

# 재료과학과 공학의 새로운 변화와 동향

이 성 훈 광주과학기술원 신소재공학과 교수

## 재료 과학의 전개 및 발전

인류 문명의 발달은 재료 과학의 발달과 궤를 같이하여 오고 있다. 천연에 존재하는 자연 물질의 간단한 마모나 꼬임 가공에 의한 타계, 마제 석기, 점토를 이용한 도기에 기인한 구석기·신석기 문명, 구리와 아연, 주석을 섞어 연성과 전성, 경도의 조절을 통한 새로운 성질의 합금인 청동 및 황동 제조에 의한 청동기 문명, 경도가 더 나은 철에 의한 철기 문명, 금·은의 희귀 가치와 교환 가치, 금속 세공 기술 및 각종 제조기술, 증기기관에 의한 획기적인 생산력의 증가 등에 의한 상공업의 발달, 세라믹 재료를 이용한 각종 병 형태의 도자기, 타일, 생활도자기의 생산에 기인한 편리하고 위생적인 식생활의 발달, 실리콘 반도체 재료에 의한 트랜지스터 전자 소자의 제작으로 시작되는 반도체 문명시대는, 소형화, 저소비 전력화된 초집적 소자(IC), 마이크로 프로세서 등의 출현을 가능하게 하여 실생활의 편리 및 정보 전달의 중요한 매체인 가전기기, TV, 음향 기기, 영상 기기, 전화, 통신 기기, 컴퓨터 등을 탄생 가능하게 했다. 합성 수지라 불리는 플라스틱은 가볍고 튼튼하고 성형이 자유로와 산업과 일상 생활의 기본 소재가 되었으며, 특히 제 2차 세계대전에서 연합국의 승리를 가능하게 한 6-6 나일론

같은 고분자는 인공 섬유로, PVC, PE, PU, 엔지니어링 플라스틱 등은 구조소재로 전자산업, 자동차산업, 우주항공산업에 기여하여 플라스틱·고분자 시대를 선도하고 있다. 실리카 광섬유 재료의 개발은 전세계를 정보통신망으로 연결하여 지역의 한계를 극복하는 데 기여하고 있으며 멀티미디어 정보 통신망으로 범위를 한층 더 확대하여 세계 인류간에 음성, 문자, 동화상 등 다양한 정보를 주고 받는 것을 가능하게 하고 있다. 즉, 유리 광섬유 재료는 정보화 혁명을 주도하고 있다. 이와 같이 인류의 탄생과 더불어 유사 이래부터 근대 및 현대에 이르기까지 재료과학은 인류 문명의 선도와 발전에 있어 중요한 역할을 하여 오고 있다.

따라서 20세기의 재료과학 및 공학의 발전과 업적을 살펴보는 것은 현재 당면하고 있는 문제점과 해결 방안에 관한 구체적인 방법론을 제시할 것이며, 다가오는 21세기에 있어서 인류 문명이 재료과학에 대해 시대적으로 요구되는 바가 무엇이며, 재료과학이 시간적 순위를 가지고 지향하고, 중점적으로 추구하여야 할 바에 대한 뚜렷한 시야를 갖게 할 것이다. 그러므로 20세기 재료 과학 분야의 연구와 전개 상황, 현재의 연구 경향을 기술하고 이를 바탕으로 앞으로 21세기에 들어서도 재료과학이 계속하여 추구하고 달성하여야 하는 바를 학문적, 실

용적 연구 관점에 초점을 두어 재료 과학의 연구 방향을 기술할 것이다.

재료과학 및 공학 분야의 연구는 크게 다섯가지 요소로 구성된다고 볼 수 있다. 구체적으로 그 다섯가지 구성 요소들은 재료의 창제 및 합성에 관한 연구, 재료의 구조 분석에 관한 연구, 재료 가공공정에 관한 연구, 재료의 역학적, 광학적, 자성적, 전기·전자적 성질 등 제반 특성에 관한 연구 및 재료의 기능성 구현을 통한 실생활에의 응용에 관한 연구들이다. 재료과학 및 공학을 논할 때, 재료과학을 재료 자체의 관점에 초점을 두어 금속재료, 세라믹재료, 반도체전자재료, 고분자재료, 생체재료, 복합재료로 나누어 기술하는 방식을 취하거나, 재료들의 응용을 위한 유용한 특성에 초점을 두어 역학적 성질, 광학적 성질, 전기·전자적 성질, 자기적 성질을 나타내는 재료들로 나누어 기술하는 방식을 취할 수 있다. 이 글에서는 후자의 기술 방식을 취할 것이다. 이렇게 함으로써 재료들의 나열에 의한 기술 방식이 되기보다 체계적인 연계성을 가지고 각 재료간의 비교 및 한계, 재료 과학의 전개, 발전 및 추이, 경향, 미래에의 추구 방향에 대한 일목요연한 재료과학에 관한 기술이 가능하다고 보기 때문이다.

20세기 재료과학은 기존의 통상적인 철강재료 및 비철 금속재료 외에 인류의 삶을 크게 바꾸어 놓은 새로운 재료인 플라스틱·고분자, 실리콘 및 이종 화합물 반도체 소재, 실리카 유리 광섬유 소재, YBCO계 초전도성 세라믹 소재, 흑연, 다이아몬드 외 제 3의 순수 탄소화합물인 풀러린을 위시한 탄소나노튜브 등의 탄소 소재, 인공 장기, 생체 이식시 사용될 수 있는 생체적합성 고분자 생체 재료, 약물전달용 고분자 생체재료, 구성 성분들을 혼합하여 새로운 물질을 형성할 때 이 물질의 특성이 구성 성분 개개의 특성에 비해 뛰어난 복합재료 등 그 어느 시대보다 많은 새로운 재료의 탄생과 개발이 실행된 시기다. 또한 보다 나은 특성을 갖는 재료 개발을 위한 특성 개선, 가공공정 개발 등과 같은 연구가 진행된 시기이다.

위에 언급된 각종 재료를 재료의 특성에 초점을 두어 역학적 성질의 관점에서의 재료, 전기·전자적 성질의 관점에서의 재료, 광학적 성질의 관점에서의 재료, 자기적 성질의 관점에서의 재료 등으로 분류하여 기술할 것이다.

## 역학적 성질의 관점에서의 재료

20세기 들어 현재에 이르기까지 역학적 성질을 이용한 구조적 재료로서 금속이 널리 사용되어 오고 있다. 건물, 선박, 엔진, 터빈, 프로펠러, 증기계, 굴착기계, 공작기계, 차체, 선박, 항공기, 기차 레일, 원자로 등에서와 같은 금속의 응용 예에서 보여지듯이 산업의 근간을 이루는 기간산업에 있어서 금속재료는 중요한 위치를 차지하고 있다. 강철의 경우는 Fe에, C, Ni, Cr, Mo 등의 원소의 농도의 조절과 가공공정 조건의 조절을 통하여 강하고 질기며, 부식에 강하여 내구성이 뛰어난 철강 재료 개발을 위하여 전기 화학적 방법이나 부동태막 형성 기술로 표면처리를 하는 공정을 연구하고 있다. 비철금속에 관한 연구는 Al, Ti, Ni, Co 등 비철금속을 이용하여 항공기, 우주선 및 엔진 소재로 사용 가능한 가볍고 고온에 견디는 Superalloy 및 각종 합금재료에 관하여 연구하고 있다. Mo, Re, Nb, W 등 1850K 이상의 고온에 견디는 Refractory 금속에 관한 연구가 활발하며, 이러한 재료는 진공로, 유리 용융로, 핵반응로 소재로 이용될 수 있다.

세라믹재료는 성형에는 다소 불리한 점이 있지만, 금속에 비하여 가볍고 고온에 잘 견디는 특성으로 인하여 청정 에너지를 사용하는 전기 자동차의 일부 차체와 고온에 견디는 엔진 부품으로의 응용이 연구되고 있다. 세라믹 복합체는 제트엔진의 소재로도 사용되고 있다.

c-BN(cubic BoronNitride), 다이아몬드, 유사 다이아몬드 재료들의 경우는 다량으로 이들을 생성하는 공정 기술 개발 및 뛰어난 경도 특성을 이용하여 절단공구 소재로의 응용, 절삭공구 코팅, 내마모 소재, VCR 헤드,

금형가공 부품, 윤활막 등으로의 적용 및 응용에 관한 연구가 진행중이다.

강화구조재료에 있어서는 금속 매질 복합재료, 고분자 매질 복합재료, 세라믹 매질 복합재료, 고분자 섬유 강화 플라스틱, 가볍고 열적 안정성이 좋은 폴리이미드 재료 등에 관한 연구가 진행중이다. 또한 광섬유를 탑재한 스마트 복합재료 등에 관한 연구가 진행중이며, 이러한 재료는 비파괴적으로 재료의 결함 및 내부 변형 등을 탐색할 수 있는 장점이 있다.

고분자를 이용하여 인공심장, 인공신장, 인공피부, 인공관절 등과 같은 생체대체용 재료에 관한 연구가 진행되고 있다. 이러한 생체재료의 경우 생체 이식시에 일어나는 거부, 면역 반응 때문에 생체 적합성의 문제가 중요하며 이를 해결할 수 있는 관점에서 재료에 관한 개발이 진행중이다.

최근에는 흑연봉의 아크방전 과정에서 생성되는 죽부인 모양, 즉 대롱 모양의 구조를 갖는 탄소나노튜브가 보고되었다. 그 크기는 직경이 머리카락 굵기의 만분의 일 정도이며 길이는 수십 마이크로에서 수 mm에 이른다. 이 탄소나노튜브는 철에 비하여 6배나 가벼우며, AFM 측정에 의하면 인장 강도에 있어서는 철에 비하여 10배 이상이나 강인한 것으로 알려져 있다. 이 탄소나노튜브를 기는 섬유로 처리하면 방탄용 조끼나 지진 방어용 건축물, 우주항공재료로 응용이 가능하다. 탄소나노튜브와 탄소 소재 섬유는 21세기의 구조 재료로 널리 이용될 것이다.

21세기에는 기존 자원의 고갈과 전기에너지와 같은 청정 에너지원의 수요 증가에 따라 가볍고 강인하며, 이 동시 하중의 감소로 인하여 에너지측면에서 효율적인 구조 재료에 대한 수요가 증대될 것이다. 이에 성형이 용이하도록 연성과 전성이 우수하며 또한 강인성을 갖도록 소재를 고안하는 연구가 진행되어야 한다. 구조 재료의 개발에 관한 연구에서는 주어진 스트레스에 대하여 모양을 유지하기에 충분한 경도와 깨짐이나 부서짐에 충분히 견딜 수 있을 정도의 강인성을 갖는 재료의 고안이 요구

된다. 사물이 왜 분파되는지에 대한 과학적 접근은 X선 검사, 중성자선 검사, TEM, SEM과 같은 이미징 기술을 사용하여 미세구조의 탐색이 가능하고, 컴퓨터의 발전에 힘입어 구성 원자의 농도와 분포 위치에 따른 결합의 세기와 재료의 방향성에 따른 강도의 예측이 가능하여지고 있다. 따라서 미세구조와 역학적 성질과의 상관관계를 이해하여 가벼우며 원하는 정도의 경도와 강도를 갖는 디자인의 소재 제조 및 가공이 가능할 것이다.

## 전기·전자적 성질의 관점에서의 재료

20세기 들어 현재에 이르기까지 전기·전자적 성질을 구현하기 위한 재료로서의 금속은 자유전자에 의한 뛰어난 전기 전도성 및 열 전도성으로 인하여 전기도선으로 사용되고 있다. 1947년 실리콘 반도체 소재에 포함된 불순물에 의한 전기 전도성이 밝혀진 후 이 반도체 소재를 이용한 트랜지스터가 발명되었다. Si 결정성장, 금속 접합기술, 리소공정에 의하여 2,250개의 트랜지스터를 집적한 최초의 마이크로프로세서 Intel 4004가 만들어졌다. 마이크로프로세서의 개발로 컴퓨터는 소비전력, 크기와 부피의 획기적 감소와 성능면에서 비약적인 발전을 하게 되었다. IC는 더욱 집적화가 진행되어 VLSI, ULSI 집적회로로 계속 발전되었다. Si 재료에 기인한 전자재료의 발전은 소자의 소형화에 따라 MOSFET의 게이트가 서브마이크론 이하의 크기에 도달된 상태이다. 소자 미세화와 빠른 소자 구동을 위하여 RC delay를 줄이기 위한 노력이 진행중이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 초집적 소자에 알루미늄 금속 배선 대신 전기 저항이 더 낮은 구리 금속 배선을 사용하며, 낮은 유전상수(Low K)를 갖는 물질을 개발중이다. 또 한편으로 DRAM 메모리 소자의 경우 MOSFET과 커패시터가 짝을 이루는 데 커패시터의 크기가 작아짐에 따라 높은 유전 상수(High K)를 갖는 물질의 개발이 요구되며 Ta2O5

등의 유전체가 개발 중이다. 전원이 나가도 저장된 정보의 손실이 없는 비휘발성 메모리인 FRAM(Ferroelectric Random Access Memory) 재료로 PZT(lead Zirconate Titanate), SBT(Strontium Bismuth Tantalate), BLT(Bismuth Lanthanum Titanate) 등의 강유전체 재료의 개발이 진행 중이다.

동작 속도가 우수한 전자 소자 개발을 위하여 GaAs 계의 화합물 반도체 재료를 개발하고 있다. Si 전자 재료를 이용한 MOSFET 소자 제조시 절연층인 SiO<sub>2</sub>층의 생성이 용이하나, GaAs 소재는 손쉽게 산화 절연막을 형성하는 것이 용이하지 않아 공정상에 어려움이 많기 때문에 속도를 요하는 소자 외에는 Si 전자 소재에 비하여 응용이 광범위하지는 않다.

넓은 밴드갭을 갖는 화합물 반도체 재료로 SiC, 다이아몬드 박막, GaN 등은 열적 안정성이 좋아 전력 소자용 재료로 연구되고 있다. ITO(Indium Tin Oxide), ZnO 물질들은 빛에 대한 투명성과 전기 전도성이 좋아 전기·전자 소자에 전극 물질로 이용되고 있다. 앞으로 발광 고분자, 발광 유기분자, 발광 유기-무기 하이브리드 재료를 이용한 효율적인 전자발광(Electroluminescence) 소자 구현을 위하여 다양한 일함수 값을 갖는 전기 전도성이 우수한 전극 물질 재료의 개발이 요구된다.

최근 생성되어 많은 연구가 진행 중인, 엄밀한 의미에서의 일차원 전기 전도성 도선인 탄소나노튜브는 차세대 나노전자 재료로서 극초집적 소자의 연결선으로 사용 가능할 것이다. 더 나아가 분자공학의 관점에서 전기 전도성이 우수한 단분자에 의한 분자선(Molecular Wire)의 개발이 요구될 것이다. 분자의 전기 전도성은 이 분자와 금속 접촉을 형성할 때 접촉된 금속의 페르미 에너지 준위에 대한 이 분자의 HOMO/LUMO 준위와 분자의 길이, 금속과 접촉을 이루는 기능기의 종류에 의존하여 분자내의 전자의 이동 시발점과 종착점간의 전하이동 속도(charge transfer)에 의하여 결정될 것이다. 전기·전자 소자의 소형화 추세와 저소비 전력화, 휴대 용이화에

따라 탄소나노튜브와 같은 나노 소재의 개발이 필연적으로 요구될 것이다. 더 나아가 궁극적으로 가장 작은 단위 재료인 각종의 분자 제조와 설계가 요구될 것이다.

휴대 용이화 및 소형화된 전기·전자 기기는 이들의 전력 공급원으로서의 전지의 개발을 요구하고 있다. 메모리 효과가 없고, 가볍고, 높은 전력량을 함유하는 각종 배터리가 개발되고 있다. 리튬이온전지, 리튬이온 고분자 전지에 관한 연구가 진행 중이며, 청정 에너지 관점에서 연료 전지의 개발이 추구하고 있다. 탄소나노튜브 물질에 의한 전극 물질의 개선, 전해질의 개선, 이동하는 이온의 개선 등을 통하여 보다 나은 전지 개발에 힘 쏟고 있다.

### 광학적 성질의 관점에서의 재료

20세기 들어 현재에 이르기까지 광학적 성질을 이용한 재료로는 무기재료인 루비, 사파이어, 다이아몬드, 호박, 에머랄드 등의 보석과 유기·고분자 재료인 물감, 페인트, 무기재료인 반도체, 형광체 재료 등이 있다. 21세기는 정보화 혁명에 의하여 사회 조직이나 운영, 문명 생활 전반에 걸쳐 큰 변화가 일어날 것이다. 멀티미디어 시대에 있어서 시각적 정보의 전달은 가장 효과적인 정보 전달의 수단이다. 이에 인간의 시각에 호소하는 광재료의 개발은 매우 중요하다.

광 반도체 재료는 발광 다이오드(LED)와 발광 레이저 다이오드(LD)에 이용되고 있다. 적외선에서 근자외선 영역에 이르기까지 각종의 발광 다이오드가 InGaAsP, GaAs, GaAsP, GaP:N, GaN 등의 반도체 재료에 의하여 구현되고 있다. 발광 레이저 다이오드의 경우도 마찬가지로 원적외선에서 근자외선 영역에 이르기까지 CdZnS, CdSSe, AlGaInP, GaAsP, AlGaAs, AlGaInAs, CdHgTe, InAsSb, PbSSe, BiSb 등의 반도체·금속 재료에 의하여 구현되고 있다. 발광 다이오드는 표시등으로 많이 사용되고 있으며 발

광 레이저 다이오드는 대형 투사용 텔레비전, 광학 텔레비전, 레이저젯 프린터, CD, DVD 플레이어 등에 사용되고 있다. 반도체 재료에 의한 빛의 삼원색인 RGB(Red/Green/Blue)의 구현은 선명하고 full color 발현을 위한 각종 디스플레이 소자에 필수적이다. 삼원색 중 청색 LED와 LD의 구현은 그간 많은 어려움이 있어 왔으나, 3.4 eV의 밴드갭을 갖는 GaN 반도체 재료의 개발로 인하여 최근 급격한 발전을 이루고 있다. 또한 ZnO, ZnSe 반도체 재료에 의한 청색 LED 및 LD의 개발이 병행하여 진행 중이다. 지금 현재는 GaN에 의한 청색 LED/LD의 구현이 앞서 있는 듯 하다. 삼원색 LED/LD를 이용한 백색광의 구현은 훨씬 적은 소비전력으로 훨씬 높은 조도를 얻을 수 있으며 수명 또한 길어서 조명기기에 대변혁을 가져올 것이다. 또한 고장 잦은 신호등은 더 밝고 뚜렷한 LED 신호등으로 교체될 것이며, 높은 집적도의 CD/DVD가 가능하며, 멀리서도 쉽게 뚜렷이 보이는 대면적 전광판 등, 다양한 광전 소자의 출현을 가능하게 할 것이다.

유기·고분자 광전재료의 연구는 Alq3라는 단분자와 공액고분자에서 전계발광이 발견된 이래 지난 10여 년 동안 전 세계적으로 활발히 연구되어 오고 있다. 빛의 삼원색 구현을 위하여 유기 단분자 재료로는 Alq3 (녹색), DPVBi (청색) 물질이 연구되고 있으며, 고분자 재료로는 PHP(청색), PPV(녹색), MEH-PPV(적색)와 이들의 유도체에 관한 연구가 진행 중이다. 성형이 용이한 유기·고분자 재료는 LED, 트랜지스터, 레이저, 대면적 디스플레이에의 재료로서 이미 시범적인 연구가 이루어지고 있다. 실제적인 응용을 위하여 휘도, 색의 선명도, 열적 안정성의 개선, 소자의 문턱 전압 낮추기와 신뢰성, 수명 향상 등이 요구된다. 따라서 유기·고분자 재료 개선과 새로운 고분자 창출에 힘쓰고 있다. 이를 달성하기 위하여 이론적인 계산에 의한 분자구조 설계 및 합성, 기존 고분자의 각종 유도체로의 변형 등 다양한 방법으로 연구를 하고 있다.

단순한 문서정보교환을 통한 공동 연구 협력을 위하여

시작한 월드와이드웹(WWW)과 HTTP, TCP/IP 프로토콜의 출현은 연결된 네트워크를 통하여 지역의 한계를 극복하고 멀티미디어 정보통신망으로 발전하는 데 큰 역할을 하고 있다. 전세계로 연결된 인터넷은 세계 인류간에 문자정보, 음성, 동화상 등 다양한 정보를 주고 받는 것을 가능하게 하고 있다. 처음에는 이미 설치된 금속 재료에 의한 전화선, 동축 케이블 등의 기존의 정보통신망을 사용하였다. 음성, 동화상, 문자와 같은 전달하고자 하는 정보의 형태의 다양화와 증가하는 인터넷 수효는 넓은 밴드폭과 장거리 전송시의 매우 낮은 신호 감쇄 특성을 갖는 재료의 개발을 요구한다. 이에 잘 부합하는 재료는 실리카 유리 광섬유이다. 신호 전송 속도 증가, 전송 손실의 최소화, Dr 도우핑을 통한 신호 증폭, 분산도의 감소 등을 위하여 실리카 유리 광섬유 재료의 개선과 개발이 진행 중이다. 광섬유는 현재 경제적으로 볼 때 모든 가정까지 설치하기에는 비용이 많이 소요된다. 따라서 이러한 비용의 한계를 극복하고 위에 언급된 성능을 단거리에서 구현하기 위하여 값싼 폴리카보네이트계나 PMMA계의 플라스틱 광섬유 재료에 관한 연구와 개발이 진행 중이다.

앞으로 21세기는 전화선을 통한 음성정보까지도 훨씬 증가된 인터넷 수효에 힘입어 인터넷으로 흡수 통합될 전망이다. 이는 광 스위치 소자, MUX/DeMUX, 분할기, 커플러, 광 도파로 등의 개발이 요구된다. 이에 무기나 유기·고분자 광전재료 및 광재료의 개발이 한층 필요로 된다. 광굴절 현상, 비선형 현상을 나타내는 재료 또한 신호 변조를 위하여 요구되는 재료 연구 분야이다.

## 자기적 성질의 관점에서의 재료

20세기 들어 현재에 이르기까지 자기적 성질을 이용한 재료로는 철이 대표적이다. 철은 다른 성분과 합금을 이루어 새로운 자성재료를 만드는 데 쓰이기도 한다. 일반

적으로 자성재료는 높은 자화도(permeability)를 갖거나 쉽게 자성화·비자성화될 수 있는 경우, 또는 영구히 자성을 가질 수 있는 경우에 초점을 두어 연구되어 왔다. Permalloy라 불리는 Ni·Fe 합금은 높은 자화도를 갖는 자성재료이며 여기에 Mo를 섞어 얻어지는 Supermalloy는 초기 자화도가 단연 으뜸인 물질이다. 자성박막은 정보 저장매체로 널리 사용중이다. Co합금은 디스크저장 미디어에 사용되고 있고, Permalloy는 Read/Write 센서에 주로 사용되고 있다. 또한 자성재료는 기억 소재, 전동기, 전력 전송, 에너지 저장 등에 광범위하게 이용되고 있다.

종이 발명은 지식의 전파와 저장에 큰 영향을 주었으며 문명 발전에 크게 이바지하여 오고 있다. 컴퓨터의 발달은 정보처리 및 자료 분류, 저장된 자료의 탐색을 매우 손쉽게 하고 있다. 따라서 정보 도서관화, 모든 자료의 CD화 및 자기 테이프화하는 경향이다. 이를 위해 모든 기록을 광전재료 및 자성재료를 이용한 저장 미디어에 영구 보존하려고 힘쓰고 있는 상황이다.

자기 기록은 자성을 가진 물질의 일부분을 선택적으로 자화시켜 전기 신호의 형태로 소리·그림·자료를 저장하는 방법을 말한다. 카세트 테이프, 전화카드, 신용카드, 지하철 패스, 버스카드, 자기 디스크, 자기드럼, 디스켓, 비디오 테이프. 이 모든 것들은 자석을 이용한 자기 기록장치의 대표적인 사례들이며 그 중 중요한 것이 자기테이프와 디스크이다. 이것들은 음성이나 화상신호를 재생할 수 있고, 컴퓨터나 수치제어 기계에 의하여 처리된 각종 자료를 저장할 수 있기 때문에 20세기 정보기록장치로 가장 광범위하게 사용되고 있다. 앞으로 이러한 추세는 정보화 처리가 더 요구되는 21세기 더욱 증가될 전망이다.

자기장이 가하여질 때 전기적 저항의 변화를 나타내는 자기저항(Magneto Resistance) 현상은 알칼리 토금속으로 도핑된 perovskite 구조의 LaMnO<sub>3</sub> 화합물에서 관측되었다. 매우 큰 세기의 외부 자기장이 주어진 상황에서 온도가 T<sub>c</sub> 주변에서 변할 때, 자기 저항값이 크

게 변하는 CMR(Colossal Magnetoresistance) 현상을 보이는 층상 구조 화합물인 La<sub>1-x</sub>Sr<sub>1-x</sub>MnO<sub>3</sub>계 자성재료에 관한 연구들을 하고 있다. 또한 Co/Cu나 Co/Co/Cu/NiFe 구조의 다층 자성박막은 작은 세기의 자기장에 의하여 50% 이상의 자기저항의 변화를 보인다. 이러한 GMR 자기박막은 자성센서나 자성헤드로 응용 가능하다.

자성체막(Fe, CoFe 등)-절연체막(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-자성체막(Fe) 구조의 다층 자성재료 박막에 있어서 전자의 터널링 정도는 절연막 양면에 위치한 자성체막에 있는 자화(magnetization)의 방향이 서로 평행일 때 가장 크고, 반대 방향일 때 가장 적다. 이와 같이 자기장의 세기에 따른 전자의 터널링의 변화를 TMR(Tunneling MagnetoResistance) 현상이라 부른다. 이러한 TMR 현상을 크게 나타내는 자성재료에 관한 연구가 진행중이다. 이 TMR 자성재료에 의한 MRAM(Magnetic RAM)의 구현은 DRAM, FRAM 등 어떤 다른 메모리 소자에 비하여, 월등한 장점을 가진다. 무한번의 기록과 삭제 가능하며, 온도에 대한 안정성, 빠른 접근 속도, 전자기선에 의한 간섭에의 안정성, 높은 셀 집적도, 낮은 전력 소비 등과 같은 많은 장점을 가진다.

초전도체 재료에 관한 연구는 YBCO계 초전도 물질에 근간하여 더 높은 임계온도와 자기장 값을 갖는 물질 개발에 매진하고 있다. 또 한편으로 초전도체에 관한 연구는 초전도체 재료가 큰 스핀·스핀 상호 작용 에너지를 갖어서 되도록이면 상온 가까운 온도에서도 초전도체 현상을 나타낼 신물질 창출에 힘쓰고 있다. 초전도 재료를 사용한 유휴 전력의 저장, 자기부상열차 등의 응용에 관하여 연구하고 있다.

## 21세기의 재료과학의 전망

21세기는 더욱 급속한 세계 인구 증가에 따른 자원의

급속한 고갈과 정보화 혁명으로 인하여 역학, 광전, 에너지환경, 기록저장, 전기·전자, 발광재료 등의 개발이 더 한층 요구된다. 현대 첨단 과학기술의 발전에는 새로운 재료의 개발이 필수적인 원동력이 되고 있다. 벌크 물질을 그대로 사용하기보다는 원하는 성질을 갖도록 제조 공정을 거쳐 제단된 물질(taylored material)을 사용하게 될 것이다.

소형화, 고집적화, 경량화, 휴대의 용이화, 저소비 전력화, 소자의 정보처리의 고속도화의 추세로 재료 개발이 요구될 것이다. 높은 열전도성을 구현하기 위한 전자 재료의 개발, 단일 또는 다중 금속을 동시에 함께 가지고 있는 전구물질(precursor)로부터 효율적인 형광체 재료의 제조에 의한 표시 소자의 개발, 정보의 시각화를 위한 광전재료의 개발, 작은 도메인파 낮은 임계자력, 높은 밀도로 고정 가능하여 정보저장매체로 응용 가능한 나노 자성체 재료 개발, 고갈되어 가는 화석 연료를 대체할 새로운 청정 에너지 재료의 개발, 금속재료의 대체 재료로서 가볍고 내식성이 강한 고강도 재료 개발 및 다이아몬드 보다 경도가 높은 물질의 제조, 전기 전도성 및 발광 특성이 좋은 고분자재료의 개발 등이 요구될 것이다.

단백질을 합성하는 라이보솜, 광에너지를 화학에너지로 바꾸는 광합성계, Lipid Bilayer 세포막, 등 생물계에서 흔히 관측되는 나노시스템을 모방한 나노합성 방법과 나노 재료 제조가 소형화, 고속도화, 고효율화 측면에서 더 한층 요구될 것이다. 이에 나노 형광체, 나노 전달 체계, 나노 신호 전달 및 증폭 소자, 나노 전기·전자 소자, 나노 다공막, 인간의 유전자 분석을 통한 병의 효율적 예방 및 치료를 위한 DNA 전자칩 등과 같은 첨단 기술의 개발이 가속화될 것이다. 이는 나노 전자 재료, 나노 광전재료, 나노 자성재료, 나노 복합재료 등의 개발이 한층 더 중요해짐을 의미하며, 심지어 더 나아가 물질의 성질을 유지하는 최소의 재료 단위인 분자·원자 재료의 개발까지를 의미할 것이다.

역학적 성질에 의존하는 구조물의 경우는 경량이면서

경도와 강도가 우수한 용도에 맞게 고안된 금속합금, 폴리이미드계 고분자, 탄소섬유, 생체의 뼈대와 근육과 같은 강인성과 융통성이 잘 조화된 재료의 개발이 진행될 것이다. 전기·전자 소자의 패키징을 위한 경화 에폭시 재료의 수요 또한 증대될 것이다. 환경 친화적이며 재회수가 가능한 재료, 자원의 재활용 공정이 가능한 재료 등이 앞으로 연구 개발될 것이다.

멀티미디어 정보통신이 활발해질 21세기는 디스플레이, 정보통신망, 전자상거래망, 전자화폐, 거대한 양의 데이터 저장을 위한 저장매체, 정보 분류와 빠른 정보 처리를 위한 고성능 컴퓨터, 인터넷 기기 등의 개발이 요구된다. 초고속 정보통신망 구현을 위하여 유리 광섬유 재료의 개선이 진행될 것이다. 전기현상과 광현상을 조화한 광전재료의 수요가 증대될 것이며, 더 나아가 속도를 요하는 소자에 있어서는 광자를 이용하는 광재료가 우위를 점유하게 될 것이다. 홀로그래픽 메모리, 삼차원 회상 등이 가능해질 것이다.

TMR 현상을 이용한 자성 재료가 기록 매체를 대체할 것이고, 많은 에너지 수송 손실과 거대한 양의 에너지 저장을 위하여 초전도성 재료를 이용한 전선 및 플라이휠 등의 개발이 진행될 것이다. 화석 연료에 의한 발전 설비도 환경 공해 측면에서 연료 전지 개념과 결합된 청정 에너지 발전 개념으로 변화하게 될 것이다.

결론적으로 21세기는 늘어만 가는 세계 인구와 이러한 세계 인구의 의식주를 해결하여 세계 인류가 평화로이 공존하기 위하여는 획기적인 생산력의 증대를 가져올 수 있는 수단인 강구가 요구된다. 이에 재료과학의 역할과 발전은 한층 더 시대적으로 요구되고 있다. 농업 생산력의 증대와 정보화에 의한 효율적 자원관리 및 운용을 위하여 생화학적 재료의 생산, 가공, 정보저장용 자성 재료, 광전재료 및 광재료의 혁신적인 개발 및 가공공정이 요구된다. 화석 연료 사용 증가에 의한 이산화탄소의 증가로 말미암은 온실효과 때문에 대기온난화현상은 심각하며, 이는 결국 우리가 살고 있는 생태계에 변화를 초래

하여 자연 파괴를 가져오고 있다. 환경친화적인 청정 에너지원 재료의 개발이 요구된다. 각종 시청각센서용 재료, 화학센서용 재료, 광센서용 재료 등의 발달과 컴퓨터의 발달로 인하여 기계 및 사무자동화가 가속화되고 인간의 능력에 매우 유사한 각종 로봇의 출현이 가능할 것이다. 이러한 모든 변화는 급격히 발전하고 있는 전자산업, 자동차산업, 항공 및 우주산업, 화학공업 및 에너지산업분야 등 모든 산업 분야에 영향을 미칠 것이며 부단히 새로운 특성을 갖는 재료의 개발과 가공처리 기술 개발 등의 필요가 한층 더 증대되어 재료과학 및 공학의 역할은 더욱 더 중요해질 것이다. **☞**

---

#### 이성훈

서울대 자연과학대학 화학과와 동 대학교 자연과학대학원에서 화학을 전공하고, 미국 하버드 대학교에서 물리화학 전공으로 이학 박사학위를 받았다. 박사학위 후 캘리포니아 대학교에서 박사후 연구원으로 재직하였다. 현재 광주과학기술원 신소재공학과 교수로 재직중이다. 한국화학회, 미국 물리학회, 전기 전자 공학회, 재료학회 회원이며 과학잡지인 사이언스를 비롯하여 각종 연구 잡지에 수십 편의 논문을 발표하였다.