

고휘도 LED의 연구 개발 동향

홍 장 익 <전북대 반도체 물성연구소>

1 서 론

에디슨이 백열전구 발명을 한지 1세기가 지난 지금, 우리는 21세기를 맞이하여 반도체 기술의 획기적인 발전에 의해 광통신에 이어 반도체 조명이라는 또 다른 빛의 혁명을 맞이하고 있다. 고휘도 LED를 이용한 반도체 조명이 바로 그 주역이다. 종래의 모든 빛의 근원되는 태양은 짧은 파장의 자외선으로부터, 사람의 시각이 감지해 낼 수 있는 가시광선, 그리고 파장이 긴 적외선 등의 넓은 영역의 파장을 연속적으로 포함하고 있다. 이와 같은 햇빛은 지구상에 존재하는 모든 동식물의 생명활동을 지탱해주는 근원이 될 뿐만 아니라, 우리의 일상생활을 지배하는 중요한 요소가 되기도 한다. 이러한 빛을 인공적으로 만들 수 없을까하는 시도는 사실상 인류의 시작과 더불어 이루어 졌다. 선사시대의 모닥불부터 등잔불, 가스등 등을 거쳐 지금의 백열전구, 형광등에 이르기까지 끊임 없는 시도가 이루어져왔다. 그러나 사실상 조명을 위한 인공 광원의 효시는 1879년 에디슨이 발명한 탄소 필라멘트 백열전구라고 할 수가 있다. 이에 비해 LED는 1962년 Holonyak이 GaAsP 적색 LED를 처음으로 개발한 이후 약 40년이 지난 지금, 이제는 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 청색뿐만 아니라, 모든 가시광선 영역의 LED를 비롯하여 나아가서는 고휘도

백색 LED구현이 가능하게 됨에 따라 차세대 조명기기에의 LED의 응용이 가능한 시대가 도래 하게 되었다. 이와 같은 기술의 혁신은 과거 진공관 시대에서 트랜지스터 시대로 변모하였고, 현재 CRT 모니터 시대에서 LCD 모니터 시대로 급격히 바뀌고 있는 것과 같이, 앞으로 백열전구 시대에서 LED 반도체 조명 시대로의 변화를 기대 할 수가 있을 것이다.

LED가 처음으로 개발한 이후, 약 40년이 지난 이 시점에서 LED를 이용한 반도체 조명이 새롭게 부각되고 있는 이유를 살펴보면 무엇보다도 우선 LED관련 반도체 기술의 발달을 들 수가 있다. 종래의 단순 표시기에 사용이 되었던 저휘도 LED의 발광효율이 지난 때 10년마다 30배씩 증가되어 이제는 적색 및 등황색 LED 성능 지수는 이미 형광등 수준을 넘었고, 백색 LED의 경우에는 실험실 수준에서 CCFL 수준의 성능을 보이고 있다. 따라서 LED의 일반 조명에의 응용이 현실적으로 가능하게 되었다. 두 번째 이유로는 반도체 LED 조명이 무엇보다도 기존의 조명기기보다 저 전력 소모량, 장수명, 그리고 뛰어난 내구성 및 견고성, 나아가서는 다양한 집적화 및 정교한 디자인이 가능하여 빛이 필요한 다양한 분야에서 LED 응용이 가능한 점이다. 따라서 에너지 절약과 환경 보호 문제가 필요한 이 시점에서 꿈의 인공 광원인 LED 반도체의 응용이 기대된다.

2. 고휘도 LED 기술

LED를 살펴보면 기본적으로 p형과 n형을 접합시키거나 혹은 접합사이에 전자와 홀을 구속시킬 수 있는 활성층을 가진 반도체 접합 양쪽에 +-전극 단자를 만들고, 단자 간에 전압을 가하면 전류가 흘러 p-n접합 부근 혹은 활성층에서 전자와 홀의 결합에 의해 빛을 방출하는 소자를 말한다. 이러한 LED는 반도체의 고유특성인 에너지 밴드갭의 변화에 따라 다양한 색(파장)의 구현이 가능하다. LED 발전 역사를 살펴보면 1923년에 탄화 규소(SiC)재료에서 직류전류를 흘렸을 때 발광을 최초의 LED로 볼 수는 있으나 현재와 같은 구조의 LED는 1962년 GE에서 처음으로 구현되었고 최초의 양산은 1968년 GaAsP 적색 LED가 미국 몬산토에서 이루었다. 1980년대 초까지만 하더라도 LED의 발광 효율이 1% 수준에 머물러 있어 주로 표시기로 일반 가전에만 응용되었으나, 1980년대 후반에 접어들면서 AlGaAs 에피층을 이용한 고휘도 적색 LED의 출현이 이루어지고, 발광효율이 색 필터를 붙인 백열전구 보다 훨씬 높은 수준에 이르러 LED가 자동차의 브레이크 등이나 미등, 적색 신호등 등에 사용하게 되었다. 1992년부터는 AlGaAs LED보다 훨씬 휘도가 높고, 고신뢰성을 확보할 수 있는 InGaAlP 에피 기술이 개발 됨으로써 초고휘도 적색 및 주황색 LED가 상용화되기 시작하였다. 사실상 이때부터 LED 교통 신호기의 보급이 본격적으로 시작되었다고 볼 수 있다. 1993년 말에는 일본의 니치아 화학에서 InGaN 고휘도 청색 LED가 개발되었고, 1995년에는 고휘도 InGaN 녹색 LED가 개발됨으로써 오랜 숙원이었던 빛의 삼원색인 적색, 청색, 녹색 LED가 등장하게 되었다. 이에 따라 옥외용 충전연색 CRT 전광판에서 고품위 LED 전광판으로 바뀌게 되는 기술 혁신을 이룩하게 된 것이다.

1996년에는 역시 일본의 니치아 화학 회사에서 청

색 LED에 노란색 YAG 형광물질을 첨가 시켜서 구현한 백색 LED가 개발되었고, 2000년에는 발광효율이 형광 램프보다 우수한 InGaAlP 적색 LED가 개발 되었다. 따라서 LED가 조명에의 응용이 현실적이 되었고, 조명 용어인 lumen이 LED에 도입되게 되었다. LED는 기본적으로 약 $0.3 \times 0.3(\text{mm}^2)$ 의 크기를 갖고 있으며 이에 따른 단위 칩당 광속(flux)이 작으므로 높은 lumen을 낼 수 있는 고광속 및 고출력 LED의 대면적 칩 개발이 절실히 필요하게 되었다. 2002년에는 lumileds사에서 $1 \times 1(\text{mm}^2)$ 크기의 형광체를 도포한 대면적 칩을 4개를 사용하여 5(W)에 100 lumen을 낼 수 있는 백색 LED 개발을 하여 양산함으로써 고출력 백색 LED 개발이 본격적으로 시도되었다.

3. 고휘도 LED 응용 및 시장

그림 1은 2002년의 고휘도 LED의 시장의 분포를 도식화한 그림으로 LED의 새로운 응용의 추이를 알 수가 있다. 고휘도 LED의 18억불 시장 중에 GaN LED의 시장이 13.3억불을 차지하였으며, 시장 규모는 mobile 응용기기가 52%를 차지하였으며, sign/display 부분이 16%, 자동차 부분이 12%, 조명 부분이 4%, signal 부분이 2% 등의 순으로 되어 있다.

Mobile 응용기기의 대표적인 것은 휴대폰으로서 삼성과 LG 휴대폰의 키패드 백라이트(back light)에서 청색 LED 적용을 처음 시도한 것으로 알려져 있는데 우리나라가 이 분야에서 세계 시장 창출을 주도하였다고 할 수가 있다. 청색 LED에도 색 패전이 있어 468(nm) ~ 472(nm)의 청색 LED가 주로 사용되기도 하고, 좀더 색이 짙은 deep blue계통인 462nm ~ 467(nm)의 청색 LED가 사용되기도 한다. 2002년도 우리나라의 mobile 응용에서의 GaN

LED 시장 규모가 약 1500억원 정도였는데, 올해는 2000억원이 넘을 것으로 추산하고 있다. 키패드 백라이트는 일종의 패션상품으로 유행에 따라 부침이 심할 것으로 예상하고 있다. 그러나 백라이트 광원의 기본은 청색 LED가 되고 형광체에 따른 다른 다양한 색상 연출을 기대할 수가 있어서 시장 규모의 변동은 그리 크지 않을 것으로 예상하고 있다. 최근에는 핑크

색 백라이트도 개발되어 출시를 기다리고 있으며, 백색 LED의 적용도 가격, 패션 상황에 따라 확대 될 것으로 판단된다. 현재 백색 LED는 휴대폰, 디지털 카메라나 PDA기기에서 칼라 TFT LCD의 백라이트와 카메라 폰에서 후레쉬 광원으로 적용이 활발한 상태이다. 이에 따라 앞으로 mobile 기기에서 당분간 매년 20%이상 증가하는 시장 성장률이 예상된다.

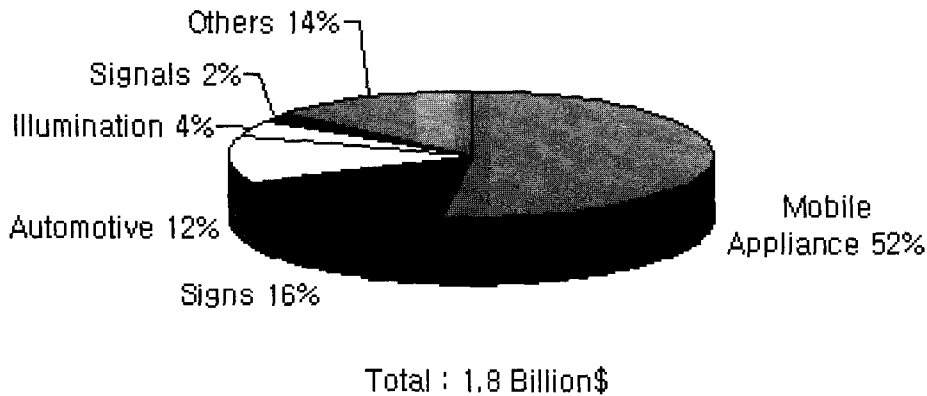


그림 1. 2002년도 고휘도 LED 응용별 시장 분포

(출처: Strategies Unlimited GaN-2003)

또 하나 우리나라가 LCD 강국인 것을 고려하면서 주목하여야 할 시장은 color LCD 모니터 display 시장으로서 15인치 이상의 TFT LCD 모니터 백라이트에의 LED 적용을 들 수가 있다. RGB의 3개의 LED를 사용하는 경우 종래의 CCFL (compact cathode fluorescence lamp)사용하는 것보다 색의 재현이 더욱 자연색에 가깝게 만들 수가 있는 것이 큰 장점 중의 하나이다. 또한 2006년 이후부터는 유럽에서는 수은 형광등의 사용을 제재하기로 되어 있어서 대체 광원의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 LCD 모니터에서 LED 백라이트의 적용은 다소 가격적인 문제가 있다하더라도 어느 정도 성능이 향상된

다면 쉽게 보편화 될 것이라고 예상할 수가 있다. 시장 초기에는 가격경쟁과는 무관한 medical 혹은 graphic art 용 모니터 응용부터 시작할 것으로 본다. 시장 성장률을 보면 2004년 이후에는 매년 200%이상 성장 할 것으로 2003년 6월에 발간된 미국의 Strategies Unlimited 사에서 발행된 Gallium Nitride -2003 자료에서 보고하고 있다.

여하튼 LED의 시장의 최후의 목표는 조명시장이다. 반도체 LED 조명의 응용에는 특수 조명과 일반 조명과 같이 두 가지로 나눌 수가 있다. 특수 조명 부분의 응용 분야를 보면 architectural lighting, display lighting, sign lighting, emergency

lighting 으로 나뉠 수가 있다. 특히 건축 조명에서는 기업의 홍보적 차원이나 관광사업을 위해 경관 조명을 시도하고 있으나 에너지 소비에 따른 여러 문제로 인하여 조명 설치를 하고 난후에 점등을 하지 않는 경우가 많다. 이에 따라 저 전력 소비, 장 수명으로 인한 보수성 개선, 다양한 연출, 기구의 소형화를 할 수 있는 LED의 사용이 집중 검토가 되고 있다. 그림 2에는 빌딩 경관 조명을 실시한 예를 보여주고 있다. display lighting의 경우에는 박물관, 미술관, 상점의 display 부분에서 열로 인한 대상물의 손상을 최소화하고 다양한 연출을 할 수 있는 LED lighting이 각광을 받고 있으며, sign lighting 경우에는 네온 사인을 LED로 바꾸려는 시도가 활발하게 일어나고 있고, emergency lighting의 경우에는 일반 형광등 사용 혹은 CCFL (냉음극관형광등)과 도광판을 이용

한 제품이 국내 소방법을 통과하여 사용 중이나, 에너지 절약과 시인성을 고려한 LED 제품이 점차 주목을 받고 있다. 또한 그림 3와 같이 계단 및 통로용 foot light, pathway 유도등 등이 해외에서 개발되어 점차 사용되고 있는 실정이다. 일반 조명의 응용에서는 과연 주거지 혹은 건물 내부의 조명을 백열 전구나 혹은 형광등을 백색 LED로 대체될 수 있을 것인가 하는 문제가 쟁점이 되고 있다. 결국 LED의 높은 성능지수(lm/W)와 가격 경쟁력을 언제 갖출 수 있을 것이냐 하는 것이 문제일 것이다. 현재의 LED 수준은 일반 조명에서의 응용은 시기상조인 것은 분명하다. 그러나 현재 각 회사들의 목표대로 개발이 된다면 2007년 이후에는 백색 LED가 차세대 일반 조명 기구로 사용되기 시작할 것으로 예상하고 있다.

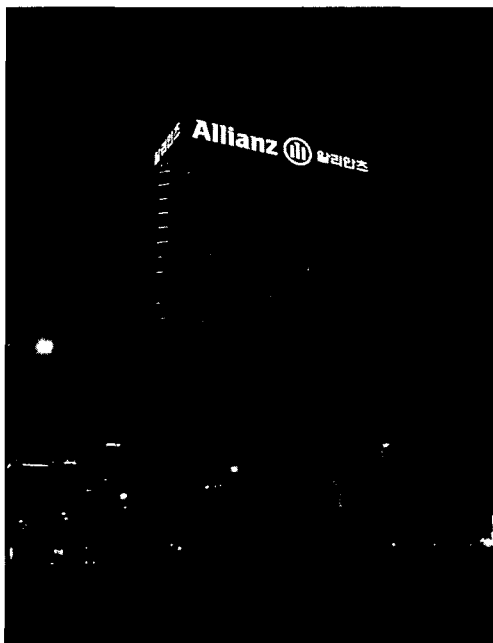


그림 2. 고휘도 LED의 건축 조명에의 응용 모습 (서울 여의도 소재)



그림 3. 고휘도 LED pathway 유도등

3. 백색 LED의 구현 방법

현재 세계적으로 활발하게 진행되고 있는 GaN 백색 LED의 제작 방법으로는 모두 네 가지로 나눌 수가 있다. 단일칩 형태의 방법으로서 청색이나 혹은 UV LED 칩 위에 형광물질을 결합하여 백색을 얻는 각각의 방법과 멀티 칩 형태로 두 개나 혹은 세 개의 LED칩을 서로 조합하여 백색을 얻는 두 가지 방법으로 각각 나뉘게 된다. 그림 4에서는 백색 LED를 구현하기 위한 각각의 제작 방법을 나타낸 것이다.

백색 LED를 구현하는 방법으로는 처음으로 시도된 것은 멀티 칩을 사용하는 기술로서 빛의 삼원색인 RGB의 3개 칩을 조합하여 제작하는 것이다. 그러나 각각 칩마다 동작 전압의 불균일성, 주변 온도에 따라 각각의 칩이 출력의 변하여 색 좌표가 달라지는 현상 등의 문제점들을 보이고 있다. 따라서 백색 LED 구현보다는 회로 구성을 통해 각각의 LED 밝기를 조절하여 다양한 색상의 연출을 필요로 하는 특수 조명 혹은 전광판과 같은 디스플레이의 목적에 적합한 것으로 판단된다.

최근에는 보색 관계를 갖는 2개의 LED를 결합하여 만드는 BCW(binary complementary white) LED가 출현하였다. 보색관계의 주황색과 청색을 섞으면 백색광이 되는데, 앞에서 기술한 바와 같이 주황색의 InGaAlP LED는 경우에 성능 지수가 100(lm/W)를 초과함에 따라 현재 조합된 백색 LED의 조명 효율도 청색 LED의 효율만 높아진다면, 몇 년 후면 형광등보다 높은 LED 조명기기가 출현될 것이라고 전망된다. 그러나 칩에 따른 색 좌표와 상관 색온도(Correlated Color Temperature: CCT)의 변화가 심하고 연색 평가지수(Color Rendering Index: CRI)의 한계가 있어서 양산에는 어려울 것으로 판단된다.

기술적인 면이나 가격적인 면을 고려하면 하나의 칩을 사용하는 기술이 앞에서 기술한 다른 기술보다 우위성이 있으므로 이에 대한 연구가 집중적으로 많이 이루어지고 있다. 1996년 일본 니치아 화학에서는 청색 LED를 여기광원으로 사용하고, YAG (Yttrium Aluminum Garnet)의 노란색(560nm)을 내는 형광 물질을 접목시킨 형태의 백색 LED를 처음 개발하였다.

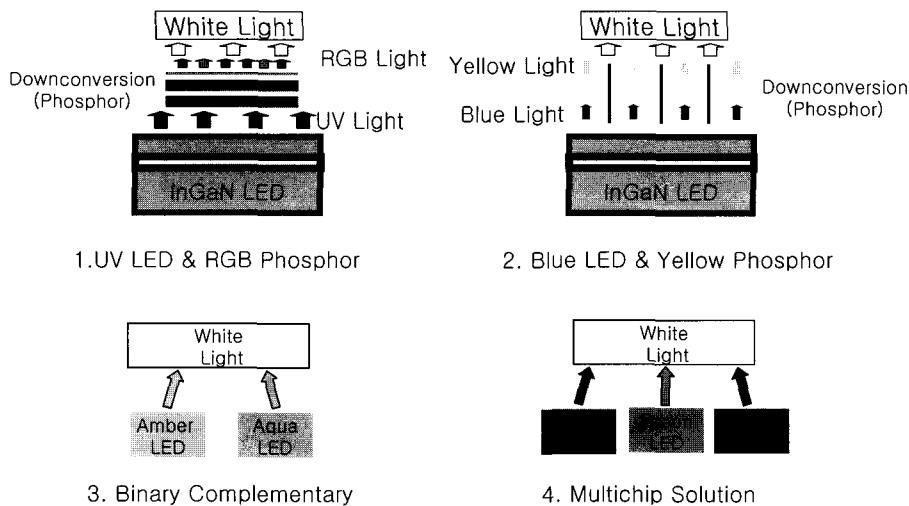


그림 4. 백색 LED를 구현하기 위한 제작 방법

그러나 청색과 노란색과의 파장 간격이 넓어서 색 분리로 인한 섬광효과 (Halo effect)로 인해 색 좌표

가 동일한 백색 LED의 양산이 어렵고, 또한 조명 광원에서 중요한 변수인 CCT와 CRI의 조절도 비교적

어려운 편으로 알려져 있다. 이에 따라 적색을 내는 형광물질을 첨가하여 발광 스펙트럼을 넓혀서 이러한 단점으로 보완하였다. 따라서 초기 제품에서는 CCT가 6000 K 정도, CRI가 80 미만이었으나 현재는 CCT도 3000K 미만으로 조절이 가능하여 졌으며 CRI도 90이상을 만들 수가 있다. 그러나 적색 형광물질 때문에 CRI를 더 높이는 데는 한계가 있는 것으로 알려져 있다.

UV LED가 여기 광원으로 사용됨에 따라 단일 칩 방법으로 조명용 백색 LED 구현에 있어서 새로운 전기를 맞이하게 되었다. 이와 같은 방법은 전극방전에 의해 254(nm) 혹은 185(nm)의 자외선으로 형광등 램프의 구현하는 방법과 매우 비슷한 방법으로서 UV LED위에 RGB의 다층 형광 물질을 도포하면, 백열전구와 같은 아주 넓은 파장 스펙트럼을 갖게 되어 우수한 색 안정성을 확보 할 수가 있으며, CT와 CRI를 어느 정도 마음대로 조절 할 수가 있어서 조명용 LED광원을 구현을 위한 가장 우수한 방법으로 대두되고 있다.

그림 5에는 LED의 발광 파장에 따른 실험실 수준

의 최대 외부 양자효율을 나타내어 보았다. 그림에서 보듯이 GaN 관련 에피 특성상 400(nm) 파장의 near-UV 영역에서 최대 외부 양자효율을 보이는 것으로 나타나 있는데 이에 따라 에피 측면에서는 near-UV 영역에서의 LED 구현을 위한 연구가 가장 활발히 이루어지고 있다. 그러나 파장이 짧아지면 형광체를 여기 시키는 에너지도 커지므로 400(nm) 미만의 LED 연구도 매우 활발한 편이다. 최근 니치아 화학에서는 365(nm)에서 백색 LED 발광 효율이 36%되는 것을 발표한 바 있다. 그러나 LED의 파장이 짧아진다고 다 좋은 것은 아니다. 우선 에피 구조에서 결정 결함에 따른 광출력 감소가 심하게 이루어지며, 형광체에서 짧은 파장에서 긴 파장으로 변환될 시 에너지 감소가 일어나는 stokes efficiency가 커진다는 문제가 생긴다. 그럼에도 불구하고 현재 발표되는 백색 LED의 figure of merit를 표 1과 같이 분석하여 보면 여기 광원이 UV LED가 blue LED보다 훨씬 좋은 것을 알 수가 있다. 따라서 고품위 고효율 UV LED 개발이 하나의 중요한 과제임에는 틀림이 없다.

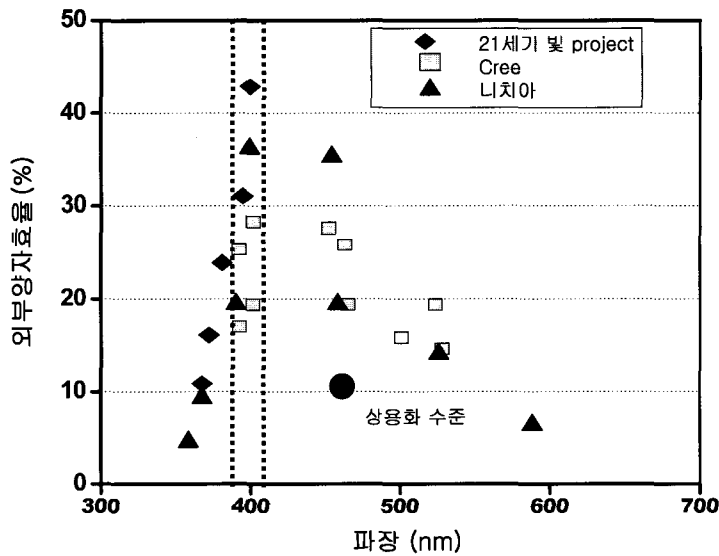


그림 5. 외부 양자효율과 파장과의 관계

표 1. chip 백색 LED의 성능비교

	Blue + YAG	UV+Phosphor
UV/Blue relative WPE	1	1.5
Stokes efficiency	0.8	0.75
Luminous efficacy(Lm/W)	330	330
Figure of Merit	264	371

그러나 형광체의 특성을 살펴보면 각각 개발된 적색, 청색, 녹색의 형광체의 흡수강도가 파장에 따라 다르다. 특히 적색 형광체로 주로 쓰이고 있는 Y2O2S: Er의 특성이 400[nm] 혹은 470[nm]에서 다른 형광체보다 흡수강도가 많이 떨어지는 것을 볼 수가 있다. 그림 6에 파장변화에 따른 흡수강도를 현재 쓰이고 있는 형광체 별로 나타나 있다. 따라서 적색 형광체에 대한 연구가 더욱 필요한 상황이다.

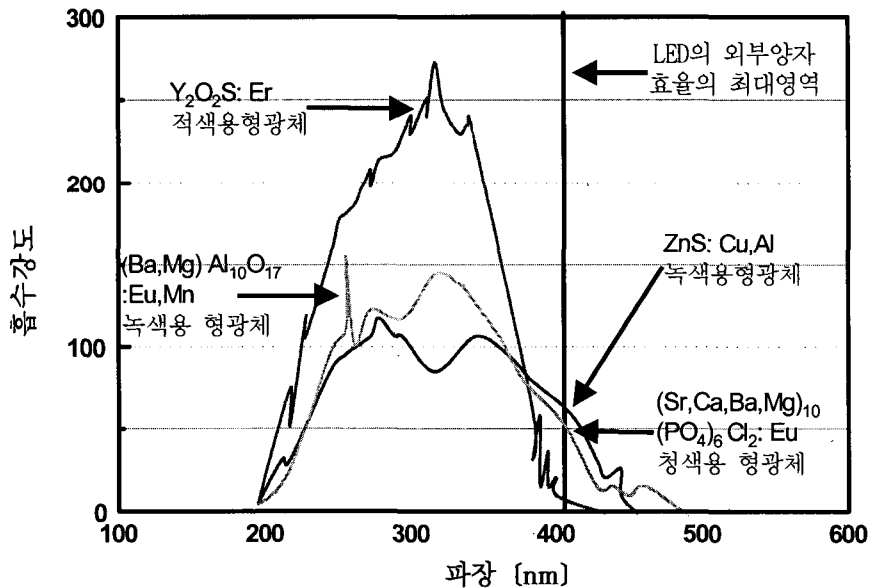


그림 6. 파장에 따른 형광체 별 흡수강도

4. 조명용 LED

백열 전구를 오래 켜져 있을 때에는 만질 수 없을 만큼 뜨겁다. 이는 그만큼 열선, 즉 눈에 보이지 않아 조명에 기여하지 못하는 적외선이 나옴을 의미하며,

전력이 낭비되어 조명효율이 나쁨을 나타낸다. 실제로 입력 전력에 대해 가시광 에너지의 변환율은 약 10%이고, 적외선 방사는 약 70%를 보이고 있다. 분명히 백색 LED의 조명효율은 기존의 백열전구보다 우수하지만 차세대 조명기구로 사용되기 위해서는 몇

특집 : LED 광원기술

가지 개선되어야 할 사항에 대해서 생각해 보기로 한다. 현재 상용화된 1[W]급인 백색 LED에서 광 출력은 약 90[mW], 광속이 약 22 lumen 정도이다. 일반 조명 시장에서 LED조명이 사용되기 위해서는 100 lumen 이상이 되어야 하는데 이를 위해서는 LED칩 여러 개의 조합이 필요하다. 물론 LED의 패키징을 개선하면 광속을 어느 정도는 증가시킬 수는 있다. 실제 백열전구의 20Watt에 해당하는 정도의 광속인 240 lumen을 내려면 상용화된 백색 LED가 10개 정도 필요하고 현재의 수준으로도 50%정도의 에너지 절약을 할 수가 있다. 그러나 LED 전구 하나

의 가격이 무척 높아서 일단 가격 경쟁력만을 고려하여 보면, 백열전구는 0.1cents/lumen, 형광램프는 1cents/lumen정도인데 반하여 현재의 백색 LED 전구는 0.5\$/lumen으로 기존의 조명기구에 비해 약 50 ~ 500배 정도가 비싸다. 수명이 길고 전력 소모가 적고, 유지 보수비 면에서는 LED 조명이 경제적이라고는 하지만, 구입 가격이 너무 높으면 시장 진입이 어려울 것으로 판단된다. 따라서 가격 경쟁력을 높이는 방법이 강구되어야 할 것이다. 그림 7에서는 현재 기존 조명기구에 대한 백색 LED전구의 가격 경쟁력을 비교하여 보았다.

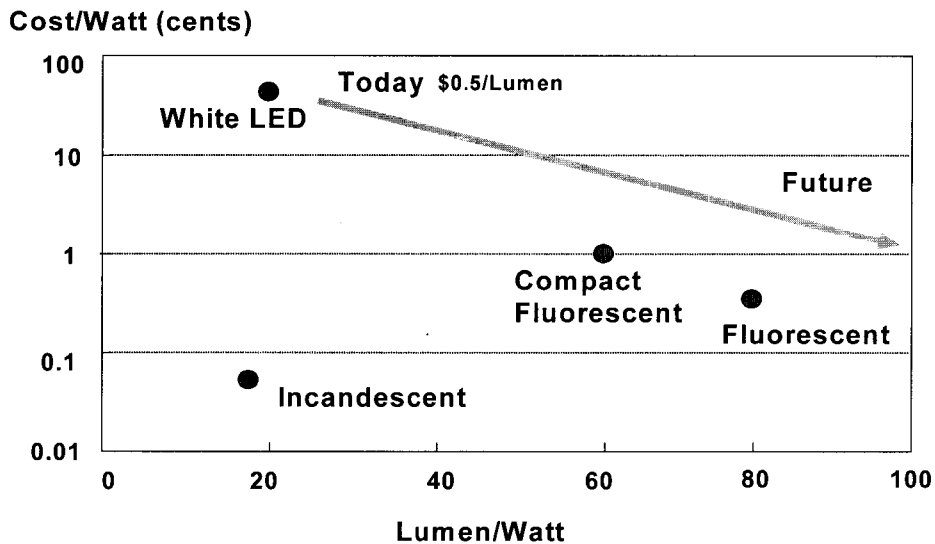


그림 7. 조명 기구에 따른 가격 경쟁력

가격 경쟁력을 높이기 위한 가장 현실적인 방법으로는 LED의 발광효율을 높여서 LED 칩의 수를 줄여야 한다. 따라서 백색 LED의 발광효율을 높이는 것이 각 회사들의 최우선 목표이다. 현재 니치아 화학에서 실험실 수준에서 50[lm/W]의 효율을 얻었고 2005년 까지는 형광등 수준을 넘는 75[lm/W]의 발광효율을 얻는 것을 목표로 하고 있다. 그리고 2004

년 이후에는 50[lm/W] 급의 LED를 양산화를 계획하고 있다. 그러나 대부분 회사의 수치는 실험실 수준에서 22~25[lm/W]로 발표하고 있으며, 2005년에 실험실 수준에서 약 50[lm/W] 급 개발을 서두르고 있다.

또한 고출력을 이용한 고휘속 LED를 구현하기 위해서는 기존의 20[mA] LED 구동에서 탈피하여 수

백 mA 또는 1[A] 이상의 높은 전류로 구동시키는 고출력 LED 개발이 상당히 중요하다. 물론 방열을 위하여 기존의 패키지와는 달리 특수 구조의 패키징이 필요할 것이다. 이밖에 고출력 칩을 구현하기 위해서는 결정 결함이 적은 기판, 빛의 내부흡수를 줄인 LED 칩 구조설계, 고효율의 형광물질 등의 여러 가지 측면에서 많은 개선이 이루어져야 할 것이다. 현재 일부 LED에서의 에너지 변환 효율이 이미 약 40% 정도까지 개선된 만큼 백색 LED에서 에너지 변환 효율을 50% 이상 올린다면 조명효율이 200(lm/W) 대의 꿈의 조명기구를 만들 수는 시기가 앞당겨 질 것이다.

5. 백색 LED의 각국 국가 주도 연구 현황

LED의 휘도와 신뢰성이 어느 정도 확보됨에 따라 종래의 백열전구를 광원으로 이용하고 있던 분야에서 대체 사용을 시작되었다. 현재 task lighting, back lighting, decoration lighting 등과 같은 낮은 wattage급의 특수 조명 사용으로부터 시장 진입이 활발하게 이루어지고 있는 실정이다. 현재 기존 조명 기기의 세계적으로 대표적인 3대 기업인 GE, Osram, Phillips 등이 최근 GaN LED제조 기술을 보유한 벤처회사들과 손잡고 Joint Venture 사업을 시작을 했고, 기존의 GaN LED 제조 회사인 Nichia, Cree, Toyoda Gosei까지 적극적으로 LED lighting 사업 영역 부분까지 확대하고 있다는 것은 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

현재 선진국 경우에는 이러한 문제를 신속히 해결하기 위하여 범국가적인 과제로서 LED 조명 기술 개발을 추진하고 있다. 일본이 가장 발빠른 행보를 보이고 있는데, 통산성을 중심으로 "21세기 빛 프로젝트"라는 명칭 아래 산.학.연이 연계되어 1998년 후반부터 시작되었다. 효율이 좋은 백색 LED를 사용하여 2010년까지 조명 사용 에너지의 20%를 감소를 이루

어 CO₂ 배출량을 1990년 수준으로 끌어내리는 것을 목표로 삼고 있다. 최종 목표로는 형광등 효율의 약 2배 정도의 120(lm/W) 급 LED 개발이다. 현재 크게 네 가지의 연구테마가 주어졌는데 방출 메카니즘, 에피성장 기술 향상, GaN 기판 개발, 형광물질 개발 등으로 나뉘어서 올해 1단계 연구가 끝나게 되며 60(lm/W) 급의 LED 효율을 선보일 것으로 기대한다. 미국에서는 최근 에너지부(DOE)를 중심으로 "비전 2020"라는 next generation lighting initiative 프로젝트를 기획하여 상원 통과가 이루어져 있으나, 미국 내의 문제로 본격적인 연구 시작이 약간 지연된 상태이다. 미국의 경우에는 에너지 위기에 대한 종합적인 대책의 하나로 유기 LED 혹은 반도체 LED의 기술을 중심으로 가격 경쟁력이 있고, 200(lm/W)의 효율적인 광원의 개발을 2020년까지 이루려는 목표를 삼고 있다. 대만에서는 반도체 조명을 국가 핵심사업으로 지정하여 11개의 회사를 중심으로 2005년까지 일본을 추월하려는 야심찬 계획을 선보이고 있다. 2005년에는 실험실 수준에서 100 (lm/W)급을 만들고, 생산은 50(lm/W)를 이루려는 계획이 2002년부터 실행되고 있다. 중국에서도 2003년 6월부터 LED 조명에 관한 국가 주도 프로젝트를 시작하였으며, 한편 캐나다에서는 LED 개발 보다는 LED의 응용을 중심으로 프로젝트가 이루어지고 있다. 표 2에 각국의 국가주도 프로젝트를 비교하였다. 산업체에서는 앞에서 언급한 바와 같이 세계적으로 유명한 3대 조명 기기 회사들이 각기 반도체 조명 회사를 세웠는데, GE는 Gelcore, Phillips는 LumiLeds, Osram과 지멘스는 Osram opto- electronics를 내세워 반도체 조명 연구를 시작하고 있다. 다행히도 우리나라에서도 LED 사업이 차세대 성장 동력 산업으로 선정되어 2004년부터는 선진국을 추월할 수 있는 본격적인 연구가 시작될 것으로 예상된다.

표 2. 각국 국가주도 프로젝트의 예

	일 본	미 국	대 만	캐 나 다
명 칭	21세기 빛 프로젝트 "Light for the 21 st century"	Next generation lighting initiative (Vision 2020)	Next generation illumination light source project	
최 종 목 표	120(lm/W) light source 개발	200(lm/W) light source 개발(최종년도 : 2020년)		LED array을 이용한 high flux system
기 간	1단계 : 1998. 9 ~ 2003. 8 2단계 : 2003. 9 ~ 2008. 8	2002 ~ 2011 / 2011 ~ 2020	Phase I : 2002. 3 ~ 2002. 8 Phase II : 2002. 8 ~ 2005. 7	2001. 10 ~ 2004. 9 / 3년
사 업 규 모	1단계 : 총 6003M 엔 (약 600억원)	50M \$/year(약 600 억원/년) for 10 years		20M \$/3 years (매년 80억원/년)
추 진 방 법	NEDO + METI : Yamaguchi Univ. 주관 (4 universities + 13 companies + 1 association)	OIDA	회사주도 : 11개회사 참여 Consortium 형태	TIR 회사주도 : SSL system architecture

따라서 우리나라가 계획한 1 단계가 끝나서 2008년에는 80(lm/W) LED를 개발하게 되고, 2단계가 끝나는 2013년에는 130(lm/W) LED를 개발할 것이다. 현재 우리나라에서 조명이 차지하고 있는 전력소모량은 약 21%이다. 이것을 근거로 2020년까지 반도체 LED가 조명기구로 50% 정도를 교체 보급된다고 가정한다면, 약 40조의 에너지 절약을 가져온다는 계산이 나온다. 이렇게 되면 100만(kWh) 급 발전소를 30 개를 줄일 수가 있다. 또한 이산화탄소 배출량은 약 80만 톤/년 이상 줄일 수가 있다고 하니, 에너지 절약과 환경 개선 문제가 세계적으로 문제시되는 이 시점에서 우리는 분명히 차세대 조명기에 대한 연구 개발을 위해서는 화합물 반도체 소재 및 에피 기술부터 고효율 형광체 기술, 고출력, 고전력 반도체 조립기술, 나아가서는 회로 및 광학 설계 기술까지 많은 핵심 소요 기술, 그리고 저가격을 위한 생산 기술 등 종합적으로 해결할 일이 많이 주어졌다.

여하튼 에디슨의 전구 발명이 1세기가 지난 지금, 반도체 기술의 발전으로 인해 반도체 조명이라는 또 다른 빛의 혁명을 주도하고 있음에는 틀림이 없다. 따

라서 정부와 산학연의 적극적인 노력을 통해 우리나라가 세계적인 실리콘 메모리 반도체 강국이 되었고, 최근에는 휴대폰과 LCD 산업 강국이 되었듯이 이러한 기존 산업의 경쟁력 강화를 위한 부품, 소재 산업과 더불어 앞으로 다가오는 반도체 조명이라는 새로운 분야에서도 주역이 되어야 할 것이다.

◇ 저 자 소 개 ◇



홍 창 희(洪昶熹)

1956년 12월 10일생. 고려대학교 전자공학과 졸. KAIST 전기 및 전자공학과 (광전자 전공) 석, 박사('91)졸. ('91~'94) 미국 미시간대 전기 전산공학과 교체전자실험실 연구원. ('94~'98) LG 종합 기술원 광전자 그룹 책임연구원. ('98~현재) 전북대 반도체 물성연구소, 반도체 과학 기술학과(대학원) 재직.