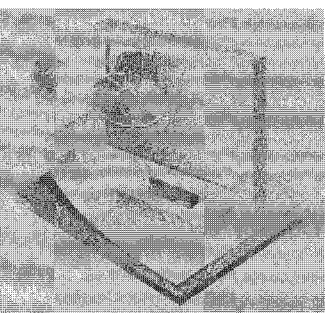


백색 OLED 조명기술의 현황



임유승 박사과정, 정주혜 석·박사 통합과정, 김현재 교수 (연세대 전기전자공학과)

1. 서론

전 세계 환경에 대한 관심과 관련연구는 날로 성장하고 그 중요성이 두각 되고 있으며, 환경보존에 대한 접근에 대해서는 실로 에너지 소비절감과 CO₂ 배출을 줄일 수 있는 방법이 제안되고 연구되고 있다. 이러한 흐름에 발맞춰 지열발전, 태양광, 풍력, 조수, 수력, 소용량 전력생산 등 친환경 에너지기술이 제안되고 효율향상에 많은 그룹들이 노력하고 있는 실정이다. 하지만 전력 생산적 측면에서의 접근보다 시급한 것이 그림 1에 나타낸 2005년도 전력소비량 대비 조명 분야의 소비량은 19%로 매우 높고

CO₂배출량 또한 매우 크다. 이러한 문제점들을 극복하고자 몇몇 국가에서는 향후 전력소비가 큰 백열등의 사용을 전면 중단을 선언하였으며, 형광등으로의 대체를 모색하고 있다 [1]. 그러나 이러한 대안이 전력 소비절감의 대책으로 작용할 수는 있으나 환경보호 측면에서는 다소 냉소적이다. 아직은 형광램프 내에 포함되어 있는 수은과 같은 독성재료들로 새로운 조명 재료 혹은 기술개발이 필요한 실정이다.

새로운 조명기술에 있어 현재 널리 사용되고 최근 평판디스플레이의 핵심 백라이트로 자리 잡은 Inorganic Light Emitting Diode (LED)는 고효율과 장 수명을 가진 친환경 재료로써 각광받고 있다. 그러나 최근 Organic Light Emitting Diode (OLED)의 급속한 발전아래 특히, 백색발광을 이용한 OLED 조명기술은 차세대 조명시장의 핵심 분야로 자리 잡을 것으로 각광받고 있다. 기존 조명 LED가 기술적으로 OLED를 앞서고 있는 것은 사실이지만, LED 발광타입과는 다른 OLED의 넓은 면적에서의 고른 면발광 특성은 LED와는 다른 응용분야에 널리 사용될 것으로 생각된다.

국내·외적으로 OLED는 디스플레이 시장을 필두로 대대적인 투자와 양산이 계획, 실행되고 있는 시점에서 조명기술의 연구 및 개발에는 아직까지 수명개선, 발광 효율향상, 공정 수율향상, 대면적화 기술 등 해결해야할 문제점들이 내재되어 있다. 본고에서는 최근 조명용 OLED에 대한 기술 개발동향과 효율향상을 위한 여러 그룹들의 기술들을 소개하고자 한다.

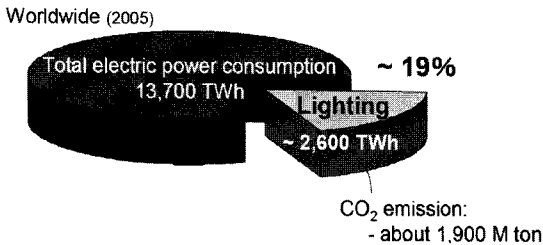


그림 1. 전 세계 에너지 소비 중 조명분야의 소비율 및 CO₂ 배출량 [1].

2. OLED 조명기술의 접근

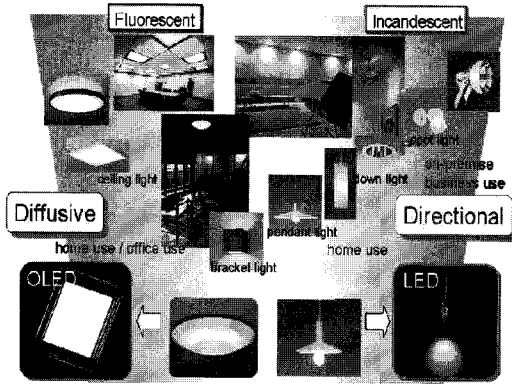
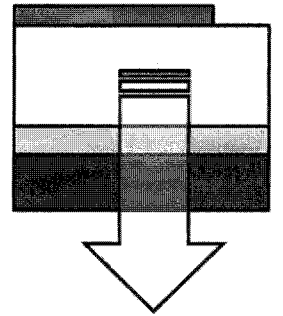


그림 2. OLED와 LED의 조명 응용 분야 [1].

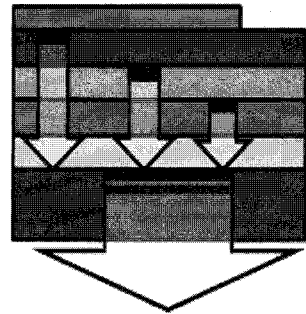
1987년 Eastman Kodak에 의해 고효율 다층 박막 형태의 구조가 보고된 이후 OLED는 효율, 수명, 내구성 등 특성에 있어서 눈부신 발전을 거듭해왔다. 이러한 OLED는 주로 청색, 적색, 녹색 등의 디스플레이 구현을 위한 구조 및 재료로서 연구되어 왔으나, 백색발광 OLED의 보고 이후 LED와 더불어 조명시장에 큰 잠재성이 있는 것으로 많은 연구가 이루어지고 있다. LED의 직선성과는 다르게 OLED는 면, 점, 선 방향의 발광이 제작방법에 따라 모두 가능하며, 초박형으로 제작이 용이하고, 다양한 형태와 플렉시블 구현가능으로 기존의 조명시장과는 다른 시너지를 창출할 것으로 기대되고 있다. 그러나 기술적 완성도에서 조명용 OLED는 디스플레이용 OLED구현을 위한 요구 특성보다 색특성, 효율, 휘도면에서 더욱 높은 특성이 요구된다. 디스플레이가 요구하는 100~500 cd/m² 보다 500 cd/m² 이상의 높은 휘도, 장수명, 고효율, 낮은 소비전력 그리고 LED와 가격경쟁에서의 우위가 요구된다.

3. 백색 OLED의 구조 및 발광방식

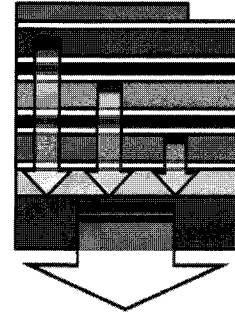
조명, 광원, 디스플레이 등 가장 널리 활용될 수 있



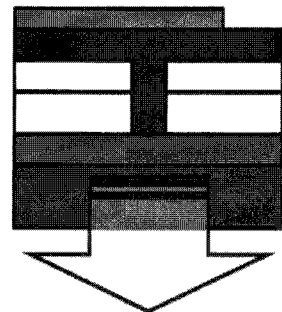
(a) 단층발광



(b) 다층발광



(c) 적층발광



(d) 색변환

그림 3. WOLED 구현방법에 따른 소자구조 [2].



표 1. 발광방식에 따른 조명 기술 특성 및 요구조건 [8].

	백열등	형광등	OLED
CRI	100	75	80
Luminance efficacy(lm/W)	16	85	현재 : 64 lm/W 미래 : > 100 lm/W
Lifetime(h)	1,000	10,000	>10,000
Flux(lm)	1,200	3,400	3,000
Large size	×	×	
Environmental compatibility	×	×	
Cost(\$/Mlm×h)	5.63	1	3

는 백색발광 OLED는 구성방법에 따라 크게 세 가지로 나눌 수 있으며, 단층형, 적층형, 다층형, Microcavity, 색변환 방식 등을 통해 구현이 가능하다. 단층형 발광방식은 주로 고분자기반의 단층 소자구조로 제작되고 있으며, 정공 및 전자의 주입, 수송층이 존재하지 않기 때문에 고효율 달성이 어려우며, 색조합에 있어서 백색광의 색순도가 우수하지 못한 특성을 나타낸다. 적층형 발광방식은 현재 가장 널리 연구되고 있는 분야이며 형광 및 인광 방식의 재료선택에 따른 서로 각기 다른 장점들을 선택적으로 개선시키는 노력들이 진행되고 있다. 적층형 발광방식의 경우 단층형에 비해 각각의 색깔에 소자를 적층함으로써 백색을 구현하는 방식이다. 초기에는 두 가지 색깔을 적층하여 구현하였으나 색순도가 떨어지기 때문에 현재는 적색, 녹색, 청색의 소자의 적층을 통해 높은 색순도에 대한 연구가 진행되고 있다. 각각의 색깔에 따른 소자를 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 다층형 발광방식은 여러 층에서 발생하는 각기 다른 색깔의 빛이 수직으로 합쳐져 백색광을 구현하는 기술이다. 색변환 기술은 청색의 OLED를 백색으로 변환하는 방식으로써 청색 OLED를 높은 양자효율을 가진 형광체 혼합 박막을 투과하면서 백색으로 색변환을 하는 기술이다.

4. 백색 OLED 기술개발

2006년 50 lm/W 이상의 고효율 백색발광 OLED

가 선보인 이후 2008년 SID학회에서 1,000 cd/m²에 102 lm/W의 인광발광 고효율 소자들이 잇따라 발표되었다 [2]. 이러한 발전 속에서도 현재 장수명과 높은 루미넌스 (3,000~5,000 cd/m²), Color Rendering Index (CRI), 대면적 균일 발광시스템, 장시간 구동 시 높은 안정성에 대한 기술 개발이 시급하다. 그중 여러 층에서 발광이 일어나는 다층발광 방식 기술을 기반으로 최근 Idemitsu, TAZMO, Matsushita에 의해 개발된 백색발광 OLED는 새로운 청색 재료와 캐리어 수송재료를 이용하여 휘도 1,000 cd/m²에서 20,000시간의 수명과 28 lm/W의 효율, 색좌표 (0.38, 0.40)를 나타내었다 [2]. 특히 태양광과 가까운 정도의 척도인 CRI (연색성)은 88을 나타냄으로써 우수한 결과를 보고 하였다.

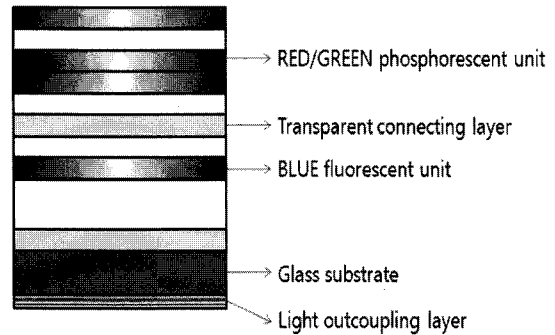


그림 4. 다층발광 OLED의 구조 [1].

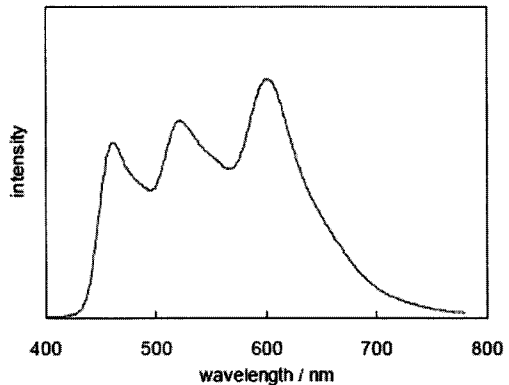


그림 5. 다층발광 OLED의 방사 스펙트럼 [1].

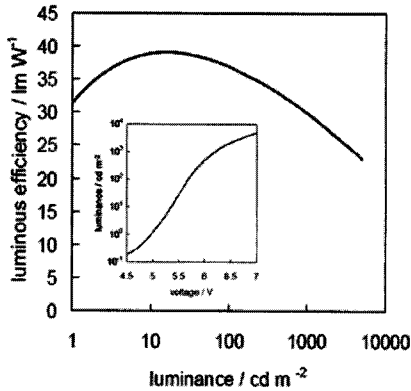


그림 6. 다층 발광형 OLED의 효율 및 휘도 [1].

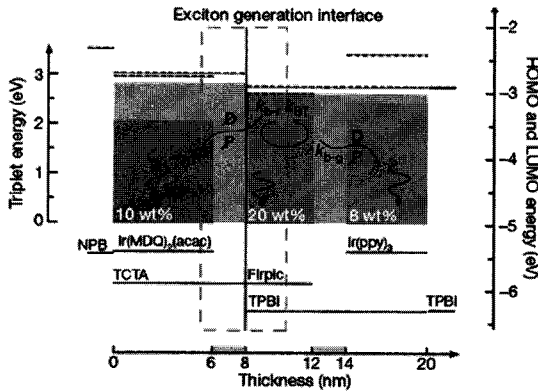


그림 7. 백색 OLED 소자의 에너지 밴드 다이어그램 [3].

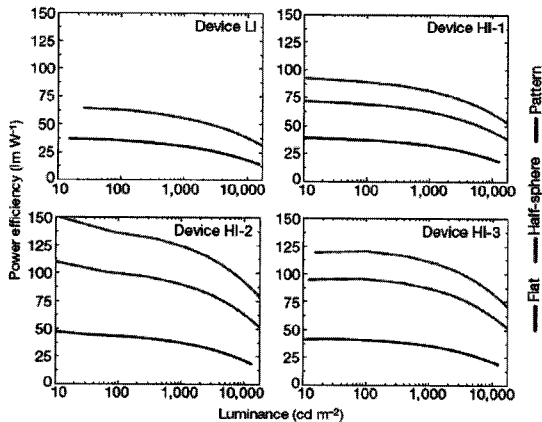


그림 8. 백색 OLED소자의 전력효율 [3].

최근 드레스덴 공업대학의 Karl Leo 교수 연구팀은 1,000 cd/m² 휘도에서 90 lm/W, 색좌표(0.41, 0.49), CRI 80의 고효율 백색 OLED소자를 발표하였다 [3]. Karl Leo 교수 연구팀은 전력 효율 측면에서 유리한 새로운 발광층 디자인과 광 추출 효율을 높이는 개념을 결합한 접근법을 통해 효율을 향상시킬 수 있었으며, 기판의 가장자리는 차단하고 전 방향(Forward Hemisphere)으로 방출되는 빛만을 측정하였다. 측정 결과 아웃커플링 기술만으로도 90 lm/W의 전력효율이 달성하였다. 그러나 특수 3D 아웃커플링 측정 시 124 lm/W까지 달하는 전력효율을 나타내었다.

효율적 측면에서 뿐만 아니라 백색 OLED의 연구는 다양한 방면에서 접근하고 있는데, 최근 백색광을

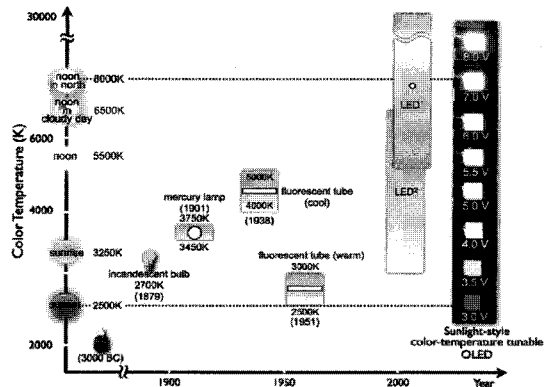


그림 9. 색온도 Tunable OLED의 특성 [4].

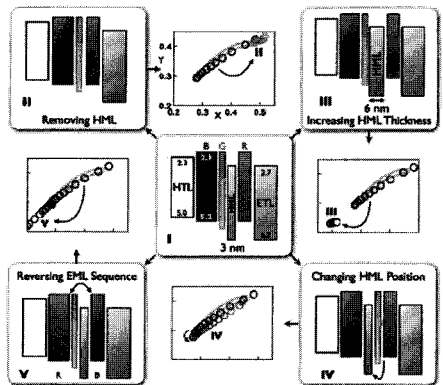


그림 10. HML의 위치에 따른 발광 특성 [4].



인가전압에 따라 각기 다른 색온도를 지닌 발광모드를 구현한 연구가 대만의 Tsing Hua 대학에서 발표되었다 [4]. RGB 다층 발광구조에 Hole Modulation Layer (HML)를 통한 다양한 인가전압에 따른 색온도 특성과 색조도를 변화시킨 연구결과이다. 색온도의 경우 2300 K에서 8200 K까지 다양하게 태양광의 넓은 범위를 표현할 수 있으며, 휘도 100~1000 cd/m² 범위에 7~2.2 lm/W의 전력효율을 나타내었다. 이는 형광재료를 인광재료로 대체 시 효율향상과 더불어 HML기술을 통해 낮은 색온도의 백열등과 높은 색온도의 형광등을 포괄적으로 대체할 수 있는 기술로 발전할 수 있을 것으로 생각된다.

다음은 Forrest 그룹 [5]에서 최근 발표한 백색 OLED를 소개한다. 제작된 소자는 최대 외부양자

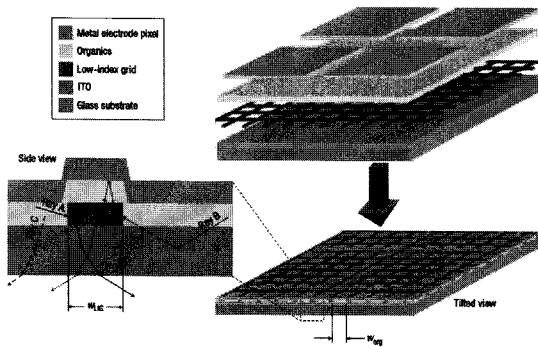


그림 11. Low Index재료의 그리드를 이용한 OLED 구조 [5].

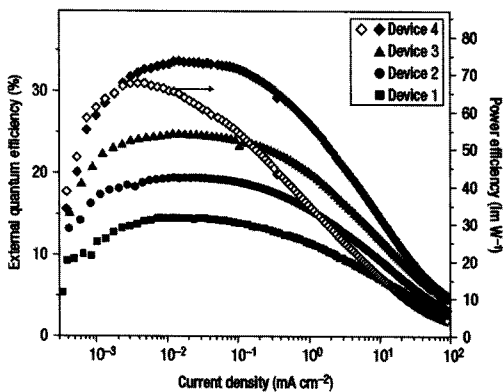


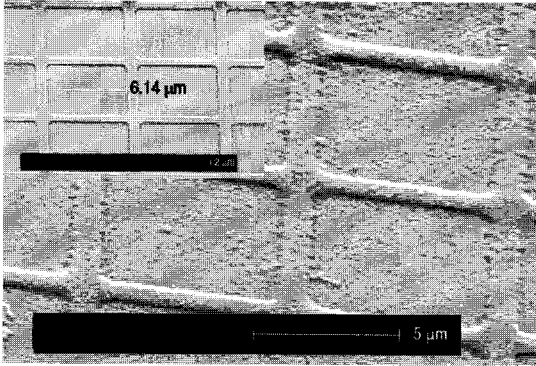
그림 12. Low Index 그리드와 마이크로렌즈를 사용한 소자의 외부양자효율 및 전력효율 [5].

효율 (η_{EQE}) $34 \pm 2\%$ 전력효율 (η_p) 68 ± 4 lm/W, CIE (0.32, 0.42)의 특성을 나타내었다. 일반적으로 OLED 소재 내부에서의 낮은 Outcoupling Efficiency는 유기재료의 높은 반사계수, 빛의 구속, 내부 반사에 의해 20%내외로 제한된다 [6,7]. 이러한 단점들을 극복하기 위해 Low Index재료를 그리드로 사용하며, 유리 기판표면에 폴리머 마이크로렌즈를 사용함으로써, Outcoupling 효율을 실험적으로 2.3배 가까이 향상시키는 결과를 발표하였다.

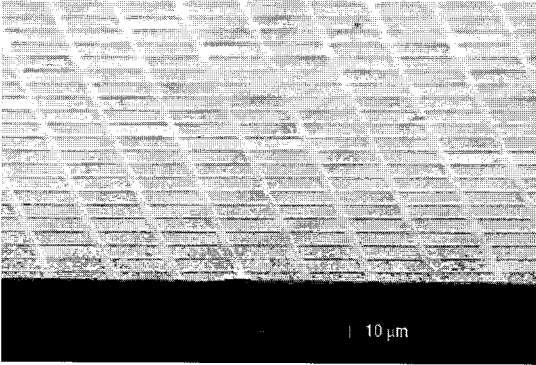
5. 백색 OLED 향후 전망

백색 OLED의 구현에 있어 조명 분야로의 진출의 가장 큰 걸림돌은 기존 조명시장을 이루고 있는 제품들과의 가격경쟁력, 전력효율, 장수명이 가장 큰 이슈라 할 수 있다. 디스플레이분야에서의 관록 할 만한 발전을 계기로, 시대적 흐름이 요구하는 친환경 조명 및 에너지 절감 소재로의 연구 및 개발은 매우 고무적이라 할 수 있다. 해외 기업 및 국내 기업들의 잇단 조명시장으로의 OLED 분야 투자 및 개발 또한 매우 낙관적이다. 그러나 개발의 초점이 다방면으로 동시에 이루어져야하는 점은 매우 어렵고 복잡한 요소이다. 효율향상을 위한 방법 또한 재료적 측면, 구조적 측면의 접근에 따라 정형화된 기술이 어렵고, 고휘도에서의 장시간 발광으로 발생하는 소자의 수명 저하를 극복하는 것은 백색 OLED의 조명시장의 진출에 성공유무를 결정할 것이다.

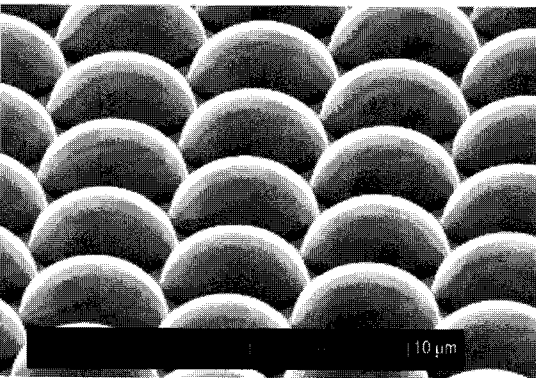
소자적 측면에서의 접근이 효율, 수명, 밝기, 색온도, 색감에 맞춰져 있다면, 양산적 측면에서 보면 수율, 대면적, 원가절감, 다양한 기판에서의 제작, 공정 방법 등이 해결과제로 남아있다. 대면적 공정을 위해 소자를 구성하는 각각의 물질들의 표면 균일성을 확보하고, 진공증착 방식이 아닌 Roll-to-Roll 방식, 스펀코터, 잉크젯 프린터방식 등과 같은 저비용 생산기술을 구축하는 것이 급선무이다. 향후 백열등, 형광등, LED와 경쟁에서 충분한 가능성이 있는 만큼 백색 OLED가 조명시장에서 우위를 가지기 위해선 앞선 선행 기술들의 개발이 요구된다. 그러나 현재 국내 OLED 조명기술의 성숙도 및 개발투자는 선



(a)



(b)



(c)

그림 13. Low Index 그리드와 표면 마이크로 렌즈의 원자현미경 사진 [5].

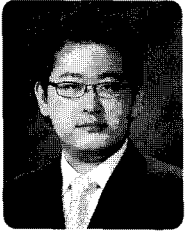
진국에 비해 아직 뒤쳐져 있는 상황이다. 하지만 최근 국내 업체들의 OLED 디스플레이 기술을 기반으로 조명 OLED 기술로의 투자가 활발히 전개되고 있는 바, 가격 경쟁력, 고효율, 낮은 소비전력, 장수명을 갖춘 소자의 개발을 통해 상당한 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] N. Ide, H. Tsuji, N. Ito, H. Sasaki, T. Nishimori, Y. Kuzuoka, K. Fujihara, T. Miyai, T. Komoda, "High-Performance OLEDs and Their Application to Lighting", Proc. of SPIE Vol. 7051 705119-1 (2009).
- [2] 김우영, "OLED 면광원용 유기 재료", 주간기술동향 통권 1335, 2008.
- [3] S. Reineke, F. Lindner, G. Schwartz, N. Seidler, K. Walzer, B. Lu` ssem and K. Leo, "White organic light-emitting diodes with fluorescent tube efficiency", Nature, Vol. 459, 14 (2009).
- [4] J. H. Jou, M. H. Wu, S. M. Shen, H. C. Wang, S. Z. Chen, S. H. Chen, C. R. Lin and Y. L. Hsieh, "Sunlight-style color-temperature tunable organic light-emitting diode", Appl. Phys. Lett., 95, 013307 (2009).
- [5] Y. Sun and S. R. Forrest, "Enhanced light out-coupling of organic light-emitting devices using embedded low-index grids", Nature photonics, Vol. 2 (2008)
- [6] C. Adachi, M. A. Baldo, M. E. Thompson and S. R. Forrest, "Nearly 100% internal phosphorescence efficiency in an organic light-emitting device", J. Appl. Phys. 90, 5048-5051 (2001).
- [7] A. Chutinan, K. Ishihara, T. Asano, M. Fujita and S. Noda, "Theoretical analysis on light-extraction efficiency of organic light-emitting diodes using FDTD and mode-expansion methods", Org. Elect. 6, 3-9 (2005).
- [8] Organic Light Emitting Diodes (OLEDs) for General Illumination, Oida Technology Roadmap (2002).



저|자|약|력



성 명 : 임유승

- ◆ 학 력
- 2007년
경원대 전기정보공학과 공학사
- 2009년
경원대 대학원 전기전자공학과
공학석사
- 현재
연세대 대학원 전기전자공학과
박사과정



성 명 : 정주혜

- ◆ 학 력
- 2009년
연세대 전기전자공학과 공학사
- 현재
연세대 대학원 전기전자공학과
석·박사 통합과정



성 명 : 김현재

- ◆ 학 력
- 1991년
연세대 신소재공학과 공학사
- 1993년
Columbia 대학 전자재료공
학과 공학석사
- 1996년
Columbia 대학 전자재료공학과
공학박사

- ◆ 경 력
- 1996년 - 2005년 삼성전자 LCD총괄 수석연구원
- 2004년 - 2005년 프랑스 Ecole Polytechnique
초빙교수
- 2004년 - 현재 SID(Society for Information
Display) 학술위원
- 2005년 - 현재 연세대 전기전자공학과 부교수
- 2006년 - 현재 한국정보디스플레이학회 (KIDS)
총무이사
- 2006년 - 현재 대한전기학회 (KIEE) 편집위원
- 2007년 - 현재 한국전기전자재료학회 (KIEEME)
편집위원

