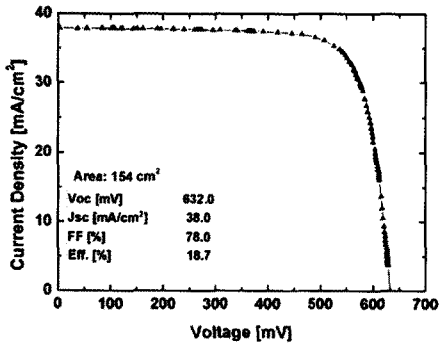
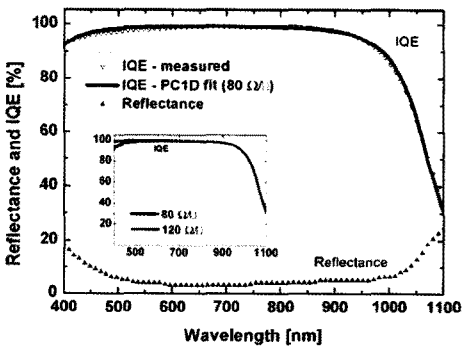
# Optical+Sources Photoelectric Devices

## 18.7%, 고효율 태양 전지




레이저 도핑 기술은 지난 40여년간 반도체 제조 과정에서 이용되고 있다. 그리고 1980년대 초, 태양 전지에 레이저 도핑 기술이 접목되면서, 지난 15년간 관련 기술이 큰 관심을 받고 있다. 이 기술의 주요 장점은 국부적인 영역에 제한된 레이저는 물질 전체에 영향을 주지 않고 표면만을 녹임으로써, 고온 공정에 따른 degradation을 최소화 할 수 있다. 또한 도핑 레벨, 확산 깊이를 쉽게 제어할 수 있고, 다양한 응용이 가능하다.

오스트레일리아 University of New South Wales의 연구진은 자가 정렬된 금속화 패턴과 함께 선택적인 에미터 형성을 조합한 레이저 도핑 방법을 개발했다. 연구 결과는 2010년 12월 1일자 APL지에 "18.7% efficient laser-doped solar cell on p-type Czochralski silicon"란 제목으로 게재됐다. 특히 이번 결과는 널리 이용되는 상업용 p-type 실리콘 기판 위에 태양 전지를 제작하여 18.7%의 효율을 기록했다.




연구진은 2 ohm의 저항을 갖는 상업용 p-type 실리콘 기판을 이용하여, 단면이 레이저 도핑된(SSLD; Single-Side Laser-Doped) 태양 전지를 제작했다. 알칼라인 텍스쳐링과 클리닝 공정을 거치면서 40ohm/sq의 면저항을 갖는 에미터를 형성하게 된다. PSG(phosphosilicate glass) 제거 및 edge isolation 이후에는 면저항이 75-80 ohm/sq로 상승했다. 그리고 반사 방지 코팅을 위해 질화 규소 박막을 증착했다. 후면 전극을 위해 알루미늄을 스크린 프린팅 한 후, 532nm 파장을 갖는 Nd:YVO4 레이져를 이용하여 도핑을 했다. 이 때, 1um 깊이까지 물질이 녹는 것을 확인했으며, 마지막으로 니켈과 구리 전극을 형성했다.

제작된 소자는 18.7%의 세계 최고 효율을 나타내며, Voc=632.0mV, Jsc=38.0mA/cm2, FF=78%를 기록했다 (그림 1. 참조). 단파장에 따른 태양 전지의 응답(IQE, Reflectance)은 다소 떨어지는 현상이 있는데, 즉 소자의 Jsc, Voc 감소를 의미한다. 이는 상대적으로 낮은 에미터의 면저항과 높은 SRV(surface recombination velocity)에 의한 것이지만, 반대로 FF를 향상시킬 수 있는 요인이기도 하다. SRV는 반도체 물질 표면에서 전자와 정공이 결합되는 것을 의미한다.

연구진은 위의 두 요인, 에미터의 면저항과 SRV에 대한 시뮬레이션을 통해 에미터의 면저항이 120 ohm/sq일 때, 효율 19.0%를 달성할 수 있는 것으로 예측했다. 또한 후면의 전자-정공 재결합을 줄이는 것이 20% 이상의 효율을 기록하기 위한 중요한 요인이라고 밝혔다.

*그림 1. 18.7%의 효율을 갖는 레이저 도핑된 태양 전지의 전압-전류 밀도 특성으로 측정은 상온 AM 1.5G, 100 mW/cm2 조건 하에서 이루어졌다.

*그림 2. 18.7% 효율을 갖는 SSLD의 측정된 내부 양자 효율(IQE; Internal Quantum Efficiency)과 반사도

(apl.aip.org)

## 중국, LED 조명 등 전략적 신흥산업 육성 중점 추진

중국 내 전자 정보 산업분야 핵심 국유 업체인 '중국 전자 정보 산업 그룹 유한회사'는 최근 LED 조명, 평판 디스플레이, 태양광발전, 이

동 인터넷 등 전략적인 신흥산업 및 신흥 응용 분야를 중점 육성하는 전략을 적극 추진하고 있다. 최근에 개최된 '제12회 중국 국제 첨단기술 성과 거래회'에서 '중국 전자 정보 산업그룹 유한회사' 산하 10개 업체들은 LED 조명, 평판 디스플레이, 태양광발전, 이동 인터넷 등 전략적인 신흥산업 및 신흥 응용 분야 혁신기술 제품들을 대량 전시하여 이번 '제12회 중국 국제 첨단기술 성과 거래회'의 하이라이트(highlight)가 되었다.

'중국 전자 정보 산업그룹 유한회사' 산하 '창청(長城) 과학기술', '중덴(中電) 융모우(熊猫)', '중덴 투자', '궈민(國民) 기술', '관제(冠捷) 과학기술', '징먼(晶門) 과학기술' 등 핵심 업체들은 최근 년간 LED 조명, 평판 디스플레이, 태양광발전, 이동 인터넷 등 전략적인 신흥산업 및 신흥 응용 분야 혁신기술 제품 연구개발을 적극 추진하였으며 다양한 연구개발 성과들을 달성하고 산업화 분야에서도 중대한 성과들을 달성하였다.

중국의 전자산업은 현대 전략적인 신흥산업 발전을 실현할 수 있는 역사적인 기회에 직면해 있다. 중국 정부는 전자산업 분야에서 중국 자체적으로 축적한 기술 역량에 기반하여 산업구조 조정과 산업 업그레이드를 적극 추진하고 있으며 특히 LED 조명, 평판 디스플레이, 태양광발전, 이동 인터넷 등 전략적인 신흥산업 및 신흥 응용 분야 혁신기술 제품 발전을 중점 추진하고 산업 배치를 추진하는 동시에 산업체인을 기반으로 중국 특색이 있는 신흥산업 역량을 육성하여 중국 첨단기술 산업의 경쟁력을 대폭 향상시키고 중국 경제의 지속 가능한 성장과 환경친화적인 발전을 적극 추진하고 있다.

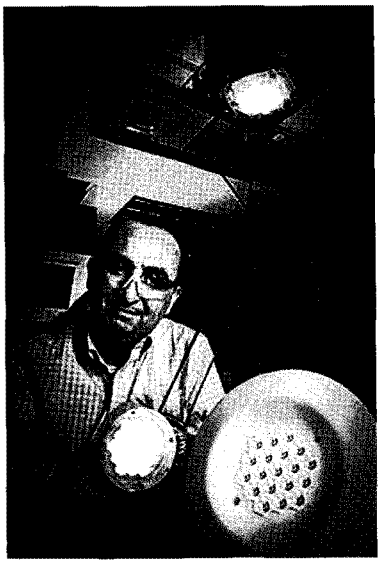
LED 조명 분야에서 '중국 전자 정보 산업그룹 유한회사' 산하 '중덴 투자 회사'가 투자하여 설립한 '중덴 조명 회사'는 독자적인 연구 개발을 통해 자체의 지적재산권을 소유한 LED 조명 기술과 제품을 보유하고 있다. '중덴 조명 회사'는 완전히 새로운 개념의 '초점 변화형 LED GU10 램프' 제품을 개발하였는데 초점 변화 범위를 15도에서 40도 수준까지 도달시키고 있어 램프의 다양한 응용 수요를 충족시킬 수 있도록 하였다.

'중국 전자 정보 산업그룹 유한회사' 산하 '징먼 과학기술 회사'는 'LED 가로등 전원(電源) 구동 모듈' 및 '이선식(離線式) 벨트 SCR 광 조정 LED 구동 제어 칩' 등 'LED 조명 구동 기술'을 개발하였다. 특히, '이선식 벨트 SCR 광 조정 LED 구동 제어 칩'은 전체 디지털화 기술을 사용함으로써 'LED 광 조정 제품'이 광 조정 과정에서 자주 반짝거리는 문제를 효과적으로 해결하는데 성공하였다.

신에너지 분야에서 '중국 전자 정보 산업그룹 유한회사' 산하 '창청 과학기술 회사'는 다(多) 결정 실리콘, 단일 결정 실리콘 전지를 포함한 태양광전지 부품 개발을 중점적으로 추진하였을 뿐만 아니라 '전원(電源) 역변기(逆變器)' 개발을 중점적으로 추진함으로써 중국의 태양광발전 기술 수준을 대폭 향상시키는 면에서 중대한 기여를 하였다.

(www.china5e.com)

## LED 전구에 사용된 제트엔진 기술



제트엔진의 출력과 효율성을 높이는데 사용되는 새로운 냉각기술이 LED 전구의 열전달 속도를 높이고 칩의 수를 줄이는데 이용되었다. 이 기술을 이용하여 1,500루멘의 LED 전구가 성공적으로 시연됨으로써, 범용 조명 분야에 대한 이러한 전구의 광범위한 채택을 가로막아 왔던 중요한 문제가 해결되게 되었다.

GE글로벌리서치(GE Global Research)의 과학자들은 미 에너지부(DoE)의 2년 기한 고체조명 프로그램의 일환으로서 GE라이트닝(GE Lighting)과 메릴랜드대(University of Maryland)와의 공조를 통해 이 전구를 시연하였다. 이 LED 전구는 일반적인 100W 할로겐전구와 동일한 루멘의 빛을 발생했다. "이번 공동연구에 참여한 과학자들과 기술자들은 범용 LED 전구의 상용화를 가로막는 중요한 장애물 몇 가지를 해결하고 있다. 우리는 더 높은 광 출력, 발열 관리, 전구

# Optical+Sources Photoelectric Devices

크기와 무게와 같은 문제들을 다루고 있다. 이번 성과로 인해 당면한 고체조명의 시대로 향하는 길이 열리게 되었다."라고 GE라이트닝의 존 스트레이닉(John Strainic)은 말했다.

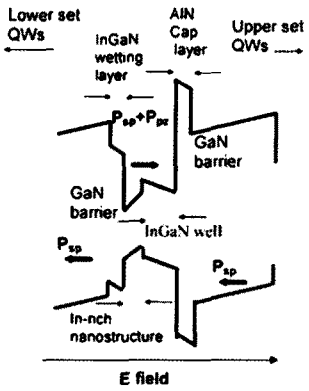
DoE 프로젝트의 일환으로서, 메릴랜드대의 한봉태(Bongtae Han) 교수와 에이브럼 바-코헨(Avram Bar-Cohen) 교수 연구팀은 새로운 냉각기술을 개발하여 시연했다. 이 기술은 재래식 냉각 기술에 비해서 열을 효율적으로 처리하며 필요한 LED 칩의 수를 줄임으로써 시스템 가격을 낮춰준다. "이것은 혁명적이고 대단히 유망한 냉각기술이다. 이 기술은 우리가 LED 조명의 성능과 효율성을 새로운 수준으로 높이는데 도움을 줄 것이다. 후속 연구와 개량을 통해서, LED 전구의 효율성과 수명을 손상시키지 않고도 성능을 높일 수 있을 것이다."라고 이번 LED 프로젝트의 책임연구자인 GE글로벌리서치의 기계공학자 메흐멧 아릭(Mehmet Arik)은 말했다.

이번 냉각기술의 기반은 현재 이 회사가 항공 및 에너지 사업에서 사용하고 있는 기술이다. 이 회사는 흐름을 다루는 기술을 전문으로 하는 유체역학 전문가 팀을 갖고 있다. 그들은 항공기 엔진 및 발전용 가스터빈과 풍력터빈에서의 압력 손실과 부하 특성을 극적으로 줄이기 위해서 공기의 흐름과 연소를 제어하는 혁신적인 방법을 개발하고 있다. "같은 건물 바로 아래층에서 우리의 동료들은 이중 냉 제트(dual cool jets) 기술을 이용하여 제트엔진과 발전터빈의 출력과 효율성을 모두 증가시키고 있다. 예를 들어 우리는 풍력터빈에서는 공기의 흐름을 조작하여 풍력에너지 생산량을 높이고 있고, LED에서는 열전달 속도를 개선하고 램프에 필요한 칩의 수를 줄이기 위해 이중 냉 제트를 이용하고 있다."라고 아릭은 말했다.

이중 냉 제트는 매우 작은 송풍기 형태의 마이크로유체 장치로서, 고속 공기 제트를 발생하여 LED의 방열판으로 보낸다. 이러한 공기 제트는 열전달 속도를 자연적인 대류보다 10배 이상 증가시킨다. 이렇게 냉각이 향상됨으로써, LED는 효율성과 수명이 감소하지 않으면서도 높은 구동전류에서 동작할 수 있게 된다. 열관리가 뛰어난 이중 냉 제트 덕분에, 주어진 루멘 출력을 얻기 위해 필요한 LED 칩의 수가 줄어들고, 결국 램프의 가격이 크게 낮아질 수 있다. 성능과 가격의 장점 외에도, 이 냉각기술은 LED 램프의 크기와 무게도 줄일 수 있다. 이 프로젝트는 최종단계에 도달해 있다. 현재 연구팀은 LED 조명 시스템의 신뢰성과 수명을 향상시키는 방법을 연구하고 있다.

*그림 : LED 전구
(www.photonics.com)

## 노란색 질화물 LED 개발




인듐 갈륨 질화물(InGaN) 반도체들로 만들어진 다중 양자우물들(MQWs)은 녹색에서 청색을 거쳐 자외선까지 짧은 파장의 가시광을 만드는데 폭넓게 이용되어 왔다. 현재 연구원들은 가시 스펙트럼의 적색 끝까지 완성하고 싶어한다. 원리적으로 이것은 InGaN 물질 내에 더 많은 양의 인듐으로 가능하다. 하지만, 더 많은 인듐을 이용할 경우, 균질한 인듐 분포를 가질 때보다 더 높고 더 낮은 인듐 영역 내에서 인듐이 덩어리(Clumping)가 되는 경향이 있다.

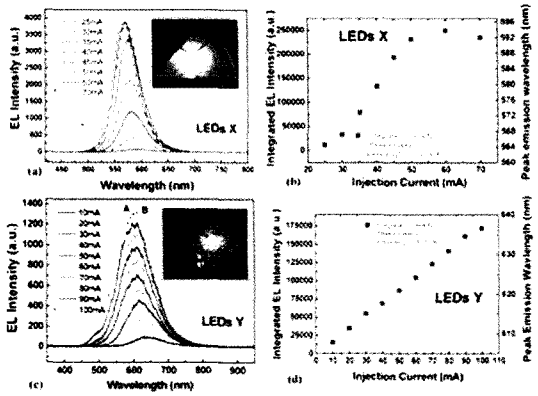
A*STAR의 싱가포르 물질 연구 공학 연구소와 싱가포르 국립대학의 싱가포르-MIT 동맹의 연구원들은 안정적인 더 긴 파장인 노란색 방출 특성을 가진 양자점(QD)들을 만들기 위해 이 덩어리 효과를 이용해 왔다[C. B. So et al, J. Appl. Phys., vol108, p093501, 2010]. 또한, 연구원들은 발광소자(LED)의 p-접촉을 만들기 위해 필요한 고온 열처리 공정으로부터 QD들을 보호하는 알루미늄 질화물(AlN) 캡핑(capping)층 기술을 개발했다.

연구원들은 금속 유기 화학 증착법(MOCVD)을 이용하여 c-면 사파이어 위에 세 가지 종류의 3주기 MQW 시편을 성장시켰다. 장벽 물질은 GaN으로 구성된다. 우물들은 1nm '웨팅(wetting)층'과 더 높은 트리메틸-인듐(TMIn) 유량(In 양)을 가진 2nm 층인 두 InGaN 층들로 구성된다. 이 웨팅층의 목적은 뒤이은 양자점 성장을 위해 강화를 줄이기 위한 것이다. 트리메틸 갈륨(TMGa) 유량은 두 경우 모두

같았다. 성장온도는 725 도씨였다.

우물 성장은 TMIn은 30초 동안 질소의 원천인 많은 암모니아를 흘렸던 조건에서 형성된 인듐 함량이 많은 양자점이 두 시편 종류들(시편B와 C)에서 층들 사이에서 차단되었다. 시편C의 경우, 1.2nm AlN 층은 우물들과 GaN 장벽 사이에 삽입되었다.

AlN층을 이용하는 목적은 연이은 성장 하에서 In의 외부 확산을 통해 QDs의 저하를 감소시키기 위함이다. 또한, p-접촉 활성을 위해 고온 열처리들이 문제가 되었다. 원자 힘 현미경(AFM) 지형학 연구들은 다양한 성장 공정들을 이해하고 향상된 시편들을 개발하는데 사용되었다.




일단 MQW들이 성장되면 10nm GaN 캐핑(capping)층이 성장된다. B와 C 물질은 각각 전자 차단층과 p-접촉으로 p-AlGaN(25% Al)과 p-GaN이 성장되어 LED들(시편 X와 Y)로 만들어졌다. 마그네슘 도핑은 성장 챔버(chamber) 내에서 825도씨에서 20분간 열처리되어 활성화되었다. 투과 전자 현미경(TEM)은 시편들 상에서 이 공정의 충격을 이해하는데 이용되었다. 열처리는 QD들을 작아지게 하는 경향이 있으나 우물과 장벽들 사이에 AlN을 가진 시편 내 충격은 작은 것으로 발견되었다.

p-접촉 층들이 없는 QD 시편들 상의 광발광 연구들은 실시되었고 820도씨 시뮬레이션 열처리에서는 (AlN 캡이 없는) B로부터 청색으로 이동된 방출이, (AlN캡이 있는) C로부터는 적색으로 이동된 방출이 발견되었다. 열처리 효과는 도트들의 높은 인듐 양의 외부 확산을 초래한다. AlN캡이 없는 경우, 인듐은 우물들 바깥에서 주위를 둘러싼 장벽 영역 내로 확산할 수 있다. 그러나 캡이 있는 경우, 인듐은 우물 영역 내에 갇힌다. 이는 더 긴 파장 방출(적색 이동)을 초래한다. 캡이 없는 시편 B의 경우, 더 넓은 인듐 확산 효과가 우물 층들 내 더 낮은 인듐 양을 초래했고 변형 이완, 감소된 압전 분극장들을 만들었다. 이 요소들 모두가 녹색 이동을 형성하는 경향이 있다(압전장들은 c-방향 내에서 성장된 InGaN MQW들의 적색 이동을 형성하는 경향이 있다.).

LED 구조들 상에 전계 발광 연구들은 (AlN 캡이 없는) 시편 X의 경우 500~680nm와, (AlN가 있는) 시편Y의 경우 550~750nm 파장들을 포함하는 넓은 방출 밴드들을 갖는 노란색을 방출하는 소자를 관찰했다. 시편들의 주된 피크들은 전가하는 전류에 따라 녹색으로 이동했다. 여기서 시편X의 경우 582nm에서 562nm로, 시편Y의 경우 668nm에서 658nm로 이동했다. 연구원들은 시편Y의 더 작은 이동이 압전장의 효과가 LED Y 내 더 작기 때문이라고 제안하고 있다. 그러므로, AlN 캡 구조의 두 번째와 세 번째 주기에 대한 InGaN 우물과 GaN 장벽 사이 변형이 감소된다고 믿어진다. 이것은 계면들에서 분극 전하들의 양이 줄고 이로 인해 구조 내 분극 전기장들 또한 줄어드는 것이다.

*그림 1. 강화된 AlN/InGaN QDs/InGaN/GaN 양자우물의 에너지 밴드 윤곽의 개략도

*그림 2. 광출력의 종속전류 EL 스펙트럼들(왼쪽)과 플롯(오른쪽). LED X(위)와 Y(아래)에 대한 주입전류에 따른 LED들의 피크 방출 파장

(www.semiconductor-today.com)