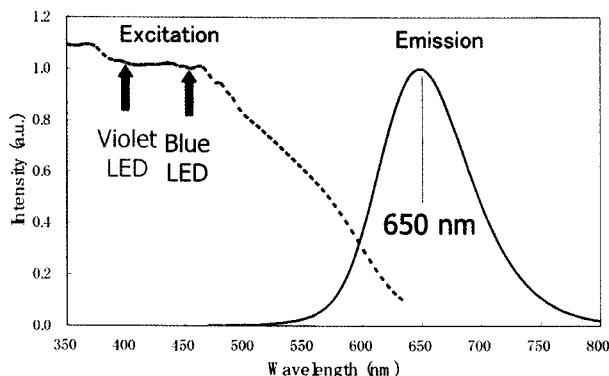


그림 5. 미츠비시사 적색 형광체의 여기 및 발광 스펙트럼

해한 기술로써 황색 및 녹색 소재와는 달리 국내 개발이 전무하며, 국외에서도 일본의 미츠비시사만이 소재 상용화 기술을 확보하고 있기 때문에 우리나라가 기술 경쟁력을 확보하기 위해서는 적색 형광 소재의 개발이 시급한 실정이다(그림 5).

이와 같은 배경으로 인하여 강한 공유결합성과 낮은 전자친화도에 기인하여 온도 안정성, 내구성 및 장파장 발광 특성이 우수한 질화물/산질화물 형광체에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다. 이것은 적색 형광 소재 기술 확보 여부가 향후 LED 조명 시장의 제품 경쟁력 확보에 직결되어 있을 뿐만 아니라, 장기적으로는 조명의 내구성 향상을 위해 종래의 산화물 형광체를 질화물/산질화물 형광체로 대체하고자 하기 때문이다. 특히 산질화물인 사이알론(Sialon) 형광체는 조성 범위가 넓고, 조성 제어에 의해 녹색에서 적색까지의 넓은 발광파장을 나타내는 소재로 일본의 NIMS를 중심으로 연구개발 및 상용화가 진행되고 있다(그림 6).

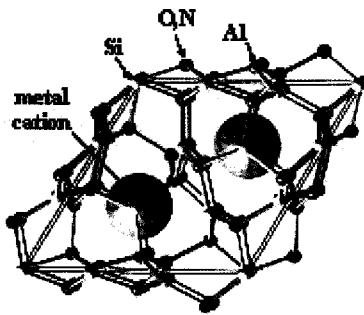


그림 6. 사이알론 형광체의 결정구조

한편 양자점 형광체는 수 nm 크기의 화합물반도체 입자(CdSe, CdS, InP 등)로 이루어져 있으며, 양자구속효과를 통해 크기에 따라 발광파장을 쉽게 조절할 수 있다. 따라서 양자점 형광체를 LED의 색변환 형광체로 적용하는 경우 완벽한 백색 LED의 구현이 가능할 것으로 기대되었다. 그러나 실제 백색 LED에 적용하는 경우 흡수대와 발광 파장이 상당부분 겹쳐 입자 간의 재흡수가 발생하여 발광파장이 적색 편이를 일으키며 농도가 진한 경우 양자효율의 저하가 발생하므로 양자점의 농도가 매우 낮아야 한다. 즉 양자점 코팅층이 수층의 단일층(monolayer)으로만 이루어져야 한다. 이러한 양자점의 농도값은 현재 사용되는 LED에서 요구되는 값보다 월등히 낮아 실 적용에 어려움을 겪어 왔다. 그러나 최근에는 단일 양자점으로부터 백색광 발생이 가능한 새로운 형태의 양자점이 개발되어 백색광 LED에 응용 가능성이 높아졌다(J. Am. Chem. Soc. 2005, 127, 15378). 특히 표면 결합에서의 재결합 및 발광 비율을 월등히 높혀 넓은 파장 범위에서 발광이 가능한 양자점의 합성이 가능해져 향후 백색 LED 응용에 있어 청신호를

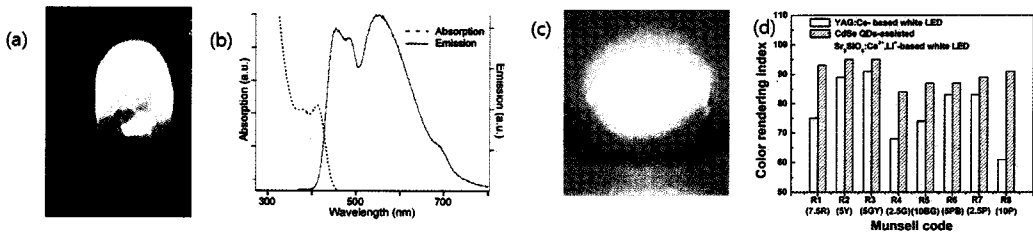


그림 7. 백색광 발생 양자점을 이용한 LED : (a) 발광, (b) 흡수/발광스펙트럼 양자점/무기형광체 혼합층을 이용하는 백색 LED : (c) 발광, (d) 연색성 지수



보내고 있다. 또한 미국 Sandia national lab.에서는 양자점과 고분자를 혼합하여 양자효율이 60% 이상인 백색 LED를 개발하였으며, 양자점과 산화물 무기형광체를 혼합하여 90 이상의 연색성지수를 가지는 백색 LED를 개발하는 등 응용측면에서 많은 진보를 보이고 있다(Adv. Mater. 2008, 20, 2696). 또한 QD-VISION, Evident Technology 등의 업체를 중심으로 양자점을 광변환층으로 사용하여 LED로부터 4000K의 색온도를 가지는 백색광을 구현하였으며 백열등의 소켓에 끼울 수 있는 LED 조명장치 시제품을 제작하여 2009년 5월에 발표하였으며, 금년말 경에 시판할 계획이다.

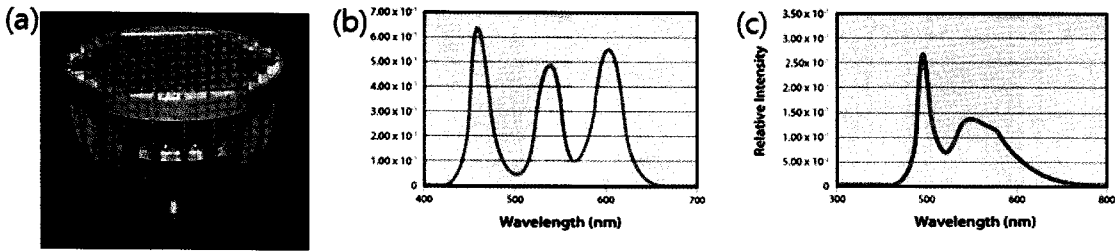


그림 8. (a) 양자점 형광체를 광변환층으로 사용한 LED(QD-VISION, 2009),
 (b) 양자점을 광변환층으로 사용하여 구현한 백색광의 스펙트럼(CCT=4000K, Evident Tech.),
 (c) YAG 형광체를 광변환층으로 사용하여 구현한 백색광의 스펙트럼(CCT=6000K)

3. 디스플레이용 발광체 기술 현황

전술한 바와 같이 현재의 백색광 LED 이후 다음 세대는 표면 실장형(SMD, surface mounting device) 칩부품 또는 직접 LED를 이용하여 발광 pixel을 구성하는 LED형 디스플레이가 차세대 LED로 주목받고 있다. 그러나 현재와 같이 수 마이크로미터 크기의 벌크 분말 소재를 이용하여 이러한 부품 및 장치를 구현하는 것은 매우 어려운 일이므로 나노크기 형광체에 대한 관심이 높아지고 있다. 전술한 바와 같이 무기물계 나노 형광체는 부품의 소형화 및 미세화를 달성할 수 있는 방안 중의 하나이며, 더욱이 백색광 LED에 적용하는 경우 높은 휘도를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 수십 나노미터 크기로 형광체의 크기를 줄이면 빛의 산란이 줄고 비표면적도 향상되어 발광효율을 높일 수 있을 것으로 기대되나 표면에 존재하는 다수의 결함 문제로 인해 발광 효율이 매우 낮아 현재 산업체에서의 대규모 연구개발은 거의 이루어 지지 않고 있는 실정이다. 그러나 일본의 Nitto Denko사에서는 40nm 크기의 YAG:Ce 나노 형광체를 개발 시판하고 있는데 일반적으로 나노형광체의 경우 발광효율이 낮다고 알려져 있는 반면 Nitto Denko사에서 개발한 나노형광체의 경우 벌크 분말 소재의 발광효율에 거의 육박하는 70% 정도의 양자효율을 나타내고 있는 등 향후 연구 개발을 통해 좀 더 다양한 고효율 형광체의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

전술한 바와 같이 발광특성이 우수하며 수 나노미터 크기의 입도분포를 가지는 형광체로 반도체 양자점을 들 수 있다. 양자점(quantum dot)은 수 나노미터 크기의 II-IV 또는 III-V 반도체 입자(CdSe, CdTe, CdS, InP 등)으로 이루어져 있으며 양자점의 크기가 빛, 전기 등에 의해 여기되는 전자와 정공이 이루는 exciton의 Bohr 반경보다 작게 되면 양자구속효과가 발생하여 띄엄띄엄한 에너지 준위를 가지게 되며 에너지 갭의 크기가 변화하게 된다. 또한 전하가 양자점 내에 국한되어 높은 발광효율을 가지게 된다. 양자점은 일반적 형광염료와 달리 입자의 크기에 따라 형광파장이 달라진다. 특히 입자의 크기가 작아질수록 짧은 파장의 빛을 내며, 크기를 조절하여 원하는 파장의 가시광선영역의 형광을 거의 다 낼 수 있다. 또한 일반적 염료에 비해 흡광계수(extinction coefficient)가 100~1000배 크고 양자효율(quantum yield)도 높으므로 매우 센 형광을 발생한다. 또한 전도대의 바닥진동상태(ground

vibration state)에서 가전자대의 바닥진동상태로의 전이만을 관찰하므로 형광파장이 거의 단색광이다(발광 bandwidth~30nm).

한편 외부에 밴드갭이 큰 반도체 물질을 성장시켜 core-shell 구조를 형성시키면 양자점의 발광광도를 향상되고 광안정성이 증대시키는 연구결과가 발표되어 현재 각종 응용분야에 적용되고 있는 양자점은 거의 대부분 이러한 구조로 제조된다. 특히 밴드갭이 좁은 core의 표면에는 발광을 억제시키는 표면결합이 많이 존재하기 때문에 core의 외부에 거의 동일한 결정구조를 가지며 격자 정합성이 우수하고 밴드갭이 큰 반도체 물질을 화학적인 방법으로 성장시켜 core 표면의 표면결합을 제거할 수 있다. 또한 발광을 일으키는 전자, 정공을 core 내부로 국한시킬 수 있게 되어 발광광도를 향상시킬 수 있다.

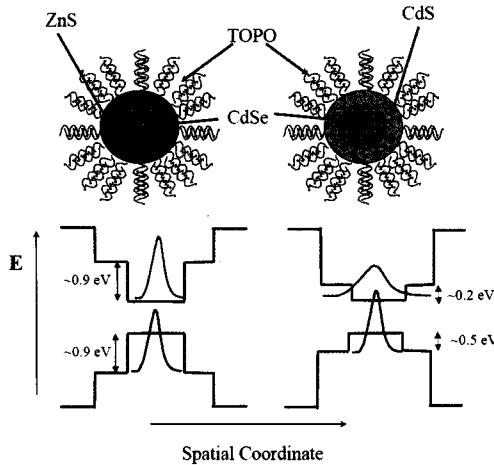


그림 9. Core-shell 구조의 양자점 및 에너지 level

core-shell 구조의 양자점을 제조할때 core와 shell 간의 격자 부정합이 큰 경우 core와 shell 간에 조성이 점진적으로 변화하도록 양자점을 합성하면 core-shell과 유사한 구조가 형성되고 발광 강도도 향상시킬 수 있다. 그림 10에는 본 연구팀에서 조성 제어를 통해 합성한 양자점의 모습을 나타내었다. 합성된 양자점은 강한 적색발광을 나타내었으며, 조성 제어를 부여함에 따라 발광 파장 및 발광 강도를 향상시킬 수 있었다.

1994년 UC Berkeley의 Alivisatos 교수 연구팀에 의해 파라페닐렌비닐렌(paraphenylenevinylene, PPV)과 CdSe 나노입자와의 블렌딩을 통해서 처음 만들어진 이후 여러 연구팀에서 양자점을 이용한 LED 소자 및 디스플레이를 개발하고 있다. 현재 디스플레이 시장에서는 LCD와 OLED가 시장에서 대세를 이루고 있는데 LCD는 스스로 빛을 발하지 않아 백라이트가 필요하지만 대형화가 가능하고 OLED는 스스로 빛을 발하지만 아직은 대형화가 어려우며 단가도 비싼편이다. 그러나 양자점 디스플레이는 OLED와 같이 스스로 발광하는 디스플레이지만 색을 구현하는 픽셀(Pixel)들을 더욱 작게 만들 수 있고 양자점의 발광 선평이 매우 좁기 때문에 색재현성이 우수하다. 또한 용액 공정으로 생산하기 때문에 대형화도 가능하고 유연성 있는 기판 위에 제조될 수 있어 기존 LCD를 뛰어넘는 차세대 디스플레이로 떠오르고 있다. 2003년에는 MIT의 Bawendi 그룹에서는 발광유기 분자인 TPD를 양자점과 혼합하여 코팅함으로써 상분리를 통해 단일층의 양자점 박막을 얻을 수 있었다. 이를 이용해 제조한 LED 소자는 TPD 분자박막을 홀의 이동층으로, Alq 분자박막을 전자의 이동층으로 사용하여, CdSe/ZnS 양자점의 터널링에 의한 전하이동 역할을 줄여주고 발광효율을 극대화할 수 있도록 설계하였다. 한편 2008년에는 MIT에서 spin-off된 QD-Vision사에서 효율적인 프린팅 방식으로 양자점 디스플레이를 구현하였다. 이러한 방식으로 제조된 양자점 디스플레이

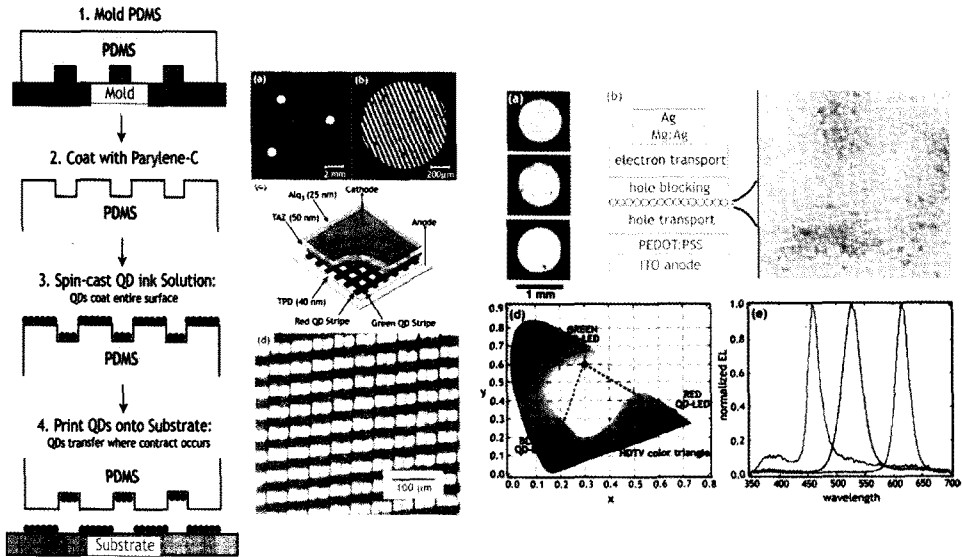


그림 10. 양자점 디스플레이(QD-VISION), (좌측) 프린팅법에 의한 양자점 patterning
(중간) (a) 제조된 양자점 디스플레이의 구조 및 (b)전계 발광
(우측) 양자점 LED의 적층구조 및 색표현 영역

레이는 그림 10(d)에서 볼수 있는 바와 같이 HDTV의 색표현 영역뿐만 아니라 더 넓은 범위의 색표현이 가능하다. 또한 2009년 3월에는 적색 발광 LED에서 외부양자효율을 7% 이상으로 향상시켰으며, 황색 LED에서의 발광 효율은 14lumen/Watt로서 백열등의 발광효율에 가까운 값을 얻었다. 국내에서도 관련 연구가 활발히 진행되어 2009년 5월에는 삼성종합기술원에서는 CdSe/CdS/ZnS의 다중 core shell 구조의 양자점을 이용하여 4인치급 양자점 디스플레이를 제작하였으며, 발광 효율은 3.5 lumen/watt로써 LCD 급에 가까운 효율을 나타내었다. 특히 정공 전도층을 중합시켜 고분자화하여 밴드갭을 제어함으로써 양자점과의 전기적 연결성을 향상시키는 등의 노력으로 외부양자효율을 2.4%까지 향상시킬 수 있었다. 양자점 디스플레이는 아직 외부양자효율 면에서 많은 개선이 필요하지만 가까운 미래에 실용화가 가능할 것으로 기대된다.

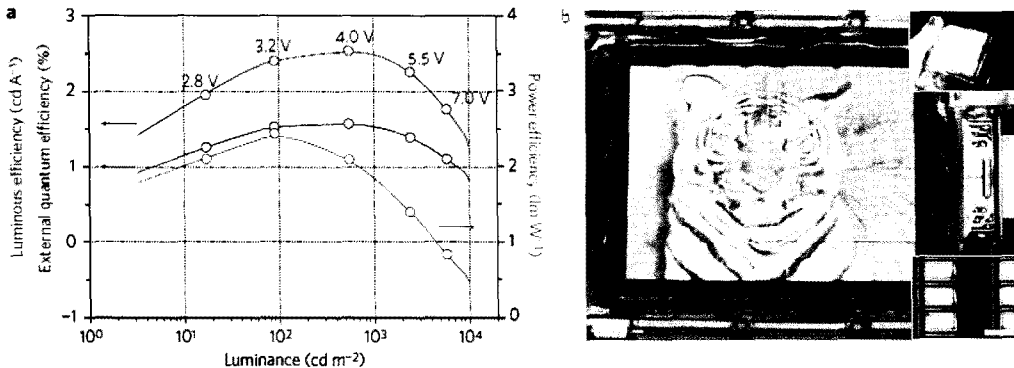


그림 11. 4인치급 양자점 디스플레이(삼성종합기술원)의 발광효율 및 외관

4. 결 론

본문에서 살펴본 바와 같이 차세대 광원으로 각광받고 있는 LED는 조명 및 디스플레이 소자로 많은 연구개발이 진행되고 있다. 특히 단색광 LED를 이용하여 백색조명을 얻거나 색표현력이 우수한 LED 디스플레이를 제작하기 위해서는 광변환효율이 우수하고 다양한 색을 표현할 수 있는 형광체 분말의 개발이 필수적이다. 따라서 여러 연구팀들이 최근 들어 백색 LED 및 디스플레이의 핵심소재인 무기형광체 및 양자점의 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 눈부신 기술적 진보를 이루고 있다. 그러나 이러한 응용기기들의 상업화를 위해서는 가격, 광특성 부분에서 아직 해결해야할 점이 많으며 형광체, 도포기술 등 다양한 방식의 접근을 통해 이러한 문제점을 해결함으로써 머지 않은 시일 내에 고효율 조명 및 디스플레이 장치의 실용화가 가능하게 될 것으로 기대된다.

❁ 참고 문헌

- [1] A. Kitai, Luminescent materials and their applications, John Wiley & Sons Ltd, 2008
- [2] E. F. Schubert, Light emitting diodes and solid state lighting in <http://www.LightEmittingDiodes.org>
- [3] J. Y. Tsao, Light Emitting Diodes (LEDs) for General Illumination – an OIDA Technology Roadmap Update 2002 (available at <http://www.netl.doe.gov/ssl/publications.html>)
- [4] S. Coe–Sullivan et al., Nano Letters, 2008. 12.
- [5] K. S. Cho et al., Nature Photonics, 2009. 5. 24



김 영 국

- 재료연구소 나노기능분말연구그룹 선임연구원
- 관심분야 : 반도체 나노입자 합성 및 응액코팅, 자연연소법에 의한 분말합성
- E-mail : voice21@kims.re.kr



박 영 조

- 재료연구소 엔지니어링세라믹연구그룹 책임연구원
- 관심분야 : 구조세라믹스, 반응소결, 세라믹스필터
- E-mail : yipark87@kims.re.kr