

# 나노소재의 응용 및 전망

권성구

군산대학교 신소재나노화학공학부

## 목 차

I. 서론	2-4. 전자소재
II. 나노소재의 개요 및 응용	2-5. 나노바이오소재
2-1. 나노소재의 개요	III. 나노소재기술의 전망
2-2. 나노소재의 분류 및 응용분야	IV. 맺음말
2-3. 나노세라믹소재	참고문헌

## I. 서론

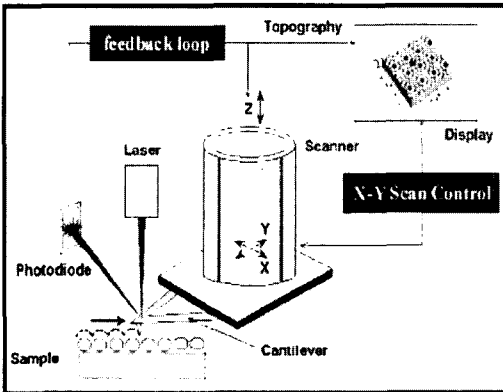
나노기술이란 “물질을 원자·분자 단위에서 규명하고 제어하는 기술이며, 원자·분자들을 1~100nm 규모에서 적절히 결합시킴으로써 나타나는 새로운 기능, 물성 등을 이용할 뿐만 아니라, 신물질 창출이 가능하도록 하는 기술”로 정의할 수 있다. 위의 정의를 통해서 물질을 원자·분자 단위에서 규명하기 위해서는 1) 나노규모를 제어하고, 측정할 수 있는 나노분석·조작기술, 2) 1~100nm 규모에서 적절히 결합하거나, 반응할 수 있도록 제어하는 기술인 나노 공정·장비기술, 3) 새로운 물리·화학적 기능의 구현이나 신기능의 물질창출 등의 나노소재 및 응용기술 등이 나노기술의 핵심임을 알 수 있다. 이러한 나노기술은 생명·물리·화학에 바탕을 둔 기반기술로서, 생명현상의 이해와 활용, 물질의 기본 구조에 입각한 물리·화학적 특성의 구현·조작·응용을 가능하도록 하여주기 때문에 그 응용분야와 파급효과가 매우 크다고 할 수 있다.

이러한 나노기술의 중요성을 인식하고, 학문의 한 분야로서의 과학적 탐구대상에서 산업적 응용가능성을 최초로 역설한 학자는 미국의 노벨물리학상 수상자인 Richard P. Feynman인데, 그는 1959년 Caltech에서 행한 “There is plenty of room at the bottom”이란 제목의 강연에서 “우리가 원자 각각을 원하는 대로 배열할 수 있다면, 조그만 머리카락 크기에 미국 중앙도서관의 책들을 모두 저장할 수 있다.”며, 나노기술의 가능성을 대중

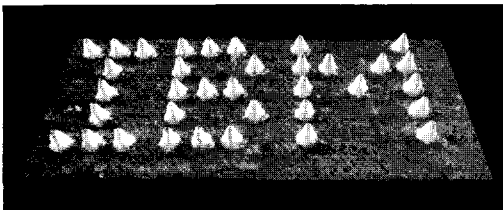
에게 알렸지만, 그 당시에는 실제적으로 원자를 관찰하고, 조작할 수 있는 방법이 없었기 때문에 그 이후로 20년 이상 큰 진전을 보지 못하다가 1980년대 접어들면서 급속한 발전을 이루게 되었다. 이러한 발전에 가장 크게 기여한 것은 1981년 IBM의 Gerd Binnig과 Heinrich Rohrer가 STM(Scanning Tunneling Microscope)를 발명하였고, IBM의 Gerd Binnig과 Christoph Gerber, Calvin Quate가 AFM(Atomic Force Microscope)를 발명하여 원자를 관찰하고 제어할 수 있는 방법을 확보하였고 (그림 1), Top-down 방식의 반도체 미세가공 기술의 발전으로 인하여, 나노규모의 미세구조체의 가공과 산업적 응용이 현실적으로 가능하게 되었다. 세 번째로는 생체 나노현상인 원자와 분자의 자기조립화라는 bottom-up 방식의 초미세 규모의 물질 합성과 대규모 제작기술이 상당한 수준으로 성숙단계에 접어들고 있으며, 네 번째로는 나노규모에서 많은 새로운 물질의 특성과 기능이 발견되었는데, 재료분야에서 탄소나노튜브의 발견, 화학에서 초분자, 바이오에서 단백질 세계의 기본 구성체들의 발견과 이해, 물리에서의 메조스코픽 현상의 발견등과 같은 많은 신물질과 신기능의 발견과 새로운 물리·화학적 특성들이 발견되면서 나노기술의 가능성에 많은 사람이 주목하게 되었기 때문이다. 특히 나노기술이 세계적 관심을 끌게 된 것은 미국의 클린턴 대통령이 2000년 2월에 국회에서 국가나노기술계획(NNI)을 발표하면서 향후 미국의 기술우위를 확고히 하기 위한 핵심분야는 나노기술이라고 언급하고 정부와 산학연의

체계적인 나노기술 개발 계획 수립과 전폭적인 연구자원을 시작한 이후, 전 세계적으로 나노기술이 차세대 기술경쟁력의 핵심기술로 인식되면서 경쟁적으로 연구개발 사업을 실시하여 오고 있다. 이러한 이유로 최근 5년간의 나노기술의 발전은 과히 초 광속으로 진행되고 있다고 할 수 있다. 현재는 주로 반도체 및 공정장비, 분석 및 측정, 신소재, 바이오 등의 분야에서 활발한 성과를 나타내고 있으며 향후에는 에너지 및 환경분야와 융합기술 분야에서의 성장도 기대되고 있다.

본 고에서는 나노분야에서의 학문적발전이 산업화의 문턱을 넘어 미래의 산업혁명을 견인하게 될 소재·공정, IT, 바이오 및 융합기술분야를 개론적으로 폭넓게 고찰함으로써, 나노기술의 향후연구개발 및 산업적 응용을 고려할 때, 도움이 될 수 있도록 정리하였다.



(a) AFM의 구조와 작동원리



D.M. Eigler, E.K. Schweizer, "Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope", *Nature* 344, 524-526 (1991)

(b) STM으로 Ni(110)상에 Xenon원자를 배열

그림 1. (a)원자탐침현미경 및 이를 이용한 원자조작의 예

## II. 나노소재의 개요 및 응용

### 2-1. 나노소재의 개요

대개의 원자크기는 약 0.1nm (10<sup>-10</sup>m) 크기이며, 이러한 크기의 원자가 대략 10개에서 1000개정도 결합하여 분자나 기본 소재의 크기가 1nm에서 100nm 정도의 크기가 될 때 물질의 특성을 나타내므로 일반적으로 나노 기술에서의 탐구영역은 1~100nm로 받아들여지고 있다. 이러한 나노규모에서 나타나는 물질의 독특한 특성은 크게 아래와 같이 세가지로 분류할 수 있다.

나노영역에서의 독특한 특성 중 첫 번째는 물질의 기능은 나노규모에서 처음으로 드러난다는 것이다. 자연계에 존재하는 기본물질(원자)은 100여개이나 이들이 결합하여 이루는 물질의 종류는 헤아릴 수 없이 많다. 이렇게 물질을 이루면서 개별적인 재료특성을 나타내는 최소크기는 1~100nm 가량이며, 이러한 규모에서는 bulk 재료의 특성뿐 만 아니라, 새로운 물리적, 전기적, 기계적, 자기적, 열적, 광학적 특성이 나타나며, 이러한 특성을 제어하고, 이용할 수 있다면, 그 응용가능성은 매우 크다고 할 수 있다. 두 번째는 기능이 나타나기 시작하는 나노스케일을 제어하게 되면 그것보다 크게 만든 물질의 물성과 기능도 조절할 수 있게 된다. 이를 이용할 경우, 기존의 기술로 만든 촉매나 구조물에 비해 나노규모의 기본구조물(1~100nm의 기본 buliding block)로 만든 촉매나 구조물의 활성이나 재료적 특성이 훨씬 우수할 것이라고 짐작하는 것은 어렵지 않다. 세 번째로는 물질의 기능이라는 것이 처음으로 나타나는 나노규모에서는 매우 풍부한 새로운 기능과 현상을 볼 수 있는 세계가 존재한다는 것이다. 이러한 새로운 특성들을 이용할 경우, 새로운 재료와 새로운 기술 및 새로운 응용을 창조할 수 있으며, 그 파급효과는 과학과 산업전반에 걸쳐 지대한 영향을 끼칠 것으로 예상된다. 이러한 나노규모에서 나타나는 특성을 아래에 나타내었다.

#### 2-1-1. 나노크기의 효과

나노구조물의 크기가 전자나 광자의 특성 산란길이 보다 작게되거나, 비슷해질 때 강자성(ferromagnets), 강전성(ferroelectric), 초전도성(superconductor)과 같은 집합적 현상 또는 상전이(phase transition)같은 열역학적인 특성이 매우 달라지며, 이는 그 크기가 고전역학과 양자역학의 경계지점에 위치하기 때문이다.

또한 이러한 나노 규모에서는 전자의 이동특성이 입자와의 상호관계에 의한 산란제한이동 거동에서 격자간의 충돌가능성이 매우 줄어들게 되기 때문에 탄도전자 이동 거동특성을 나타내게 되며, 표면산란 특성이 더욱 중요해지는 영역에 속하게 된다. 또한 부피 대비 표면비의 급격한 증가와 높은 표면에너지로 인하여 표면 활성화와 표면반응속도가 급격히 증가하게 되기 때문에 이를 이용한 고활성 촉매의 개발이나, 미량의 불순물도 감지할 수 있는 고감도 센서의 제작도 가능해 진다.

**2-1-2. 자기 특성**

나노박막증착기술인 에피막 성장기술과 원자층 박막 증착기술 등의 발달로 박막의 조성과 규칙성을 원자규모에서 제어할 수 있게 되어 나노자성체 등의 새로운 소재의 개발과 이를 응용한 신소재의 제작을 가능케 하였다. 원자수준에서 박막을 제어할 경우, 양자특성, 터널링, 열유도 전자스핀 등이 가능하게 된다. 예를 들어 자기합금인 Nd-Fe-B의 조성을 원자규모에서 최적화하면, 이론적으로 자기력이 2배 이상 증가할 것으로 예상된다. 이 외에도 나노규모의 다층박막에서 일어나는 층간 자기 결합을 통해 거대자기장(GMR, Giant Magneto-resistance)이 일어나는 것이 발견되었으며, 이를 하드디스크에 적용함으로써, 하드디스크의 저장능력이 획기적으로 증가

하였다. 이 외에도 자기센서를 이용하는 의료분야, 기록장치, 영상장치 등에 나노 자성체를 응용할 수 있다.

**2-1-3. 열특성**

나노입자를 이용하여 저온에서 균일한 조성의 높은 결정도를 가진 재료를 만들 경우, 열전도도가 크게 향상될 수 있으며, 용액에 나노입자를 분산시킬 경우에도 열전도도 특성이 획기적으로 향상될 수 있으므로 소형이면서도, 효율이 높은 열교환기의 개발 등이 가능해 질 수 있다.

**2-1-4. 기계적 특성**

다결정 재료의 입자크기가 나노 규모로 작아지면, 기계적 특성이 크게 변하는 것으로 알려지고 있다. 예를 들면 단결정 금표면에 원자1개층의 박막을 형성한 경우에 항복강도가 크게 증가하였으며, 커다란 입자로 구성된 다결정 다이아몬드에 비해 나노규모입자로 구성된 다이아몬드의 기계적 강도가 월등히 향상된 특성을 나타내는 것이 확인되었다. 또한, 직경이 작은 단일층 탄소나노튜브의 경우, 철강의 1/6의 무게에 불과하지만 강도는 100배이상의 우수한 특성을 나타내었다. 따라서 이러한 나노소재를 대량으로 생산하고, 손쉽게 취급할 수 있게 된다면, 우수한 기계적 특성을 가진 구조물의 제작이 가능하여질 것이다.

표 1. 나노기반기술 분야의 주요응용

구 분		핵심 기술	응용 분야
나노측정 및 분석	표면구조/형상/결합/조성/조작 등	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 표면 구조 형상 및 조작                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· AFM(Atomic Forces Microscope)</li> <li>· SPM(Scanning Probe Microscope)</li> <li>· STM(Scanning Tunneling Microscope)</li> </ul> </li> <li>○ 표면 화학구조 및 결합                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· ARXPS(Angle resolved X-ray Photoelectron Spectroscopy)</li> <li>· UPS(UV Photoelectron Spectroscopy)</li> <li>· SAXS, EXAFS</li> </ul> </li> <li>○ 결정구조/화학조성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· TEM(Transmission electron Microscope)</li> <li>· SANS(Low Angle Neutron Scattering)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기초과학</li> <li>· 반도체등 첨단산업</li> <li>· 신소재/신기술 개발 등</li> <li>· 의료/환경/교육 등</li> </ul>
	나노 공정기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Semiconductor &amp; NEMS Process Tech.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· Lithography ( UV, X-ray, e-beam, etc.)</li> <li>· Etching (Plasma etching, wet etching)</li> <li>· 기타 ( CMP, )</li> </ul> </li> <li>○ Semiconductor                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· CVD (LPCVD, PECVD, Epitaxy, ALD)</li> </ul> </li> <li>○ Bio-/Material Science                             <ul style="list-style-type: none"> <li>· Self Assembly</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Semiconductor</li> <li>· Display</li> <li>· Solarcell, Battery</li> <li>· Sensor/ MEMS</li> <li>· 유·무기 신소재/부품</li> <li>· 신소재/신약</li> <li>· 지능형 복원재료</li> <li>· BT/NT 기반기술</li> </ul>

표 2. 나노응용기술 분야의 주요응용

구 분		핵심 기술	응용 분야
나노 소재	나노입자 나노박막 나노벌크 나노코팅	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고효율성 및 고선택성 촉매</li> <li>· 나노고분자</li> <li>· 지능형 재료</li> <li>· 나노세라믹스, 나노글래스</li> <li>· 나노메탈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 2차전지/연료전지/전극재료/광부품</li> <li>· 고효율촉매, 흡착제</li> <li>· 생체의료</li> <li>· 콘덴서등 전자부품</li> </ul>
나노 소자	실리콘	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CMOS 소자</li> <li>· 양자/단전자 소자</li> <li>· 터널링 소자</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 메모리 소자</li> <li>· 시스템 LSI/SoC</li> <li>· 정보통신관련 제품</li> </ul>
	비실리콘	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 화합물 반도체</li> <li>· III-V, II-VI족 소자(GaAs, GaN, In-P..)</li> <li>· SiGe, SiC 소자</li> <li>○ 기타</li> <li>· Diamond, ZnO, 양자/단전자 소자</li> <li>· 스핀소자/자성반도체</li> <li>· CNT 소자등 유기물 반도체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 메모리 소자</li> <li>· 시스템 LSI 소자</li> <li>· SoC 소자</li> <li>· 광전자 소자</li> <li>· 디스플레이</li> <li>· 정보통신관련 제품</li> </ul>
나노 바이오	바이오칩 센서 약물전달체	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단백질칩/DNA칩</li> <li>· Lab on a Chip, 진단시약</li> <li>· 바이오센서, 의료용 MEMS</li> <li>· 나노머시닝, 나노운송체</li> <li>· 약물의 피부침투 및 세포침투</li> <li>· 분자접합기술, 약물표적기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임상분석, 진단기기</li> <li>· 생체재생, 인공장기</li> <li>· 항암제, 신의약품</li> <li>· 미량약물분석</li> <li>· 생화학검사</li> <li>· 펩타이드/단백질</li> </ul>

**2-1-5. 기타 특징**

나노입자의 크기가 100nm 이하가 되면, 가시광, 자외선, 적외선등과 반응하여 광에너지의 흡수, 산란 등의 현상이 활발하게 일어나게 되며, 이를 이용한 광소자기술은 작금의 전자이용에서 광 응용분야로의 발전을 견인할 것이다. 현재 이러한 기술의 응용 예로는 광결정 소재의 개발, 유기 광결정 레이저 소자의 개발 등이 있다.

**2-2. 나노소재의 분류 및 응용분야**

나노기술은 크게 기초/기반 기술로써, 측정 및 조차, 분석과 나노공정기술(Bottom-up process, Top-down process) 및 응용기술 분야인 나노소재, 나노소자 및 나노바이오로 분류될 수 있으며, 각각의 핵심기술과 응용 분야에 대해서는 표 1, 2에 정리하였다.

**2-3. 나노세라믹소재**

**2-3-1. 나노세라믹개요**

나노소재와 나노소자기술은 나노기술의 핵심이라고

해도 과언이 아니다. 모든 신기술은 신소재를 바탕으로 신소재의 특징을 이용하는 소자를 통해서 구현되는 것이 보편적이다. 현재 각광받고 있는 나노기술도 나노소재 물질과 나노소자기술이 바탕이며, 나노소재 · 소자기술의 개발과 혁신이 나노기술 발전의 필수적인 요소이다.

나노소재 중 나노입자는 자기기록테이프, 자외선 차단제, 자동차용 촉매, 바이오센서, 전기전도코팅, 광섬유 등으로 많이 활용되고 있으며, 경량 · 고강도 폴리머소재는 자동차의 차체로 사용되어 연비를 개선할 것으로 기대되며, 전자분야의 디스플레이등에도 활용될 것으로 기대된다. 우수한 자성 특성을 가지는 나노소재의 경우에는 고밀도 기억용량을 가지는 하드디스크, 비휘발성 자기메모리, 자동차용 센서 및 지뢰탐지기 등에도 활용되고 있다. 이외에도 나노입자들은 표면 대비 부피의 비가 매우 크므로 표면 반응을 활성화 시킬 수 있는 촉매로 사용될 뿐만 아니라, 필터로 사용될 경우, 우수한 정수능력과 화학오염물의 제거에도 탁월한 효과를 나타내는 것으로 알려지고 있다.

이러한 나노소재의 다양한 분야 중 세라믹분야, 전자재료분야, 및 바이오소재분야에 한정하여 간단한 기술개요와 전망에 대해서 아래에 나타내었다.

### 2-3-2. 기술현황 및 전망

무기재료 혹은 비금속 재료인 세라믹은 우수한 재료적 특징과 풍부한 원료, 제작의 용이함으로 인하여 건축, 용기, 도구, 예술·장식 등의 분야에서 폭넓은 응용과 활용으로 인류문명발전에 가장 많은 영향을 끼친 소재이다. 최근에는 첨단산업용 소재로 활용되면서, 신산업·신기술을 선도하고, 국가경쟁력을 견인하는 핵심연구분야로써 널리 인정받고 있다. 대표적인 예로는 세라믹 마이크로웨이브 필터와 공명기 기술이 무선통신분야의 발전을 선도하였으며, 압전세라믹 소재의 발전으로 AFM과 SPM 등의 원자현미경이 가능하였고, 의료용 초음파기기, 자동초점카메라, 허블망원경의 vision-correction 등의 의료·산업·과학의 발전에 크게 기여하였으며, 세라믹산화전극의 발전으로 이차전지, 디스플레이 산업 등이 크게 발전하였으며, 생체재료로써 인공치아, 인공뼈 등에도 많은 기여를 하고 있다.

향후 세라믹소재가 크게 기여할 수 있는 분야는 1) 구조세라믹, 전자기계 세라믹 재료, 2) 전자/화학 세라믹, 3) 유리 및 광소자용 세라믹, 4) 융합세라믹(유·무기, 금속·무기, 유·금속·무기 등의 융합소재), 5) 나노세라믹 전산설계 및 공정기술 등의 분야로 예상되므로, 이러한 분야에 많은 관심과 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 가) 구조세라믹/전자기계 세라믹 재료

현재 활용되고 있는 구조 및 전자기계 세라믹의 예로는 세라믹 터보차저, 베어링, 우주왕복선의 내화벽돌, 내열코팅, 마이크로웨이브 자기세라믹, 패키징재료 등이 있으며, 점차 그 중요성이 증대되어가는 센서, 진동자, MEMS, 의료영상소자, 복합소재, 다공성 촉매 및 필터소재, 내부식·내마모소재 등에 대한 연구와 소재의 신뢰성 증대를 위한 기계적·화학적 안정성 등에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이 외에도 향후 고기능성 세라믹 연구분야로는 진동자, 기억소자, 연료전지전극, 압전소재, 지능형센서 등에 대한 연구가 중요할 것으로 예상되며, 이러한 소재 개발을 위해서는 세라믹의 표면 및 계면 성질의 이해와 제어, 표면 개질(탄화/질화물)과 나노규모에서의 미세 구조분석·결합·제어 등의 화학·구조·물성·공정기술과, 컴퓨터를 이용한 세라믹 물성에

측과 재료설계 기술 등에 대한 연구가 활발히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 나) 전자세라믹/화학세라믹재료

세라믹 재료의 전기적·화학적 응용은 전기, 전자기계, 유전체, 전기화학 및 화학공정 등에 대한 지식이 요구되므로 이에 대한 교과과정 보강과 다학제적인 연구풍토가 필요하다. 이러한 분야에 응용되는 소재로는 무선통신용 소재(필터, 진동자, 공명기), 촉매소재(연료전지 및 이차전지용 전극재, 광촉매, 환경용 화학촉매, 기체분리용 필터 등) 등이 있으며, 향후 응용이 활발해 질 것으로 예상된다.

#### 다) 유리 및 광소재

유리소재는 조성의 제어를 통하여 구조와 물성을 쉽게 제어할 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 소재의 응용은 첫째, 통신분야 응용의 광섬유, 광소자, 핵폐기물 고정화 재료, 수술 및 구조재료로서의 유리섬유 및 이를 응용한 복합재료, 단열재료 등에서 많은 응용과 활용이 예상되며, 향후에는 광소재로서의 응용이 매우 유망하다.

특히, 반도체의 석판화기술, 수술, 공정, 용접 등에 활용되는 자외선 레이저 기술, 건축물의 지능형 코팅소재, 디스플레이용 코팅소재, IR 필터용 섬유, 고주파변환기, IR/VIS/UV/X-ray 용 광학소재 등이 여기에 속한다.

#### 라) 새로운 세라믹 소재공정

기존의 세라믹 제조공정은 대부분 재료합성 및 분말화와 성형 및 소결이 특징인 분말공정을 이용하였으나, 향후에는 단결정성장, 코팅, 복합재료공정, 박막공정기술 등의 새로운 공정기술의 활용이 증가할 것으로 예상된다. 이러한 공정기술을 이용한 세라믹 소재로는 박막 축전기, 세라믹 베어링, 단결정 자기 페라이트, 박막 압전세라믹, 인공뼈용 알루미늄 등이 있다. 특히 생체세라믹 복합재료의 경우에 새로운 공정기술의 활용이 두드러지고 있다.

#### 마) 세라믹 용/복합소재

최근의 생체재료와 고기능성 복합소재는 세라믹과 고분자의 결합, 기능성 복합소재, 코팅 기술을 이용한 박막복합소재기술 등의 다양한 방법을 통해서 다양한 응용과 유·무기소재의 용·복합화가 활발히 이루어지고 있다. 대표적인 경우가, 생체재료용 유·무기 복합소재인데, 콘택트렌즈, 마모방지용 코팅, 인공보철기, 뼈재생

용 보호골격재 등이 있으며, 이 외에도 hybrid형으로는 세라믹 입자가 고분자 물질안에서 줄-겔 방식에 의해 형성되는 미세복합재료로 내화물, 생체세라믹, 전자재료 등이 있으며, 향후 응용이 증가할 것으로 기대된다.

전문가들은 2015년경 나노기술로 파급될 경제효과는 나노소재만으로도 3000억불에 달할 것으로 예상하고 있으며, 나노소재로 개발될 나노소자와 응용시스템까지 포함한다면, 그 예상 효과는 매우 클 것으로 예상된다.

## 2-4. 전자소재

소재산업 중 전자재료 부문은 전세계 수요가 730억불에 이르며, 특히 반도체 재료분야는 연간 13%의 높은 성장률을 나타내고 있다. 국내의 경우는 전체 수출에서 IT-반도체 관련 제품(반도체, 휴대폰, TFT-LCD 등) 수출 비중과 수익성 면에서 가장 높은 산업 분야가 되었으며, 향후 국가의 지속적인 경제성장을 견인할 핵심 분야이나, 핵심소재와 제조설비의 경우는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 전자재료는 특성상 큰 파급효과, 고부가가치의 기술집약형, 복합기술, 짧은 제품 수명과 다양한 요구에 부응하여야 하므로 반도체소재업체와 소재업체간의 긴밀한 협조가 특히 강조되는 분야이다. 전자재료산업은 현재 반도체, PCB, 저장소자, 배선재료, 디스플레이, 전지소재 분야 순으로 시장규모가 크지만 향후 전망은 반도체, 패키징, 디스플레이, 전지 및 광소재 분야가 유망할 것으로 판단된다.

### 2-4-1. 반도체 재료

반도체분야에서 향후 10년간 주목받을 주요소재는 300mm와 450mm 실리콘 웨이퍼, 와 SOI(silicon on insulator)웨이퍼, 저유전율 유전체, 고유전율 절연막 소재 및 계면일함수 제어 및 정합성이 우수한 금속전극소재, Cu, Ag, Au 등의 저저항 금속 배선소재와, CMP (chemical-mechanical polisher) 공정용 slurry, 광식판 화기술에 사용될 photo-resist 등이며, 이들의 국산화를 위해서는 소재업체와 소재업체 뿐 만 아니라 대학의 기초연구가 필요하다.

### 2-4-2. 패키징 소재

반도체 패키지는 제작된 IC를 전기적으로 외부와 연결되면서 안전하고 용이하게 다루어질 수 있도록 포장하는 기술인데, IC의 고집적화, 고속화 및 높은 발열에 안정적이면서 휴대폰 등에서 요구되는 얇고, 작게 포장

이 되어야 하는 고난도의 기술이다. 현재는 세라믹 계통의 소재를 이용하여 IC를 개별적으로 포장하고 있으나, 향후에는 반도체 공정을 이용하여, 웨이퍼 상에서 배선과 포장이 가능한 기술로 발전할 것으로 예상되며, 이외에도, 다층포장과 다중칩 포장기술등으로 분화 발전할 것으로 예상된다. 이러한 포장기술의 발전을 이루기 위해서는 핵심소재의 개발이 필수적인데, 이러한 소재들로는 기판소재, 액상봉지재, elastomer, solder ball, underfill, conductive adhesives 등이 있다.

### 2-4-3. 디스플레이 소재

디스플레이 시장은 기존의 CRT를 대체하는 새로운 표시소자로서, 중대형소자로는 TFT -LCD, PDP와 소형이나 저가제품용 유·무기 ELD 등이 향후 시장의 주력 제품이 될 전망이다. 따라서 이러한 신규제품의 발전에 요구되는 핵심소재 기술에 대해서 간략히 정리하였다.

- LCD 재료: 동화상, 시야각, 휘도특성이 크게 개선되었고, 소재·부품의 단가하락과 공정의 단순화 및 제조기술의 발전으로 급속히 CRT시장을 대체하고 있으나, 제품가격에서 차지하는 재료비용이 아직도 50%를 상회하고 있다. 이를 구성요소별 원가분석을 하여보면, color filter 20%, 구동 IC 8%, 백라이트 모듈 7%, 유리기판 3%, PCB 6%, 액정/감광막/편광필름 등이 13%를 차지하고 있으며, 이들의 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이다. 향후 CRT를 대체하고, 수출경쟁력을 제고하기 위해서는 고부가가치 핵심소재의 국산화가 필수불가결한 요소라 할 수 있으며, 이러한 소재로는 면발광이 가능한 백라이트 모듈, spin-on metal, 고성능 액정 및 고속액정주입기술 또는 액정을 사용하지 않는 기술, 저저항 배선기술 및 저비용 패터닝기술과 소재(잉크젯 프린팅 기술 및 잉크소재) 등이 요구된다.

- PDP 재료: 특히 PDP 소자의 경우에는 저가격, 저전력 특성과 화질 개선이 관건이며, 이를 위해서는 새로운 인광물질의 개발, 가스방전효율 개선기술과 관련 소재 개발이 필요하다.

- EL 용 재료: EL 소자란 재료에 전류를 흘리면, 재료 내에서 전자와 정공이 결합하면서 발생하는 고유의 발광을 이용한 표시소자를 말하며, 재료자체의 발광특성을 이용하는 기술이기 때문에 고효율, 고신뢰성의 EL소재 개발이 필수이다. 현재는 유기EL소재나 유무기 복합소재의 개발이 관건인데, 현재까지의 소재들은 대부분 영국 등 외국계 회사들이 원천 물질특허를 독점하고 있

는 실정이다.

#### 2-4-4. 전지재료

휴대용 정보통신기기와 휴대용 전자제품의 발전으로 충·방전이 가능한 이차전지 수요는 폭발적으로 증가하고 있으며, 향후에도 지속적 성장이 예상되는 분야이다. 초기에는 일본이 독점적 위치에 있었으나, 현재는 한국, 대만, 중국등 동남아시아에서의 상업화가 활발히 이루어지고 있다. 이차전지는 음극재료, 양극재료와 membrane 및 전해질로 이루어져 있으나, 점차 모든 구성재료가 고체 박막으로 발전하면서 빠르게 소형화·박막화·대용량화로 진화하고 있는 추세이다. 현재는 액체 전해질 대신에 고분자전해질이 사용되고 있으나, 향후에는 모두 고체박막으로 대체될 것으로 예상된다. 이러한 이차전지의 핵심기술은 소재, 설계와 공정기술이며, 이중 소재 측면에서 볼 때, 양극재료로는 현재 Co계가 사용 중이며, 저가의 Ni와 Mn계로 대체하는 연구를 진행 중이지만, 향후에는 고용량 특성을 확보하기 위하여 sulfur 계 또는 신물질의 소재개발이 요구되고 있다. 음극극은 Li 금속이 현재사용중이며, 전해질은 고효율의 이온전도성폴리머 소재가 연구되고 있다.

#### 2-4-5. 광소재

초고속/대용량 정보통신기술을 위해서는 고속·대용량의 광전송·광기록 소자들이 필요하다. 기존에는 InP계의 반도체 소자와 실리카(LiNbO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>, K(NbTa)O<sub>3</sub>, (BiSr)Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) 등에 기초한 무기재료가 활용되었으나, 향후에는 유기고분자 소재로 점차 대체될 것으로 예상되며, 이에 대한 연구가 국내외로 활발한 연구가 진행 중이다.

### 2-5. 나노바이오소재

나노바이오기술은 특히 최근에 지노믹스나 프로테오믹스 등 첨단 바이오테크 영역이 급속히 발전함에 따라, 연구 결과로 얻어지는 천문학적인 양의 생물정보를 빠르고 정확하게 분석, 활용할 수 있는 능력이 매우 중요하게 됨에 따라 새롭게 부상하고 있는 분야이다.

나노바이오테크를 이용한 주요 응용제품으로는 유리나 실리컨 등의 무기물 기판 위에 DNA, 단백질 등의 생체 유기물을 결합시켜 유전자 발현 양상이나 단백질 분포, 반응양상 등을 분석해 낼 수 있도록 한 생물학적 마이크로 칩인 바이오칩, 분자간의 선택적인 반응성을 이

용하여 다양한 생리 활성 물질의 농도를 정량할 수 있는 것으로, 혈액 성분 분석이나 각종 병원균의 정량 등의 의료분야에 활발하게 적용되고 있는 바이오센서를 이용한 휴대용 의료기기, 초고속 신약 후보물질 검색도구나 초소형 로봇이나 나노캡슐을 이용한 약물전달시스템 등은 약물의 효능을 개선하고, 부작용을 감소시키는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대되며, 이 외에도 인공장기나 관절 등의 소재개발연구도 활발히 진행되고 있다.

아직은 개발 초기단계에 있으나 기술발전 속도는 매우 빠른 편이며, 현재 주요 바이오 테크 관련 시장은 연구용 분석기기, 휴대용 측정기기 등이 주를 이루며, 점차 임상 및 진단과 식품, 농업, 환경 모니터링 분야 등으로 확대될 것으로 예상된다.

세계적인 시장 조사기관인 Frost & Sullivan에서는 시장규모가 2015년경 1,800억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다.

## III. 나노소재기술의 전망

원자규모에서의 조작과 제어를 통한 재료의 신기능 규명 및 소자·시스템 규모에서의 응용, 신소재의 개발, 원자규모의 재료합성·제어를 위한 나노공정 및 분석기술의 개발 등은 아래 그림 2에 나타낸바와 같이 전자·정보기술분야, 생명공학·의료·보건, 에너지·환경·국방 등과 같이 기초분야에서부터 응용분야에 걸쳐 지대한 파급효과를 유발할 수 있는 새로운 패러다임으로써, 물리·화학·생물·수학 등의 기초학문 분야와 재료·화학·전자·생명공학·기계·컴퓨터공학 등의 응용기술분야의 융합을 촉진할 것이며, 다학제적인 교육과 연구가 활발해질 것이다. 또한 연구·개발·생산의 점진적인 산업화보다는 산학연 협동연구를 통한 맞춤형 연구개발과 산업화로 제품개발 주기의 획기적 단축이 이루어질 것으로 예상된다. 교육과 연구개발에서도 기존의 뉴턴역학적인 관점에서 양자역학과의 통합적인 관점으로, 대규모·대량생산의 열역학적인 화학반응관점에서 자연계의 고효율 생체반응 특성을 통합하는 관점으로 발전할 것이며, 컴퓨터와 정보기술을 활용한 효율적인 연구 경향이 더욱 강해질 것으로 예상된다. 이 외에도 나노기술은 기반기술적인 특성이 강하고, 소재·부품·공정기술이 핵심이기 때문에 자체로서의 산업효과도 지대하지만 타기술 분야

와의 융합을 통하여, 새로운 영역의 개척이나, 기존 기술 분야의 획기적인 발전을 견인할 것으로 기대된다. 이러한 나노기술 기반의 IT·BT·NT 융합기술의 발전 전망을 그림 3에 나타내었다.

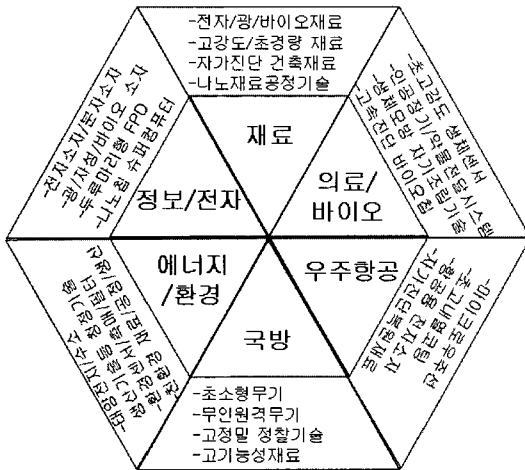


그림 2. 나노기술의 응용분야

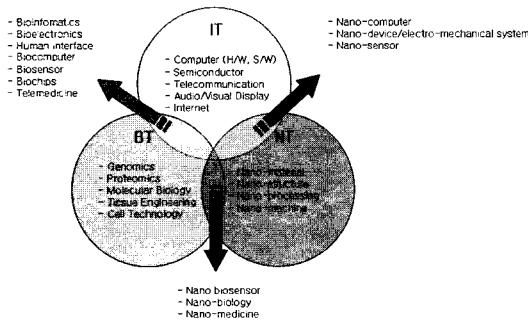


그림 3 나노 및 융합기술의 발전 전망

도하는 등의 신기술 및 신산업의 창출과 전통산업의 고부가가치화를 병행하여야 할 것으로 판단된다.

성공적인 나노기술 및 융합응용기술의 발전은 단단한 기초과학과 다양한 소재·부품기술 및 원천기술을 토대로 성숙할 수 있는 것이다.

기초학문영역 관점에서 볼 때, 나노물리현상과 구성원소, 크기, 형태등과의 상호관계, 또한 다양한 물질들의 상호작용 등에 대한 규명이 아직 미흡하기 때문에 이에 대한 대학에서의 기초연구가 필요하며, 따라서 향후 나노기술, 나노소재 및 응용기술 등의 핵심 아이디어에 대한 대학의 역할이 크다고 할 수 있다.

나노기술과 관련된 기초지식의 확대는 컴퓨터를 이용한 효율적 신기능·고기능 재료합성을 가능케 하고, 나노기술과 IT 및 BT등과의 융합을 통한 응용기술이 획기적으로 발전함에 따라, 산업전반의 고도화와 지능성재생재료, 청정에너지 기술의 발전, 의료·복지·환경 기술의 발전, 전자정보기술의 발전으로 인한 유비쿼터스 정보통신 환경의 구축 등으로, 고효율 지식기반사회가 이룩되어 에너지소모는 대폭 줄어들면서 효율성이 매우 높은 사회가 구축될 것으로 예상되나, 한편으로는 선진국과 후진국 간의 기술격차가 더욱 벌어짐에 따라 인종간·국가간 부의 분배에 대한 갈등은 깊어질 소지가 있다.

이러한 나노기술의 발전은 부존자원이 부족하지만 기술집약형의 반도체·정보통신·자동차·조선 등의 견실한 산업구조, 최고수준의 정보인프라와 높은 교육수준의 우수 인력을 갖춘 우리나라에게는 선진국으로 도약할 수 있는 새로운 기회가 될 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 21C 기술주도권을 확보하고, 선진복지사회 구현을 위해서는 나노기술 및 융합응용기술로의 기술 패러다임의 변화를 적극적으로 수용하는 자세가 필요하고, 다학제적인 협동연구와 창의성을 중시하는 교육풍토를 배양하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

#### IV. 맺음말

21세기 산업발전과 기술혁신의 핵심은 정보기술, 나노기술, 생명공학기술이라 할 수 있으며, 자원과 인력이 한정된 우리나라의 경우에는 강점기술에 선택과 집중을 하는 전략을 취해야 할 것이다. 또한 미래유망기술 간의 융합은 물론 전통산업기술과의 융합에도 투자하여 기술 분야 간의 융합의 가속화와 이를 통한 시너지 효과를 유

#### 참고문헌

- [1] National Nanotechnology Initiative report, July 2000
- [2] ITRS 2007 International Technology Roadmap for Semiconductors
- [3] R. W. Keyes, "Physical limits of silicon transistors"



and circuits", Rep. Prog. Phys. 68, 2701(2005)

[4] Nanomaterial Roadmap 2015, Sixth Framework Programme, 2004

### 저자소개



권성구(Kwon Sung Ku)

1988. 연세대학교 화학공학과(BS)  
1991. 한국과학기술원 화학공학과(MS)  
2000. 한국과학기술원 화학공학과  
(Ph.D)

1991.1-1991.12 KIST 위촉연구원

1992.1-1995.9 현대전자 주임연구원

2000.4-2005.3 ETRI 선임연구원

2005.3-현재 군산대학교 신소재나노화학공학부  
조교수

※ 관심분야: 나노소재/공정, 전자/에너지소재