

광기술 연구 개발 현황

UCSB 광기술 연구 동향

이종창
홍익대학교 전자공학과
wave@hongik.ac.kr

서론

UCSB(University of California, Santa Barbara)는 최근 Newsweek 지에 의해서 미국 내 가장 열기 있는 12개 대학에 선정된 바 있는데, 그 급 부상의 주 요인은, Nobel 상 수상 등 여러 분야에서 인식되기 시작한 학술적인 평판과 캠퍼스의 우아한 경관이라고 밝히고 있다. 부러울만한 좋은 날씨와 쾌적한 학술 환경으로 인해 한때 김대중 전 대통령도 이곳에 머물렀던 연유로 해서, UCSB 총장 Henry Yang 박사는 Nobel 상 수상 축하행사에서 화학상 (A. Heeger), 물리학상 (H. Kroemer)과 더불어 평화상까지 2000년 한 해에 3개의 Nobel 상을 석권하였다고 자랑스럽게 선언한 바 있었다. 지금도 많은 초빙연구원과 객원 연구원들이 천혜의 경관을 즐기며 좋은 연구환경을 구축해 나가고 있으며 한국의 광기술 분야에서도 한양대 심종인 교수와 서울대 이병호 교수가 이들과 함께 하고 있다.

UCSB의 광기술 역사의 시작은 최초의 Quantum well LD를 성공시킨 Bell Laboratories의 연구원들이 UCSB의 교수진으로 대거 초빙되어 온 1980년대 초반으로 거슬러 간다. 재료공학과와 A. C. Gossard 와 P. M. Petroff 교수를 중심으로 한 MBE 팀과 L. A. Coldren 과 J. E. Bowers 교수를 중심으로 한 광소자 팀, E. Hu와 J. Merz 교수를 중심으로 한 양자 전자소자 팀, 그리고 W. Kohn(1998년 Nobel상 수상)과 H. Kroemer 교수를 중심으로 한 이론 팀이 합류하여 CO-SEARCH(Compound Semiconductor Research Center)를 구성하여 화합물 반도체 분야의 다제간 연구협력기구를 구성하였다. 이를 바탕으로 1988년 QUEST(Quantized Electron Structures)를 구성하여 NSF의 연구센터를 유치한 이후 OTC(Optical Technology Center), MOST (Multidisciplinary Optical Switching

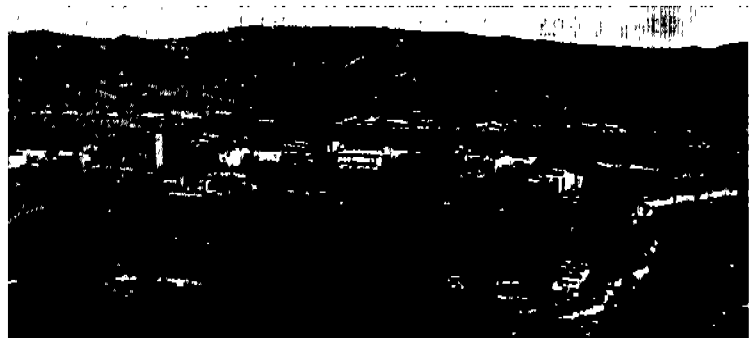


그림 1. 3면의 태평양과 blue lagoon으로 둘러싸인 UCSB campus 사진

Technology), MRL (Material Research Laboratory), CNSI (California Nano-Systems Institute), Nanofab을 중심으로 한 NNUN (National Nanofabrication Users Network), iQUEST (Institute for Quantum Engineering, Science, Technology)가 연이어 발족되어 1993년 이후 십년간 연구공간 및 연구인력이 배 가까이 늘어났다. 아래 표에서 볼 수 있듯이 외부 연구비 수탁도 1993년의 \$73M에서 2002년 \$130M으로 증가하여 외부환경과 무관하게 꾸준하게 성장하였다. 이외에도 CNSI와 Nanofab 등을 통하여 생물학 및 화학 분야와의 다제간 연구가 활성화되고 있으며 특히 이론물리학연구소(Kavli Institute for Theoretical Physics)를 통하여 신과학 (A New Kind of Science?)에 대한 연구가 하나의 새로운 과학분야로 자리 잡아가며 신기술의 가능성을 꿈꾸고 있다.

본 동향보고서에서는 앞서 언급한 여러 연구기구의

특성 및 조직 등을 Optoelectronics 와 Materials, Nanotech 부분으로 나누어 간단하게 언급하고자 한다. 보다 자세한 내용은 관련 web page(www.ucsb.edu)들을 통하거나 혹은 관련기구의 연락처를 통해 구할 수 있으리라 본다.

UCSB Sponsored Project Award Totals
Fiscal Years 1993-2002

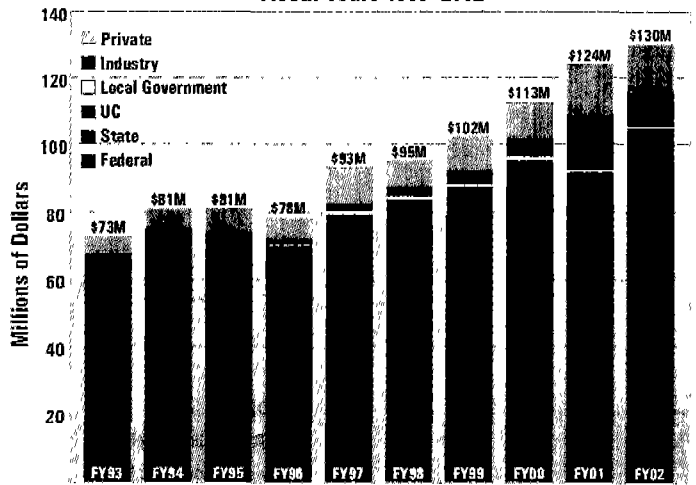


그림 2. 1993-2002 회계연도의 UCSB의 연구비 수탁고

광전자 기술 분야

광전자기술(Optoelectronics) 분야는 MBE lab과 CO-SEARCH 등을 통해 축적된 화합물 반도체 기술과 1990년대 초에 시작된 Thunder and Lightning Project를 통한 40GHz 광전송 기술을 바탕으로 괄목할 만한 성장을 보였다. 최초의 sub-mA vertical-cavity laser (VECSEL) 발진 (L. A. Coldren) 과 최대 변조 대역폭을 갖는 DFB LD (J. E. Bowers) 등의 연구결과를 통하여 1993년 경 OTC(Optoelectronics Technology Center)가 발족되어 현재 광전자 기술 분야의 중심점이 되고 있다. 주 연구분야는 VECSEL과 Photodetector (PD) array 및 이성물질 (heterogeneous) IC의 집적화에 초점을 맞추고 있다. 이를 통하여 차세대 parallel computer interconnection 과 데이터전송망을 구축할 수 있는 신소재 및 신물질을 개발하려고 한다. 이 OTC의 구성인력은 크게 광전자그룹(전기전산공학과)과 재료분야(재료공학과)로 나누어지며 이 중 1/3 이상이 두 학과에 공동으로 적을 두고 있다. 이들을 간단히 소개하면 아래와 같다.

1. 광전자 그룹

- D. Blumenthal (blumenthal@ece.ucsb.edu): 광통신망, WDM, 광 packet switching, 광소자를 이용한 신호처리, 파장변환, microwave photonics 등을 전공하고 있으며 2001년 명지대의 신서용교수가 일년간 방문연구를 하였다.
- J. E. Bowers (bowers@ece.ucsb.edu): 초고속 광전자 소자, 광집적회로, 레이저 물리학, 화합물반도체 재료 처리, 광통신시스템 등을 전공하고 있으며 현재 한양대의 심종인 교수가 방문연구를 수행하고 있다.
- L. A. Coldren (coldren@ece.ucsb.edu): 반도체 광집적회로, 광도파로변조기, 파장가변 VECSEL, 광통신, 반도체성장 처리 기술 등을 전공하고 있으며 OTC 소장을 역임하고 있다. KIST의 최원준 박사가 방문연구를 수행한 적이 있다.

- N. Dagli (dagli@ece.ucsb.edu): 광도파로 집적회로 설계 제작, 고체 마이크로파소자, 양자간섭계 및 양자 전자도파로 소자 등을 전공하고 있으며 광운대의 정영철 교수와 저자가 학위를 받았다.
- S. Denbaars (denbaars@engrhub.ucsb.edu): MOCVD, 광전소자 및 재료, 성장 및 적층기술 등을 전공하고 있으며 성균관대의 정원국 교수와 USC 동문으로 한국에 잘 알려져 있다.
- A. C. Gossard (gossard@engrhub.ucsb.edu): 재료성장, 인조 구조 재료, 반도체 광전자 구조, 양자소자 구조 등을 전공하고 있다.
- E. L. Hu (hu@ece.ucsb.edu): 초정밀 반도체 소자 제조, 반도체 결합 처리, 접합 표면 연구, 초전도체 등을 연구하고 있다. 현재 iQUEST의 소장을 역임하고 있다.
- A. Imamoglu (atac@ece.ucsb.edu): 양자광학, mesoscopic 구조의 잡음억제, 비파괴 양자 측정, 전송자농도 비반전 레이저 기술 등을 전공하고 있으며 현재 스위스 취리히를 방문중이다.
- H. Kroemer (kroemer@ece.ucsb.edu): MBE, 이성접합, 화합물반도체소자, 고체물리학, 반도체/초전도체간 합성소자 등을 전공하고 있으며 Nobel 상 수상후 2001년 한국을 방문한 바 있다.
- S. I. Long (long@ece.ucsb.edu): 초고속전자소자, 제조기술, 초고속 디지털 및 아날로그 집적회로 설계 기술 등을 전공하고 있다.
- U. Mishra (mishra@ece.ucsb.edu): 초고속 광전소자, 미세전자용 진공기술, 양자 광학, 3차원 집적화 기술 등을 전공하고 있다.
- P. M. Petroff (petroff@ece.ucsb.edu): 결정성장, 반도체 결합 및 접합에 대한 TEM 및 분광연구, 양자선 및 양자점 연구를 전공하고 있으며 CO-SEARCH 소장을 역임하고 있다.
- M. J. W. Rodwell (rodwell@ece.ucsb.edu): 초고속 전자소자, 밀리미터파용 heterostructure bipolar transistor (HBT), 밀리미터파 집적회로, THz resonant-tunneling diode, picosecond photodetector 등을 연구하고 있으며 현재 Nanofab 소장을 역임하고 있다. 광기술원의 김희종 박사 등이 방문연구를 수행한 적이 있다.
- P. Yeh (pochi@ece.ucsb.edu): 비선형 광학, 위상공액, 동적 홀로그래프, 광컴퓨팅, 광인터커넥션, 신경망, 광영상처리 등을 전공하고 있으며 서울대 이병호 교수등이 방문연구를 수행하고 있다.
- R. A. York (rayork@ece.ucsb.edu): 준광학 전자공학, 전력합성기술, 전자기이론, 안테나, 비선형회로, 밀리미터파회로 등을 전공하고 있다.

광전자기술 부분은 UCSB 내부 뿐만 아니라 대외적으로 공동 연구 consortium을 구성하여 활발한 연구를 수행하고 있다. 이중 대표적인 프로그램으로는 CHIPS (Center for Chips with Heterogeneously Integrated Photonics)가 있으며 UCSD (S. Esener), UCLA (M. Wu), UCI (P. Rentzepis), USC (D. Dapkus), Caltech (K. Vahala), UT (J. Campbell) 등 6개 대학과 공동으로 신구조 핵심 광기술을 개발하고 있다. 이 프로그램의 주요 연구 분야는 다음과 같다.

- Nano, Meso and Near field optics
- Photonic Bandgap and Quantum Dot lasers
- 가변파장 LD, PD, 반도체 광증폭기 어레이
- 초집속형 체적 미세 광학
- 광 Pick&Place 및 Nanophotonic machining system (NOEMS)

이를 통하여 nanophotonics 및 biochip 구현을 목표로 하고있다.

2. 재료기술 그룹

광전자 그룹의 교수중 Coldren(25%), Denbaars(75%), Gossard(75%), Hu(25%), Kroemer(25%), Petroff(75%) 교수는 재료공학과에도 공동으로 적을 두고 있다. 이들 외에 재료공학 그룹 중 광기술 분야 전공의 교수진을 소개하면 다음과 같다.

- A. J. Heeger (ajh@physics.ucsb.edu): 전도성 폴리머, 발광 폴리머, 유기물질의 광특성 연구 등을 전공하고 있으며 2000년

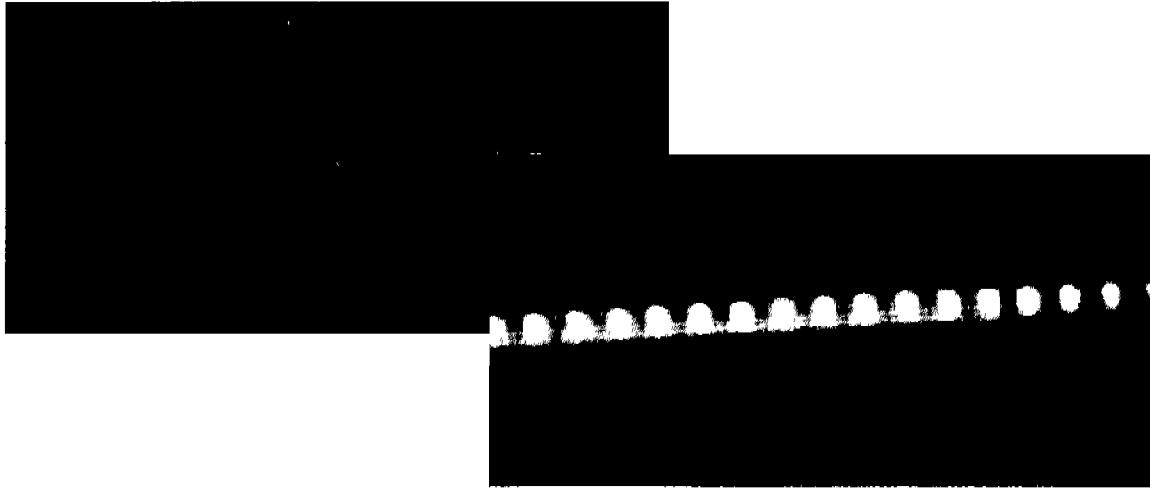


그림 3. Mesostructured waveguide 패턴을 soft lithography로 제작한 mirrorless laser의 발진전후의 광출력 이미지 (Science, 287, 465, 2000)

Nobel 화학상을 수상하였다.

- E. Kramer (edkramer@mrl.ucsb.edu): Polymer 합성, 전자부품 패키징을 위한 폴리머 계면 성장 기술 등을 전공하고 있다.
- N. MacDonald (nmacd@engineering.ucsb.edu): 광 MEMS (optical electromechanical system), optical mirror array, MEMS를 이용한 photonic bandgap 소자 개발을 전공하고 있다.
- S. Nakamura (shuji@engineering.ucsb.edu): GaN 계열 MOCVD 성장 기술 및 청색 LD를 전공하고 있다.
- D. Pine (pine@mrl.ucsb.edu): complex fluid를 이용한 macroscopic mesoscopic 구조 합성 및 광학적 특성 분석, macroporous 물질 합성을 이용한 photonic crystal 을 전공하고 있다.
- J. A. Speck (speck@mrl.ucsb.edu): 박막 전자재료, MOCVD, MBE, TEM, SEM 기술 등을 전공하고 있으며 이를 이용하여 InGa_N QW 소자를 연구하고 있다.
- G. D. Stucky (stucky@chem.ucsb.edu): 생물재료, patterned composite materials, mesoporous 재료 등을 전공하고 있다.

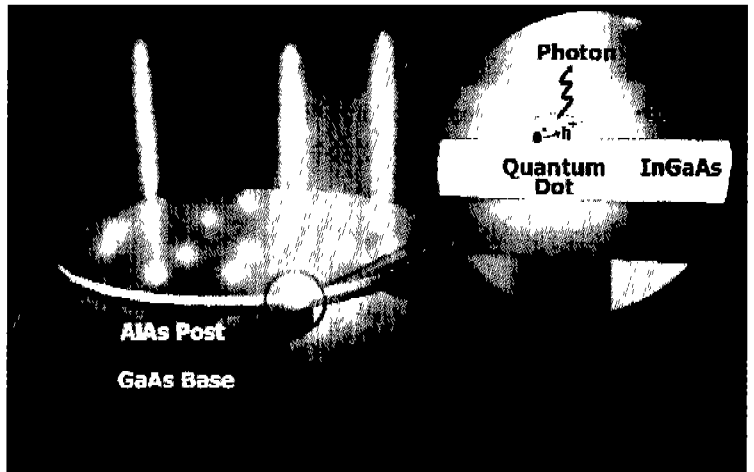


그림 4. Quantum dot single-photon turnstile device

재료기술분야는 1992년 발족된 MRL (Materials Research Laboratory)을 중심으로 재료공학, 전자공학, 물리학, 화학, 생물학 등의 다제간 (interdisciplinary) 연구교육을 수행하고 있다. 그 주요 연구 분야를 열거하면 아래와 같다.

- 생물재료 미세구조(Biomaterial Microstructures): 생물체에서의 계면상의 self-assembly에 대한 연구를 수행하고 있으며 이 분야 연구책임자는 P. Pincus (fyl@sbphy.physics.ucsb.edu) 이며 주로 BT/NT 융합기술을 연구하고 있다.
- 분자 및 원자 계면에서의 무기물질 합성기술 (solution synthesis of Inorganics at Molecular and Atomic Interfaces):

nanoporous 및 mesoporous 재료 및 생체모방 (biomimetics)을 통한 나노구조 합성기술을 개발하고 있으며 이 분야 연구책임자는 F. Lange (flange@engineering.ucsb.edu) 이다.

- Mesoscopic macromolecular assembly: mesoscopic scale (10-50 nm)을 갖는 이중접합 분자구조를 합성 처리하는 기술을 개발하여 이를 전기, 광학 및 생명공학 분야에 응용하는 연구를 수행하고 있으며 이 분야 연구 책임자는 E. Kramer (edkramer@mrl.ucsb.edu)이다. 최근 이 연구그룹의 Chmelka 교수의 soft lithography 기술을 응용하여 거울이 없는 레이저를 발표한 적이 있다.
- 자기정렬 Quantum dot 기술 (self-assembly quantum dots): 새로운 기술 여건에 대응하기 위한 소그룹 연구활동의 일환으로 시작된 seed project 중의 하나인 self-assembly quantum dot의 2D/3D 정렬을 위한 자기정렬 마스크 기술은 아래 그림과 같은 single-photon turnstile device를 개발하여 양자암호화 기술에 응용하려 한다. 이 연구 책임자는 Petroff과 화공과의 Pine 교수이다.

나노기술 분야

UCSB 광전자 분야의 장점 중 하나는 1980년대부터 구축된 MBE 및 MOCVD를 중심으로 한 화합물 반도체 성장 기술 및 양자선/양자점 구현 기술이라 하겠다. 여기에 최근 완성된 Nanofabrication 시설은 재료분야 뿐만 아니라 광전자 기술 분야의 경쟁력을 한층 더 높일 수 있을 것이다. 특히 화합물 반도체를 주요 대상으로 lithography, 박막 증착, 에칭 등 전 공정에 대한 시설을 구비함으로써 광전자, 초고속 전자소자 및 미세구조 소자 제작을 위한 첨단 기술을 구축하고 있다. 이 Nanofabrication 시설은 Cornell, Howard, Penn State, Stanford와 더불어 NNUN (National Nanofabrication Users Network)을 상호 비교를 통하여 일정 수준을 유지하게 하였고 User 그룹에 문호를 개방함으로써 신기술 연구 환경을 향상시키고 있다. 이 시설은 연구 그룹 뿐만 아니라 고3 (K12) 그룹 및 학사과정 학생에게도 문호를 개방하여 방학 기간 5주 동안 숙식을 제공하는 intern 제도를 활성화하여 대학원생으로의 진학을 유도하고 있다. 일단 광전자 그룹으로 진학하게 되면 220 강의 시리즈를 통하여 대학원생 전원이 MOS, HBT, LD 등의 광전자 소자를 직접 제작할 수 있는 실습 환경을 제공하고 있다. 본 단락에서는 UCSB의 Nanofabrication 시설을 열거하고 다음 단락에서는 이를 통한 연구내용을 기술하려 한다.

1. Nanofabrication 시설

UCSB Nanofabrication 시설은 class 100 과 class 10000 구역으로 이루어진 500 평 규모의 세 청정실에 구비되어 있다. 현재 1000 평 규모의 단일 청정실을 새로 갖추면 이 곳으로 이전할 계획을 갖고 있다. 이 곳에 갖춰진 시설을 간단히 열거하면 아래와 같다.

- lithography: 광학적 lithography 시설은 Karl Suss aligner (해상도 1 마이크로 정도)이고 후면 적외선 조명장치를 옵션으로 구비하고 있다. GCA 6300 5배 축소 i-line stepper를 이용하여 해상도를 0.5 마이크로로 감소하고 있다. 이 시스템을 이용하게 되면 18mm X 18 mm 면적에 해상도 0.7 마이크로를 갖는 lithography 기술을 구현할 수 있다고 한다. E-beam writer는 JEOL JBX-5DII 모델이며 해상도는 50 nm 이라고 한다.
- deposition: 증착용 시설로는 SiO₂ 및 SiN 증착용 PECVD, 금속과 유전체용 e-beam 증착기, sputterer 그리고 thermal evaporator가 있다.
- annealing: 3 cm X 3 cm 크기의 strip annealing 장치와 4 인치용 rapid thermal 장비를 구비하여 각종 접합 및 dopant activation 및 implant damage annealing을 수행할 수 있다.
- etching: dry etching을 위한 장치로는 화합물반도체용 (Cl₂, BCl₃, SiCl₄ 및 methane/hydrogen 복합체), Si, SiN, SiO₂ 용

(CF₄, SF₆, CHF₃), polymer 용 (CF₄, O₂) 등등의 장비를 갖추고 있다. 이 외에도 ashing, RIE, ICP 등등이 있다.

- packaging: M-8A Flip chip aligner bonder 등을 갖추고 있으며 그 외 다수의 home-made scribe 등이 있다.
- measurement: SEM, Normaski optical microscope, ellipsiometer, dektak profiler, AFM, parameter analyzer 등이 있다.

이 외에 재료공학과와 광전자 그룹의 내부 설비를 이용하여 STM, TEM, photoluminescence spectroscopy, X-ray diffraction, Scanning Auger Microscopy, DLTS 등의 특성분석을 수행할 수 있다. 이 외에 MBE/MOCVD 연구실 및 광전자그룹 및 재료분야 연구실에 산재한 설비는 웹 홍보 자료([http://www. nanotech.ucsb.edu/equipment.htm](http://www.nanotech.ucsb.edu/equipment.htm) 과 [http://www.ece.ucsb.edu/admissions/ ab-ep.htm](http://www.ece.ucsb.edu/admissions/ab-ep.htm))에 잘 나타나 있다.

2. NanoTech 연구 주제

Nanofabrication 시설을 관장하는 기구로서 NanoTech 연구소가 있으며 이 연구소의 주요 연구주제를 열거하면 아래와 같다.

- room temperature quantum dot lasers (J. E. Bowers)
- multi-photon assisted terahertz quantum transport in quantum structures (S. J. Allen)
- segmented lasers with 400% differential quantum efficiency (L. A. Coldren)
- CWDM VCSEL arrays by lateral heterogeneous integration (J. E. Bowers)
- tunable DBR lasers utilizing quantum well intermixing (L. A. Coldren)
- SEM of processed InGaN laser diodes (S. Denbaars)
- microbolometer infrared detectors (InfraredVision Technology Corporation)
- GaN NPN bipolar transistors (U. Mishra)
- HBT single stage amplifier with 6.3 db gain at 174 GHz (M. Rodwell)
- high performance phase shifters using (Ba,Sr)TiO₃ thin films (R. A. York)
- GaN HEMTs with record frequency-power (CREE Light Company)
- nanoscale tunnel junction (A. Cleland)
- components for quantum logic using electrons on a dielectric film (UCSD)
- photonic bandgap resonators for quantum dot emitters (E. Hu)
- spin-polarized LED (D. Awschalom)
- controlled ordering of self-assembled quantum dots on nanopatterned stressor layer (P. M petroff)
- THz photoresponse: plasmon coupled double quantum well (X. Peralta)
- monolithic biochemical sensor for arrayed immunoassays (D. Cohen)
- multilevel single mask bulk single crystal silicon MEMS for optical devices (N. C. MacDonald)
- integrated cantilever magnetometry of (In, Mn) As (A. C. Gossard)

위 주제에 대한 개요는 <http://www.nanotech.ucsb.edu>에서 찾을 수 있다.

3. NanoTech의 광전자 분야 응용

Nanofabrication 시설을 발판으로하여 UCSB는 NT 분야에서 활발한 연구분야를 보여주고 있다. 초기에는 QUEST를 통해 극 미세양자구조 연구에 치중하였으나 이후 iQUEST로 변환되는 과정에서 terahertz, nonlinear, spintronics 및 quantum computation 으로 그 응용분야를 넓혀가게 되었다. 특히 2000년에는 UCLA와 함께 multi-campus 연구기관인 CNSI

(California NanoSystems Institute)를 유치하면서 biology, chemistry 분야와 본격적인 다제간 연구가 시작되어 아래와 같은 목표를 설정하고 연구를 추진하고 있다.

- 전등을 대체하기 위한 고효율 교체 백색 광원
- 광 스위칭, 다중화, 광신호 처리용 획기적인 광집적회로 및 소자
- 차세대 정보저장 장치를 위한 molecular electronic, spintronics, photonics 및 quantum computing
- 고효율 고속반응 의약품 molecular medicine
- 인체 생리 이상을 현저하게 조기 진단할 수 있는 장치

이렇게 시작한 CNSI 프로그램은 UCLA의 J. Heath 교수의 molecular electronics 분야와 UCSB의 D. Awschalom 교수의 spintronics의 연구결과를 대표적인 연구성과로 들고 있다. 이 프로그램은 2002년 D. Awschalom 교수의 기치 아래 기존의 두 학교와 UC, Riverside 외에도 Los Alamos National Lab 과 10 개의 산업체 (Boeing, DuPont, HP, Hughes, Motorola, NanoSys, Northrop Grumman, Rockwell Scientific, Raytheon, TRW)가 합류하여 CNID(Center for Nanoscience Innovation for Defense)로 확대되었다. 이 프로그램의 동기는 지난 10여년간 산업체에서 사라져간 기초연구시설을, 실험적으로 비교적 산학연계 경력이 있는 교수진들을 결속시켜 대학에다 부활시킴으로써, 장래 신기술을 확보하는데 두고 있다. 국방과 과학 분야의 정책 입안자들이 아직은 기초연구의 과실을 향유하고 있으나 곧 그 내용이 고갈될 것으로 예상하고 조속히 산업체 인력이 대학의 기초 연구 동향과 결과를 공유할 수 있도록 이와 같은 연구센터를 설치하고 있다. UCSB에서의 CNID 연구 초점은 크게 아래의 네 분야에 모아지고 있다.

- spintronics 및 양자 정보 처리: UCSB의 Center for Spintronics and Quantum Information Processing 연구소의 D. Awschalom 교수를 중심으로 한 spintronics 와 2000년 Nobel 화학상을 수상한 A. Heeger 교수를 중심으로한 polymer를 이용한 spin-based optoelectronics가 활발히 연구되고 있다.
- nanoscale electronics: 반도체와 분자 구조에서의 나노구조를 이용한 연구의 한 예로서 전기과의 York 교수와 Mishra 교수가 개발한 frequency-agile materials for electronics (FAME)를 들 수 있다. 유전율 400-500 이상의 재료를 개발하여 고집적 IC를 구현할 뿐만 아니라 특정 마이크로파 대역에서 극미세 박막의 tunneling을 유도하여 레이다 및 이동통신 소자에 이용하려는 연구이다.
- nanophotonics: 광통신 및 광 컴퓨팅에 응용하기 위한 nanophotonics의 한 예로서 Imamoglu교수와 Petroff 및 Hu 교수가 진행하고 있는 양자 암호화 기술이 있다. 그리고Bowers 와 Denbaars 교수는 반도체 IC의 한계 동작 주파수 이상에서도 동작할 수 있는 광 집적회로를 구현하여 궁극적으로 nanophotonics 집적회로를 구현하려 하고 있다.
- nanomechanical sensors and devices: nano MEMS 기술 개발을 통하여 초소형 센서 및 소자를 구현하기 위한 연구는 물리학과 A. Cleland 교수를 중심으로 진행되고 있는데, 이 연구는 특히 phonon을 이용하여 MEMS를 제어하고 있으며 궁극적으로 phonon laser를 구현할 것으로 기대하고 있다. 이 기술은 장래 주파수 선별 및 가변주파수용 극미세 기계장치로 동작할 수 있어서 통신소자로 활용될 가능성을 보여주고 있다.

결론

UCSB에서의 광기술 연구동향을 조사하면서 인상적인 특징을 들자면, 연구시설이나 이름다운 경관 또는 다양한 연구프로그램 보다는 서슴없이 개방된 연구협력 환경을 들 수 있겠다. 같은 학과 내의 광전자그룹 교수들 사이 뿐만 아니라 재료, 물리, 화학, 생물, 심지어 심리학과의도 공동 연구를 수행하고 있으며 특히 새로운 분야에 대한 가능성을 인정해 주는 분위기를 느낄 수 있었다. 그래서 아마 이 글에서 언급된 분야를 두루 망라해보면 전 세계 어느 누구와도 한 가지 이상은 연결고리를 갖고 있지 않을까 하는 생각이 든다.