



물리학과 조용훈 교수의 나노-바이오-포토닉스 연구실 탐방

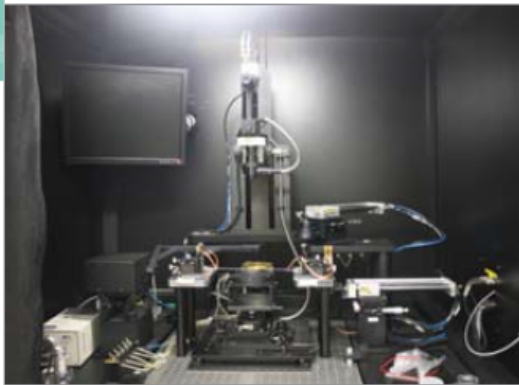
어떤 분야를 연구할까? 어떤 연구실이 나에게 적합할까? 상당수가 대학원에 진학하는 KAIST 물리학과 학부생이라면 한번쯤 해봤을, 혹은 하게 될 고민일 것이다. 그러나 연구실에 직접 가보지 않고 필막하게 적혀있는 연구 분야를 봐서는 연구실에 대해 많은 것을 알기 어렵다. 이에 이번 연구실 탐방에서는 조용훈 교수의 '나노-바이오-포토닉스' 연구실을 생생하게 알기 쉽게 소개하고자 한다.



Nano-
Bio-Photonics

'나노-바이오-포토닉스' 어떤 연구를 하기에 이토록 서로 달라 보이는 분야들이 함께 나열되어 있는 것일까? 이 연구실에서는 고체 상태인 반도체 및 금속 물질로 나노 구조체를 만들어 이를 광학적인 방법으로 연구한다. 이때 사용되는 광학적 연구기법을 응용하여 나노-바이오 분야의 융합연구도 수행하기 때문에 '나노-바이오-포토닉스'라는 이름을 갖게 된 것이다.

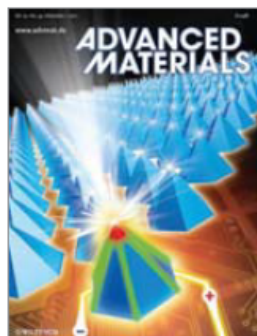
일반적으로 반도체, 금속, 유전체 그리고 이들의 복합체로 구성된 다양한 나노 구조와 빛과의 상호작용을 연구하는 분야를 '나노 포토닉스'라고 하는데, 이 연구실의 핵심 기술이다. 이 중 특별한 형태로 만들어진 반도체 나노 구조를 이용하여 삼차원적으로 양자역학적 구속을 받는 양자점 구조를 만들 수 있는데, 이 양자점들은 불연속적인 에너지 구조와 독특한 물성을 갖게 된다. 양자점과 같이 고체 상태에서 양자화된 빛을 생성하고 제어하여 양자 광학적인 현상을 연구 하는 분야가 바로 '양자 포토닉스'이다. 조용훈 교수는 이러한 고체상태의 나노 구조체가 '빛과 물질과의 상호작용'을 연구할 수 있는 중요하고도 새로운 분야를 열고 있으며, 학문적 연구 뿐 아니라 반도체 소자 구현 등을 통해 일상에도 큰 파급력을 미칠 수 있는 연구라고 소개한다. 이러한 '양자 나노 포토닉스'를 연구하기 위해서는 필연적으로 나노 스케일의 광학적 특성을 연구할 수 있는 고해상도의 분광, 이미징, 조작 방법이 필요하게 된다.



이러한 다양한 나노 구조와 분석 기술을 이용하면, 바이오 생체 물질을 높은 감도와 해상도로 센싱, 이미징, 그리고 조작하는데 활용할 수 있게 되는데, 이 또한 이 연구실에서 다루는 분야이다. 반도체의 제작부터 분석기술 개발, 응용까지 모든 과정을 한 연구실에서 진행한다면, 놀랍지 않은가?

이렇듯 넓은 분야를 다루기 때문에 조용훈 교수 연구실은 크게 세 개의 세부 분야로 나뉘어 상호 협력적으로 연구를 진행하게 되는데, 반도체 및 금속 나노 구조체 제작, 극미세 초고속 광특성 분석, 그리고 바이오 포토닉스 분야가 그것이다. 특히, 반도체 양자 구조를 제작하기 위해서는 유기금속화학 기상증착(MOCVD) 방식이라는 단결정 에피 성장 기술을 이용하는데, 물리적으로 의미 있는 나노 반도체 구조 제작을 위해서는 나노 패터닝 공정과 정교한 결정 성장 기술이 필수적이다. 이렇게 제작된 나노 구조의 독특한 물성

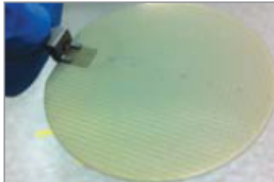
분석과 새로운 구조 설계를 위한 시뮬레이션 또한 이 분야의 역할이다. 두 번째로 극미세 초고속 광특성 분석팀은 앞서 제작된 나노 구조에서 발생하는 단일 광자와 같은 양자 광원의 물리적 특성을 연구하게 되는데, 이를 위해서 공간적, 시간적으로 높은 정밀성을 갖는 고도의 양자 광학적 분석 방법을 자체적으로 개발하여 물리적 현상 규명에 활용하게 된다. 마지막으로 나노 구조 제작 기술과 다양한 광분석 방법을 기반으로 바이오 생체 분야와 관련된 융합 기술을 연구하는 바이오 포토닉스 분야 또한 한 축을 차지한다. 때문에 같은 조용훈 교수 연구실이라도, 세부 분야의 선택폭이 있는 셈이다.



작년 12월에는 나노 크기의 육각 피라미드 형태로 LED소자를 개발하고 그 성질을 규명한 논문이 'Advanced Materials'의 표지논문으로 선정되기도 했다. 이 연구에서는 육각 피라미드 형태의 구조 위에 반도체 양자 구조를 만들면 여섯 면에서는 양자 우물(2차원), 모서리는 양자선(1차원), 꼭짓점에서는 양자점(0차원)이 형성되는 현상을 보였다. 그런데 이 양자 구조로 이러한 복합적인 양자 구조 위치에 따라 서로 다른 에너지 구조를 가지게 되는데, 이를 이용하면 서로 다른 파장대의 빛을 동시에 발생시킬 수 있게 되어 한 가지 소자로 여러 파장의 빛을 내는 LED를 개발할 수 있게 되는 것이다. 최근에는 여기서 그치지 않고, 양자점을 이용하여 양자정보통신에 쓰이는 양자 광소자 구현을 위한 연구도 활발히 진행하고 있다.

이 연구 결과에서 볼 수 있는 것과 같이, 기초적인 물리학적 현상 연구에서부터 그 응용까지를 한 연구실에서 모두 할 수 있다는 것 또한 이 연구실의 큰 장점 중 하나라고 생각되었다. 실제로 연구실은 반도체 구조 제작과 분석을 위한 일련의 장비들을 갖추고 있어, 만들어진 시료를 반도체 소자로 직접 제작하여 그 효율, 특성 등을 분석하고 응용할 수 있다고 한다. 여러 분야를 다루는데다 이론에서 응용까지 다루는 팔방미인 같은 연구실이라는 생각이 절로 들었다.

많고 다양한 종류의 연구를 하는 만큼, 실험실에는 수많은 장비들이 있었다. 조용훈 교수의 실험실은 K빌딩 4층과 자연과학동의 물리학과 건물에 위치하고 있으며, K빌딩 지하에는 2011년부터 KAIST LED 연구센터를 개소하여 운영하고 있다. 취재를 위하여 K빌딩의 연구실에 방문하여 본 것은 수많은 종류의 실험기기였다. 나노 구조 제작을 위한 화학적 처리를 담당하는 방에서부터, 빛을 차단한 암실 속에 있는 각기 다른 실험기기들은 너무 많아 취재가 어려울 정도였다. K빌딩 지하에 있는 LED 연구센터는 더욱 큰 규모였는데, 사무실처럼 잘 정돈된 각종 장치들의 모습은 더욱 인상적이었다. 연구실을 안내해준 박사과정 고영호씨는 사파이어로 제작된 기관, 대당 수 억원에 달하는 초고속 카메라 등을 소개해주며 실험의



규모를 짐작하게 해주었다.

또한 놀라웠던 것은 실험실 한 가운데에 있던 폭신한 소파와 침대(!)였다. 어쩔 수 없이 긴 시간 수행하게 되는 실험연구의 특성상 오랜 시간 연구해야 될 때에 편의를 위해 놓은 사실이라고 한다. 연구자에 대한 배려가 느껴지는 대목이다.

연구실의 분위기는 어떨까? 조용훈 교수는 “연구는 결국 연구자, 즉 사람이 하는 것이기 때문에 무엇보다 서로 신뢰하고 토론하고 협력할 수 있는 연구실 문화가 중요한 것 같습니다.”라며 배우고 상생적인 경쟁을 하는 분위기가 중요하다고, 이를 위해서 소그룹별 회의와 저널 클럽을 자체적으로 구성하는 한편, 미국 UC 버클리, 예일대, 프랑스 CNRS 등 국제적 연구 그룹을 포함한 외부 연구실과 공동 연구를 통해 자극과 연구 감각을 익힌다고 하였다. 또한 애정이 넘치는 연구실이라고 자랑스레 소개하시며 “대학원생들이 연구실에 들어오면 소중한 청춘 시절의 상당한 시간을 함께 생활하기 때문에 따뜻한 연구실 문화가 중요합니다.”라고 강조하였다. 박사과정 고영호씨 또한 이 보다 가족 같은 연구실이 없을 거라고 하면서 생일 파티, 병문안, 경조사는 물론 주말엔 등산, 영화 관람에 이르기까지 가깝게 지낸다고 말씀하셨다. 지하의 연구실을 나서면서 벽면에 걸려있는 사진들을 볼 수 있었다. “이건 사진 공모전을 한 건데요, 실험이 성공할 때도 있지만 실패하는 것도 있잖아요? 연구를 하면서 이미지를 하다보면 성공 유무를 떠나서 재미있는 이미지가 나오는데, 이걸로 랩 사람들끼리 공모전을 해보자고 해서 뽑힌 것들이에요. 제가 제작 쪽에 관여하다 보니깐 기회가 많아서 1등을 했죠” 연구실의 또 다른 장점을 묻는 질문에는 많은 해외 방문 연구의 기회, 연구 결과를 실생활에 응용 할 수 있는 가능성이 많다는 점, 또한 연구실이 광반도체 분야에서 최고를 지향하고 있다는 점을 꼽았다. 반도체 연구를 하고 싶어 연구실을 택하게 되었다는 영호씨는 다시 대학원생으로 돌아가서 선택할 기회가 오면 다시 이 연구실로 오겠다는 말을 했다. 교수님과 출장을 가셔도 방을 같이 쓰고, 가끔은 교수님과 술 한 잔과 함께 이야기를 나누기도 한다는 말을 들으며 연구실에 대한 깊은 신뢰와 애정을 느낄 수 있었다.



연구실에서 연구를 마치고의 진로는 어떨까? 반도체와 광학을 모두 다루는 연구는 활용범위가 매우 넓기 때문에, 학계, 연구소, 산업계 등 다양한 진로가 가능하다. 특히 양자 포토닉스 분야는 새로운 학문 분야를 만들어 가고 있어 대학과 연구소의 진로가 융이하다고 한다. 또한 LED분야는 메모리 반도체, 디스플레이, 자동차, 스마트 조명 등산업 전반에 활발히 쓰이므로 산업계의 투자도 적극적이다.

마지막으로 연구실을 이끌고 계신 조용훈 교수님께 자연대 학생들에게 조언을 부탁드렸다. “첫째, 좋은 연구를 하기 위해서는 중요한 연구 주제와 목표를 발굴해 내는 것이 핵심인데, 결국 무엇이 중요한 문제인지를 찾아내는 창의적인 과정과 노력이 무엇보다 중요하다고 봅니다. 둘째, 중요한 의미있는 문제를 찾아 낸 다음에는 이를 이론적으로나 실험적으로 풀어내거나 증명해 보여야 하는데, 이를 위해서 본인 스스로 열심히 노력하는 것은 물론이지만 전문가와 협력하여 문제를 해결하는 적극적인 대화 능력도 중요할 것입니다. 셋째, 우리가 연구할 수 있는 하루 동안의 시간과 평생 동안의 연구 수명은 제한되어 있기 때문에 시간을 현명하게 사용해야 하며, 이와 동시에 육체적 정신적인 건강을 잘 유지해야 합니다.” 빛과 물질, 생명에 이르는 다양성, 기초 연구부터 응용까지 다루는 실용성, 활발하고도 따뜻한 분위기, 연구실 탐방을 마무리 하며 나노-바이오-포토닉스 연구실에 대하여 남는 인상이었다. 반도체와 빛에 관한 것이라면 무엇이든 할 수 있을 것 같은 연구실의 모습을 떠올리던 다음에는 어떤 새로운 결과를 보여줄지 기대가 된다. KAIST 나노-바이오-포토닉스 연구실, 조용훈 교수 연구팀의 선전을 기대한다. *Seon*