

# 나노구조체 지능형 세라믹 소재 기술

글 \_ 백동수, 윤석진\*  
고려대학교 신소재공학과, \*한국과학기술연구원 박막재료연구센터

## 1. 서론

미래 핵심산업인 유비쿼터스 센서 네트워크(USN), 로봇, 지능형 자동차, 우주개발 분야의 기술적 메가트렌드인 초소형화, 고집적화, 복합다기능화, 고성능화를 구현하기 위해서는 기존의 관념을 초월하는 새로운 소재 및 공정기술이 필요하다. 따라서 인간의 오감기능을 재현하거나 다양한 자연환경의 변화를 감지/인식하여 자기진단, 대처 및 자가발전 기능을 부여하는 복합기능 소재기술로 양질의 기능성 세라믹 소재를 포함하는 지능형 세라믹소재 (smart ceramic materials) 개발이 원천기술의 확보 측면에서 매우 중요하다. 이와 더불어 개발된 소재를 저가의 공정을 통해 필요로 하는 소자 및 모듈로 구현하기 위한 다층 세라믹 박막 제조 기술 및 3차원 형상 나노구조체 소재 제조 기술을 일련의 공정으로 집적화하고 반도체 소자 공정과 결합함으로써 다중감응 기능을 갖는 복

합기능 세라믹 소재를 단일 기판상에 소형으로 구현할 수 있는 In-situ 복합기능 세라믹 제조공정 기술도 동시에 개발되어야 한다. Fig. 1은 복합기능 지능형 세라믹 소재에 대한 정의를 도식화 한 것이다.

내환경성이 우수한 세라믹소재 기반 3차원 나노구조체 소재 및 공정 기술개발을 통한 차세대 산업용 극한 기술의 상용화 기반 기술개발의 필요성이 확대됨에 따라, 미래 제품 트렌드에서 요구하는 기술 융합화를 위해서는 소재 및 부품의 집적화 기술 개발이 필수적이며, 이를 통해 원천기술 확보 및 국가경쟁력 향상을 실현할 수 있다. 따라서 지능형 세라믹 소재는 소형, 다기능 및 지능화의 구현을 통해 미래의 유비쿼터스 환경, 휴먼로봇, 무인 자동차, 우주개발 및 에너지 효율 증대를 위한 차세대 시스템에 널리 응용될 수 있다.

미래의 전자기기는 소형, 환경 친화적, 다기능, 고성능을 지향하는 방향으로 발전하게 될 것이며, 따라서 각종

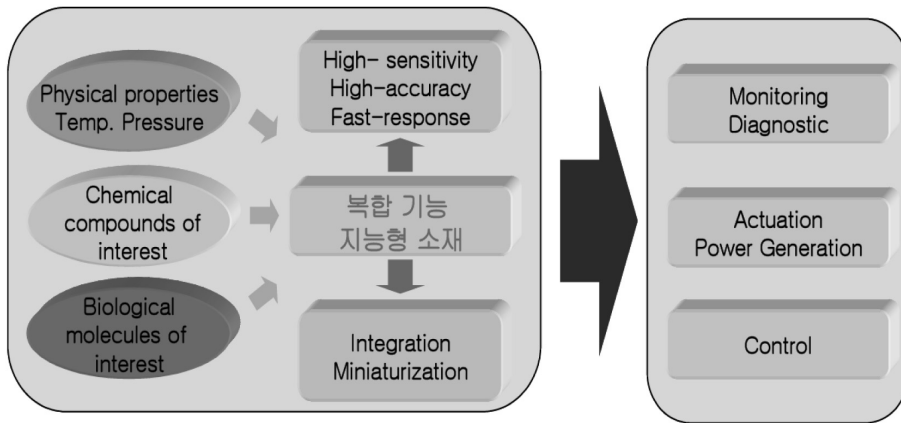


Fig. 1. 복합 기능 지능형 세라믹 소재의 정의.

전자기기의 부품은 환경 친화적인 세라믹 소재를 기반으로 소형화, 복합기능화, 지능화 형태로 점차 대체될 것이다. 세라믹 소재는 매우 강한 결합력을 가져 고온안정성, 내화학성, 내구성 및 친환경적인 장점을 가지나, 세라믹 소재를 에피 박막형태로 성장시키거나, 나노수준에서 구조를 제어하고, 그 기능을 고기능화 하는 등 산업 수요에 맞도록 소재를 제조하는 것은 매우 어렵다. 따라서 국내 반도체 산업분야에서 발달된 박막제조기술 및 나노기술을 적용한 소형화, 복합기능화, 지능화된 세라믹소재를 개발하는 것이 반드시 필요할 것으로 판단된다. 지능형 센서의 필요성 및 기술추이를 Fig. 2에 나타내었다.

미래 USN 사회의 기반 기술인 센서기술과 관련된 시장 규모는 복합센서의 경우 2010년 약 290억 달러에서 2020년에는 725억 달러 규모로 150% 이상 성장할 것으로 전망된다. 이는 지능형 센서의 필요성이 급증할 뿐만 아니라 다기능 고감도의 고급 센서에 대한 신규 시장이 형성될 것으로 기대되기 때문이다. 또한 나노소재 및 공정기술을 이용한 MEMS형 지능소자와 바이오칩 등도 healthcare, 환경산업의 급성장으로 2010년 280억 달러에서 2020년 700억 달러 정도로 고도의 성장세를 보일

것으로 기대된다.

이에 따라 본 연구에서는 환경 및 에너지 문제를 고려하여 미래 사회 기반기술인 다기능 복합센서 소재 및 제조기술을 포함하여 에너지 수확 기능 소재까지 융합할 수 있는 나노기반 소재원천 기술 개발에 그 초점을 맞추고 있다.

## 2. 기술의 구성

본고에서는 대표적인 나노구조체를 이용한 지능형 세라믹 소재 및 공정에 대한 원천기술 확보를 위한 개념 및 추진전략에 대한 내용을 세부기술별로 소개한다.

### 2.1. 지능형 3차원 형상 세라믹 박막 소재 및 집적화 기술

본 기술은 세라믹 다층 에피 박막을 제조하는 기술을 바탕으로 3차원 나노구조체를 in-situ 공정으로 집적화하고 부분식각, 선택적 패터닝등 반도체 제조공정기술을 적용함으로써 다중의 복합 기능성 소자를 단일 기판 상에 소형으로 구현 할 수 있도록 하는 기술이다. 다양한 기능

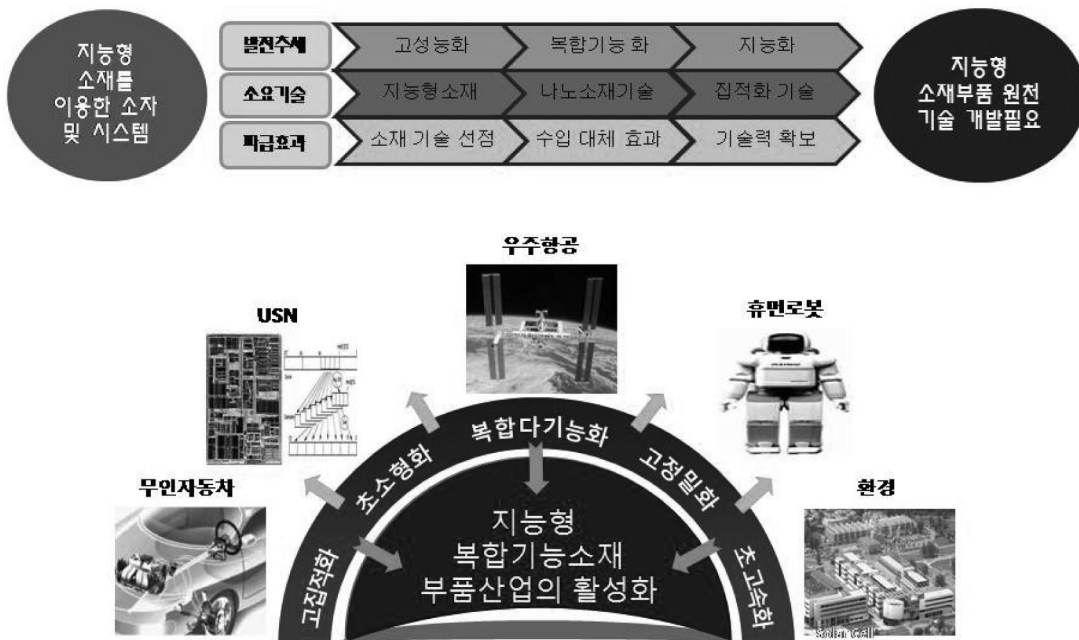


Fig. 2. 세라믹 지능형 소재의 응용.

성 세라믹 소재의 나노 구조제어 기술 및 집적화 기술을 통하여 소재의 고감응성 및 정확한 정보량의 인식기능을 확보하고자 한다. 세라믹 소재는 내화학성, 내부식성, 고온안정성 등의 원천적인 물성을 가지며 따라서 금속 물질로는 구현이 불가능한 극한환경에 적용이 가능하다. 이러한 기술은 상황인식 및 대처 기능을 갖는 시스템의 소형화 및 지능화에 널리 응용될 것이다.

세라믹 기반의 지능형 소재는 온도/자계/자속/위치/속도 등을 측정하는 물리량 센서에서 휘발성가스, 환경, 오염가스 및 바이오 물질 등을 검출하는 화학량 센서 분야로 그 응용범위가 확대되고 있다. 최근에는 세라믹 소재의 다중감응 특성을 이용하여 화학량의 인식기능, 바이오 물질의 선택적 감응기능 등에 연구가 집중되고 있으며 아울러 고감응성을 위한 연구도 동시에 진행되고 있다. 향후 이러한 연구는 물리, 화학량 등을 동시에 검출하고 인식할 수 있는 복합기능형, 능동소자와의 결합이 용이한 박막형, 소형 소자화로 그 중심이 이동될 것으로 예측되고 있다.

Fig. 3은 상용화되어 있는 벌크형 센서소재로부터 성

능향상을 위해 진화되어 가는 소재 및 공정 기술의 발전 방향을 나타낸 것이다. 세라믹 물질을 기반으로 하는 센서는 초기 벌크형, 후막소재로 대부분 제조되어 왔으며 단일 물리/ 화학량을 검출 대상으로 하고 있다. 이러한 소자는 다중감응성, 낮은 감도, 크기 등의 문제점을 가지고 있다. 최근에는 나노기술의 발달로 다양한 세라믹 나노구조체 제조가 가능하게 됨에 따라 기존 소자의 감응 특성이 크게 개선되고 있음을 알 수 있다. 그러나 여전히 선택성, 신뢰성 등의 문제점을 안고 있으며 이는 3차원의 나노구조를 선택적으로 제조하거나 패터닝할 수 있는 기술, 다층 세라믹 박막 소재 기술 등을 통하여 해결될 것으로 생각된다.

즉, 기존의 나노 입자 형성기술에서 한발 더 나아가 세라믹 나노 반구(hemi-sphere), 구(sphere) 제조기술과 그 크기 및 두께 제어 기술 등의 확보가 필요하며 소자화를 위한 다층 박막을 기반으로 하는 집적화 기술이 상호 접목되면 현재의 센서기술의 한계를 뛰어넘는 고감응성, 고정밀성, 신속반응성 및 복합 기능성의 목표를 도달할 수 있을 것으로 예상된다. Fig. 4는 가스센서에 대한 전

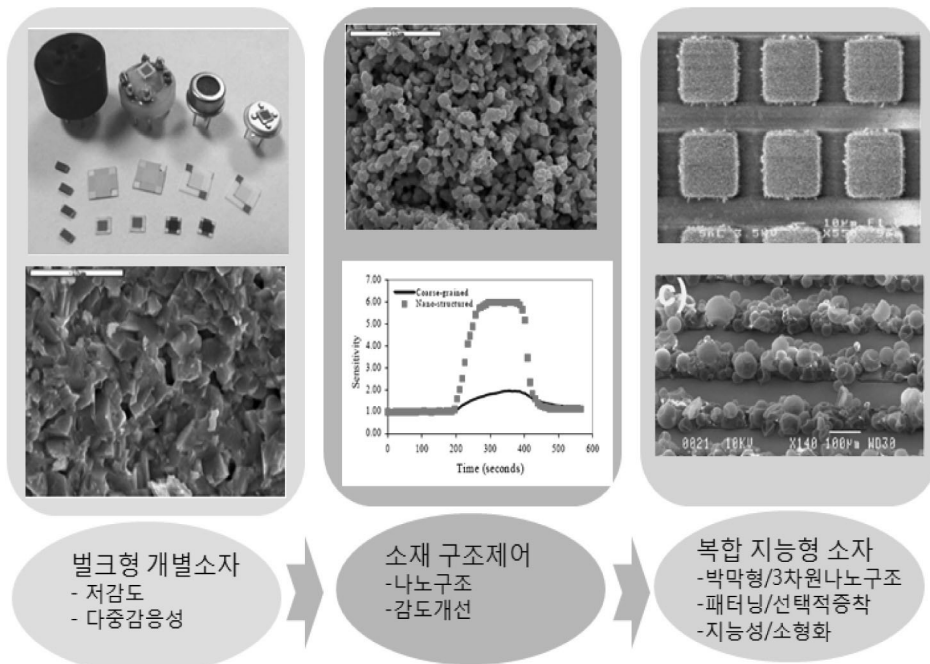


Fig. 3. 세라믹 기반 센싱 소재의 연구 방향.

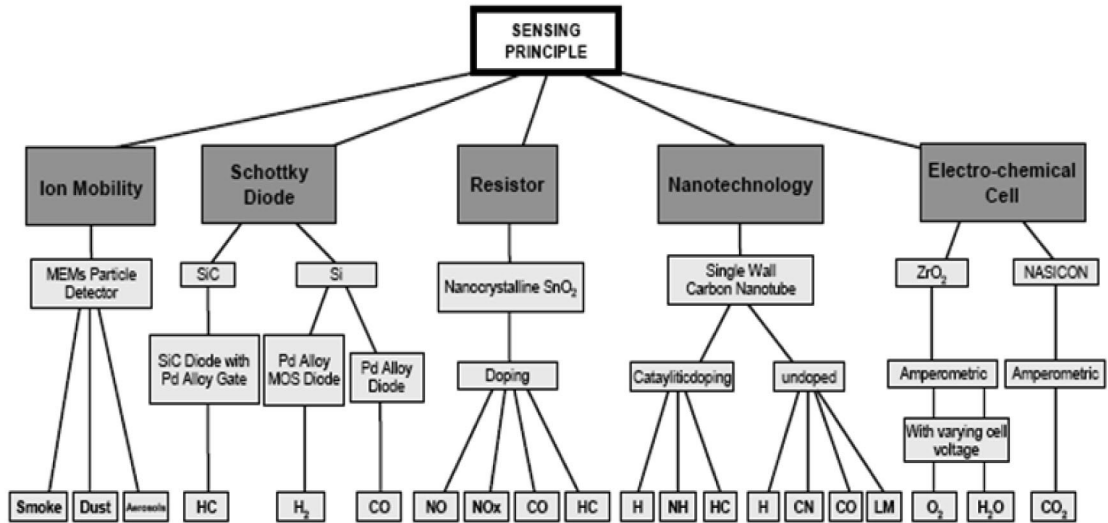


Fig. 4. 전자 및 전기화학 가스센서 플랫폼 기술.

자 및 전기화학적 플랫폼을 예시적으로 나타낸 것이다. 다양한 종류의 가스 검출을 위한 연구방향을 제시하고 있다. 이러한 기술이 개발되면 차세대 자동차, 로봇시스템 등에서 요구하는 기능을 충족시킬 수 있을 것으로 예상되며 우리 삶의 질을 향상시키고 산업사회의 새로운 패턴을 창조하는 요소가 될 것으로 전망된다.

## 2.2. 실시간 저전력 가스 감응 세라믹 나노 구조체 소재 기술

실시간 저전력 가스감응 세라믹 나노구조체 소재 개발 기술은 나노 중공구조, 나노선, 나노 계층구조, 나노촉매 등 나노구조 소재 또는 새로운 가스감응소재를 이용하여 피검가스가 가스감응 물질에 도달하는 확산속도 및 가스 감응 물질 표면에서 일어나는 표면반응의 속도를 극대화 하는 방식으로 가스 응답속도 및 회복속도를 10초 이내로 줄이고, 가스 감도 및 선택성을 추가적으로 부여하는 기술이다. 또한 통상의 가스센서는 신속감응 및 확산을 위하여 주변온도를 높여주어야 하나 본 연구에서는 비교적 낮은 온도에서도 목표로 하는 시간내에 미세량을 적절히 검출할 수 있는 소재개발 까지도 포함한다.

가스 감응 반응이 일어나기 위해서는 (1) 환원성가스의 확산, (2) 환원성가스와 음전하를 띤 산소와의 표면반

응, (3) 산화반응으로 발생된 부산물 가스의 외부로의 확산 등의 과정이 필요하다. 가스센서의 응답속도를 10초 이내로 줄이기 위해서는 가스 확산이 유리한 나노구조를 도입하고 표면반응을 촉진하는 나노촉매를 균일하게 분산하는 것이 가장 효과적인 접근법으로 판단된다. Fig. 5는 가스 감응에 필요로 하는 응답시간 및 가스 탈착에 필요한 회복시간에 대한 메커니즘을 나타낸 것이다.

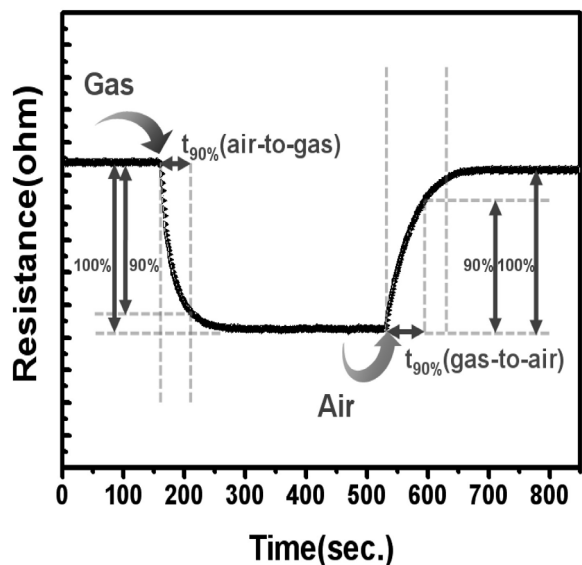


Fig. 5. 90% 응답시간과 90% 회복시간의 정의.

나노 구조에서는 나노 응집체의 dimension을 줄이는 것이 실시간 가스 감응에 중요한 변수로 작용한다. 응집체의 나노 dimension이란 나노중공구조에서의 두께, 나노선과 나노사는 굵기, 나노 sheet에서는 sheet의 두께를 의미하는데, 응집체의 dimension이 작을수록 가스의 확산이 용이하여 감응물질의 감응 및 회복 특성이 좋아진다. 가스감응성을 극대화하기 위해서는 표면적이 큰 나노분말을 이용하는 것이 바람직하지만, 작은 나노입자는 쉽게 응집되어 가스의 확산을 어렵게 하는 문제가 있다. 가스 감응을 빠르게 하기 위해서는 가스감응물질 내에서 가스의 확산이 용이하고, 반응물질의 dimension이 작은 것이 좋다. 가스 확산이 어려운 경우 응집체의 전체 입자가 반응에 참여하기 어렵고, 각 응집체의 dimension이 클 경우, 전자공핍층에 형성된 입자가 응집체의 표면에만 존재하게 되어 실시간 가스 감응이 어려워지는 문제가 발생한다. 따라서, 실시간의 가스 감지를 위해서는 응집체의 dimension을 최소화 하는 것이 관건이다.

쾌속 반응의 가스센서는 유해한 가스를 실시간으로 검지하여 위험환경을 효과적으로 방지할 수 있도록 하고, 가스의 농도를 실시간으로(in-situ)로 검지할 수 있도록 한다. 센서가 피검 가스에 대해 저항변화가 빨리 이루어져야 하고, 공기분위기로 돌아갔을 경우에도 저항이 원래 값으로 빨리 회복되어야 하므로 가스 감응시간이 중요한 성능 지표로 고려되어야 한다.

가스 감응 시간은 응답시간과 회복시간에 의해 결정되는데 일반적으로 회복시간이 응답시간에 비해서 긴 경향을 나타내고 있다. 가스 감응의 경우에는 피검가스의 센서 표면으로의 확산이 가장 중요하고, 회복의 경우에는 산화된 부산물가스의 확산 및 공기 중 산소의 재흡착 등 더 많은 화학반응이 필요하기 때문이다. 따라서, 응답시간을 향상시키기 위해서는 가스의 확산이 용이한 나노구조를 채택하는 것이, 회복시간을 향상시키기 위해서는 가스센서의 표면에서 일어나는 여러 반응을 활성화시키는 것이 각각 가장 필요하다. Fig. 6은 쾌속 응답특성을 갖기 위한 가스센서용 나노구조체의 다양한 구조를 나타낸 것이다.

### 2.3. 고감도 바이오·환경 감응 세라믹 나노 하이브리드 소재 개발

고감도 바이오·환경 감응 세라믹 나노 하이브리드 소재 기술은 세라믹 나노구조체와 화학/바이오 물질의 융합 소재에 관한 기술로 정의하며, 양자점과 다공성 세라믹으로 구성된 나노 하이브리드 소재는 1) 비표면적의 획기적인 증가, 2) 나노구조에 의한 초고감도, 3) 고선택성, 4) 광학적인 고감도 검출기법을 사용할 수 있어 초고감도 감응소재를 구현 할 수 있다. 본 기술은 휘도 및 안정성의 개선이 요구되는 유기형광물질 기반의 기존 바이오·환경 물질 감응소재와 달리, 물리·화학적인 환경

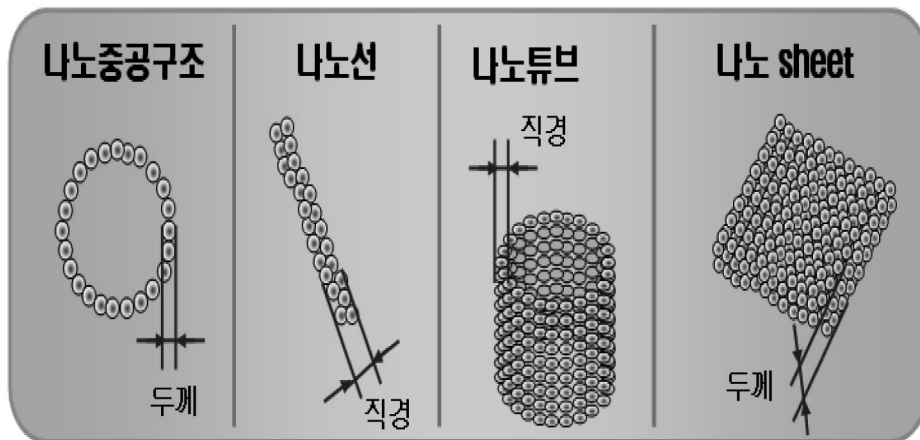


Fig. 6. 다양한 구조를 갖는 나노응집체 및 dimension 정의.

하에서도 안정성이 뛰어나고, 바이오·환경물질에 고감도 구현이 가능한 3차원 다공성 세라믹에 나노점이 고집적화된 세라믹 나노 하이브리드 소재기술이다.

100nm 이하의 나노 구조체는 벌크재료에서는 나타나지 않는 독특한 물리적, 화학적, 광학적인 성질을 가지고 있어 센서분야 등 다양한 산업에 응용되고 있다. 특히, 의료, 환경 감시, 군사분야 등 극미량의 분석이 필요한 산업분야 및 중요성이 점점 증가하는 환경문제 해결을 위하여 기술 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

저차원의 나노구조체 또는 나노구조체와 특정 생화학물질이 결합된 융합 구조를 갖는 세라믹 나노 하이브리드 소재는 나노 센서에 응용은 물론이고, DNA 컴퓨터와 같은 바이오 전자 소자분야의 새로운 장을 열수 있는 차세대 핵심기술로 다양한 분야에서 많은 연구가 수행되고 있다. Fig. 7은 나노소재를 이용한 바이오 센서로의 응용 개념을 도시한 것이다.

대표적인 연구결과로 Quartz와 같은 단결정 압전 세라믹 표면에 물질이 흡착될 때 고유진동수가 변하는 것을

이용한 연구, 금속 표면의 플라즈몬 공명현상을 이용한 연구, 나노선을 이용한 나노트랜지스터를 이용한 연구, 유기 염료나 형광체를 분석하는 생화학 물질과 특이결합을 할 수 있는 복합 나노 입자에 대한 연구, 안정성 및 분해능이 유기염료에 비해 월등한 퀀텀 닷과 같은 나노입자를 이용하는 연구 등이 다양한 분야에서 발표되고 있다. 특히, 선택성의 증대를 통한 민감도를 향상시키기 위해 나노구조체 표면에 다양한 반응에 의해 생물학적 특이 반응체를 효과적이면서 재현성있게 고정시키는 기술, 초고감도 실현을 위한 나노구조체를 집적화시키는 연구 등에서 괄목할만한 연구결과가 발표되고 있다.

유비쿼터스 환경 하에서 가장 필요한 핵심기술 중 하나는 필요한 정보를 감지할 수 있는 지능형 센서를 개발하는 것이다. 원격으로 휴대형 기기를 이용하여 바이러스, 암, 당뇨병 진단 및 중금속, 방사능 물질, 배기가스 등 초미량의 오염물질을 감시할 필요성이 급격히 증가하고 있으며, 이를 위해서는 초고감도, 고선택성, 저소비전력, 집적화, 초소형화 등의 특성을 만족하는 지능형 감응소

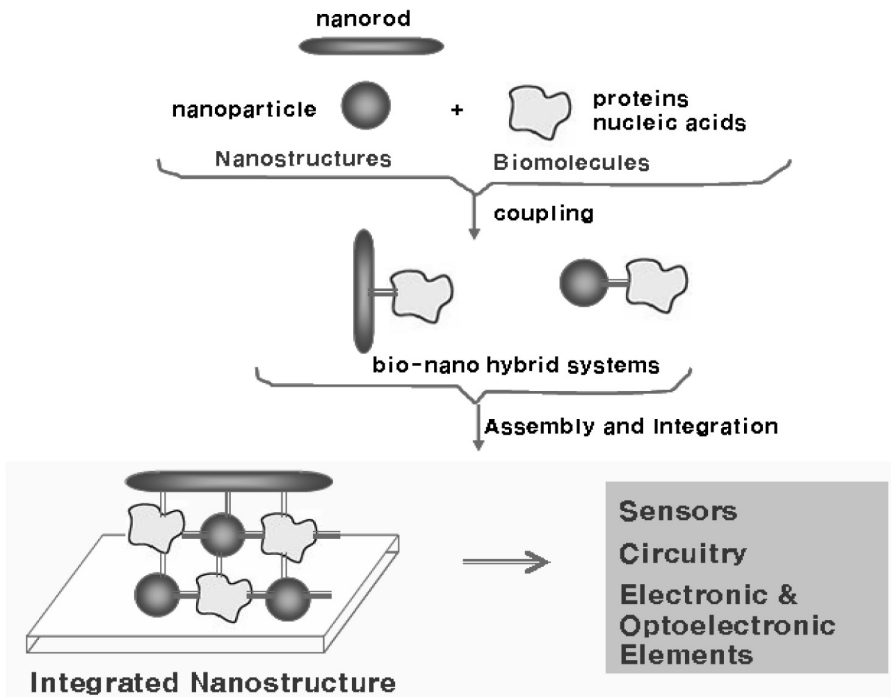


Fig. 7. 세라믹 나노하이브리드 소재 기술 개념.

재의 개발이 필요하다.

본 과제에서 제안하는 기술인 다수의 양자점을 집적한 하이브리드 나노구조체는 Fig. 8과 같이 밝기 측면에서 단일 양자점의 수백에서 수천 배 이상의 밝기를 갖는 장점을 가질 수 있다. 이러한 나노 하이브리드 구조체를 이용하면 밝기에 비례하여 민감도가 증가하는 초고감도 검출 시스템 구현이 가능하다. 또한 센서의 감지부를 나노구조체로 대체하면 비표면적 증가에 따른 센서의 민감도 향상에 따른 감지한계의 대폭적인 향상과 더불어 소형화에 유리하다. 따라서 본 연구에서는 물리·화학적인 환경 하에서도 안정성이 뛰어나고, 바이오·환경물질에 고감도 구현이 가능한 세라믹 나노하이브리드 소재기술을 개발하고자 한다.

## 2.4. 마이크로 에너지 변환 지능형 세라믹 소재 기술

마이크로 에너지 변환 지능형 세라믹 소재기술은 신기능, 친환경, 초소형, 이동성, 저소비 전력의 초정밀 제어 기능을 갖는 소형 발전기, 센서 등의 제조가 가능한 원천 소재기술로서, 기존의 단위 소재보다 성능이 획기적으로 우수한 압전 세라믹 소재 및 변위가 용이하고 유연성 확보가 가능한 지능형 압전 세라믹-폴리머 복합 소재 개발

과 3차원 이형(heteromorphic) 적층 패터닝 공정 기술에 의한 압전 다중 복합 진동모드 활용기술을 통하여 초소형, 경량화의 한계를 극복하고 실용화할 수 있는 핵심 소재 공정 기술이다.

유비쿼터스 센서 네트워크(USN), 홈네트워크, 재난 방재 시스템, 멸종위기 동물추적 시스템, wearable PC 등에 필요한 각종 전자기기들은 정보를 인식하고, 무선 송수신하기 위해 전원이 필요함은 주지하는 사실이다. 현재는 이러한 네트워크를 구성하는데 센서 노드점에 배터리 채용을 고려하고 있으나 진정한 기술완성은 독자적인 자가발전형태의 에너지를 확보하여 영구적으로 동작되기를 희망하고 있다. 특히 배터리 충전, 교환이 곤란한 시스템에 있어서 자가발전시스템은 더욱 절실한 상황이다. 자가발전을 위해 자연에서 얻을 수 있는 에너지 소스로 태양에너지를 활용한 solar cell은 많은 각광을 받고 있으나 Table 1에 나타난 바와 같이 실내(광량 부족)에서의 에너지원으로는 부적합한 실정이다. 따라서 주변에서 쉽게 얻을 수 있는 각종 기계적 에너지 (walking, wind, automobiles etc.)로부터 발전시스템을 구현하는 것이 가장 쉬운 방법이며 압전 소재는 이러한 분야에서 기계에너지를 직접 전기에너지로 변환시키므로 별도의 변환장치가 필요 없이 소형 경량화에 적합한 최적의 발전시스템용 소재라고 말할 수 있다.

특히 USN분야나 로봇분야에서는 각종 센서나 트랜스듀서의 구동에너지를 공급하는 배터리의 소형 경량화의 필요성이 증대되고 있고 교환, 충전의 불편함이 없도록 동작 중에 자체 발전하는 시스템(on-site generator system)을 만들어 반영구적 에너지를 구현하고자 노력중이다.

압전체를 이용한 발전시스템의 예로 Fig. 9와 같이 NASA(MIT에 연구용역)에서 개발 중인 '압전 발전 시

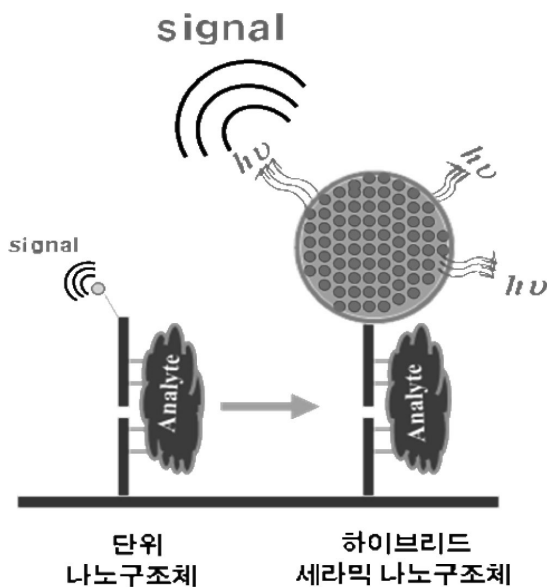


Fig. 8. 하이브리드 세라믹 나노구조체의 우수성.

Table 1. Harvesting Energy Source의 Power Densities

Harvesting Energy Source	Power Density
Solar cell (outdoors at noon)	15 mW/cm <sup>2</sup>
Solar cell (indoors at noon)	10 μW/cm <sup>2</sup>
Piezoelectric (shoes inserts)	330 μW/cm <sup>2</sup>
Vibration (small microwave oven)	116 μW/cm <sup>2</sup>
Thermoelectric (10°C gradient)	40 μW/cm <sup>2</sup>
Acoustic noise (100dB)	960 nW/cm <sup>2</sup>

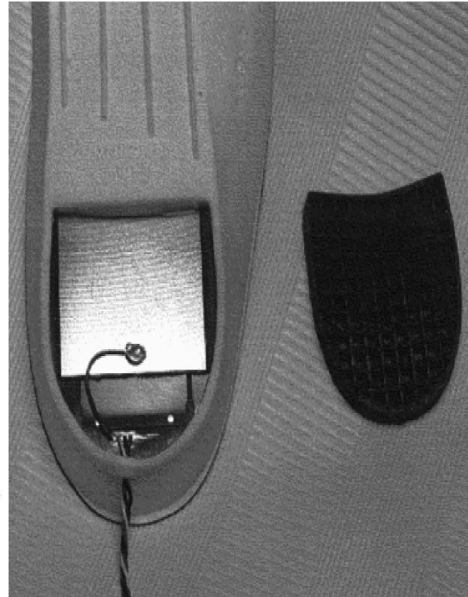
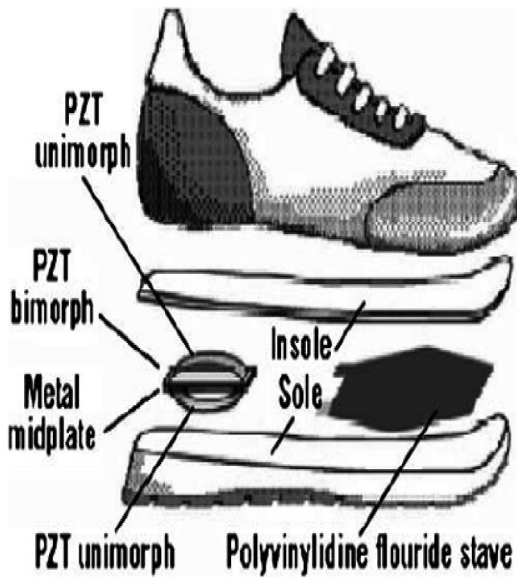


Fig. 9. 압전 발전 시스템.

스텝'이 있는데 이것을 굳인 신발의 뒤 굽에 장착하면 자체 전기에너지를 발생시켜, 배터리 충전 없이 전원 공급이 가능하므로 적지에서 수도 개월 동안 활동이 가능하다.

압전 소형 발전기 분야에서는 에너지 변환 지수인 압전 변위 계수와 압전 전압 계수의 곱인  $d_{33} \times g_{33}$  값을 소재 성능 지수로 평가하고 있다. 현재 세계적으로 우수한 압전 세라믹 소재는 18 pm/N 값을 갖고 있으며 세라믹 소재만으로는 취성(brittle)이 있어 세라믹-메탈 접합구조로 인성(toughness)을 갖게 하여 외부 힘(진동, 바람)에 의한 에너지를 흡수 저장에 용이하도록 구조 설계하고 있다. 발전기의 에너지 밀도를 높이기 위해 압전 소재의 성능지수가 우수하고 높은 인성을 갖으면서 효율적인 디바이스를 만들기 위해 새로운 복합소재와 3차원 패턴 연구 개발의 필요성이 제기되고 있다.

따라서 초소형, 고전력밀도의 발전기를 위해서는 기본적으로 압전계수가 큰 세라믹 소재를 개발하여야 하며 개발된 재료의 15번위 모드 즉 전계형성 방향에 전단변위(shear strain)를 일으키는 구조를 만드는 것이 유리하다. 또한 단판형 압전세라믹은 기본적으로 외부 응력에 대해

매우 높은 전압과 낮은 전류밀도가 형성되어 배터리 충전에 취약한 점이 있다. 충전에 유리한 적당한 전압과 높은 전류밀도를 형성시키는 구조는 압전세라믹을 적층형의 구조로 하는 것이 효과적이다. 또한 적층형태도 단순 반복 적층된 압전체의 형태에서 벗어나 적층 패턴을 비대칭으로 인쇄, 적층(3차원 이형 적층)하여 하나의 압전체에 복합 모드 진동(15진동모드에 근접)이 존재하는 형태가 훨씬 유리하다. USN 분야에서 각종 센서나 액츄에이터의 구동에너지를 공급하는 배터리의 소형 경량화와 교환, 충전의 불편함이 없는 자체 소형 발전시스템(on-site generator system)으로 외부 반복 진동에 유연하게 반응할 소재의 개발은 선결조건이며 이에 꼭 필요한 소재 기술로는 압전 세라믹-폴리머 소재가 최적이다.

Fig. 10에서 보는 것처럼 폴리머를 사용한 바이폴프의 변위값( $5.45 \times 10^{-6}m$ )이 기존 금속을 사용한 것의 변위값( $3.85 \times 10^{-6}m$ ) 보다 약 1.5배 정도 크게 나타났다. 따라서, 압전 세라믹 폴리머 복합 재료 개발은 소형 발전시스템 개발에 유리하다. 이상의 연구개발 동향을 고려하면 향후 친환경 소재를 이용한 압전 에너지 하베스팅 소자는 일상생활에서 쉽게 마주칠 수 있는 생활공간내 에너



지 원천으로 각광받게 될 것으로 기대한다.

## 2.5. 상온 분사 공정에 의한 다층 박막 소재 및 in-situ 성막 기술

본 기술은 고속 대면적, in-situ 성막이 가능한 상온 분사 공정에 의하여 세라믹 및 금속 모재의 표면에 강한 결합력을 가지는 고감도 복합 물리량 감지 다층 세라믹 박막소재를 개발하는 것이다. 사회간접자본 및 항공기 등 대형 구조물의 구조 안전진단 센서, 로봇용 촉각센서 등에 적용되는 물리량 감지센서가 고감도, 고분해능을 가지기 위해서는 고특성을 가지는 물리량 감지 소재가 원

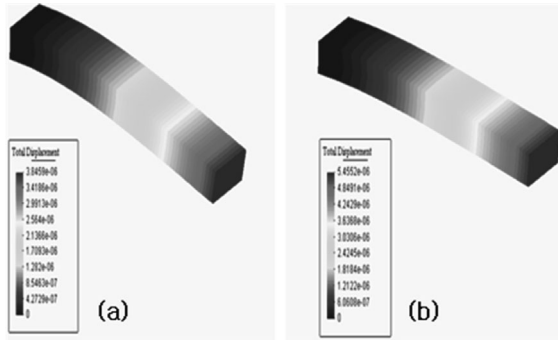


Fig. 10. 압전 바이몰프에서 금속과 폴리머의 변위 특성 비교: (a) brass 금속을 사용한 바이몰프의 변위 ( $3.85 \times 10^{-6}m$ ), (b) 폴리머를 사용한 바이몰프의 변위 ( $5.45 \times 10^{-6}m$ ).

천적으로 필요하며, 특히 전압출력지수, 열응답도가 우수한 소재의 개발이 요구된다. 또한 하나의 물리량감지 센서에서 다양한 물리적 자극들을 동시 감지하기 위해서는 다층 박막 물리량 감지 소재 기술이 필요하며, 이를 통해 최종적인 센서소자의 주변환경에 대한 신호잡음의 보상과 소자의 초소형화가 가능하다.

한편, Fig. 11과 같은 상온 분사 공정을 이용하면 기존 기술로 불가능 하였던 두께 수 마이크로미터 이상의 고성능 세라믹 박막의 제조가 가능하여 기존 기술의 한계를 극복하고 신기능을 창출하여, 관련 물리량 감지 센서 소재의 응용범위 확대가 가능하다. 또, 본 공정을 통하여, 단일 공정에 의한 고감도 다층 박막소재의 개발이 가능하여 복합감지 센서소재 세계시장을 선도할 수 있다.

촉각센서, 구조 안전진단 센서로 대표되는 물리량 감지센서는 기본적인 물리량인 압력과 진동을 감지해서 전기신호로 변환시키는 목적으로 사용되는 감지기로써 Fig. 12에 나타난 바와 같이 가전제품을 비롯하여 자동차, 생체공학용 의료기, 환경제어, 대형 사회간접자본 및 항공, 우주산업의 구조진단 센서 등에 광범위하게 응용되고 있다. 최근에는 로봇 산업의 발달과 더불어 다양한 산업계의 시스템이 자동화됨에 따라 보다 효율적인 감지 및 제어를 위해서 감지부의 고감도화와 다기능화를 요구

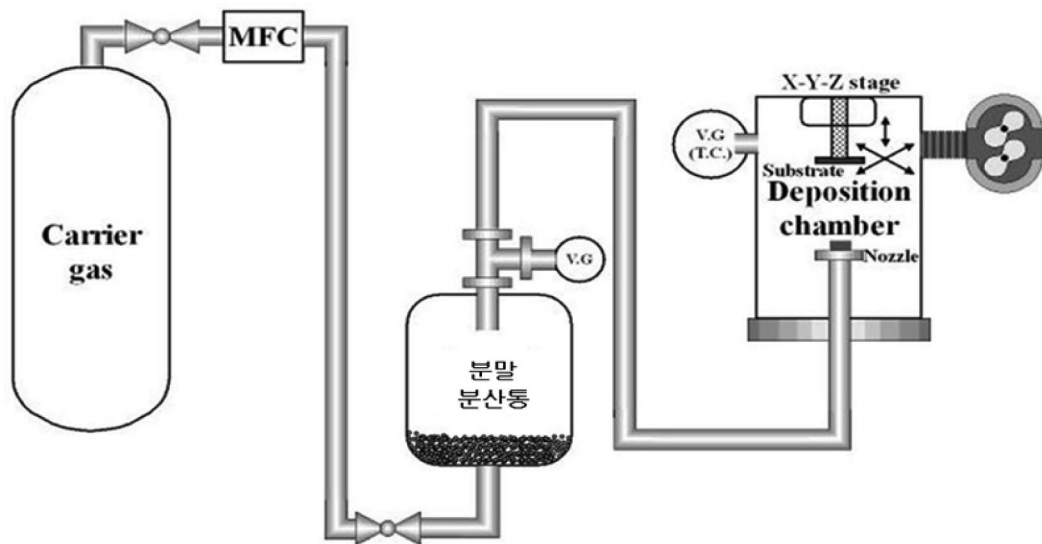


Fig. 11. 상온분사공정 기구.

하고 있으나, 현재의 기술은 센서의 구조설계 및 구동회로, 신호처리에 집중되어 있다. 그러나, 센서소자의 성능은 소재특성에 의해 제한되므로 기존 소재를 이용한 센서의 구조설계나 구동회로 등의 개발로는 감도 및 성능의 향상이나 다기능화를 이루는데 제한적일 수밖에 없다. 압력과 진동을 감지하는 센서는 지능형 소재인 압전소재를 통하여 구현 가능하다. 낮은 전압출력지수를 가지는 압전소재를 센서소재로 적용하면 물리량의 변화에 따라 센서소재 자체가 전기적인 신호를 효율적으로 발생함으로써, 센서소자, 부가적인 구동회로, 입출력신호처리의 단순화를 꾀할 수 있다. 또한 온도센서의 경우 높은 열응답도를 가지는 써미스터 소재를 사용하여 접촉 또는 비접촉 물체의 온도를 빠른 응답속도로 감지할 수 있다.

센서의 성능을 높이기 위해서는 원천적으로 고감도 물리량 감지 소재의 개발과 이를 위한 새로운 박막소재 제조공정기술의 개발이 필요하다. 또, 최근 소자의 소형화 및 다양한 물리적 자극을 동시에 감지하는 센서를 구현하기 위하여 이중의 센서 소재들로 이루어진 다층 박막 물리량 감지 소재 기술이 필요하며, 이를 통해 센서의 복합감지 기능, 환경에 따른 신호 잡음 보상, 초소형화를

이룰 수 있다. 아울러 상업화를 위해서는 양질의 세라믹 박막을 고속으로 대면적화하는 기술이 필수적이나, 현존하는 기술로써는 고속성막, 대면적화, 고밀도화 및 복합 다층화의 요구조건을 모두 만족하는 세라믹 성막공정은 개발되지 않은 상태로 파악된다. 현재 지능형소재(압전, 초전)의 응용분야에 대한 비율은 주로 센서(65%)와 액추에이터(30%) 소재로 사용되고 있으며, 최근 에너지 관련 소재로서의 응용 연구 및 개발이 시작되고 있어 이러한 관련기술에 대한 원천기술의 확보가 향후 국내 기술 경쟁력의 중요한 지표가 될 것으로 생각된다.

### 3. 맺음말

우리의 주력 산업인 IT산업의 흐름은 80년대의 정보저장, 90년대의 정보표시를 거쳐 2000년대에는 정보생성 및 처리 기술로 대변됨에 따라 정보생성의 핵심 중 하나인 센서는 향후 관련 산업의 핵심요소 기술로 주목받고 있다. 또한 미래의 전자기기는 소형, 환경친화, 다기능, 고성능화를 지향하는 방향으로 발전하게 될 것으로 전망되어 각종 전자기기의 부품은 환경 친화적인 세라믹 소

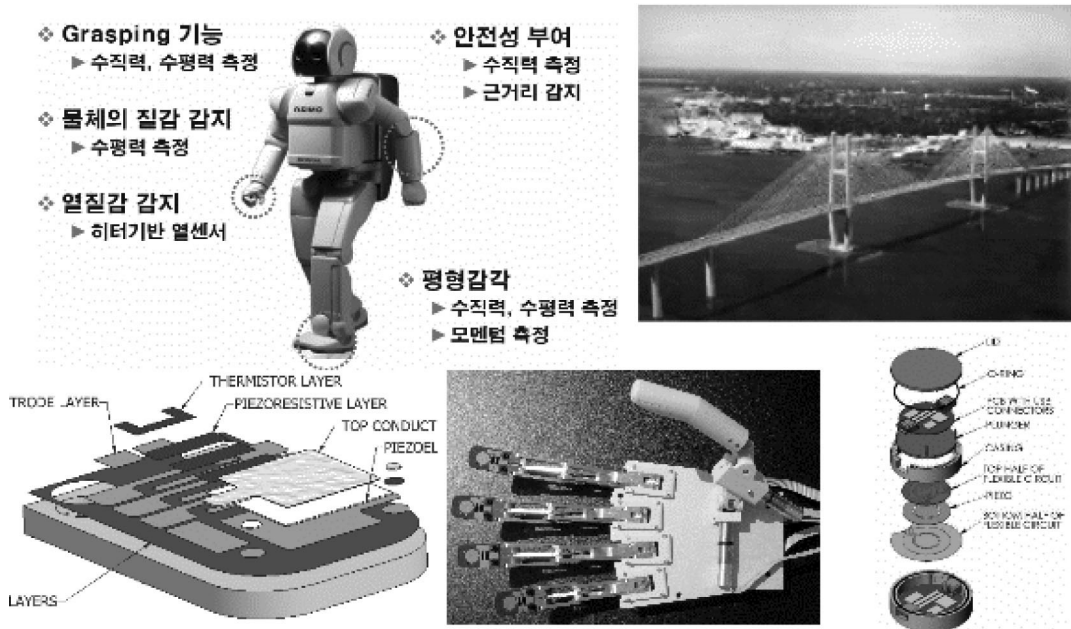


Fig. 10. 고감도 물리량 감지 다층 박막 소재의 적용 예. 로봇용 각종 물리량 감지 센서, 인공 촉각 센서, 대형 구조물의 구조진단 센서 등.



재를 기반으로 소형화, 복합기능화, 지능화 형태로 점차 대체될 것이 자명하므로 이와 관련된 지능형 소재 원천 기술의 확보가 매우 중요한 시점에 놓여 있다.

따라서 관련된 기술개발은 향후 국내 성장동력산업의 근간을 건설하게 할 것이기 때문에 관련된 원천기술의 확보 여부가 미래의 기술경쟁력 지표에 중요 요소로 작용할 뿐만 아니라 산업의 고부가가치화, 고용증대, 수출증대 및 수입역조 완화와 같은 국내 산업의 기반을 견고히 할 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

현재 나노 세라믹소재를 기반으로 지능형 소재 개발을 위해 한국과학기술연구원, 고려대, 세라믹기술원, 전자부품연구원, 재료연구소가 협력하여 공동의 목표달성을 위

해 연구에 매진하고 있으며 국내외 7개 대학이 요소기술 개발을 위해 위탁연구기관으로 참여하고 있다. 창의적 마인드로 신개념 기술의 도출을 통한 선진 한국의 미래상을 이끌어 가고자 상호 협력과 경쟁을 통해 세계적인 원천기술 및 표준기술 개발을 위한 노력을 지속하고 있다.

## 감사의 글

본 보고서는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 지원으로 이루어졌으므로 이에 감사 드립니다.

### ●● 백동수



- 1994년 연세대학교 전기공학과 박사
- 1995년 Pennsylvania State University 박사 후 연구원
- 2000년 (주)이투에스 대표이사
- 2007년-현재 고려대학교 신소재공학과 연구교수

### ●● 윤석진



- 1992년 연세대학교 전기공학과 박사
- 1995년 Pennsylvania State University 박사 후 연구원
- 1988년-현재 한국과학기술연구원 책임 연구원
- 2003년-현재 한국과학기술연구원 박막재료 연구센터 센터장
- 2008년 한국과학기술연구원 영년직 연구원