

# NANO Glass 기술개발 현황

글 \_ 강 원 호 || 단국대학교 신소재기술 연구소  
whkang@dku.edu

## 1. 서론

20세기 후반의 급격한 산업기술의 발달은 범용소재에 대한 종래의 개념을 크게 바꾸어 놓았다. 종래의 소재가 갖는 범용성 이외에 첨단 산업기술에 요구되는 고기능화, 고성능화, 신 기능화에 따른 새로운 소재의 발달이 가속화된 것이다. 즉 유리는 투광성이 우수한 재료로서 광학 기술과 밀접하게 상관되며, 고절연성과 유전성은 전자 산업에, 내화학성은 의료 관련 산업에, 고경도 고 강도 특성은 고강도를 요하는 특수 분야에서 주요한 소재로 인식되고 있다. 예를 들어 장거리 광통신이나 에너지를 전송하는 광섬유, 각종 장치의 내시경용 유리 섬유, 핵융합반응이나 정밀가공 등에 이용될 고출력 레이저 유리, 고밀도 광정보 시스템을 구축한 광자기 디스크 및 고밀도 광회로를 구성하는 광IC유리, 대형 평판 TV등의 디스플레이용 기판유리, 대면적의 표시소자로 이용이 기대되는 응답속도가 빠른 전자 감광유리, 반도체 회로의 원판으로 쓰이는 포토마스크 등이 대표적인 것이라 볼 수 있다.

유리는 결정재료에 비해 조성의 선택범위가 연속적으로 넓고, 오히려 구조의 자유도가 크기 때문에 조성과 구조의 많은 조합이 가능하고, 이에 따른 여러 잠재적 특성·기능이 있을 것으로 예견되고 있다. 그러나 종래 기술은 조성의 제어와 열처리 등 거시적인 구조제어에 머물러 있으며 아직 까지도 비정질체라는 이유로 미시구조 해석 및 특성이나 기능 면에서 극히 일부 밖에 실현할 수 밖에 없었다. 따라서 우리가 본래 가지고 있는 잠재적인 특성이나 기능을 유효하게 살리기 위해서는 나노수준까지 다다른 구조제어가 필요하다.

원자·분자 단위(1nm이하)의 원자상태 등의 구조평가와 제어기술의 개발, 빛의 파장 10분의 1 이하인 1~수십 nm 수준의 초미립자나 이질상을 유리 안에 분산시키는 구조제어기술의 개발, 이질상을 유리 안에 규칙적으로 배열하여 그 구조에 의해 새로운 기능을 발현시키는 기술의 개발, 계속해서 광회로에 적합한 저손실 도파로용 유리 재료 등의 개발들의 요구되고 있으며, 이들의 연구 개발로 얻어진 결과를 기반으로 나노수준의 유리 구조를 매우 정밀하게 제어하는 기술의 체계화를 도모하고, 나노유리 재료개발에 필요한 기반기술을 구축하는 것이 필요하게 되었다.

이러한 기술 이에 의해 정보통신, 건축, 운송, 환경 등의 넓은 분야에 이용되는 기반기술의 형성, 및 이들 분야의 에너지 절약에 이바지하게 되리라 본다.

## 2 원자·분자 단위에서의 구조제어기술

유리의 원자·분자 단위의 구조를 제어한다면 종래의 거시적인 구조제어에서는 발현될 수 없었던 유리 재료의 광학적, 전자기적, 기계적 및 화학적 등의 뛰어난 특성이나 성능을 유효하게 끌어낼 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 종래의 거시적인 구조제어와는 다른 새로운 방법, 즉 외부장(광, 전장, 열 및 압력 등)을 작용시킴으로써 조성 변화나 이질상 등을 생성시키지 않고 원자·분자 단위의 전자상태 등을 변화시키는 기술의 개발이 진행되고 있다. 또한 계측기술 및 계산과학을 유효하게 조합하여 유리 안의 전자상태, 배위자장 등이나 나노 영역의 응력 등을 매우 정밀히 계측하고, 평가하는 기술의 접합이 시도되고 있다. 아울러 유리 재료개발의 기반으로서 광범

위한 계통의 유리 조성에 있어 원자·분자 단위의 전자 상태 등과 물성과의 상관관계를 구명 하고자 하는 연구가 추진중이다.

### 2.1 전자상태 등의 측정·평가기술

분광법 등의 계측법 및 계산과학적 방법(분자궤도법 및 분자운동학법 등)을 이용하여 유리 안의 활성이온이나 결합의 전자상태, 배위장 및 나노 영역의 응력 등을 계측·평가하기 위한 기술 개발이다. 또한 콤비나토리얼 케미스트리 방법을 이용하여 광범한 조성의 유리재료에 있어 물성과 원자·분자 수준의 전자상태 등과의 관련성을 구명하여 여러 조성의 유리를 단시간에 계통적으로 제작하는 기술의 개발을 추진하게 될 것이다.

### 2.2 외부장 조작기술

유리의 구성 원자나 도입한 이온 등의 결합각, 배위장장을 변화시켜 파장분산이나 투과특성 등의 물성을 바꾸지 않고 굴절률 등의 광학적 특성을 등방적 혹은 이방적으로 제어하기 위한 초고압인가 등의 외부장 조작기술을 개발하고 있다.

실리카 유리와 같은 파장분산이나 투과성을 갖고 1% 이상의 굴절률 변화를 10 μm이하의 범위에서 형성하기 위한 외부장 조작기술을 개발하고 있다.

## 3. 초미립자 분산 등 구조제어기술

유리재료에 직경이 1~수십nm 수준의 이질상이나 초미립자를 분산시키면 그 크기가 빛의 파장보다 충분히 작기 때문에 투과특성이나 굴절률 등의 광학적 특성을 변화시키지 않고 극히 낮은 온도의존성이나 발광기능 등 새로운 기능을 부여할 수 있다. 예를 들면 광로 길이의 온도의존성이 극히 낮은 유리재료는 기존의 조성제어에서는 달성이 곤란하지만 온도의존성이 다른 이질상을 미세하게 분산시킴으로서 온도의존성을 제어할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 응집이나 산화로 인해 고휘도 발광이 어려울 것으로 여겨지는 단 파장 영역용 형광체에 있어서도 유리 안에 고농도로 균일하게 분산함으로서 고휘

도 발광이 가능하게 된다.

이와 같은 구조의 유리 재료를 제작하기 위해 초단펄스 레이저의 조사 등, 광, 전자, 열 혹은 압력 등의 외부장을 작용시켜 유리 안에 결정이나 분상을 석출·여기시키는 기술을 개발할 필요가 있다. 또한 용액, 기상 혹은 용액상태에서 유리 안에 금속이나 반도체 등의 초미립자를 분산시키는 기술을 개발할 필요가 있다.

### 3.1 이질상 미세석출기술

결정화 유리 혹은 분상 유리에 초단펄스레이저, 초고압 등을 작용시켜 유리 내부에 모재와 온도 의존성이 크게 다른 결정상이나 분상 등의 이질상을 미세하게 석출시키는 기술을 개발한다. 실리카 유리와 동등의 선팽창률, 동시에 광로 길이의 온도의존성이 실리카 유리의 1/2 정도인 유리 재료를 제작하는 기술을 확립한다. 구체적 목표로서 투명하고 선팽창률이  $4 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 이하, 광로 길이의 온도의존성이  $1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 이하인 유리재료의 제조기술을 실현화 하고자 한다.

### 3.2 초미립자 분산기술

역미셀법 등에 의해 직경 수nm의 초미립자를 직경 수십nm의 유리 입자 안에 첨가하여 외부 분위기로부터 차단하고 초미립자를 고농도에서 균일하게 분산시킨 유리 재료를 제작하는 기술을 개발하고 있다.

내광성이 우수한 반도체 등의 형광체 미립자를 분산시킨 단파장 영역용 고휘도 발광 유리재료를 제작하는 기술을 확립하는 것이다. 구체적 목표로서 형광체 미립자의 분산농도가  $10^8 \text{ mol/cm}^3$  이상이며, 파장 450~550nm 영역에서의 발광양자효율이 3%이상인 유리재료를 제작하여 현재 희토류계의 형광체에 비해 25배 이상의 발광강도를 실현화 하고자 한다.

## 4. 고차구조제어기술

유리 안에 이질상 혹은 유기재료나 기공 등을 형상과 배열을 적절히 제어하여 구조화(고차구조)함으로서 최고 강도 등의 기계적 특성, 저 전송 손실 등의 광학적 특성

기능, 혹은 분자나 이온의 선택적 투과성 등의 기능을 부여할 수 있다. 예를 들면 소성변형에 의해 응력 완화하기 쉬운 이질상 등을 유리 안에 형성한다면 투명성을 잃지 않고 고 파괴 취성 등 뛰어난 기계적 특성을 발현할 수 있다. 굴절률이 모재와 다른 이질상을 빛의 파장 1/2 이하의 간격에서 주기적으로 배열하면 빛이 굴절을 효과 등이 발현하는 극소한 인공적 광결정이 된다. 또한 분자나 이온과의 친화성을 갖는 유기 재료 등을 유리와 하이브리드화한다면 고효율의 선택적 투과기능의 부여를 기대할 수 있다.

이들의 고차구조제어된 유리재료를 제작하기 위해서 유리 표면 및 내부에 광학적 혹은 기계적 특성이 다른 상을 정밀하게 주기적으로 형성하는 기술을 개발할 필요가 있다. 또한 유기재료상을 하이브리드화한 유리막을 형성하는 기술을 개발할 필요가 있다.

#### 4.1 주기구조형성기술

굴절률이 모재와 다른 이질상, 기계적 특성이 모재와 다른 이질상 등을 CVD와 리소그래피프로세스 등에 의해 모재의 표면과 빔 조사(초단펄스레이저, X선, 전자선 등)에 의해 모재의 내부에 2차원 혹은 3차원상으로 주기적으로 미세, 고정밀도로 형성하는 기술을 개발하는 것이다.

유리 안에 기계적 특성 또는 광학적 특성이 다른 상을 광 파장의 10% 이하의 치수 및 위치에서 2차원 혹은 3차원상으로 주기적으로 형성하는 기술로 기계적 특성이 다른 이질상을 형성 혹은 배열을 적정화하여 판유리 내부에 주기적으로 형성하고, 모재에 비해 2배 이상의 파괴 취성을 갖는 유리와 굴절을 차가 50% 이상의 이질상으로 이룬 주기구조를 가시파장부터 광통신영역 파장의 1/2이하의 피치로 2차원적 혹은 3차원적으로 표면층 혹은 내부에 형성한 유리 제조하는 기술의 개발이다.

#### 4.2 유기무기 하이브리드 기술

유리의 두께 방향에 연속하는 유기재료상을 분상법, 졸겔법, CVD법 등에 의해 미세, 고정밀도로 하이브리드한 유리막을 형성하는 기술 개발이다. 유기 재료상을 직

경 수십nm이하, 간격 수십nm이하로 하이브리드한 유리막을 형성하는 기술을 확립하여, 직경 20nm이하의 도전성 고분자상 등을 갖고, 그 고분자상 유리막의 두께방향으로 배향률이 50%이상인 유리막, 직경 20nm이하의 기공을 갖고, 그 기공 유리막의 두께방향으로의 배향률이 20%이상인 유리막의 제조기술 개발을 목표로 한다

### 5. 3차원 광회로 재료기술

초고속 대용량의 정보전송에 불가결한 저 전송손실로 초고속 광 디바이스나 대용량 광 메모리의 실현에는 앞에서 언급한 신규 유리재료나 구조 등을 조합해 3차원 광 회로로 만들어 넣는 것이 필요하다.

저 손실 광도파로를 실현하기 위해서는 종래의 방법(포토 리소그래피나 드라이에칭법 등)에 따르지 않는 고정밀도의 미세 광도파로 형성기술의 개발이 필요하다. 또한 광회로의 소형화를 위해서는 곡률 반경이 작게 구부러진 도파로를 형성하는 기술의 개발이 필요하다.

나아가 기록밀도가 종래에 비해 100배 이상, 읽어 내고 써넣는 속도가 종래에 비해 10배 이상의 성능을 갖는 테라바이트급 광 디스크의 실현을 위해서는 읽고 쓰기 위한 레이저 빔 경로를 현재의 0.9 μm에서 0.15 μm로 고도로 짜 넣은 광디스크재료, 이와 함께 복수파장에 의한 동시 읽기 쓰기를 가능하게 하는 광 헤드재료에 관한 기반기술의 개발이 필요하게 될 것이다.

#### 5.1 저 손실 광 도파로용 재료기술

고진공 CVD법, 다윈 스피터링법 등 성막기술에 의해 제작한 전송손실이 작은 유리 안에 초단펄스레이저 조사 등에 의해 높은 굴절률차(2%이상)를 갖는 고정밀도의 초미세 패턴을 광도파로로서 형성하는 기술을 개발한다. 또한 이질상이 주기적으로 배열한 인공적 광 결정 안에 광의 굴곡, 분기, 합류부를 포함한 삼차원 광 회로를 형성하는 기술을 개발하여 전송손실0.02dB/cm이하인 도파로용 유리 및, 광 파장 1.55 μm를 상정하고 곡률 반경이 10 μm이하의 굴곡부나 분기, 합류부를 갖는 크기 100×100 μm에 5층의 광회로를 형성하여 2차원 광회로로

서의 가능성을 실증하는 것이다

### 5.2 대용량 광 메모리용 재료기술

스퍼터링법 등을 이용해 입경수nm의 주상결정립자를 유리 박막 안에 균일하게 석출·분산·배향시켜 읽고 쓸 때의 레이저 조사 등에서 국소적 또한 가역적인 굴절률 분포를 일으키는 집광기능층을 형성하여 초고밀도 기록을 가능하게 하는 광메모리 디스크용 유리박막재료기술을 개발한다. 또한 초단펄스레이저 조사나 이방적 에칭 등을 이용하여 주상, 판상, 입상 등의 이질상에 의해 형성된 2차원, 3차원의 주기적 구조를 유리 표면층 및 내부에 형성하고, 파장혼합광을 고정밀도로 파장 분리할 수 있는 기능을 발현시킴으로서 복수정보의 동시 읽기 쓰기가 가능한 광메모리헤드용 유리재료기술을 개발하는 것이다.

파장 410nm의 레이저 광 조사에 대응해 10ns이하의 응답속도로 굴절률이 20%이상(현재는 수 ms에서 1%) 가역적으로 변화하는 유리 박막재료를 개발과 1%의 파장차에 대응해 굴절각도차가 종래에 비해 15배 이상(현재 유리 프리즘에서는 410nm에 있어 0.07°)인 유리재료를 개발을 목표로 한다.

### 6. 나노글래스의 전망

우리나라의 유리 산업은 고전 전통 유리인 병유리, 일반 용기 유리, 판유리 등이 주류를 이루고 브라운관 유리, 창호 유리, 애플 유리, 내열유리 등 기능성 유리 산업 등이 성장되어 왔으며, 앞으로도 지속적인 연구 개발에 의하여 고기능성 나노 글래스의 실용화가 기대된다. 오늘날의 우리나라 평판 디스플레이 제조는 LCD의 경우 세계 시장의 35% 이상을 점유하는 최고의 국가가 되었으

며, 반도체판매도 세계 1위를 차지하는 위치로 성장하였고, 자동차 제조, 수출 산업도 괄목할 만한 성장을 이루었다. 정보통신 인프라 구축으로 IT 관련 산업도 고도로 성장하고 있다. 또한, 의료 관련 산업도 점차 확대되어 가고 있는바, 이와 관련된 나노 글래스 시장 수요도 급격하게 신장될 것으로 예상된다. 따라서, 국내 수요 조사를 통하여 2010년도의 한국의 나노 글래스의 잠재 수요 예측을 할 때가 되었다고 본다. 아울러, 유리를 전공하는 모든 유리인들의 두뇌와 정성을 모아서 신기능성 나노 글래스의 개발을 정부 정책에 반영하여 연구 집단을 형성하고, 연구 개발과 사업화에 전심 전략하여 차세대 산업을 창출하는 기회를 마련하여야 한다.

### 참고문헌

1. “뉴글라스” 강원호 단대출판부 2004.
2. “새유리의 기능과 합성” 새유리 연구회 민음사 1998.
3. “Nano Glass Technology Project” New Glass forum Japan 2002.
4. “세상을 바꾸는 신소재” 강원호 단대출판사 2003.

### ◎◎ 강원호



- 1971. 한양대학교 요업공학과(학사)
- 1973. 한양대학교 무기재료공학(석사)
- 1985. 한양대학교 무기재료공학(박사)
- 1975-1989. 삼성코닝중앙연구소 책임연구원/ 연구소장
- 2000. Pennstate univ. 객원교수
- 현재. 단국대학교 신소재공학과 교수