

제3회 국제 질화물 반도체 학술회의

● 일시 : 1999년 7월5일~9일 ● 장소 : 프랑스 Montpellier

제3회 국제 질화물 반도체 학술회의가 지난 7월5일부터 5일동안 프랑스 남부 지중해 연안에 있는 몽펠리에에서 열렸다. 이번 학술회의에 한국대표로 참가한 성균관대 부진효교수는 “우리나라가 시급히 해결할 문제는 화합물 반도체의 박막성장기술을 빠른 시일내에 제품으로 연결시켜야하며 이를 위해서는 독자적인 연구에서 벗어나 산·학·연연구그룹을 형성하여 국가의 전략과제로 연구를 진행시켜야 한다”고 주장했다.



夫眞效

(성균관대 이파대학 화학과 교수)

다가오는 21세기는 고도의 정보화 시대가 되리라고 예상되며, 하루가 다르게 진보하고 있는 전자, 정보, 통신기기의 발달은 이러한 예상이 곧 현실로 우리 곁에 다가오리라는 것을 말해준다. 현재 메모리 분야의 고집적도는 640MB DRAM의 수준까지 도달한 상태이나 정보화 시대가 요구하고 있는 고집적이면서 access time이 빠르고 비휘발성이면서 내방사선성을 갖춘 소자의 출현은 아직 요원한 상태이다.

이러한 요구를 충족시킬 수 있는

소재로써 최근에 주목받고 있는 재료로는 강유전체와 자기저항 재료가 있으며, 화합물 반도체로는 주로 III-V 족과 II-VI족 화합물 반도체 재료들(즉, GaN, CdS 등)이 알려져 있다. 1995년 12월 일본 Nichia화학연구소의 Nakamura박사팀이 InGaN/AlGaN을 주 재료로 한 청색의 반도체 레이저 다이오드(LED)를 개발했다고 발표했을 때 온 세계는 흥분의 도가니였으며, 또한 최근에 미국의 Cree사를 주축으로 한 연구진이 GaN/SiC 구조를 사용하여 청색 발광다이오드(LED) 상용화 및 LD 개발에 성공하였다고 발표하면서 이 분야의 연구가 새로운 issue로 부각되고 있다.

한편 비메모리 소자로써 다이아몬드나 탄화규소(SiC) 박막 등은 기존의 규소(Si)를 소재로 한 반도체 재료들이 갖고 있는 적용범위가 한계에 이름에 따라서 새롭게 떠오르는 소재들이다. 대표적인 예로써 SiC는 그

들 자체가 갖고 있는 우수한 열적, 광학적, 기계적 특성 때문에 고온/고압력 센서와 같은 고온/고압 작동소자, 고주파용 반도체 소자, 고속 작동소자, 단파장 발광소자 등과 같은 optoelectronics에 응용이 가능하다. 또한 최근에는 이들 SiC 박막이 다이아몬드나 GaN과 같은 또 다른 박막들을 성장시키기 위한 좋은 기질로 이용될 수 있다는 사실이 알려져 더욱 관심의 대상이 되고 있다.

천연색 전광판시장 1억달러

육방형 결정구조를 가진 6H-SiC는 2.9 eV의 넓은 띠 간격을 가지고 있어서 청색 LED의 제조에 이용되며, 또한 자외선 검출기, 고온/고출력/고주파 출력 소자 등으로 이용된다. β 상의 탄화규소는 입방 결정 구조를 가지는 3C-SiC이며, 이 또한 6H-SiC와 같이 여러 가지의 전자 소자로 쓰인다. 그러나 불행하게도 아직까지 3C-SiC는 bulk형태로 단결정이 얻어지지 못하고 박막으로만 얻어지고 있으며, 오직 α 상(주로 4H-SiC나 6H-SiC)만이 1인치 크기의 bulk로 얻어지고 있다.

따라서 질화물 반도체 입방형 에피박막 성장을 위한 새로운 형태의 기질(4인치 이상) 개발이 절실히 요구되고 있다. 현재 고휘도 청녹색 LED를 중심으로 시장이 형성되고 있는 질화물 반도체 소자시장은 향후 DVDR용 단파장 LD, 자외선(UV) 검출기, 고온/고출력 전기소자 등 새로운 응용 분야가 대두되면서 그 크기가 엄청날 것으로 예상되고 있다.

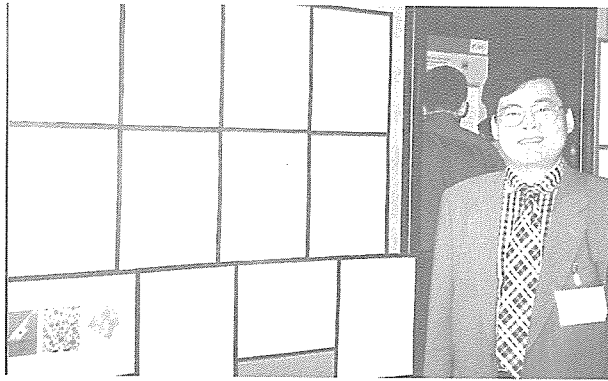


한 예로 1998년도 청녹색 고휘도 LED의 세계 시장은 약 1억4천만달러 규모였으며, 전년 대비 100% 이상 신장하였다. 이는 옥외 전광판의 수요 확대에 기인한 것으로 향후 시장은 더욱더 큰 신장을 하리라 예상되고 있다. 특히 천연색 옥·내외 전광판 시장은 2000년대에 1억달러 규모로 신장하여 전체 전광판의 25% 시장 점유가 예상된다.

23시간 비행끝에 도착

필자는 한국과학재단의 후원으로 지난 7월 5일부터 9일까지 5일간 프랑스 남부 지중해 연안에 있는 Montpellier시에서 열렸던 제3회 국제 질화물 반도체 학술회의(이하 ICNS-3로 표기함)에 참석하였다. 올 여름은 IMF 이후 가장 많은 사람들이 해외(특히 유럽)로 관광이나 휴가를 떠나는 바람에 비행기표 구하기가 힘들었다.

천만 다행으로 출발 1주일 전에 직행은 아니지만 방콕 경유 파리행 비행기표를 구하여 파리로 향할 수 있었고 다시 파리에서 TGV 사전을 예약을 못한 관계로 보르도시를 경유하는 야간열차를 이용, 서울 출발 후 23시간만에 겨우 Montpellier시에 도착할 수가 있었다. 필자가 학술회의 장소에 도착한 날은 학회 첫날 오전일정이 거의 끝나가고 있는 무렵이었으나 다행히도 필자가 꼭 듣고 싶었던 두번째 기조강연이 시작될지 얼마되지 않아서 이번 ICNS-3 학회 참석의 첫번째 소기의 목적은 달성할 수 있었다. ICNS-3 학회는 국제전자전기학회(IEEE), 전기소자학회(EDS)



▲ 필자가 학술회의 첫날 오후에 두편의 논문을 poster로 발표하는 모습

및 프랑스 과학기술연구원(CNRS) 그리고 프랑스 Montpellier대학의 공동 주관하에 열렸으며, 질화물 반도체 관련 단일토픽 학회답게 1개의 특별강연, 3개의 기조강연, 19개의 초청강연 및 3백70개의 논문발표(oral : 52편, poster : 3백18편)와 1개의 Round table discussion 등의 매우 다양한 프로그램으로 진행되었다.

주요 참가국과 참가자 규모를 살펴보면 프랑스, 일본, 독일, 미국, 영국 순(일본은 아시아 국가임에도 85명이나 참석할 정도로 아직까지는 이 분야에서는 선도국가임)으로 세계 15개국에서 많은 학자들이 참가하였고, 실제 등록된 참가자만 5백22명으로 우리나라에서는 총 13명이 참석하여 19편(oral : 1편, poster : 18편)의 논문을 발표하였으며, 전체 15개국 중 6번째로 발표편수가 많았던 단일규모로는 대단히 큰 학회였다.

지난 97년 ICNS-2와 그 규모를 비교해 보면 발표 논문수에서 1백40편이나 증가한 것으로 분석되었는데 이는 이 분야의 최근 연구동향이 얼마나 활발한지를 잘 말해주는 것이라

하겠다. ICNS는 1995년 미국의 보스턴에서 처음으로 개최된 이래로 2년마다 정기적으로 개최되는 질화물 반도체와 관련된 세계적으로 유일한 단일토픽의 학회로서 역사는 짧지만 이

분야에서는 가장 크고 권위있는 학회로 평가되고 있는 학회이다.

회의 첫날의 주된 주제는 GaN과 InGaN을 base로 한 발광다이오드(LED) 및 반도체 레이저 다이오드(LD)의 최근 연구동향과 산업체에서 바라보는 시장전망 그리고 이들 소재들의 물리적, 전기광학적 연구에 초점이 맞춰져 있었으며, 특이한 것은 저녁에 마련된 2시간의 poster session이 끝나고 같은 장소에서 welcoming cocktail 시간을 자연스럽게 연이어서 진행하므로써 많은 사람들이 서로의 관심사를 토의할 수가 있어서 최신 정보를 얻는데 큰 도움이 되었다고 생각한다.

필자의 발표논문 큰 관심

필자 역시 학회 첫날 2편의 논문을 poster를 통하여 발표하였는데, 이번엔 필자가 발표한 논문은 1996년도부터 그동안 미국 코넬대학교(미국 NSF지정 질화물연구센터가 있음) 및 한국화학연구소 그리고 KAIST와 공동으로 연구한 (1) 새로운 단일분자 전구체들을 이용한 규소(100) 표면위의 질화알루미늄(AIN) 및 질화



갈륨(GaN) 박막들의 기상화학 증착, 그리고 (2) 새로운 유기붕소 화합물들을 전구체로 이용한 규소 기질 위의 질화붕소(BN) 박막들의 성장 연구 결과들로서 후자의 논문은 학회 참석자들로부터 지대한 관심과 주목의 대상이 되었고 많은 질문과 함께 별쇄본 요청을 받았다.

이들 연구를 수행한 목적과 배경을 간략히 설명하면 첫째, InGaN, AlGaN을 주 재료로 한 청색 반도체 LD 개발용 GaN 박막 성장(주로 사파이어나 산화물 기질 위에 성장함으로 접촉저항이 비교적 크다는 문제점이 있음)시 AlN가 완충층으로 사용됨이 가장 효과적이라는 사실에 기인하며, 둘째 최근에 미국의 한 연구진이 SiC 박막을 완충층으로 사용하여 GaN을 규소 기질 위에 적층 성장시킬 수 있다고 발표하였고, 또한 GaN/SiC/Si 구조를 사용하여 청색 LED 및 LD 개발에 성공할 수 있다고 발표하면서 완충층을 이용한 GaN 성장법이 각광받게 되었기 때문이다.

셋째, 필자는 현재 Field Emission Display용 소재로 활용이 기대되는 다이아몬드 박막 성장시 질화붕소(BN)가 완충막으로 사용되고 있음에 착안하여 GaN과 격자불일치가 비교적 작고 열팽창계수의 차도 적은 BN이 GaN/BN/Si 구조를 구현하는데 안정맞춤일 것이라 생각하여 BN 박막을 기존의 제조방법 보다 훨씬 낮은 증착온도(1000℃ 이하)에서 새로운 전구체를 이용하여 성장하려고 하였다. 뿐만 아니라 BN은 자체가 갖고 있는 우수한 물리적 성질

때문에 고온, 고압, 고진동수에서 작동하는 소자재료로의 활용성이 최근에 대두되면서 이 분야(특히 차세대 내환경 박막재료 개발)의 연구가 활발히 이루어지고 있어서 내환경 신소재개발 측면에서 이 연구를 수행하게 되었다.

회의 둘째날에는 필자가 현재 주로 연구하고 있는 분야인 여러 III-V 반도체 소재(AlN, GaN, InN 등)에 대한 다양한 박막성장기법 소개와 성장된 박막들의 광학적, 전기적 특성 관찰 결과들에 대한 논문들이 발표되었으며, 오후에는 첫날과 마찬가지로 poster session을 2시간 진행한 후에 질화물 반도체 연구분야의 대가인 6명의 penalist를 앞에 두고 이번 학회 참가자들이 궁금한 사항이나 앞으로 해결해야될 과제 및 전망 그리고 그들만이 갖고 있는 know-how 등에 대한 질문과 답변을 갖는 시간을 2시간 동안 진행하였다.

이러한 Round table discussion은 모든 참석자들에게 공통적으로 갖고 있는 고민이 무엇인지 느끼게 하는 계기가 되었고 앞으로 질화물 반도체 연구분야가 나아갈 방향은 무엇이고 공통적으로 해결해야할 숙제는 무엇인지 알게되는 자리가 되었다. 회의 셋째날에는 지금까지 일본 위주로 주도되던 LED 및 LD 개발연구가 미국으로 그 무게 중심이 서서히 움직이고 있음을 실감나게 하는 3편의 초청강연이 있었고, 이때 지난해 LED 시장 점유율도 미국의 Cree사가 40%로 선두에 뛰어올랐다는 새로운 사실을 발표하여 참석자들을 놀라게 하였다.

특히 미국 Cree사에서 온 K. Doverspike박사의 강연과 캘리포니아대학(Santa Babara)의 S. Denbaars교수의 강연은 앞으로 GaN 박막 성장용 기질이 사파이어에서 SiC로 대체되어야만 더 좋은 휘도를 갖는 LD 개발이 가능하다는 점과 고전력/고진동수의 전기소자 구현이 가능하다는 점을 그동안의 실험 결과로 입증함으로써 참석자들로부터 많은 호응을 받았다.

또한 필자가 미국 코넬대학교 재료과학센터에서 연구원으로 일할 때 함께 질화물 반도체 관련 연구를 공동으로 수행하였던 전기공학부의 Lester F. Eastman교수도 이날 초청강연에서 GaN을 기본 base로 한 고전압 전기소자(HEMT's) 개발에 대한 지금까지의 결과 및 앞으로의 전망을 소개하면서 SiC와 같은 전도성이 좋은 기질의 중요성을 강조하였으며, 이날 오전 일정의 마지막에는 지난 30년간 이 분야를 개척해온 일본 Meijo대학 전기전자공학부의 I. Akasaki교수를 위한 특별강연이 개최되어 1967년 갈륨비소(GaAs) LED 개발(GaN based LED 개발은 1974년부터 시작됨)에서부터 지금까지의 연구 동향을 참석자들에게 들려주었고 앞으로의 전망을 예견하여 모든 청중들로부터 기립 박수를 받았다.

그리고 오후에는 이번 학회 참석자 중 우리나라 사람으로는 유일한 oral speaker인 포항공대 이종남교수가 삼성종합기술원과 공동으로 연구 수행한 결과인 여러 화학물질로 p-형 GaN의 표면을 처리해 주면 Omic



접촉저항을 크게 감소시킬 수 있다는 실험결과 및 이러한 현상이 Fermi level pinning 이론으로 설명된다는 발표를 하자 발표장 분위기는 크게 고조되었으며, 많은 참석자들로부터 관심과 주목을 받았다. 이날 저녁도 전담과 마찬가지로 마지막 poster session이 2시간동안 진행되었으며, 그 이후에는 조그마한 음악회가 개최되었다.

회의 네번째날 오전에는 주로 GaN, InN, AlN으로 구성된 합금 소재 제조 및 방법 그리고 그들의 물성 비교연구에 대한 결과들이 주로 발표되었고, 오후에는 양질의 대면적 질화물 반도체 화합물들을 성장시킬 수 있는 장치 및 doping 기술 등에 대한 발표가 주로 있었으며, 저녁에는 버스로 1시간 정도 떨어진 지중해변의 Valmagne Abbey에서 Conference Banquet이 8시부터 11시까지 3시간동안 정통 프랑스식으로 진행되었다. 회의 마지막날에는 오전에 III-V 반도체 소재의 선택적인 영역성장 및 epitaxial lateral overgrowth에 대한 기조 강연이 있었으며, 이후에는 이들 두 성장 기술과 연관된 논문 발표 및 박막이나 기질에 결함수를 줄이는 연구에 대한 논문들이 오전내내 발표되었고 모든 발표는 12시 15분에 끝났다. 그리고 바로 폐회식이 거행되어 이번 학회의 규모, 참가국 및 참가자수, 논문발표수, 그동안 수고한 모든 학회 임원진에 대한 격려의 박수를 끝으로 2년 후 미국 콜로라도주 Boulder사에서 다시 만나기로 하고 금번 학회의 대단원의 막을 내렸다.

산·학·연 그룹연구 절실

GaN 관련 반도체소재 관련연구는 국외에서는 아주 오래 전부터 시작되어 벌크성장, 에피성장, 소자공정, 소자물성, 표면 및 계면 등 여러 분야에 걸쳐 골고루 수행되고 있다.

미국은 DOD와 DARPA 등으로부터 GaN 관련 반도체 소자기술 개발 연구에 연 8천만달러 규모의 연구비를 투자하고 있는데 외형적으로는 군사목적의 개발에 직접 지원하는 것처럼 보이나 실질적인 개발내용은 대부분 소자개발·제품·응용기술개발로 3M, Cree, APA Optics 등 동 분야의 주요기업들이 주축이 되어 이를 대학에서 대거 개발, 지원하는 양상을 취하고 있다. 이는 국방관련 부서들이 기업, 대학에 직접 지원함으로써 상무부나 NIST를 통해 지원할 경우 예상되는 WTO 규범 문제를 우회하기 위한 전략이다. 가까운 일본도 1974년 국가 주도의 Sunshine 프로젝트를 수립한 이래 1980년 NEDO 설립 및 1993년 종합적인 기술개발을 위한 새로운 프로그램을 수립하여 실용화 과제를 추진중이다.

국내의 경우 삼성종합기술원을 비롯한 일부 연구소에서 사파이어 위에 성장시킨 GaN을 이용하여 LED의 제작에 일부 성공한 상태이나 이보다 강한 휘도를 나타내는 LD의 제작에는 아직 진전이 없는 상태이다. 이와 같은 GaN을 이용한 LD의 제작이 어려운 이유 중의 큰 요소가 LD를 제작하기 위하여 필요한 laser facet 혹은 鏡面을 제작하기 어렵다는 점에 있다. 한편 국내의 SiC에 관한 대부

분의 연구는 현재 대학에서 주로 이루어지고 있으며, 그 내용으로는 박막의 성장, 결정성의 분석, 전기적 측정, Schottky 다이오드와 같은 아주 간단한 소자의 제조, 박막의 식각 등을 들 수 있다. 최근 한 기업 연구소에서는 SiC 단결정의 성장을 연구하여 썩 좋은 물성의 단결정은 아니지만 bulk 단결정을 성장하였다. 또한 1997년도 정보통신부 국책 기술 개발사업 계획인 'SiC계 내환경 신소자/재료기술 개발'이 수립되어 시행되고 있다. 따라서 이 사업이 종료되는 시점에 이르면 SiC 관련 간단한 반도체 소자를 국내에서도 제조할 수 있을 것으로 기대되며, 연구개발의 수준도 점차 높아지리라 기대한다. 따라서 SiC 단결정으로부터 웨이퍼가 공급될 수 있으면 GaN 관련 반도체 연구 뿐만 아니라 탄화규소 박막 연구도 좀 더 활발하게 진행되리라고 믿는다.

그러나 우리나라가 보다 더 시급히 해결해야 할 문제는 화합물 반도체의 에피성장 기술 즉, 고품질의 박막 결정 구조와 광전특성을 필요로 하는 소자의 개발을 위한 필수적인 기술인 박막 성장 기술을 빠른 시일 내에 제품으로 연계시키는 안정화된 생산기술로 발전시킬 수 있어야 한다는 것이며, 이를 위해서는 지금까지의 독자적인 연구에서 벗어나 앞으로는 산·학·연 연구그룹을 형성하여 국가의 전략과제로 삼아 공동으로 수행함으로써 선진국가 지적 재산권을 반드시 확보하고 반도체 지식산업 전반에 걸친 효율적인 활용 및 기여도를 증대시켜 나가야 한다고 본다. ①7