

# 색즉시공 공즉시색(色卽是空 空卽是色)

김은규 | 한국진공학회 회장

색즉시공 공즉시색은 반야심경(般若心經)의 핵심내용으로서, 글자 그대로 물질이 곧 비었고 빈 것이 곧 물질이라는 뜻이다. 불교신자도 아니고 불교경전에 대한 지식이 깊지 않아서 올바른 해석인지는 모르겠지만, 이 구절은 오랫동안 머릿속에 기억되어 왔다. 처음 이 구절을 접했던 때는 1979년 2월 대학을 졸업하고 ROTC 통신장교로 임관하여 당시 대전 유성에 있던 육군통신학교에서 초임장교 기본교육을 받던 교육생시절이었다. 모든 군인은 하나의 종교를 가지도록 유도하여 우리 초임장교들도 모두 매주 일요일마다 교회사당, 절에서 시간을 보내야 했다. 대학재학 때에는 입주과의 하던 집 어머니께서 종종 나를 데리고 동화사, 불국사, 직지사 등 대구 인근에 있는 유명한 절에 자주 가셨는데, 절간에서 먹는 산채비빔밥은 아주 맛이 좋았던 것 기억이 있다. 그래서인지 절에 가는 게 친숙했었고, 당시 통신학교 절에서는 요즈음의 군대에서도 인기가 있다 하는 초코파이와 우유를 나누어 주었기 때문에 나도 매주 절간을 찾았었다. 그냥 먹는 것으로만 기대하고 갔었는데, 젊은 스님의 반야심경 강의는 아주 재미있게 느껴져 열심히 경청했었다. 마하반야바라밀다심경(摩訶般若波羅蜜多心經) 즉, 반야심경은 불교의 대표적인 경전 중 하나이다. 매주 한 두자씩 강의를 해 주었는데, 아주 열심히 경청했었고 지금도 머릿속에 남아 있는 구절이 <색즉시공 공즉시색> 이었다. 글자 그대로 보면, “공이 색과 다르지 않으며, 색이 곧 공이고 공이 곧 색이다” 이니 빈 것과 있는 것이 같다? 참 애매한 말이다. 몇 가지 해석을 찾아보니 “색이란 눈에 보이는 것 즉 형태와 모양을 갖고 있고 공간을 차지하고 있는 것을 말한다. 공이란 ‘없음이 있다’ 라는

뜻이지만 텅빈 것 같아도 꼭 차있다는 뜻이다. 즉, 온우주가 공이다. 만법의 본질은 비어있는 것 같아도 어디에나 있는 것이다”로 되어 있고, 또 이런 해석도 있다. “에너지 불변의 법칙, 질량불변의 법칙 이라고 하는 과학용어가 있는데요. 이것이 바로 색즉시공 공즉시색과 같은 말입니다.” 이 해석은 나름 물리법칙의 용어로 해석을 해서인지 약간은 가슴에 와 닿는 것 같다.

진공(眞空)의 사전적 의미는 아무 것도 없는 빈 공간(空間)이다. 이제 진공기술과 나의 천직이 되어버린 반도체물리학 실험연구와 연계해서 해석을 해 보기로 한다. 상온 대기압 하에서 공기분자 1리터 내에는 대략  $10^{22}$ 개 정도의 공기분자가 존재한다. 이 공기분자는 중진공, 고진공, 초고진공 상태로 진공도를 높이면 그 수가 줄어들게 되는데,  $10^{-11}$  torr의 초고진공 상태로 배기하면 그 수는  $10^8$ 개로 줄어들지만 완전히 없어지지는 않는다. 이것이 공(空)의 상태가 아닐까? 이와 같은 공의 상태를 만들어야 새로운 색(色)의 상태 즉, 창조(創造)가 이루어 질 수 있다. 여기서 창조는 새로운 형태를 이루거나 새롭게 무엇을 관측하는 양으로 볼 수 있겠다. 따라서, 진공은 창조의 시작이다. 새로움을 창조하기 위해선 먼저 비워야 한다.

돌이켜 생각해보면, 대학원 석사과정 때부터 지금까지 진공기술은 나의 연구생활에서 필수불가결한 것이었다. 석사과정 때에는 고체 NMR 저온 실험을 위해, 유리 dewar 를 설계하여 학교 초자실에서 회전펌프와 확산펌프로  $10^{-6}$  torr까지 진공을 뽑고 밀봉하여 만든 유리 dewar로 액체질소 온도까지 시료온도를 내릴 수 있었다. 한국과학기술원 반도체재료연구실 초임당시



## <저자 약력>

1979년 경북대학교 물리학과를 졸업하고 ROTC 17기로 임관하였으며, 1984년 및 1988년에 고려대학교에서 각각 석사 및 박사학위를 받았다. 1985년부터 2002년까지 한국과학기술연구원에서 근무하였고, 2002년부터 한양대학교 물리학과 교수로 재직 중이며, 기초과학융합연구소 소장, 자연과학연구소 소장, 미래에너지종합연구원 부원장을 역임하였다. 현재 한국과학기술한림원 정회원, 한국물리학회 평의원이며, 2013년부터 2016년까지 반도체물리학회분과위원장으로 활동하였다. 한국진공학회 평의원으로서, 재무운영이사, 학술지편집위원장, 이사, 운영이사장 및 부회장 등으로 활동하였으며, 현재 회장을 맡고 있다. (ek-kim@hanyang.ac.kr)

에는 사용하지 않고 있던 스퍼터 장비를 분해하고, 난생 처음으로 회전펌프와 확산펌프를 분해하여 닦고 재조립하여 진공오일을 다시 채워서 동작시키고, 챔버내에 알곤개스를 주입하여 보라색 플라즈마를 보면서 진공도와 플라즈마 색깔의 변화를 관찰하며 신기해했던 일들이 아직도 기억에 생생하다. 당시엔 연구실 실장님의 교육훈련과정임을 알지 못한 채 힘들어 하기도 했었지만 지금 생각해 보면 큰 배려였었고 고맙게 생각하고 있다. 그 후엔 DLTS(deep level transient spectroscopy) 시스템을 구성하여 반도체재료 및 반도체소자에 대한 결함상태 연구를 주로 담당하게 되었다. 측정용 시료 제작(Schottky 다이오드)을 위해 진공 열증착기를 사용하였고, 시료를 액체질소온도부터 상온이상까지 변화시킬 수 있도록 제작한 두랄루민 Dewar를 통해 연구하였다. DLTS 장치를 사용하여 다양한 시료들에 대해 연구하였는데, 그 중에서 III-V족 화합물반도체내 깊은준위 결함상태 연구는 박사학위 청구논문 주제가 되었었다. 박사학위 후에는 직접 반도체 에피구조 성장을 해 보겠다는 욕심으로 1990년부터 3년간 당시 상공부 공기반과제의 하나인 “MBE(molecular beam epitaxy) 설계 및 제조기술 개발”사업에 참여하였다. 당시에는 서울대, 동국대 등 극소수 학교에만 MBE장치가 있었고, 전자통신연구원에는 기존 수입 MBE장치뿐만 아니라 직접 자체 설계 제작한 CBE(chemical beam epitaxy)가 있어서 장치제조 연구에 많은 도움이 되었다. 본 장치개발 사업에서 제안한 MBE 장치는 도입 챔버, 준비 및 분석 챔버, 성장 챔버의 세 개 챔버를 in-line 으로 구성하고, 성장실에는 챔버내부 공기분석을 위해 QMA(quadrupole mass analyzer)와 성장시 in-situ 표면분석 및 원자층 성장제어를 위해 RHEED(reflection high energy electron diffraction)를 장착하고, 준비 및 분석 챔버내에는 XPS(x-ray photoelectron spectroscopy)와 Auger (Auger electron spectroscopy) 시스템을 장착하기로 구상하였다. 특히, RHEED와 K-cell(Knudsen effusion cell) 국산화 제조연구도 동시에 진행하였는데, 이 부분은 성균관대 팀에서 맡아주기로 하였다. 지금 생각해 보면 이 모든 기술은 당시 국내기술로는 상당한 도전이었었다. 당시 성균관대 팀은 전자총 및 이온펌프 제작기술을 보유하고 있었고, 진공챔버 제작은 포항가속기 개발과 관련한 알미늄 용접기술을 보유하고 있는 상태였다. 따라서, 스테인레스강으로 초고진공 챔버제작 용접기술은 검증되지 않은 상태라 할 수 있다. 본 연구에서는 MBE 진공챔버 소재로 SUS304 또는 SUS304L을 선택하고, 특히 준비 및 분석 챔버내에는 XPS, Auger 측정시 외부 전자파의 영향을 없애기 위

해 뮤메탈 쉬라우드를 장착하기로 하였다. 당시 챔버설계는 제도와 제도판을 사용하여 모눈지에 제조 도면을 직접 그렸고, 이를 베리안코리아에서 다시 CAD tool로 3차원 모습으로 형상화하면서 제작을 진행하였다. XPS 및 Auger 장치, 진공펌프와 K-cell 등 부품은 입찰을 통해 영국 VG 사로부터 구입하였고, 일본의 Veetech 사로부터 RHEED 부품과 Manipulator를 구입하여 전체 시스템을 구성하였다. 성장챔버의 진공도는 터보펌프, 이온펌프, 티타늄 승화펌프로 하여 진공도를 초고진공 수준인  $10^{-10}$  torr 범위까지 배기하는 데 성공하였다. 그런데, 성장 챔버 내부 액체질소 쉬라우드 용기에 액체질소를 주입하면 챔버 진공도가 나빠지는 등 당시 사용된 SUS 304L 소재의 성능은 그다지 우수하지는 못했었다. 초고진공 챔버를 갖는 MBE 장치를 구성하고 분석실 구성 및 분석장비 완벽히 장착된 전체시스템을 완성하는데 까지 고생은 많았지만, 이 사업을 통해 진공기술, 박막증착 및 표면분석 기술 등 상당히 많은 공부를 할 수 있었다. 본 연구이후 초고진공 장비 및 장치에 대한 막연한 두려움은 없어졌고 어느 정도 자신감이 생기게 되었다.

그로부터 25여 년이 지난 지금은 대부분의 국내 진공회사에서도 초고진공 장치제조가 가능한 수준에 이르렀다. 반도체소재의 나노구조에서 나타는 다양한 양자역학적 현상을 이해하고 응용소자를 연구하기 위해서는 초고진공 장치가 필수인데, 현재 학교 연구실에서 사용하고 있는 대부분 박막증착 및 성장 장비는 소위 home made 장치이다. 사실 해외에서 도입한 장비에서 얻은 시료와 크게 손색이 없고, 오히려 장치변경이 쉬워 연구하는 동안 다양한 아이디어 구현이 가능하다는 장점이 있다. 이처럼 오늘날 우리나라 진공기술은 세계적 수준에 이르게 되었고, 우리나라 경제를 견인하고 있는 반도체산업과 디스플레이 산업에서는 세계최고의 기술보유와 더불어 많은 부분 국산장비가 차지할 정도로 눈부신 발전을 하였으니, 이 얼마나 대단한 발전인가!

색즉시공 공즉시색, 공은 전혀 없다는 無와는 다르지만 내 뜻대로 해석해 보자면 무에서 유를 창출하는 진공기술은 한평생 함께 살아온 반도체기술과 필수불가결하게 나를 지금껏 진공학회에 있게 한 이유일 것이다. 색즉시공은 이 세상이 실체가 없는 허상이므로 중생들이 세상사에 집착하지 않도록 하는 가르침이며 공즉시색은 비록 공한 세상이지만 집착 없이 열심히 세상을 살도록 중생을 제도하기 위한 가르침이다. 인간도 더욱 성장하기 위해서는 우선 마음을 비울 줄 알아야 한다.

진공은 삶의 지혜이며 철학이다. 한 번 더 되뇌어 본다. 色卽是空 空卽是色!