

반도체 조명을 위한 백색 LED의 최신 연구동향



홍창희

(전북대학교 반도체 물성연구소 반도체 과학기술학과)

1. 서론

21세기를 맞이하여 인류가 만들어낸 기적의 빛 레이저를 이용한 광통신에 이어 또 다른 빛의 혁명이 시작되고 있다. 고효율 LED를 이용한 반도체 조명이 그 주역이다. 반도체 기술의 획기적인 발달로 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 청색뿐만 아니라, 적외선, 자외선 영역의 빛과, 또한 이를 이용하여 백색의 빛을 마음대로 만들 수 있는 시대가 도래했기 때문이다.

우리는 "빛" 이라고 하면 제일 먼저 태양을 떠올리게 마련이다. 이러한 태양에서의 나오는 빛의 파장을 조사해 보면 파장이 짧은 자외선부터, 사람의 시각을 자극시킬 수 있는 파장의 가시광선, 그리고 파장이 긴 적외선에 이르는 연속적이고 넓은 영역의 파장을 포함하고 있다. 이러한 빛을 인공적으로 만들 수는 없을까하는 꿈은 사실상 인류의 시작과 함께 도전이 시작되었다. 이러한 인공 광원의 효시는 1879년 에디슨이 발명한 탄소 필라멘트 백열전구라고 할 수 있는데, 그 후 탄소 필라멘트를 텅스텐으로 개량하고 진공 전구 안에 첨가 주입가스의 변화를 주는 등 지금과 같은 제품에 이르게 되었다. 또한 1940년대 초반에는 전극 방전에 의해서 생기는 자외선이 튜브내에 코팅된 형광체를 여기시켜 가시광선으로 변환시키는 방식의 형광등의 출현이 되었는데, 가정용, 산업용 조명으로서 백열 전구와 더불어 아주 중요한 광원으로 주류를 이루게 되었다.

이러한 인공광원의 출현과 더불어 인류의 삶에 많은 변화와 번영을 주었던 시대의 분위기가 1973년의 오일 쇼크를 정점으로 사회 모든 분야에서 에너지 절약을 강조하게 되었다. 그럼에도 불구하고 계속적인 산업발달과 인구 증가로 인해 전 세계적으로 에너지난을 겪게 되었다. 특히 올해 미국에서는 오일쇼크 이후 현재 최악의 에너지난에 직면해 있다면서 앞으로 20년간 원자력 발전소를 1300~1900개 건설이 필요하다는 에너지 종합 대책을 발표하기에 이르게 되었다. 이에 따라 고도의 산업 개발 위주의 에너지정책과 그것의 대가로 심각히 오염되고 있는 지구 환경도 보호해야 하는 환경보호 정책과의 양단간의 심각한 딜레마에 빠지게 되었다. 물론 환경 보호를 위한 다른 대체 에너지 및 초절전 조명 기구에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있지만, 최근 반도체 LED를 조명에 사용하여 획기적으로 전력 소모를 줄임으로써 에너지 소모도 줄이고, 이에 따른 환경 오염도 줄이고자 하는 움직임이 선진국을 중심으로 일어나고 있다. 이와 같은 현상은 종래의 단순 표시기에 사용이 되었던 저휘도 LED가 최근 반도체 기술의 발달로 고효율 적색, 청색, 녹색 LED, 나아가서는 백색 및 UV LED가 구현이 가능하게 되었고 조명효율이 획기적으로 증가함에 따라 차세대 조명기에 대한 응용 가능성을 엿보게 되었기 때문이다. 따라서 이러한 반도체 기술의 발달로 인해 우리들의 실생활에서 진공관시대에서 반도체

체 IC시대로, CRT시대에서 LCD시대로의 전환을 주도한 기업의 패러다임 변화는 에디슨의 백열 전구시대에서 반도체 전구시대로의 도래를 기대할 수가 있게 되었다. 이에 따라 본 논문에서는 반도체 조명을 위한 고휘도 LED의 기술 발전과 특징을 살펴보고, 특히 GaN 백색 LED의 제작 방법과 일반 조명 기구에 응용되기 위해 필수적으로 고려해야 할 사항을 논하여 보고, 앞으로의 연구방향을 제시하여 보도록 한다.

2. 반도체 LED 조명시대 도래

LED는 기본적으로 p형과 n형이 접합된 반도체 양쪽에 전극 단자를 만들고 단자간에 전압을 가하면 전류가 흘러 p-n 접합 부근에서 빛을 방출하는 소자를 말한다. 이러한 LED의 시조는 1923년에 탄화규소(SiC)재료에서 직류전류를 흘렸을 때에 발광했던 최초의 물질로 보고되고 있다. 그러나 이 당시는 SiC의 성장이 대단히 어려웠고, 또한 다루기도 쉽지 않았기 때문에 그 후에는 진전되지는 않았다. 이후 1952년에는 Si와 Ge의 반도체 p-n 접합에서 발광이 처음 보고가 되었고, 또한 GaP와 같은 III-V의 화합물 반도체가 LED재료로서 처음으로 제안되기도 하였다. 1955년에는 GaP 단결정을 성장시켜서 점접촉의 전극에 의해 오렌지 발광을 관측하게 되었다. 사실상 실제적인 LED연구는 1960년대부터 이루어 졌다고 볼 수가 있다. 그림 1은 이러한 LED 성능지수와 연도별 발전 추이를 나타낸 것이다.

1962년에는 Ge에서 현재와 같은 반도체 LED를 개발하였고, 1968년에는 GaAsP 적색 LED가 양산되어 미국에서 상용화되었다. 1970년대 전반까지는 실내에서 사용되는 표시기용으로 사용이 국한되었는데, 이 사이 반도체 기술이 실리콘을 중심으로 현저하게 진보되어 저전력화, 소형화, 집적화가 진척되었고, 이것의 기본적 기술력이 화합물 반도체에도 응용전개된 결과, LED 관련 기술을 약진시키는 원동력으로 작용하게 되었

다. 특히 화합물 반도체인 GaAs와 GaP 등의 단결정 성장 기술이 현저하게 발달되었고, 고품위 기관 양산 기술이 확보된 것이다. 사실상 1980년대 초까지만 하더라도 LED의 에너지 변환효율이 1% 수준에 머물러 있던 LED가 1980년대 후반에 접어들면서 에너지 변환효율이 색 필터를 붙인 백열전구보다 높은 수준을 이루게 되어 AlGaAs 기술을 이용한 고휘도 적색 LED의 출현이 이루어 졌다. 이때부터 LED가 자동차의 브레이크 등이나 미등, 적색 신호등 등에 사용되게 되었다. 1992년에서부터는 AlGaAs기술보다 훨씬 휘도를 높일 수 있고, 신뢰성을 확보할 수 있는 InGaAlP기술이 개발됨으로써 초고휘도 적색 및 주황색 LED가 상용화되기 시작하였다. 사실상 이때부터 LED 교통 신호등의 보급의 혁명이 시작되었다고 볼 수가 있다. 1993년 말에는 일본의 니치아 화학에서 InGaN 고휘도 청색 LED가 개발되었고, 1995년에는 고휘도 녹색 LED가 개발됨으로써 오랜 숙원이었던 빛의 삼원색인 적색, 청색, 녹색 LED가 등장하게 되었다. 1996년에는 청색 LED에 형광물질을 첨가 시켜서 구현한 백색 LED가 개발되었고, 2000년도에는 LED의 성능지수가 형광램프보다도 훨씬 좋은 100lm/W를 능가하는 InGaAlP 적색 LED가 등장하게 되었다.

초기 LED 개발된 이후 30여 년이 지난 이 시점에서 LED를 이용한 반도체 조명이 새롭게 부각되고 있는 이유가 무엇일까 하는 점을 생각해 보기로 하자. 우선 LED의 성능지수의 향상으로 인해 초저전력 반도체 조명기구를 만들 수가 있다는 점이다. 여기서의 성능 지수는 조명효율(luminous performance)로 나타내는데 LED에 공급한 1 Watt 전력당 사람 눈이 느끼는 밝기값(lumen:lm)으로 나타낸다. 여기서 사람의 눈이 느끼는 빛이라는 것은 가시광선을 말하는데 파장이 380nm에서 780nm까지의 범위를 나타낸다. 때로는 성능지수를 칸델라(cd)로 표시하기도 하는데, 1 cd는 광도(luminous intensity)로서 555nm의 단색광을 방출하는 광원의 복사도가 단위 입체각(steradian)당 1/683 Watt일 때 이 방향에 대한 광도를 나타낸다. 이때 빛의 파장에 따라 사람 눈이 느끼는 밝기, 즉 시감도는 달라지게 된다. 그림 2는 파장에 따른 시감도를 나타내었다. 1 Watt 전력 공급을 기준으로 555nm(1 nm = 10⁻⁹ m) 파장의 녹색빛은 683 lumen이고, 시감도를 1로 기준점으로 삼는다. 470 nm의 청색은 62 lumen으로 시감도가 0.1 정도이고, 625 nm의 적색은 219 lumen으로 약 0.3 정도이다.

1980년대 초반까지만 하더라도 적색 LED의 조명효율은 1 lm/W에 머물러 형광등은 물론 백열 전구에도 크게 못 미치는 수준이었다. 그러나 1990년 중반에 들어서면서 AlGaAs 적색 LED의 조명 효율이 백열 전구 수준을 추월하고, 마침내 2000년도에는 미국의 Agilent(구hp)에서 개발된 TIP(Truncated Inverted Pyramid) 구조의 InGaAlP LED가 형광등 수준을 훨씬 능가하게 되었다. 적색 LED의 조명효율이 적색 필터를 쓴 백열전구에 비하여 20배 이상 높음을 알 수 있는데, 이는 교통신호

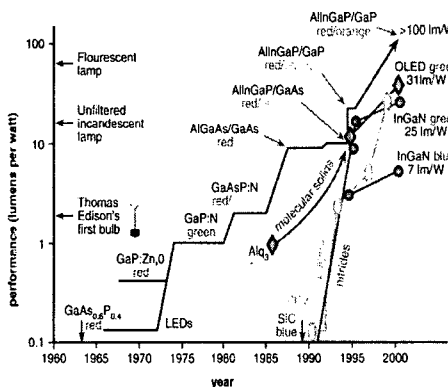


그림 1. LED 성능지수와 연도별 발전추이.

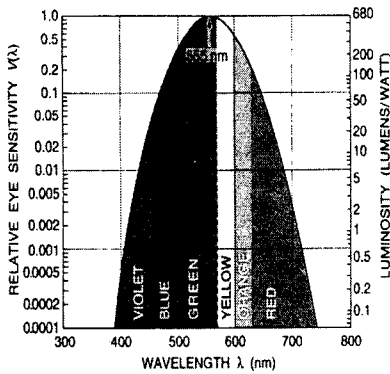


그림 2. 파장에 따른 시감도.

표 1. 백열 전구와 LED 전구의 특성 비교.

백열 전구	LEDs
Generate intense heat	Remain cool
Relatively high current draw	Low current draw
Last around 3 years	Last up to 15 years
Suddenly burn out	Dim with age
Fragile, susceptible to shock	Extremely durable
Hard to control lighting patterns	Ability to control lighting patterns
Relatively high total cost -of-ownership	Relatively low total cost -of-ownership
Relatively large and bulky	Compact
Styling limitations	Afford new styling opportunities
Hand installation necessary	Vertically integrated, automated assembly

등에 위와 같은 InGaAlP 적색 LED를 사용하면 현재의 상용 적색 LED의 전력소모가 백열전구를 사용에 비해 7분의 1정도인데 이보다 훨씬 낮은 20분의 1 정도까지도 줄일 수 있는 가능성을 보여 주는 것이다. 한편 InGaN 녹색 및 청색 LED도 조명효율이 백열 전구 수준을 능가하게 이르렀고, 빛의 삼원색을 구현할 수 있는 고효율 LED가 모두 개발됨에 따라 총천연색 실외 전광판을 비롯한 대형 디스플레이의 제작이 가능하게 되었다. 그러나 위와 같은 적색, 녹색 및 청색 LED의 3개 칩을 사용하여 백색 비롯하여 모든 색을 만들 수는 있는 방법은 주로 디스플레이용으로만 국한되어 있고, 실제로 일반 조명에 사용될 수 있는 백색 광원은 청색 LED에 노란색 형광물질을 도포하여 구현된 백색 LED가 등장하고, 조명효율이 백열전구를 능가함에 따라 이에 대한 응용 가능성이 더욱 높아지게 되었다. 표 1은 백열 전구와 LED 전구의 장단점을 서로 비교하여 보았다.

3. 백색 LED의 구현 방법

태양광선이 대표적인 백색 광이다. 그림 3에 보듯이 태양광

선의 파장에 따른 스펙트럼을 보면 가시광선 영역에서 연속적인 형태를 보이고 있다. 백열 전구가 가장 비슷한 형태를 취하고 있으며, 형광등의 스펙트럼에서는 청색, 녹색, 적색쪽의 형광체가 여기되고 있음을 알 수가 있다. 따라서 조명용으로 사용되기 위한 백색 LED의 스펙트럼이 형광램프보다는 백열 전구처럼 되는 것이 자연스럽다고 할 수가 있다.

현재 전 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.

1990년대 후반에 들어서, 고효율 청색 LED가 상용화가 이루어짐에 따라 청색 LED를 여기광원으로 사용하고, 여기광을 내는 YAG(Yttrium Aluminum Garnet)의 노란색(560nm)을 내는 형광 물질을 접목시킨 형태의 백색 LED가 처음으로 등장하게 되었다.

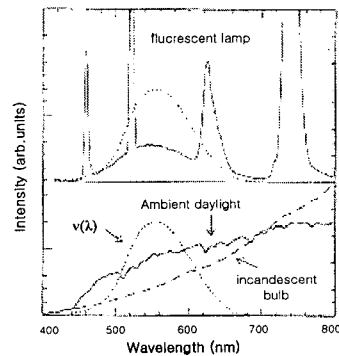


그림 3. 태양광선, 형광램프 및 백열전구의 파장에 따른 스펙트.

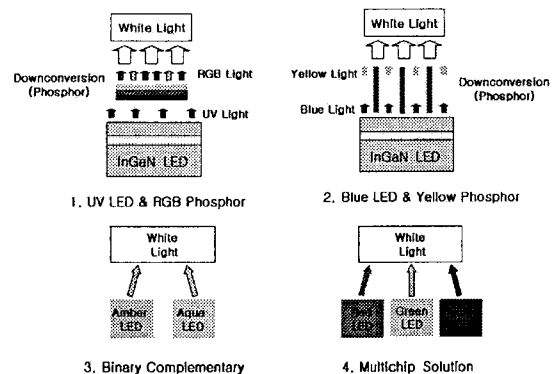


그림 4. 백색 LED를 구현하기 위한 제작 방법.

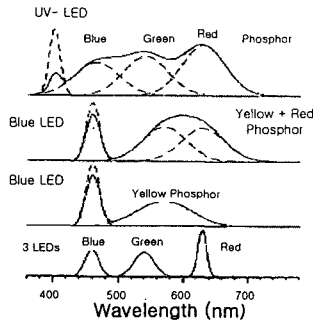


그림 5. LED 제조 방법에 따른 스펙트럼의 형태.

그러나 그림 5에서 보듯이 청색과 노란색과의 파장 간격이 넓어서 색 분리로 인한 섬광효과 (Halo effect)를 일으키기가 쉽다.

따라서 색 좌표가 동일한 백색 LED의 양산에 어려우며, 조명 광원에서 중요한 변수인 색온도(Color Temperature:CT)와 연색 평가지수(Color Rendering Index:CRI)의 조절도 매우 어렵다. 또한 주변온도에 따라 색 변환 현상이 치명적인 단점으로 되어 있다. 이에 따라 적색을 내는 형광물질을 첨가하여 발광 스펙트럼을 넓혀서 이러한 단점으로 보완하고자하는 시도도 있었으나, UV LED가 여기 광원으로 사용됨에 따라 단일칩 방법으로 조명용 백색 LED 구현에 있어서 새로운 전기를 맞이하게 되었다.

이와 같은 방법은 전극방전에 의해 254nm 혹은 185nm의 자외선으로 형광등 램프의 구현하는 방법과 매우 비슷한 방법으로서 UV LED위에 RGB의 다층 형광 물질을 도포하면, 그림6에서 보듯이 백열전구와 같은 아주 넓은 파장 스펙트럼을 갖게 된다. 또한 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. 한편 멀티 칩으로 백색 LED를 구현하는 방법으로는 처음으로 시도된 것은 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 목적에 적합한 것으로 판단된다. 여기서 색 좌표란 1931년 국제조명위원회(CIE)에서 정한 등색함수에 따른 3 색을 표시한 좌표로서, 색광 혼합량으로 시료의 색을 표시할 수 있으므로 산업계에 광범위하게 보급되어 색을 표시하는 기준으로 사용하고 있다. 그러나 CIE에서 표시된 백색 영역이 때로는 사용목적에 따라 좁게 표시되는 경우가 있는데, 그림 6에서 보듯이 미국 자동차엔지니어협회(SAE)에서는 규정서 J578에서 자동차에 쓰이는 백색의 범위를 좁게 정의한 것을 볼 수가 있다.

최근에는 보색 관계를 갖는 2개의 LED를 결합하여 만드는 BCW(binary complementary white) LED가 출현하였다. 주황색과 청녹색을 4 대 1의 비율로 섞으면 백색광이 되는데, 앞에서

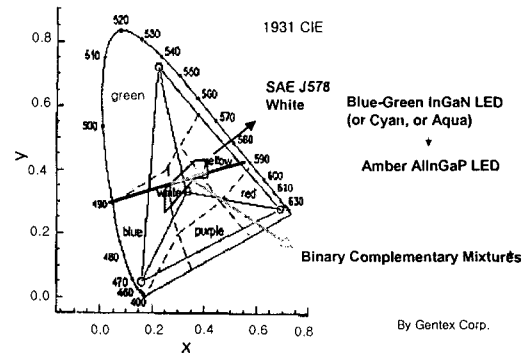


그림 6. 미국 SAE J578에 따른 백색의 1931 CIE 색좌표의 범위와 보색을 이용한 백색 LED의 색 조합.

기술한 바와 같이 주황색에서 적색까지의 발광색을 조절 할 수가 있는 InGaAlP LED는 경우에 성능 지수가 100lm/W를 초과함에 따라서 현재 조합된 백색 LED의 조명효율이 형광등과 가까운 정도인데, LED의 조명 효율이 빠른 속도로 높아지고 있는 추세에 비추어 보면, 몇 년 후면 형광등보다 높은 LED 조명등이 출현할 것이라고 전망된다. 표 2에는 위에 소개된 네 가지 방법의 소자에 대해 서로 비교 정리하여 보았다.

4. 조명용 LED 구현을 위한 고려사항

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 조명 효율이 나뉘를 나타낸다. 실제로 입력 전력에 대해 가시광 에너지의 변환율은 약 10%이고, 적외선 방사는 약 70%를 보이고 있다.

그림 7에는 기존의 조명램프와 백색 LED 램프의 조명효율을 비교한 것이다.

분명히 백색 LED의 조명효율은 기존의 백열전구보다 우수하지만 차세대 조명기구로 사용되기 위해서는 몇 가지 개선되어야 할 사항에 대해서 생각해 보기로 한다. 현재 상용화된 백색 LED 칩 하나에서 나오는 광속(luminous flux)이 20mA에서 약 1.5~2 lumen 정도이다. 일반 조명 시장에서 LED 조명이 사용되기 위해서는 100 lumen 이상이 되어야 하는데 이를 위해서는 LED칩이 약 60개 정도의 조합이 필요하다. 물론 LED의 에폭시 몰딩과 배치상태로써 지향각을 조절하면 광속을 증가시킬 수가 있다. 실제 백열 전구의 20Watt에 해당하는 정도의 광속을 내는 상용화된 백색 LED 전구의 전력 소비가 0.7~1Watt로 90%이상의 에너지 절약을 할 수 있다고 한다. 그러나 LED 전구 하나의 가격이 약 60\$정도로 제품의 가격이 무척 높다. 일단 가격 경쟁력만을 보면, 백열 전구는 0.1cents/lumen, 형광램프는 1cents/lumen정도인데 반하

표 2. 백색 LED를 구현하기 위한 제작 방법들의 장단점.

	Blue LED + Phosphor	UV LED + RGB phosphor	Binary Complementary	RGB Multichip
Color Rendering	Fair	Best	Fair	Good
Color stability	Good	Best	Fair	Fair
Lumens Maintenance	Fair	Unproven	Good	Good
Phosphor Material	Available	Under development	Not required	Not required
Efficiency	Fair	Best	Good	Good
Application	Backlight	White lamp	Task lighting	Displays

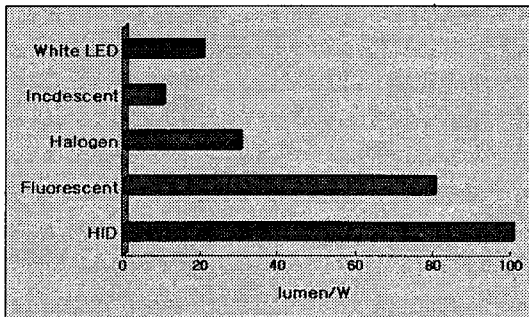


그림 7. 기존의 조명램프와 백색 LED 램프의 조명효율의 비교.

여 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 경제적이긴 하지만, 구입 가격이 너무 높으면 시장 진입이 어려울 것으로 판단된다. 따라서 가격 경쟁력을 높이는 방법이 강구되어야 할 것이다. 그림 8에서는 현재 기존 조명기구에 대한 백색 LED전구의 가격 경쟁력을 비교하여 보았다.

가격 경쟁력을 높이기 위한 가장 현실적인 방법으로는 우선 LED 칩의 수를 줄여야 하는데, 이것을 위해서는 칩당 광출력을 높여야 한다. 기존의 20 mA LED 구동에서 탈피하여 수 백 mA의 높은 전류로 구동시켜야 하는데 방열 때문에 기존의 패키지로는 불가능하고, 특수 구조의 패키징이 필요하다. 그림 9에서는 높은 전류 구동시 방열을 고려하여 제작된 패키지의 모습을 보여주고 있다. 오른쪽의 그림은 LumiLED사에서 제작된 패키징이고, 오른쪽은 Osram사에서 1A까지 구동시키기 위한 패키징 구조 모습이다.

백색 LED 조명에서 조명효율의 이론적 한계 값은 CCT(correlated color temperature: 상관 색온도)에 따라 다르지만 대략 300~400lm/W 정도이다. 여기서 CCT는 조명 색이 고온의 고체에서 나오는 빛과 비교될 때, 조명 색이

Cost/Watt (cents)

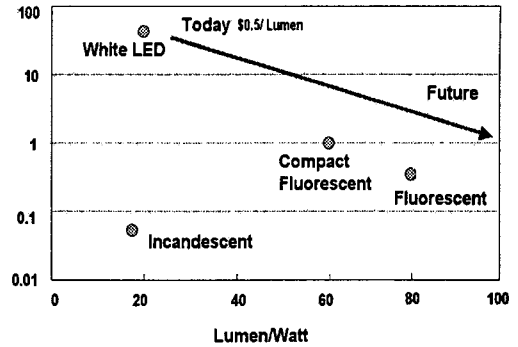


그림 8. 조명기구에 따른 가격 경쟁력.

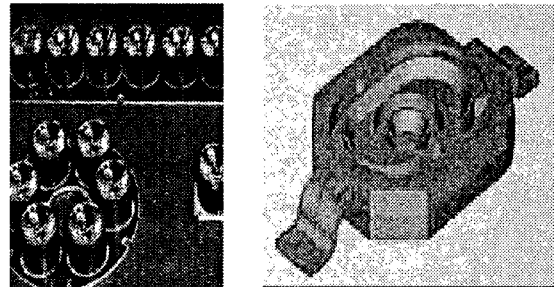


그림 9. 높은 전류 구동시 방열을 고려한 패키지.

상대적으로 고체의 온도로 표시된 것으로 말한다. 이 온도가 높을수록 눈에 부시고 푸른색을 띠는 백색이 된다. 백열전구처럼 따뜻한 느낌의 백색 경우에는 CCT가 3000K 미만으로 낮고, 일반 형광램프처럼 차가운 느낌의 백색의 경우에는 그 이상으로 CCT가 높음을 알 수가 있다. 현재 상용화된 백색 LED의 경우에 약 6000K 정도로 CCT가 높아서 일반 조명의 응용에는 개선이 필요하다.

한편 LED 백색광의 질 측면에서의 개선이 이루어져야 하는데, 광질을 측정하는 지수로는 CRI로 표시 할 수가 있다. 이는 태양 광선을 물체에 비출 때와 다른 조명 기구에서 비출 때 물체의 색깔이 달라지는 정도를 나타내는 지수로서 태양광선을 비출 때 나타나는 물체 색상을 기준(CRI=100)으로 삼는다. 현재 백열 전구와 할로젠 전구가 CRI가 95~100정도이고 형광램프는 70~90정도를 보이고, 상용화된 백색 LED의 CRI 값은 대략 65~80정도를 나타내고 있다. 현재 청색 LED에 노란색의 형광물질을 도포하여 만든 백색 LED를 오래 동작시키거나 동작온도가 높아지면 출력의 감소가 이루어지고, 이때 백색광을 이루고 있는 각각의 색깔 성분이 변화하여 조합된 색이 달라지는 상황이 벌어지게 된다. 따라서 색의 안정성을 확보하는 제조 공정이 확립되어야 할 것이다. 더불어 CRI도 높이는

방법을 강구하여야 할 것이다. RGB의 3색을 조합하던지, 또는 그림 6과 같이 청색과 그 보색인 주황색을 섞어 BCW LED를 만드는 방법도 대체적으로 CRI 값이 낮고, 조절할 수 있는 한계가 있다. 청색 LED에 노란색의 형광물질을 쓰는 것보다 적색과 녹색의 두가지 형광 물질을 쓰는 것이 CRI를 더 높일 수 있고, 이보다 UV LED와 RGB의 다색 형광 물질을 사용하는 것이 CRI를 더 높일 수가 있다. 또한 CCT도 형광물질의 배합에 따라 백열전구와 같은 정도로 낮출 수도 있고, 그보다도 높일 수도 있다. 따라서 UV LED와 다색 형광물질을 쓰는 LED 제조 방법이 색 좌표, CRI, CCT 등의 광질을 조절할 수가 있어서 반도체 조명을 이루기 위한 가장 좋은 방법으로 대두되고 있다. UV LED의 파장이 짧을수록 형광등과 같은 광원이 되고, 출력도 높아지게 된다. 그러나 파장이 짧아질수록 AlGaIn/GaN 양자우물구조의 활성층에서 AI의 성분이 증가하게 되는데, 이에 따라 에피 성장이 더욱 어려워지게 된다. 현재 가장 짧은 UV LED의 파장이 350 nm 정도로서 254 nm의 기존 형광등의 파장과는 아직 차이가 많다. 출력을 높이기 위해서는 이밖에 결정 결함이 적은 LED 기판, 빛의 내부 흡수를 줄인 LED 칩 구조 설계, 고효율의 형광물질 및 방열 패키징 구조 등의 여러 가지 측면에서 많은 개선이 이루어져야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이, 일부 주황색 LED에서의 에너지 변환 효율이 이미 30% 정도 인만큼 개선된 반도체 백색 LED에서 에너지 변환 효율을 50%대로 올린다면 조명 효율이 200lm/W 대의 꿈의 조명기구를 만들 수가 있을 것이다.

5. 백색 LED의 의의와 파급효과

LED의 휘도와 신뢰성이 어느 정도 확보됨에 따라 종래의 백열전구를 광원으로 이용하고 있던 분야에서 대체 사용을 시작하게 되었다. 따라서 LED를 응용하기 위해서는 소자의 장점을 명확하게 파악하는 것이 중요하다. 우선 반도체 소자이기 때문에 수명이 길고, 열 또는 방전에 의한 발광이 아니기 때문에 점등속도가 매우 빠르다. 또한 전기-광 변환 효율이 좋기 때문에 소비전력이 적어 에너지 절약이 가능하다. 전구처럼 필라멘트가 없기 때문에 내충격성이 우수하고, 갑자기 끊어지지 않는 장점도 보유하고 있다. LED는 소자는 그 자체가 매우 작은 발광원이기 때문에 소형화, 박막화를 하기가 좋고, 발광 스펙트럼이 좁기 때문에 단색성의 광원 확보 및 시각 인식성이 좋은 장점을 가지고 있다. 실제로 위와 같은 장점을 가지고 백열 전구를 대체하여 광원 사용하기 시작한 분야는 자동차용 조명 기기와 교통 신호기이다. 자동차용 조명기기 응용분야에서는 1986년 미국의 운수성 국가 고속도로 교통안전국으로부터 LED 광원이 자동차등의 광원으로 인정을 받게 됨으로써 시작되었다고 볼 수 있다. 탑재가 의무화된 하이마운트 스톱램프를 비롯하여 최근에는 자동차 실내등, 브레이크등, 방향 지시등의 대체 수요가 고급 자동차를 중심으로 일어나고 있으며, 초 내구성을 요하는

트럭에서도 LED 광원의 사용이 점차 가시화되고 있음을 보면, LED 조명 광원의 신뢰성 및 성능의 우수성이 점차 입증되고 있다고 할 수 있다. 교통 신호등에의 응용 분야에서는 적색 신호등이 가장 먼저 실용화되었다. 소비전력이 80% 이상 절감되고, 수명이 50배 이상이 되며, 역광에 대해 시인성이 좋으며, LED가 일부가 고장나도 신호등 전체가 소등되는 상태로 되지 않기 때문에 주행 안정성의 향상에 크게 기여를 하게 되었다. 이러한 장점으로 인하여 초기 투자의 부담에도 불구하고 최근에는 미국, 유럽을 중심으로 기존의 교통 신호등이 LED 교통 신호등으로 급속히 바뀌고 있는 실정이다. 전 세계적으로 설치되어 있는 약 2400만개의 교통 신호기를 LED 신호기로 바꾸면 약 25억 kWh/년의 전력을 절약할 수가 있다고 하니, 에너지 절약과 환경 개선 문제가 대두되고 있는 이 시점에 LED 교통 신호기가 새로운 광원으로서 얼마나 중요함을 인식할 수가 있다. 우리나라에서도 그 중요성이 인식되어 올해 LED 교통 신호등 규격안이 발표되었고, 각 지자체를 중심으로 시범 설치 운영되는 곳이 늘어나고 있는 실정이다.

이밖에 백색 LED가 무엇보다도 차세대 일반 조명기구로서 위상을 확립 할 수 있는 근거로는 LED 기술발전이 10년마다 발광 효율을 30배씩 증가시켰고, 칩가격이 10년마다 10분의 1로 하락시켰던 화합물 반도체 기술의 발달을 들 수가 있다. 그림 10에서는 연도별 LED 조명 효율과 LED 가격 비교를 나타내었다. 반도체 LED 조명은 무엇보다도 기존의 조명기보다 전력 소모량이 매우 적다는 것과 10년 이상의 장수명을 갖고 있어서 거의 반영구적으로 사용할 수 있어서 유지 보수비를 고려하면 매우 경제적이다. 그러나 앞서서도 언급하였듯이 현재 백색 LED의 조명 효율이 약 20~30lm/W로 일반 조명으로 사용하기에 필요한 100lm/W 이상에는 아직 부족하다. 칩당 광출력이 높아져 조명기기에 들어가는 LED의 칩 수가 훨씬 적어지면 가격 하락도 충분히

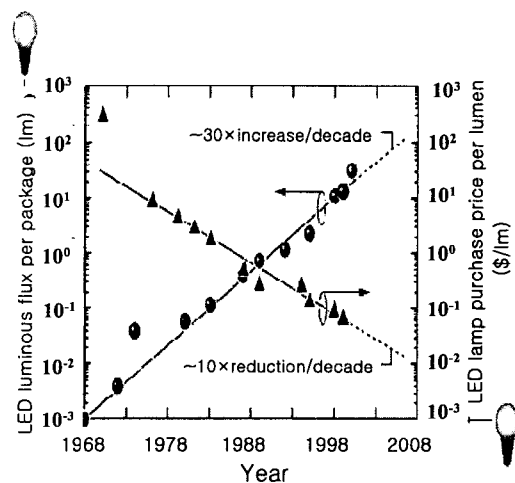


그림 10. 연도별 LED의 조명 효율과 가격 비교.

가능 할 것이다. 현재 task lighting, back lighting, decoration lighting 등과 같은 낮은 wattage급의 특수 조명 사용으로부터 시장 진입이 활발하게 이루어지고 있는 실정이다. 지금의 기술이 일반 조명의 응용에는 다소 못 미칠지라도 기술의 발달과 시장에서의 요구가 합치된다면 차세대 조명기기에는 응용이 크게 앞당겨 질 가능성이 있다. 현재 기존 조명기기의 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 Gosei 까지 적극적으로 LED lighting 사업 영역 부분까지 확대하고 있다는 것은 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

6. 국내의 연구현황

현재 선진국 경우에는 이러한 문제를 신속히 해결하기 위하여 범국가적인 과제로서 LED 조명 기술 개발을 추진하고 있다. 일본이 가장 빠른 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 이루어 CO2 배출량을 1990년 수준으로 끌어내리는 것을 목표로 삼고 있다. 현재 크게 네 가지의 연구테마가 주어졌는데 방출 메카니즘, 에피성장 기술 향상, GaN 기판 개발, 형광물질 개발 등으로 나뉜다. 미국에서는 최근 에너지부(DOE)를 중심으로 "비전 2020" 프로젝트를 기획하여 반도체 조명에 대한 연구가 시작이 되었다. 유기 LED 혹은 반도체 LED의 기술을 중심으로 가격 경쟁력이 있고, 효율적인 광원의 개발을 목표로 삼고 있다. 산업계에서는 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 작년년부터 산자부 지원으로 형광물질을 사용하지 않는 형태의 GaN 백색 LED 램프 개발과 적색, 녹색, 청색 및 백색 LED를 이용한 조명용 전구 개발에 관한 것이 각각 나리지온, 금동 조명 등의 산업계를 중심으로 본격적으로 이루어지고 있다.

7. 결론

현재 우리나라에서 조명이 차지하고 있는 전력소모량은 약 18%이다. 만일 반도체 LED가 조명기구로 20% 정도를 교체 보급된다면 해도 100만 KWh급 발전소를 1개를 줄일 수가 있다는 계산이 나오며, 이것을 비용적으로 산출하여 보면 원자력 발전소건설을 기준으로 약 1.5조원의 절감효과를 가져오게 되는 것이다. 또한 이산화탄소 배출량은 약 100만 톤/년 이상

줄일 수가 있다고 한다. 미국의 경우에는 조명용 전구의 50% 정도가 LED 조명으로 교체될 경우에는 전기가 1000 TWh/년이 절약되고, 2억 톤/년의 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다고 하니, 에너지 절약과 환경 개선 문제가 세계적으로 문제시되는 이 시점에서 우리는 분명히 차세대 조명기기에 대한 새로운 빛의 도전을 꿈꾸게 된다.

그러나 고출력, 고품위 백색 LED 구현되어 일반 조명기기에 응용되기까지는 화합물 반도체 소재 및 에피 기술부터 고효율 형광체 기술, 고출력, 고전력 반도체 조립기술, 나아가서는 회로 및 광학 설계 기술까지 많은 핵심 소요 기술이 종합적으로 해결되어야 할 것이다. 여하튼 에디슨의 전구 발명이 1세기가 지난 지금, 반도체 기술의 하나인 광전자 기술의 발전으로 인해 반도체 조명이라는 또 다른 빛의 혁명을 주도하고 있음에는 틀림이 없다. 세계적으로 우리나라가 실리콘 메모리 반도체 산업의 주역이 되었던 것처럼 새롭게 등장하고 있는 반도체 조명이라는 분야에서도 주역이 될 수 있는 좋은 도전의 기회를 주고 있음을 주목할 필요가 있다.

Reference

- [1] Strategies Unlimited, Visible LED market review and forecast (1999).
- [2] Gardner et. al., Appl. Phys. Lett., 74, 2230 (2000).
- [3] Compound Semiconductor, Vol.7, 3, p51(2001).
- [4] D. Eisert et. al. Proc. Int. Workshop on Nitride Semiconductors, IPAP Conf. Series 1, p. 841(2001).
- [6] Strategies Unlimited, Proc. Conf. on Strategies in Light 2001, lighting the future with LEDs, Feb. (2001).

저 자 약 력

성명 : 홍 창 희

◆ 학 력

-고려대학교 전자공학과 졸업

-KAIST 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사, 공학박사)

◆ 경 력

1991년-1994년 미국 미시간대 전기 전산공학과
고체전자실험실 연구원

1994년-1998년 LG 종합 기술원 광전자 그룹 책임연구원

1998년-현재 전북대 반도체 물성연구소,
반도체 과학 기술학과 재직