

## 나노전자재료와 응용



**반용병**  
(특허청 화학 사무관)

### 1. 서론

21세기는 전자, 정보, 통신 기술 분야의 비약적인 발전으로 고도로 발달된 정보화 사회로 변모되고 있다. 따라서 정보화 사회의 도래를 위해서는 차세대 정보소자용 신소재 개발이 선행되어야 하는데, 기존의 사용되던 재료들은 그 종류가 매우 다양하지만 차세대 신소재로써의 대안으로는 부족한 점들이 없지 않다. 이 중에서 유기물 소재들은 다양하게 구성분자들의 화학구조를 설계하고 합성함으로써 무기물이 가지고 있는 단점, 즉 제조공정이나 가공의 어려움을 상대적으로 해결할 수 있기 때문에 고집적도와 고기능성을 요구하고 있는 전자산업에 각광을 받고 있다. 일반적으로 기능성 유기물 소재는 빠른 응답시간, 뛰어난 물리적 특성, 우수한 열적, 기계적 특성을 지니며, 가공이 용이하여 사용 목적에 따라 박막이나 섬유 등으로 성형하기 쉽고, 그 종류가 매우 다양하여 신소재로의 무한한 가능성을 지니고 있다. 그렇지만 전자소자로서의 집적도와 기능성을 보다 만족하기 위해서는 나노크기의 분자 제어기술이 추가적으로 제안되었고 현재 각 산업분야에서 매우 다양하게 응용되고 있으며 세계적으로 매우 관심을 가지고 있는 연구분야이기도 하다.

여기서 말하는 나노크기의 분자제어기술, 즉 나노테크놀로지의 핵심은 분자 혹은 원자를 마음대로 움직여서 근본적으로

는 새로운 분자조직을 가진 큰 구조물을 만드는 능력이다. 즉 나노미터의 크기로 인해서 새로이 발견되는 물리적, 화학적, 생물학적 특성이나 현상을 탐구하는 것이 목적이고 이를 효과적으로 제조하고 사용하는 방법이다. 나아가서는 계면의 안정성을 유지하면서 마이크로 길이수준으로 이러한 나노구조물을 집적화시키는 것도 매우 중요한 목표라고 할 수 있다.

21세기 나노테크놀로지 시대의 기본 물질로 인식되고 있는 나노전자소재는 다가오는 정보화 사회에 필요한 정보저장장치 디스플레이 재료로 각광을 받고 있으며, 나아가서는 국가 경제에 있어서 부가가치 창출의 핵심분야가 되고 있다.

따라서 필자는 나노재료의 응용분야가 산업전반에 걸쳐서 매우 광범위하기는 하나, 재료측면에서 나노화합물을 이용한 새로운 발광소자, 초소성을 갖는 나노소자, 미세한 결정립을 갖는 자성재료(초상자성 센서 및 자성유체등), 표면적의 극대화를 이용한 다공성의 광촉매, 연료전지 및 가스센서등으로 구분하였으며 각각의 특징을 세부적으로 살펴보기로 한다.

### 2. 나노전자재료의 특징과 그 응용분야

#### 2.1 탄소나노튜브

나노전자소재에서 가장 기본이 되는 물질로 여겨지는 탄소나노튜브(Carbon Nanotube: CNT)는 지구상에 다량으로



그림 1. 탄소나노튜브의 모식도.

존재하는 탄소로 이루어진 탄소동소체로서 하나의 탄소가 다른 탄소원자와 육각형 벌집무늬로 결합되어 튜브형태를 이루고 있으며, 튜브의 직경이 나노미터( $\text{nm}=10\text{억분의 }1\text{미터}$ ) 수준으로 극히 작은 영역의 물질이다. 지난 91년 일본의 이지마 교수가 처음 발견한 탄소나노튜브는 우수한 기계적 특성, 전기적 선택성, 뛰어난 전계방출 특성, 고효율 수소저장매체 특성 등을 지니며 현존하는 물질 중 결합이 거의 없는 완벽한 신소재로 알려져 있다.

먼저 탄소나노튜브 합성의 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. 1992년 Ebbesen, Ajayan 등은 전기방전법을 사용하여 탄소나노튜브를 합성할 때 챔버내의 헬륨압력을 높일 경우 흑연 음극상에서 탄소나노튜브의 합성 수율이 크게 증가한다는 사실을 발표하였다. 1993년에는 IBM의 Bethune 등과 NEC의 Iijima 등이 전기방전법을 사용하여 직경이 1nm 수준인 단중벽 나노튜브(single wall nanotube: SWNT)를 합성하였다. 이어서 1996년 Smalley 등은 레이저 증착법(laser vaporization)으로 직경이 균일한 SWNT를 고수율로 성장시키는 방법을 발표하였고, 이 경우 성장된 SWNT는 bundle 형태로 존재하여 이 형태를 다발형 나노튜브(rope nanotube)로 명명하였습니다. 1998년에 Ren 등이 플라즈마 화학기상 증착법을 사용하여 글라스 기판위에 수직배향된 고순도의 탄소나노튜브를 합성시킴으로써, 탄소나노튜브의 합성과 응용기술 면에서 획기적인 진전을 가져오게 되었다. 그 이후로 탄소나노튜브 합성 및 응용에 관한 연구가 국내외적으로 많은 연구자에 의해 활발히 수행되고 있다.

이러한 탄소나노튜브는 다양한 물리적 성질을 가지고 있어서 각종 장치의 전자방출원(electron emitter), VFD(vacuum fluorescent display), 백색광원, FED(field emission display), 리튬이온 2차전지전극, 수소저장 연료전지, 나노

와이어, 나노 캡슐, 나노 펜셋, AFM/STM tip, 단전자 소자, 가스센서, 의·공학용 미세 부품, 고기능 복합체 등에서 무한한 응용 가능성을 보여주고 있다.

21세기의 첨단 전자정보화시대에는 지금까지 대표적인 표시소자로 사용되어 온 CRT(cathode ray tube)의 뒤를 이어서 LCD(liquid crystal display), LED(Light emitting diode), PDP(plasma display panel), FED 등의 평판 디스플레이가 주역으로 등장할 것으로 예상된다. 그 중에서도 고효율, 고효율 및 저소비 전력을 장점으로 갖는 FED는 차세대 정보디스플레이 소자로 크게 주목을 받고 있고 FED의 핵심기술은 전자방출 팁의 가공과 안정성에 바탕을 두고 있다. 기존의 실리콘 팁이나 몰리브덴 팁은 수명과 안정성에 큰 문제가 있고, 또한 전자방출 효율이 좋지 못하기 때문에 탄소나노튜브를 전자방출원으로 사용하려는 연구가 현재 크게 주목을 받게 된 것이다.

탄소나노튜브를 2차전지전극 및 연료 전지에 응용하여 현재 사용되고 있는 수소흡착합금 대신에 사용하면 지금의 2차전지에 비해서 무게를 월등히 줄일 수 있고 충전효율을 크게 높일 수 있다. 따라서 탄소나노튜브를 전극으로 사용하는 2차전지를 자동차 배터리, 충전용 전전지, 노트북 컴퓨터 등의 소형 이동용 전자제품에까지 응용이 가능하다.

연료전지의 수소저장 능력을 높이기 위해 탄소나노튜브의 빈 공간을 이용한다. 탄소나노튜브는 무게가 가벼울 뿐만 아니라 튜브 내에 수소를 저장할 수 있는 공간이 많아서 단위 질량당 전하저장 능력이 뛰어나므로 탄소나노튜브를 이용한 연료전지가 개발되면 대체에너지원으로 크게 각광받을 것으로 기대되고 있는 것이다.

한편 단일 나노튜브를 한쌍의 전극사이에 걸쳐놓고 전자수송 실험을 해본 결과, 전류 대 전압의 그래프가 일련의 계단 형태임을 발견했으며 전류는 나선형으로 흐른다는 것을 알아냈는데 이는 탄소나노튜브가 이 세상에서 가장 작은 솔레노이드 자석이라고 할 수 있다는 증거가 되고 있기도 하다.

또한 탄소나노튜브는 직경 및 감김 형태에 따라서 전기적 성질을 조절할 수 있고, 직경이 수십 nm 인 튜브를 성장시킬 수 있으므로, 초미세 단일전자 트랜지스터(Single electron transistor) 또는 현재의 실리콘 소자를 대체하여 Tera급의 메모리 소자를 만들 수 있을 것으로 예상되고 있다. 그리고 탄소나노튜브의 우수한 전기전도도와 기계적 강도를 이용하면 STM과 AFM의 팁으로 사용할 수 있고, 미세 크기의 탄소나노튜브를 미세 시스템의 초미세 연결선, 초미세 파이프, 초미세 액체주입 장치등의 초미세 기계장치 부품에 응용할 수 있으며, 탄소나노튜브의 가스 흡착성을 이용하는 가스센서와 탄소와 생체 조직과의 친화성을 이용한 의료용 장치의 부품으로써의 응용도 가능하다.

이상에서 기술한 바와 같이 탄소나노튜브는 고부가가치를

창출하는 첨단 전자정보산업을 비롯한 다양한 산업분야에 이용될 수 있는 기초 신소재라 할 수 있다.

## 2.2 나노세라믹재료

나노세라믹 재료는 형태상으로 분말, 후막(코팅), 벌크(다공성)으로 나누어 볼 수 있으며 응용분야별로는 자성유체, 반도체, 촉매, 전자파 차폐재, 자성기록재, 광학소재, 센서 등으로 매우 다양하다. 이 중에서 가장 실용화가 많이 진척된 부분은 분말형태이지만, 나노분말의 넓은 비표면적 특성과 전자적 특성을 이용하는 센서 및 촉매분야도 최근 많은 관심을 끌고 있다. 이 분야가 필요로 하는 것은 미세조직상 다공체이므로 사용 중 고상입자의 크기가 미세하게 유지되어야 하며 기공의 양 및 크기가 일정하게 유지되는 조직 안정성의 확보가 관건이다.

이러한 분야 중에서 나노구조화된 센서는 기존의 첨단세라믹 센서에 비하여 현저히 개선된 특성을 나타낸다. 예를 들어 자동차 에어백의 점화장치를 나노세라믹 센서로 대체하면서 값이 개당 2.5달러 수준으로 낮아지고 기능 및 신뢰성이 몇 배 향상되었다. 또한 자동차 타이어 제조회사인 Goodyear의 smart tyre에는 값이 싸며 신뢰도가 높은 센서를 내장한 MEMS(micro electromechanical system)를 타이어 내벽에 부착하여 교체나 공기압을 보충할 시기를 자동으로 알려주게 하였다. 향후에는 GPS(global positioning system)에 사용될 센서로 나노소재 기술은 이 모드를 더욱 소형화하고 값을 저렴하게 하는데 기여할 뿐만 아니라 작동기와 연계되어 더욱 성장하리라고 예상하고 있는 분야이다.

한편, 반도체 표면 및 벌크부분을 초미세구조로 조각하여 모터나 기타 액츄에이터를 마이크로미터 크기로 제작할 수 있는 MEMS 기술에 사용되는 재료로는 가공성이 좋고 단결정 성장이 용이한 실리콘과 식각이 가능하고 산과 알칼리 용액에서 전기도금을 할 수 있는 폴리이미드가 있다. 1970년대 들어 실리콘 재료를 이용한 압력센서등이 상용화됨에 따라 기계부품들의 초소형화를 더욱더 부추기고 있다.

그리고 반도체 직접회로 제조에 사용되는 나노다공성 유전체 필름은 또 다른 응용분야를 개척하고 있는데, 여기에 사용되고 있는 다공성 실리카는 기존의 저유전상수 물질이 해결하고 있는 인터커넥트 RC 지연, 전력소비 및 누화같은 문제를 보다 완화시켜주는 특징을 가지고 있기도 하지만, 낮은 열안정성과 낮은 유리전이온도로 인한 불량한 기계적 특성도 해결해준다. 나노다공성 실리카는 낮은 유전상수를 가질 뿐만 아니라 최대 900℃의 열안정성, 작은 기공크기, 반도체 산업에 널리 사용되는 실리카와 테트라에톡시실란 같은 전구체를 사용하는 점, 광범위한 유전상수 조절성 및 통상의 스피온 글라스(SOG) 처리에 사용되는 방법과 유사한 증착기구를 포함하기 때문에 더 많은 장점이 있다고 할 수 있다.

## 2.3 고분자복합재료

과거 수십년 동안, 고분자 재료에 특정한 양의 점토를 첨가함으로써 고분자 재료의 물성을 향상시키는 것이 제안되어 왔다. 고분자 재료에 점토를 첨가하는 것은 매우 어려운데, 이는 상호간의 재료의 특성이 상이한 점에 기인한다. 매트릭스의 고분자 재료는 통상적으로 비극성 유기재료에 비하여 점토는 훨씬 극성이 큰 무기 재료이다. 이러한 차이점 때문에 이들 재료들은 혼합성이 불량하여 이들은 본질적으로 혼합될 수 없는 것이다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여 매트릭스를 형성하는 고분자를 무기재료의 존재하에서 합성하거나 팽윤제를 이용하여 층간구조의 층사이에 단량체를 삽입하는 등 다양한 방법을 모색하여 균일하게 분산하는 방법들을 연구하고 있다.

고분자 매트릭스 내에 나노크기의 점토입자가 분산되어 있는 나노복합체는 뛰어난 치수안정성, 기계적 강도, 차단특성을 지닌다. 주요 수요분야는 포장, 자동차부품, 전자/전기, 빌딩/건축분야이다. 이러한 복합체에 사용되는 점토입자는 통상적으로 5%정도 부가하며 입자의 크기가 나노수준이므로 가시광선을 통과시킬 수가 있다. 이러한 차단 특성 때문에 필름포장재나 자동차에로의 응용이 활발하게 진행되고 있다. 자동차 제조업체들은 몬모릴로나이트 점토에 의해 개질된 나노복합체를 자동차 차체 패널과 대시보드, 계기판과 같은 내부 부품소재용으로 사용하고 연구하고 있는데, 기존보다 무게가 경량화된 것은 물론이고 우수한 외관과 재활용 가능성도 장점이다.

최근에는 반도체 성질과 광학적 성질을 동시에 지닌 고분자 복합재료가 폴리(파라-페닐렌바이닐린)과 실리카 나노 입자로부터 만들어 졌으며 실리카 나노 입자의 조성비를 변화시킴으로써 고분자 반도체의 굴절율의 변화가 나타나며 전하 이동 현상에 영향을 미치지 않으면서도 광학 특성의 조절이 가능한 재료가 된다는 것이다. 이것은 반도체성 광학 구조체 분야에 이용되기 위하여 개발되었다고 하는데, 소량의 화합물 첨가제를 첨가하면 이들 복합물의 구조를 통하여 광학적 특성의 손실 없이 전기 전도성이 개선된다고 한다. 결국 유기 화합물 반도체 구조 내에 존재하는 광자와 전자 동공쌍에 대한 확인이 이루어진 것이다.

또 다른 복합재료로는 고분자 매체 내에 퀀텀도트(QDs; Quantum Dots)를 분산시킴으로써 자외선 또는 청색 광을 조사하면 무지개 빛을 발하는 연구가 MIT에서 개발되었다. 이 연구에서 이용된 퀀텀도트는 황화아연(Zinc sulfide)을 도포한 카드뮴 셀레나이드 같은 II-VI 반도체 나노결정 물질을 의미한다. 여기서 사용한 도트는 tri-n-octylphosphine을 코팅한 것으로서 폴리라우릴메타아크릴레이트 고분자 매체내에 분산시킴으로써 안정화되었다고 한다. 각기 다른 크기를 갖는 QDs를 분산시킨 고분자 복합물을 다층 구조물로 만들어주면 밝고 다양한 색상의 복합광 즉 무색광이 발산되며 이러한 성질을 이용하여 전 색상을 발현하는 평면 화상 판으로 이용할

수 있는 잠재력을 가지고 있다고 한다.

마지막으로 화학센서의 감도와 선택성(selectivity)을 높이기 위한 새로운 고분자 나노복합체가 개발되었는데, 이것은 고분자 매트릭스로서 폴리-파라-자일렌(poly-para-xylene)에 금속(아연, 은, 팔라듐, 주석, 구리)이나 반도체(PbS: 황화아연) 나노입자를 결합시킨 것으로 자기회합구조를 형성하며 터널링 효과로 인한 전도도를 나타낸다. 이 복합체의 전기전도도의 변화는  $10^{10}$  정도까지 이르고 상온에서도 가역적으로 작동하며 감응시간도 수초이내이기 때문에 공기의 질을 모니터링하고 통제하는 가스센서의 소재로써 응용가능성이 매우 높다.

## 2.4 반도체 나노소자

현재까지 나노기술의 적용이 가장 유망한 분야는 반도체 나노소자이며 테라비트급 메모리 및 로직소자, 테라헤르츠파 초고속소자, 고기능 센서소자가 실용화되면 2010년 1조달러에 해당하는 반도체 시장을 대체할 것으로 보인다.

나노소자에 사용되는 재료의 연구동향으로는, 1993년에 미국 MIT 화학과 바렌다 교수 연구팀에 의해 카드뮴(Cd)와 셀렌(Se)으로 구성된 수nm 크기의 반도체 나노입자가 크기에 따라 색깔이 변화하는 현상이 발견되었는데, 둥근 모양을 갖는 반도체 입자의 크기를 1.2nm에서 12nm로 크기를 달리함에 따라 빨간색에서 파란색까지 무지개색이 변화하는 순서로 색깔 변화를 보여주는 것이었다.

나노물질이라는 것은 입자의 수가 수억개 이상으로 이뤄진 벌크 물질과 몇개의 원자로 구성된 분자의 중간 형태이면서 분자와 벌크물질의 성질을 동시에 갖게 돼, 불연속적인 에너지 준위와 연속적인 에너지 준위를 동시에 가지게 되므로 크기에 따라 다른 빛을 내게 되는 것이고 이 성질을 이용한다면 물질로 모든 색을 내는 백색발광 디스플레이 장치를 만들 수 있다는 것이다.

초기에 만들어진 나노물질은 구 또는 육방입체 형태를 띠었으나, 화학적 합성의 반응 조건을 달리함으로써 다양한 모양의 반도체 나노결정을 얻을 수 있다. 즉 열분해 반응으로 수소 분자( $H_2$ )와 같이 선형구조를 갖고 있는 나노막대, 물분자( $H_2O$ ) 같은 굽은 형의 나노격쇠, 암모니아분자( $NH_3$ )와 같은 피라미드 구조의 삼각다리, 그리고 메탄분자( $CH_4$ )와 같은 정사면체 구조를 가진 사각다리 등 다양한 모양의 나노물질이 만들어지게 되는데, 이들은 구성입자가 같지만 구조가 다르기 때문에 모양에 따라 다른 대칭성을 갖게 되고, 이로 인해 물질의 광학적·전기적 성질이 달라진다. 이처럼 구와 달리 방향에 따라 다른 대칭성으로 인해 나타나는 현상을 이용해 미래의 초미세 양자 레이저, 광학기록매체 등으로 응용이 가능할 것으로 보인다.

지난 35년간 전자산업은 한 개의 칩에 집적되는 트랜지스터의 수를 매 18개월마다 두배씩 증가시켜 왔다. 트랜지스터의

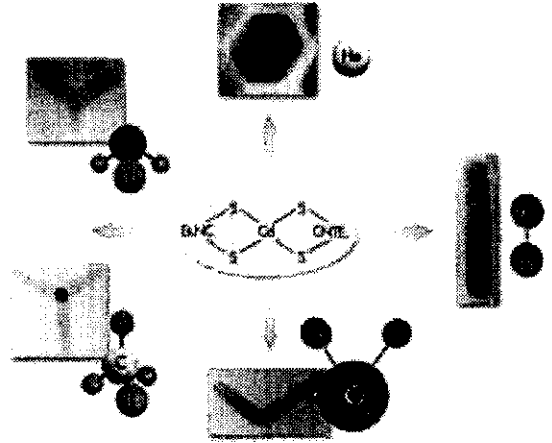


그림 2. CdS 반도체 나노입자의 다양한 형태 (자료 : KAIST 천진우 교수).

발명으로 인해 크기는 더욱 작아졌지만 옛날에 없었던 물리적인 한계, 즉 더 작게 만드는 기술자체가 부족하거나 전기회로 사이에 들어갈 적절한 절연물질이 없는 문제점들이 나타나게 되었다. 따라서 새로운 소자 구조나 소자 작동논리의 필요성이 대두되어 나노기술을 활용하게 된 것이다.

실리콘 대신 전기를 통하면서 전기 저항을 조절할 수 있는 분자로 트랜지스터를 만들기 위해서 나노튜브나 DNA를 이용한 분자소자가 고려중인데 이는 전기를 통하는 분자체인형식으로 체인이 중간에 끊어져 있으면 전기나 빛으로 이어지게 하거나 경우에 따라서는 다시 끊어지도록 조절가능하다는 원리를 이용한 것이다.

한편 상온에서도 자기장을 걸지 않아도 자석이 N과 S극을 가지는 물리적성질을 가진 강자성체 기억소자도 연구되고 있다. 두 강자성 금속박막 사이에 얇은 절연체를 샌드위치처럼 끼어 넣는 경우 윗면의 강자성 금속박막의 N극과 S극의 방향과 아래 면의 강자성 금속박막의 N극과 S극의 방향이 같은 경우 윗면에서 아래 면의 금속으로 흐르는 전류의 크기가 크고, 방향이 반대인 경우 크기가 작아지는 원리를 이용해 소자를 만들 수 있다. 이 소자는 현재의 소자인 DRAM과는 달리, 기억이 지워지지 않는 장점이 있다

소자들의 크기가 작아지고 새로운 형태의 나노소자가 개발되면 현재의 고집적 회로내의 트랜지스터 소형화에 따른 기술적, 경제적 문제가 모두 해결된다고 보고 있지만, 새로운 연결 방법이나 작동 논리가 개발되지 않는다면 나노소자의 효용성은 없을 것으로 보고 있다.

## 2.5 나노 디바이스

현재 전자디바이스의 여러 가지 문제점으로 인해, 새로운 개념의 전자 디바이스가 요청되고 있으며 전자 하나로 전류의

제어를 행하는 극저소비 전력의 단전자제어 소자, 탄소나노튜브를 활용한 트랜지스터, 양자역학의 세계에서 두 개의 상태를 임의의 비율로 겹쳐지게 하는 것을 이용한 양자정보소자등과 같은 차세대 전자 디바이스의 실현을 향한 기초적인 연구가 행해지고 있다. 그 외에 광자제어 디바이스, 스핀 일렉트로닉스, 초전도 디바이스, 유기 플렉시블 디바이스 등 장래 유망한 디바이스도 개발 중에 있다.

최근에는 유기박막 디바이스가 액정 디스플레이를 대체할 가능성을 보여줌으로서 평판 디스플레이 산업을 변화시키리라고 전망되고 있으며 실리콘 나노디바이스에서는 소형화, 실리콘을 기반으로 한 이종접합기술, SiO<sub>2</sub> 게이트 유전물질에 실리콘이나 게르마늄의 나노결정을 심는 기술 등이 연구되고 있는 중이다.

## 2.6 나노 자성재료

최근 테이프나 디스크를 포함한 자성기록매체에 기록되는 정보는 매년 60%씩 증가하고 있으며, 이에 대한 새로운 기억재료의 개발이 요구되고 있다. 기존에 일반적으로 사용되는 매체로는 크롬옥사이드 분말을 사용하지만, 고밀도를 위해서는 코발트 기지의 재료를 사용해야만 하고 안정된 기록을 위해서는 매우 높은 보자력(자성재료가 재배열시키려는 힘에 저항하는 능력)을 가진 재료가 필요하고 있다. 현재 정보저장 연구분야의 장기 목표는 손목시계만한 크기에 CD 1,000장 정도의 정보를 저장하는 것이며, 향후 연간 500억불까지 시장을 예측하고 있다.

이에 대한 대안이 나노자성재료이며 이것은 표면이나 계면 효과로 인하여 기존의 벌크재료를 비하여 특이한 자성거동을 보여 정보저장 등의 관점에서 관심이 높다. 예를 들면, 7-10nm 크기의 구형에 가까운 강자성 Fe, Co 그리고 Fe(Co)-B 등의 나노입자는 기존 재료에 비하여 10배에서 1000배 높은 자기 이방성과 보자력을 보인다. 현재의 데이터 저장기술은 원자레벨에서 조절할 수 있는 박막성장을 이용하여 더욱 집적화된 시스템을 개발중이며 수개의 원자층으로 이루어지는 초박막은 준 이차원 자성재료를 가능케 했으며 이들 재료를 다층 박막으로 만들면 거대자기저항(GMR) 현상이 일어난다. 이러한 특성을 활용한다면 새로운 차원의 자기센서, 기록장치, 영상장치 개발될 것이다.

또한 나노미터 오더의 사이클을 가지고 양자가 복합화된 구조를 구성하고 있는 형태의 연구자석을 나노컴포지트 자석이라고 부르는데 모터, 액츄에이터 및 마그를 등에 적절하게 사용되고 있다. 이 자석은 소프트 자성상을 포함하지만 하드 자성상과의 자기적 결합에 의하여 우수한 자석특성을 발휘하는데 두상이 동일 금속조각내에 균일하게 분포하고 교환상호작용에 의하여 양자가 자기적으로 결합한 영구자석이다. 수십 개에서 수백개 정도의 원자로 구성된 복합 분자물로 국지적

자기모멘트를 띄고 있는 이 분자자석은 터널링, 양자결합, 열유도 스핀변화등의 많은 새로운 특성을 나타내고 있으며 응용 가능한 분야로는 의료분야를 들 수 있다.

최근에 일본에서는 온도에 응답하는 고기능 자성 나노입자 개발에 성공하였는데, 100 나노미터 이하의 자성입자에 새로이 개발한 감열응답형 고분자를 고정화하는 것으로 이 자성 나노입자가 용액의 온도에 응답하여 용해와 응집을 반복하는 현상을 이용한 것이다. 이 나노입자가 고정화된 고분자에는 비타민의 일종인 비오틴(biotin)이 결합되어 있으며 이 비오틴과 단백질 아비딘(Avidin)과의 결합을 이용하여 유전자 진단시약이나 식중독균 검사 키트에도 응용이 가능하다는 것이다.

## 2.7 바이오 나노소자

고령사회에 있어서의 질병의 예방, 진단등의 관점에서 바이오 테크놀로지의 활용이 기대되고 있지만, 나노기술은 분자수준으로 생물의 기능을 활용하는 의미에서 여러 가지 틀을 제공할 가능성이 많다.

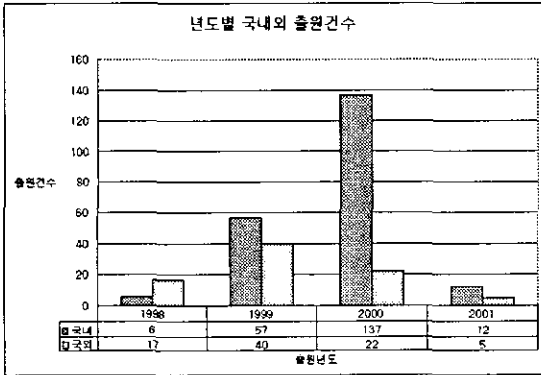
생물체의 정보인식, 저장 및 처리기능을 모방한 바이오 전자소자에 대한 연구는 생체분자가 가진 우수한 분자 식별 기능을 센서에 응용하는 바이오 센서의 개발, 생체의 시각 기능을 모방하여 정보를 입수할 수 있는 광정보 입력소자 개발, 신호의 입력력을 제어할 수 있는 전달체 개발, 생체의 메모리 기능을 수행할 수 있는 메모리 소자 개발과 정보처리를 위한 알고리즘을 포함한 인공신경망 구성에 관련된 세부기술들을 포괄하고 있다.

장래에 저가의 다양한 기능성을 가진 하이브리드 소자기술이 개발된다면 나노크기의 현상에 대한 직접적인 연구에 효과적인 도구로써도 활용할 수 있고 더우기 탄소나노튜브와 같은 나노구조물이 탐침으로 사용된다면 훨씬 뛰어난 해상도 및 기능성을 제공하게 될 것이다.

## 3. 특허정보로 본 나노재료의 기술동향

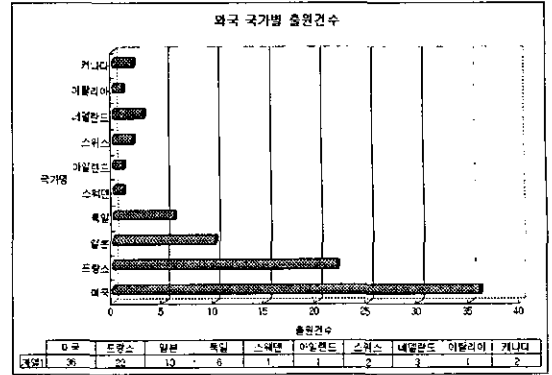
일반적으로 특허정보는 출원인, 발명자등의 서지정보와 함께 관련기술배경, 문제점, 해결방법등이 구체적으로 기재되어 있어서 학술잡지등에서 수록되지 않은 기술정보도 파악할 수 있으며, 특히 특정분야에 대한 동종업체의 기술동향, 기술수준의 파악이 가능하여 중복연구 및 이중투자를 방지할 수 있다는 장점이 가지고 있다. 이러한 정보의 분석을 위해서는 특허맵(Patent Map)이라는 작성기법을 이용하는데 타사의 특허전략, 기술개발전략 및 기업전략등을 파악할 수도 있다. 나아가서는 이를 통해서 향후 기술개발의 방향이나 현재기술의 문제점 파악이 가능하므로 기술이 고도화 또는 복잡화되고 있는 오늘날 보다 정확한 기술예측이나 사전조사의 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다.

이러한 관점에서 나노관련 특허정보를 분석해보면 다음과 같다. 우선 국내에 출원된 나노관련 특허건수는 1998년 이전에는 매우 미약했으며, 최근 급격히 증가하고 있는 추세이다. 2001년 2월까지의 DB를 조사해 본 결과, 총 출원건수는 296건이고 이 중에서 내국인이 212건, 외국인이 84건으로 파악되었다. 연도별로 살펴보면, 내국인의 출원은 매년 급증하고 있는 추세이나 2000년도에 들어서서는 외국인의 출원이 감소하고 있다. 이러한 이유는 국내에서는 다양한 나노기술종에서 탄소나노튜브 관련한 출원이 많기 때문이고, 외국은 특정기술에 치우치지 않고 분야별로 다양하게 출원하고 있으며 한국기업에 대한 경계가 느슨하여 아직까지 관망의 자세로 판단되어지고 있다. 또 한편으로는 전 세계적인 기술개발현황을 살펴볼 때 아직은 나노기술의 응용분야가 미성숙되어 활발한 연구가 진행되지 못하고 있는 실정임을 뒷받침하고 있기도 하다.

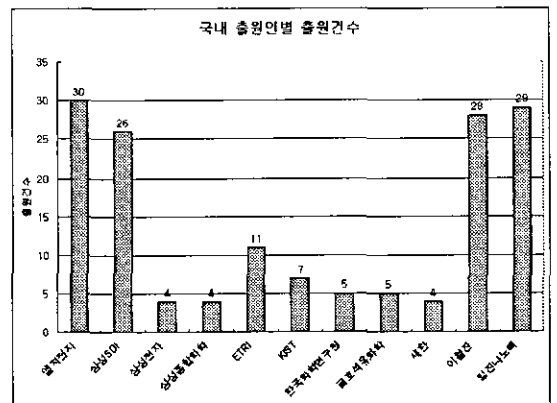


외국인별 특허동향은 미국이 36건, 프랑스가 22건, 일본이 10건으로 출원하고 있으며 미국은 매년 10건 정도로 지속적으로 출원하고 있음을 알 수 있다. 자세히 살펴보면 세부기술 분야도 회사별로 명확하게 구분되고 있으며 복합재료, 탄소나노튜브, 나노다공성실리카, 나노섬유, 나노디바이스 등으로 폭넓게 구성되어 있음을 알 수 있다. 프랑스는 화장품관련된 나노캡슐에 관한 것이 대부분이고 상대적으로 일본은 탄소나노튜브, 반도체 나노결정, 나노컴포지트 자석등에 관한 것이 출원되었음을 알 수 있는데 이는 기초연구면에서는 미국과 유럽이 우위에 있고 나노소자와 같은 응용분야는 일본이 전략적으로 집중하고 있음을 간접적으로 파악할 수 있다. 여기에 비해 우리나라는 출원건수면에서는 우위에 있으나, 탄소나노튜브에만 집중하고 있으며 선진국에 비해 기술력이나 인적자원면에서 매우 부족하고 나노기술에 대한 개념도 정립단계이므로 더 많은 노력이 필요하다고 볼 수 있다.

주요 국내출원인별 출원건수를 살펴보면, 일진나노텍과 군산대 이철진교수가 탄소나노튜브 합성과 소자응용기술에 관한



내용으로 합쳐서 57건이며, LG전자와 삼성SDI가 그 다음 순서로 다출원하고 있다. 국내출원에서 탄소나노튜브에 대한 연구가 전체의 90%에 달하고 나머지는 나노복합재료에 관한 것으로 삼성종합화학, KIST 및 금호석유화학이 기초연구를 하고 있는 실정이다. 세부기술면에서는 화학기상증착법(CVD)를 이용한 탄소나노튜브(CNT) 합성기술은 부분적으로 선진국과 동등한 수준이나 대량생산기술이나 SWNT 합성법은 열세라고 보고 있다. 소자응용기술에서는 FED에만 집중되어 있으며 전반적으로 다른 분야로는 미약한 실정이다. 나노기술은 전자산업, 의학 및 생명공학분야에도 혁명적인 기여를 하리라고 보고 있는데, 탄소나노튜브 소재산업을 기반으로 하여 선진국을 모방하는 단계를 탈피하고 선진국과 특정분야에서 대등하게 경쟁하기 위해서는 지속적인 투자와 연구개발도 중요하지만, 출원된 선진국들의 특허정보를 살펴보고 선행기술조사를 철저히 한다면 지금이 관망상태에 있는 선진국들을 충분히 따라잡을 수 있는 시기이다.



### 3. 결 론

나노기술은 정보통신, 환경, 재료, 생명공학등 광범위한 분

야에 걸친 종합적인 기술이고 특히 나노크기의 물질 특성을 이용하여 아주 새로운 기능을 발현시켜 모든 산업의 기술혁신을 선도할 수 있는 기술이다. 특히 우리나라의 반도체 산업과 바이오 기술은 나노기술 없이는 돌파구가 없으며 선진국과의 경쟁에서도 한층 밀려나게 될 것이다.

다행히도 국내외의 연구개발 열기는 매우 높지만, 아직까지는 모든 분야에서 초기단계라고 보고 있다. 그러나 시간이 갈수록 국가적인 차원에서 지원이 활발해지고 있으며 상업화 단계까지 적용된 제품들도 보고되고 있어서 기술의 발전으로부터 기술적 응용에 이르는 시간 간격이 매우 좁아지고 있는 실정이다. 탄소나노튜브, 나노복합재료, 나노소자, 나노 디바이스, 나노자성재료등과 같은 소재분야도 국내에서 활발히 진행되어 좋은 결과가 보고되고 있으며, 비록 탄소나노튜브 분야에 치우친 특허출원이지만 외국보다 출원건수는 2.5배로 많은 점이 새로운 기술혁명의 시작 측면에서 비교적 안심이 되고 있다.

최근 국내에서도 나노기술에 대한 관심도 많아졌고 신문지상이나 인터넷상에서 수많은 나노관련자료들이 쏟아져 나오고 있다. 무분별한 투자와 산발적인 연구를 지양하고 특정분야를 집중하는 전략으로 나아간다면 새로운 기술혁명에 뒤처지지는 않을 것이라고 본다. 현재 나노기술의 개발 및 응용가능성은 무한하다고 할 수 있는데 나노시스템의 복잡성과 규모로 인하여 강력한 과학정책이나 지원없이 경쟁력 있는 산업으로 키워나가기에는 매우 어렵다. 비록 우리나라가 나노기술 분야에서 선진국에 비해 5년 이상 뒤져 있다고 하지만 민간업체, 정부 출연기관, 학교, 관련정부부처등이 총체적으로 합심한다면 실용화 측면에서 충분히 대응해 나갈 수 있다고 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 나노복합재료 신기술연구회(www.freechal.com/nano)
- [2] 전자신문(www.etimesi.com) : 클릭사이언스 연재기사
- [3] 한국과학기술정보연구원(www.kisti.re.kr)
- [4] 일진나노텍(www.iljinnanotech.co.kr)
- [5] 과학기술부 테라급 나노소자 개발사업단(www.nanotech.re.kr)
- [6] KIST 차세대 신기술 개발 사업(nextnano.kist.re.kr)
- [7] 과학동아 2001년 3월호
- [8] 월간세라믹스 10월호 특집, 차세대재료로 각광받는 나노세라믹재료의 연구개발 현황과 전망
- [9] 월간세라믹스 11월호 특집, MEMS 재료 연구개발현황과 응용
- [10] 이정봉, Nanoscale Science, Engineering and Technology Research Directions 분석보고서,

<http://ostin.oasis.or.kr>

- [11] 박은성, 나노기술의 연구방향 : 향후 10년간의 나노기술 연구개발에 대한 전망, <http://ostin.oasis.or.kr>
- [12] 박정영, 국립 나노테크놀로지 진흥사업 : 차세대 산업혁명의 선도, <http://ostin.oasis.or.kr>
- [13] National Nanotechnology Initiative, NSF(미국과학재단)
- [14] T. W. Ebbesen, "Carbon nanotubes : preparation and properties", CRC Press, Boca Raton, p. 139 (1997)
- [15] S. Iijima, Nature, 354, 56 (1991)

## 저 자 약 령

성명 : 반 응 병

#### ◆ 학 령

- |                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| 1981년 3월-1985년 2월 | 고려대 화학공학(학사)                |
| 1985년 3월-1987년 2월 | 한국과학기술원(KAIST)<br>화학공학(석사)  |
| 1986년 3월-1990년 8월 | 한국과학기술원(KAIST)<br>화학공학 (박사) |

#### ◆ 경 령

- |                    |                                                                                                |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1991년 3월-1992년 8월  | Post-Doctoral<br>미국 NIST연구소 고분자연구부<br>(National Institute of Standards and Technology)         |
| 1992년 10월-1993년 9월 | 위촉선임연구원<br>한국과학기술연구원 (KIST)<br>고분자연구부                                                          |
| 1993년 9월-1997년 9월  | 책임연구원 (주)동성화학 중앙<br>연구소                                                                        |
| 1997년 9월-현재        | 특허청 심사3국 심사관<br>기술신용보증기금, 발명진흥협회<br>외부기술자문위원<br>나노복합재료연구회 webmaster<br>(www.freechal.com/nano) |