

UV LED 기술 개발 현황 및 전망

유재형, 황명근(한국조명연구원)

1. 서 론

에너지 효율과 이산화탄소 규제, 각종 환경 보존에 대한 국제적 움직임으로 인하여 친환경·고효율 광원인 LED가 각광을 받고 있다. 현재 LED를 사용하여 구현하는 색은 자외선(UV) A영역부터 근적외선(NIR)까지이며 LED 광원의 세계시장은 2018년도 30조원의 규모로 성장할 것이며 조명 응용이 가장 큰 범위를 차지하고 그 뒤를 이어 BLU가 전체 시장의 13.8%의 규모를 차지할 것으로 예상 된다[1].

최근에는 기존의 가시광 영역(visible ray, 380nm ~ 770nm)을 넘어 UV와 적외선(IR)을 적용한 다양한 융합제품이 출시되고 있으며 이 중 UV 영역은 그림 1에서와 같이 소독 및 경화분야까지 폭넓은 분야에 응용될 수 있는 새로운 광원으로 주목받고 있다.

또한 조명 및 일반 디스플레이의 경우에는 현재 청색 LED를 기반으로 단일 형광체를 사용하여 백색을 구현한 형태로 사용되는데 이는 색 재현을 표시하는 지수인 평균연색지수(R1~R8의 평균값)를 1A등급(90~100) 이상 달성하기 어렵고 또한 정확한 색표현이 중요한 감성 조명 및 디스플레이 광원에 적용하기 위한 특수연색지수(R9~R15의 평균값)를 1A등급을 달성하기 어렵기 때문에 향후 UV-LED를 기반한 적색, 녹색, 청색 등 다양한 형광체가 조합된 형태의 고품질 백색 광원 개발에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

이러한 UV를 구현할 수 있는 기술은 가장 일반적인 방법이 수은이나 제논 가스를 램프에 봉입하거나 할로겐 화합물을 봉입하여 사용하는 수은 램프, 제논 램프, 메탈할라이드 램프(MHL)가 주를 이루며 이들 램프는 유해가스의 사용 및 짧은 수명, 램프 크기가 커서 다양한 응용제품을 개발하기에 적합하지 않지만 화합물 반도체 기술이 발전하면서 $Al_xGa_{1-x}N$ 와 In_xGa_xN 의 화합물로 구현할 수 있게 되어 기존의 UV 광원들이 UV LED로 점차 대체되어가고 있다[2].

현재 UV LED는 UV-A외에 UV-B, C는 기술의 성숙도가 낮아 활성화되지 않고 있지만 지속적인 UV LED 기술의 발전에 따라 UV 전 영역으로 확대될 것으로 기대된다.

본 원고에서는 향후 폭발적으로 성장이 예견되는 UV LED의 기술동향에 대하여 알아보려고 한다.

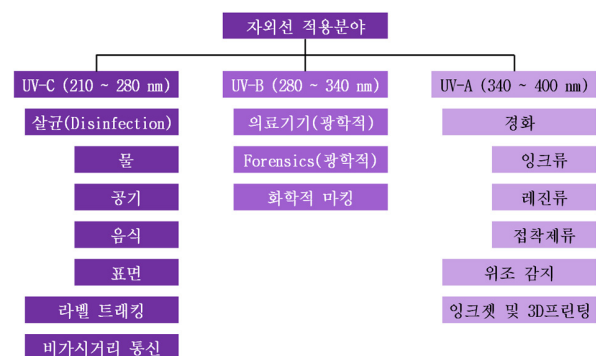


그림 1. UV 응용분야

2. UV LED 기술 개발 현황

본 장에서는 UV LED의 다양한 기술 개발 현황 및 발전 방향을 전망해보고자 한다.

2.1. 현재 UV LED의 적용 기술

UV LED는 현재 InGaN와 AlGaN의 화합물을 사용하여 만들고 있다. 그림 2에서 보면 UV LED를 구현할 수 있는 재료와 이에 대한 외부양자효율을 확인할 수 있다. 이의 이유는 재료적인 이슈로 높은 인듐과 알루미늄의 조합이 어렵기 때문에 발생되며 이의 해결을 위해서는 새로운 물질의 개발이 필요하나 현재는 대체할 수 있는 물질이 없는 상황이다. 현재 300nm 이하에서 외부양자효율은 최대 10%정도로 보고되어 있다[3].

그림 2와 같이 재료에 따라 외부양자효율이 차이를 보이는 가장 큰 이유는 UV-A 영역인 경우 일반적으로 InGaN를 사용하여 제조하게 되는데 그간 결정결함 감소 기술 및 활성층, p층, n층등의 성장기술이 발전하게 되어 고효율 UV LED 제조 기술이 확보되었기 때문에 나타나는 현상이나 UV-B, C를 구현하기 위해서는 기존의 InGaN가 아닌 AlGaN를 사용하여 제조해야 하는데 이 영역의 UV는 활성층에서 생성된 UV의 빛이 GaN에 흡수되기 때문에 GaN보다 에너지 밴드갭이 큰 AlGaN나 AlN 물질을 사용해야 하고 여기서 LED 제조 시 가장 일반적으로 사용되는 기판인 사파이어 위에

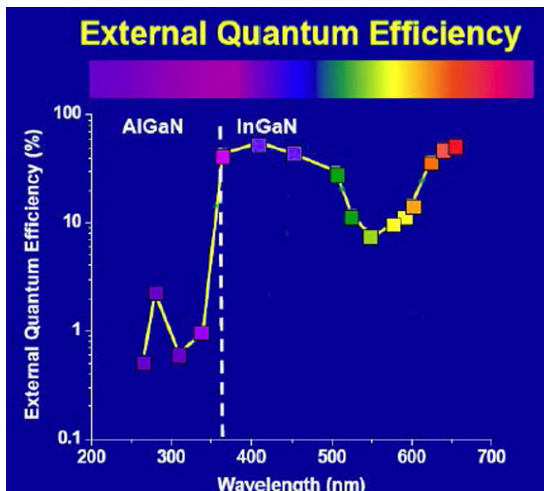


그림 2. 재료와 외부양자효율의 관계

AlGaN나 AlN를 성장시킬 때 p-type 성장이 어렵기 때문에 고효율 달성이 어렵다. 이의 해결을 위해 AlN 기판을 사용하기도 하나 AlN 기판 제조기술이 미흡하여 어려운 상황이다.

이에 따라서 현재는 UV-A 영역의 UV LED 기술이 상업화되어 시장을 이끌고 있고 UV-B, C의 경우는 연구개발에 집중되어 있다.

UV-B, C 영역의 LED 개발을 위해 해결이 되어야 하는 분야는 첫 번째로 UV의 광추출을 위한 투명전극층 연구이다. 현재 일반적인 LED에 사용되는 ITO 투명전극층은 가시광 영역에서는 투과율 및 전도성이 좋아 투명전극층으로 널리 사용되고 있으나 UV 영역에서는 활성층에서 생성된 UV(< 350nm)가 흡수되기 때문에 사용하지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 UV LED를 공급하는 업체에서는 현재 사파이어 기판으로 빛이 방출되는 방식의 LED를 공급하고 있다. 사파이어의 경우는 250nm에서 약 75%의 투과율을 나타내기 때문에 적용이 가능하나 다른 문제점으로는 AlGaN의 박막을 제조하기 위해 그림 3에서 보는 것과 같은 구조로 두꺼운 GaN나 AlN 버퍼층의 제조가 필요하게 되고 때문에 이의 해결을 위한 연구가 진행되고 있다.

두 번째로 수평형 UV LED chip의 디자인 분야 연구이다. 현재까지 일반적으로 사용되었던 방식은 AlGaN/GaN 수평형태의 기술로 앞서 언급했던 사파이어 기판의 사용에 따라 격자상수의 큰 차이로 인해 결정결함의 증가로 신뢰성 및 내부양자효율의 급격한 저하를 해결하기에는 부족한 상황이다.

세 번째로는 UV LED에서 발생되는 열을 효과적으로 방출시키는 기술의 연구 분야이다. 기존의 UV LED 제조방식에서는 입력전력의 대부분이 UV로 변환되지 않고 열로 변환되면서 발생된 열이 UV LED의 수명에 직접적으로 영향을 미쳐 신뢰성에 큰 문제를 일으키게 되므로 이의 관리를 위한 연구가 진행되고 있다.

또한 UV-B, C의 경우 현재 형성된 가격은 와트당 10,000달러 수준이며 이는 효율을 높이기 위하여 AlGaN의 고품질 성장을 위해 AlN 기판등을 사용하게 되는데 이 기판이 제조가 어려워 주된 가격 상승의 원인이 되고 있다. 상기 이유들로 인하여 현재 UV-B, C의 WPE(Wall Plug Efficiency)는 불과 1~5%의 수준

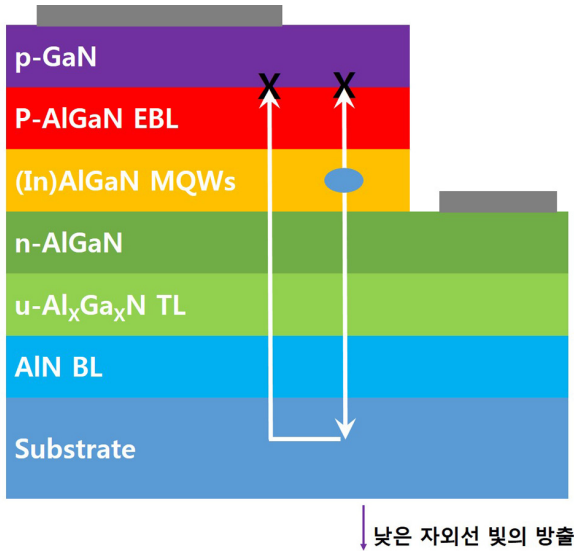


그림 3. UV LED의 구조도

밖에 되지 않고 있다.

2.2. 현재 UV LED의 개발 기술

이러한 UV LED가 갖는 문제들을 해결하고자 현재 많은 연구기관 및 기업에서 다양한 방법으로 접근을 하고 있는 상황이다.

그 중 몇 가지 연구를 살펴보면 서울바이오시스에서 경영권을 확보한 SETI社는 UV LED의 선두기업으로 이미 2012년 기존의 UV LED보다 5배 이상의 성능을 구현하게 되었고, Shatalov는 AlN 템플릿에 성장기법의 변화를 통해 활성층의 결정결함밀도를 $2 \times 10^8/\text{cm}^2$ 로 낮추어 내부양자효율을 50% 이상 높이고, p-AlGaIn 층의 투과도 개선을 통해 UV 투과도를 5%에서 60% 증가시킴으로 최종적으로 11%의 외부양자효율을 가지는 UV-C LED를 개발하였다[4].

주요하게 살펴볼 연구그룹으로 일본 RIKEN 연구소의 Hirayama 그룹에서는 AlN의 고품질화를 위해 AlN 성장 시 그림 4에서처럼 NH₃ pulse-flow 기술로 edge 결함밀도와 screw 결함밀도를 각각 $3 \times 10^8/\text{cm}^2$ and $2 \times 10^7/\text{cm}^2$ 까지 줄이는 결과를 얻었고 여기에 그림 5에서 처럼 Multi-Quantum Barrier(MQB) 기술을 적용하여 270nm UV LED의 외부양자효율을 3.8%까지 끌어올렸다[5].

또한 CrayNano社에서는 그래핀을 활용하여 UV

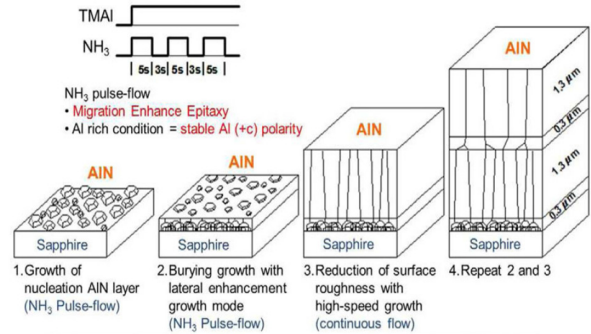


그림 4. NH₃ 제어를 통한 성장 기법

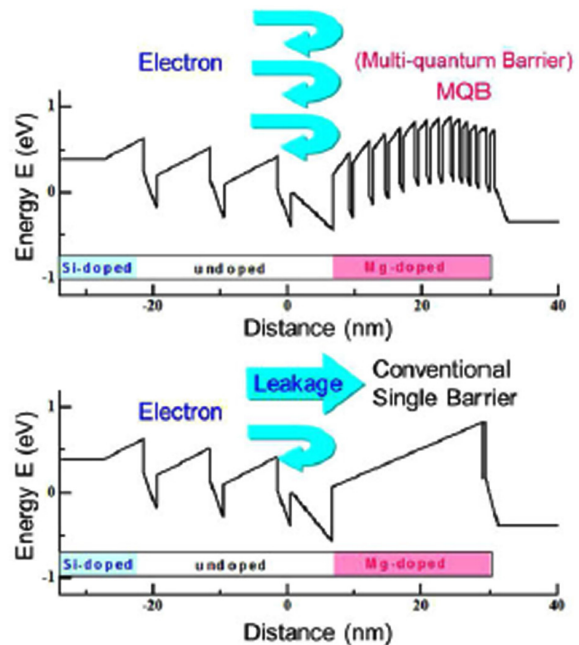


그림 5. MQB 적용에 따른 반사전자 비교

LED를 개발하였는데 그림 6에서처럼 그래핀 위에 AlGaIn 나노와이어를 성장하는 기술을 적용하였으며 그래핀은 기판으로써의 역할과 UN-B, C에서의 투명전극층 역할을 할 수 있는 물질로 높은 외부양자효율을 달성할 수 있는 물질이다. 그래핀의 경우 모든 파장에서 95%정도의 투과율을 갖고 높은 전기전도도 및 열전도도의 특성을 갖기 때문에 가능하다. 그리고 AlGaIn 나노와이어의 경우 그래핀과 약 2% 정도의 격자부정합을 갖기 때문에 결정결함이 거의 없이 제조가 가능하고 구조적 특성에 의해 내부 및 외부 양자효율의 개선이 가능해 수명 및 신뢰성을 확보할 수 있다[6].

그래핀을 이용하는 기술에는 소자기술 뿐만 아니라

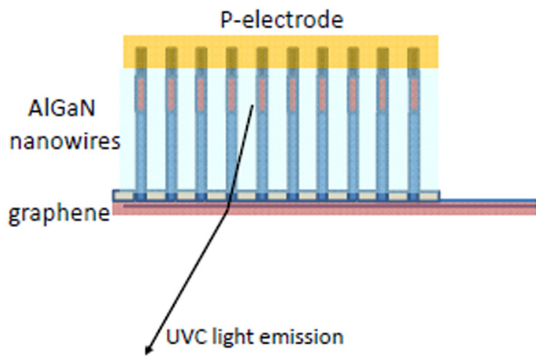


그림 6. CrayoNano社의 UV LED 기술

다양한 장점들을 활용하여 방열의 개선을 위해서도 다양히 사용되고 있다[7].

UV craftory社에서도 2014년에 외부양자효율이 10%가 넘는 결과를 발표하였다[8].

최근에는 가격적 장점이 있는 사파이어 기판을 사용하여 고품질 AlN를 성장시키는 기술로 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)을 사용하여 AlN를 성장할 때 온도 및 주입 물질을 변화시켜 결정결함을 줄이는 기술을 사용해 기존의 결정결함보다 약 50%정도를 줄이는 효과를 얻은 연구가 있다(3mW, 284.5nm @ 20mA)[9].

국내에서도 앞서 소개된 기술과는 차별성이 있는 Quantum dots(QDs)를 이용하여 연구하고 있으며 Nano Letter지에 소개된 기술이 있는데 이 그룹은 UV-A에서 그 결과가 매우 주목받고 있고 향후 UV-B, C에서도 좋은 결과가 나올 것으로 기대되고 있다. 여기에 적용된 기술은 CdZnS @ ZnS 기술로 그림 7에서처럼 구현하였으며 현재 보고된 바로는 2.0 ~ 13.9mW/cm² (@ 377 ~ 390nm)의 성능이 보고되었다[10].

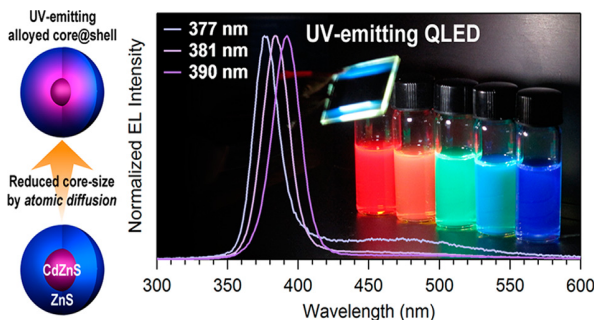


그림 7. QDs 기반 UV LED 구현 방법

앞서 기술 측면에서 살펴보았듯이 현재는 380 ~ 400nm(UV-A)의 UV LED는 기술이 어느 정도 성숙이 되어 경화기나 위폐감지기, 광촉매 분야에 사용되고 있으나 그 이하 파장대역의 UV LED는 현재 기술적 성숙도가 낮아 향후 잠재적 시장인 의료/바이오, 살균 및 정화 등 그 수요처가 무궁무진한 시장의 확보를 위해서는 UV-B, C LED의 기술개발이 시급하다고 할 수 있다.

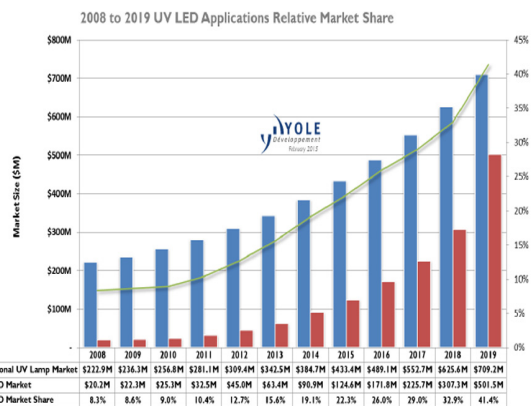
국내에서는 서울바이오시스 및 소프트에피, 세미콘라이트 등에서 UV LED를 생산하고 있고 UV-C 영역의 경우는 LG이노텍에서 유일하게 기술개발을 실시하고 있으나 시장진입을 위한 UV LED의 효율이 부족한 상황이고 서울바이오시스가 최근 SETI社의 경영권을 확보하여 국내의 UV 기술도 큰 폭으로 기술력이 향상될 것으로 여겨진다.

3. UV LED 시장 현황

본 장에서는 앞서 기술 현황을 살펴보고 국내·외에서 활발히 UV LED 기술을 개발하는 가장 큰 이유인 UV LED 시장을 살펴보고자 한다.

3.1. 세계 UV LED 시장 현황

Yole Development에서 2015년 발표한 기존 UV 램프와 UV LED의 시장 점유율 자료를 살펴보면 2015년 전 세계 UV 램프 시장은 5,200억원의 규모이며 이



출처 : Yole development company market research (2015)

그림 8. 기존 UV 램프와 UV LED의 시장 점유율

표 1. UV-C 응용 분야별 시장 규모

단위 : 백만달러

TYPE	POWER	SEGMENT	2012	2013	2014
Water	Low Power	Portable	11.5	11.9	12.4
		Point-of-use(POU)	168.3	176.3	185.2
		other appliations	55.4	56.5	57.6
	Medium power	point-of-entery(POE)	81.4	82.9	84.5
	High Power	Municipal	336.7	343.0	349.5
		Industrial	112.2	114.0	115.8
		Marine-Ballast Water Treatment	61.6	63.2	65.0
Total Water			827.1	847.7	870.0
Air/Surface	Low to medium Power	Residential and Commercial	82.0	83.6	85.5
Food/Liauids	Medium to High Power	Fruit Juices, Dairy, Wine, Etc	1.1	1.2	1.2
Total			910.2	932.0	956.0

출처 : Yole development company market research(2015)

중 UV LED는 1,500억원 규모로 전체 UV 시장의 약 22.3%를 차지하고 있다.

여기에는 경화용 UV LED가 시장을 리드하고 있으며 2016년 이후로 살균/소독 응용 분야가 급성장할 것으로 예측되고 있다.

의료용으로 사용되는 UV-B와 공기정화 및 살균에 사용되는 UV-C는 2018년까지 크게 성장하게 될 차세대 신기술로, 2019년에는 약 12,000만 달러 규모로 성장할 것으로 예측 된다. 또한 UV LED 산업이 2014년 90억 달러에서 시작해 2019년도에는 500억 달러까지 성장할 것으로 예측되고, 이 기간 동안 UV LED 시장의 성장률은 최대 5.5배 이상일 것으로 예측되는 반면, 기존 UV 램프의 시장 성장률은 1.8정도일 것으로 전망된다. 자세한 응용 분야별 시장 규모는 표 1과 같다.

3.2. 국내 UV LED 시장 현황

한국과학기술정보연구원에서 2014년도 발표한 자료를 살펴보면 표 2에서 보는바와 같이 UV LED 관련 국내·외 시장의 규모를 확인해 볼 수 있으며 국내 기업 중 서울바이오시스 등이 UV LED 광원 분야에 참여하여 2012년 94억원 수준의 매출을 달성하였고, LG 이노텍 등 국내 LED 칩 생산 업체들이 본격적으로 가세하여 2017년까지 세계 시장의 30% 이상을 점유할 것으로 예측되고 있다.

시장 성장이 가속화될 것으로 전망하는 이유는 UV LED 광원이 기존 수은 램프를 빠르게 대체할 수 있을 뿐만 아니라 새로운 응용 분야도 창출할 수 있기 때문이라고 보고 있다.

향후에는 정화 및 살균 등의 활용이 확대될 것으로

표 2. 수은램프 및 UV LED의 국내·외 시장 규모

단위 : 억달러, 억원

개요	연도	시장 규모						CAGR (%)
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	
세계 시장	기존수은램프	340.8	375.9	414.9	458.5	507.0	560.0	10.4
	UV LED 광원	64.0	94.7	134.1	194.5	269.1	384.0	43.0
	· 경화용	49.9	75.6	107.0	151.4	199.1	284.6	43.3
	· 물살균용	0.3	2.3	5.6	14.1	28.1	86.5	208.9
국내 시장	UV LED 광원	150	240	370	580	890	1,395	56.8

출처 : KISTI market report(2014)

기대되며, 이에 따라 UV-C 영역 제품의 수요가 증가할 것으로 예측된다.

4. UV LED 주요 업체 현황

본 장에서는 UV LED 시장의 선점을 위한 국내·외 업체의 현황을 살펴보고자 한다.

국내 UV LED 관련 주요 업체는 LG 이노텍과 서울바이오시스이며 LG 이노텍은 최근 수직형 구조 및 GaN 두께의 최소화 기술로 광 출력을 극대화하였고 특히 365nm UV LED 패키지는 세계 최고 수준인 광출력 900mW를 달성하였으며, 최근 UV-C LED 대량 양산에 들어가 글로벌 가전업체에 공급하기 시작하였다.

서울바이오시스는 254nm에서 405nm까지 전 파장대의 UV LED 양산 능력을 보유하고 있고, 2015년 가전제품 시장 집중 공략을 시작으로 IFA 등 국제 전시회에 적극 참여하여 고객을 확보해 나갈 예정이며 UV LED 칩에서부터 패키지까지 수직 계열화를 이뤄 타사 제품 대비 가격 경쟁력이 우수해 수은램프 대체 수요도 획기적으로 늘어날 것으로 전망된다.

국내 UV LED 응용 시스템 주요 업체로는 리트젠, 유브이에스엠티, 아이에스케이, 한국자외선, 선인나노기술, 유버 등이 UV 램프 및 UV 경화기의 국산화를 위해 앞장서 왔으며, 일부 기업에서 UV LED를 이용한 살균/정화 장치에 대한 기술 개발을 진행하고 있다.

국외의 경우 UV 램프 시장에서는 Phoseon Technology(미), Fusion UV Systems(미), Baldwin(영), Heraeus(독), Hamamatsu(일) 등 미국, 유럽, 일본 기업이 선도해왔고, 주로 경화 장비의 램프 교체 수요로 매출이 발생하였으나 수명이 긴 UV LED 광원이 기존 UV 램프를 대체해가면서, LED 업체들과의 경쟁과 전략적 협력이 가속화 되고 있다. 현재까지 기존 LED 선도업체인 Nichia(일), SemiLEDs(미), SETi(미) 등이 UV LED 광원 시장을 선도하고 있고 Cree(미), Osram(독), Epstar(대) 등의 전통적인 강자를 비롯하여 LED Engin(미), Nitride Semiconductors(일) 등의 LED 업체들도 UV LED 시장에 투자를 시작하였다.

UV LED 응용 시스템 시장에서는 Phoseon Technology(미), SETi(미), Dot metrics technology

(미), Crystal IS(미), Hexatech(미), Photonstar(영), Heraeus(독), Nitek(미) 등 UV LED 광원 전문 업체와 기존 UV 램프 업체, 그리고 신규 업체들이 다양한 응용 분야에서 경쟁을 하고 있다.

5. 결론 및 전망

현재 가시광 LED가 조명을 비롯한 응용분야에 활발하게 적용되고 있는 가운데, 다양한 산업분야에서 광범위하게 사용되고 있는 UV 광원은 대부분 고 에너지 소비와 낮은 수명에 이를 대체할 UV LED 소자의 개발 및 구현의 개발 및 기술 선점을 위해 경쟁이 가속화되고 있다.

또한 그 응용처가 분야별로 다양한 만큼 2015년 세계 UV LED 시장 규모는 1억 3000만 달러로 추정되고, 오는 2017년에는 두 배 이상 성장한 2억 7000만 달러로, LED 소자를 포함하는 완제품 시장으로 추정하면 그 시장 규모는 더욱 급증할 것이라 예상되고 있다. 이러한 UV LED 시장 선점을 위해서는 기술력이 핵심이며 그 중 광원 기술이 가장 중요할 수 있다.

응용 시스템에서는 새로운 분야의 선점이 매우 중요한데 Phoseon Technology가 UV 경화 분야 초기 시장에 발 빠르게 진입하여 현재 시장을 주도하고 있는 것처럼 경화 분야 이외에도 다양한 분야의 시장 창출이 가능한 만큼 외국 기업들과의 치열한 경쟁에 앞서 참신한 분야를 선점하는 것이 중요하다.

또한 선점뿐만 아니라 최적화된 관련 기술(파장의 결정, 광학 설계, 방열 설계, 제어 등)의 기술력에 따라 제품의 성능이 결정되는 만큼 기술 개발에도 많은 노력이 필요할 것으로 예상된다.

그리고 시장의 폭발적 성장이 예상되는 만큼 관련 된 제도 및 표준화 등의 가이드가 함께 마련되어 지원해야 할 것이다.

참고문헌

[1] K. Evastratyeva, Market Overview for global LED Industry 2013 - 2018, *Strategies in Light* (2014).
[2] D. Morita et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, 5954

(2004).
 [3] Krames, et al., *IEEE J. Display Technology*, March (2007).
 [4] M. Shatalov, et al., *Conf. Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR)*, **MH1-2** (2013).
 [5] H. Hirayama, et al., *Electronics and Communications in Japan*, **98**, 5 (2015).
 [6] H. Weman, High-efficiency AlGaIn nanowire/graphene deep UV LEDs, *LEDITWAN* (2015).
 [7] M. K. Hwang, et al., *The 4th CJK Lighting Conference*, **385-391**, (2011).
 [8] M. Ippommatsu et al., *Conf. Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR)* **MH1-3** (2013).
 [9] J. Yan, et al., *J. Cryst. Growth*, **414**, 254 (2015).
 [10] J. Kwak, et al., *Nano Lett.*, **15**, 3793 (2015).

저 자 약 력

유재형



- 2006년~2012년 : 전북대학교 반도체·화학공학과 석사, 박사
- 2012년~현재 : 한국조명연구원
- 관심분야 : 질화물 반도체 박막성장 및 LED 분야

황명근



- 2004년 : 인하대 졸업(공학박사)
- 1998년~2014년 : 한국조명연구원 융합조명연구본부장
- 2003년~2006년 : 세종대학교 겸임교수
- 2008년~2010년 : 한국산업기술대학교 겸임교수
- 2009년~2015년 : 부천LED조명RIS사업단 단장
- 현재 : 한국조명연구원 대외협력실장/수석연구원
- 현재 : 국제조명위원회(CIE)한국위원회 부회장
- 현재 : 한국조명전기설비학회 부회장 및 LED/OLED조명기술연구회 위원장
- 2013년~현재 : 본 학회 광원연구회 회장