



다가오는 時代의 新素材 開發現況

李 根 喆

第一電算訓練院長

■ 머리말

새로운 素材技術은 앞으로 경제발전을 유지하는 첨단기술의 한 분야가 될 것이며 현재 기초소재산업에서 가공조립산업에 이르기까지 많은 기업들이 새로운 재료를 위하여 연구개발에 착수하고 있다.

서기 2000년까지 발전이 기대되는 새로운 소재 기술로서는 첫째, 형상기억합금, 아몰퍼스합금, 수소저장합금, 자성재료, 고성능 금속계 복합재료, 둘째, 자동차엔진 및 집적회로에 사용되는 파인세라믹스, 셋째, 경량 고강도의 구조재료와 고효율의 분리막 등에 사용되는 고성능 고분자재료, 넷째, 자동차용 부품, 우주·항공분야 등에 사용되는 복합재료와 열발전소자 이외에 초전도 코일, Tera Bit Memory, Neuro Computer, 액정 디스플레이, 인공현실감 시스템, 초병렬컴퓨터, 바이오컴퓨터, 바이오센서, 분자 디바이스 및 超格子素子 등이다.

이들 새로운 소재는 그 實用化에 따라서 새로운 소재시장의 확대 뿐만 아니라 생산과정에서

소비되는 중간제품의 시장 확대 및 고기능성을 살린 새로운 고기능성 제품시장의 확대 등 경제 전반에 걸쳐서 큰 파급효과를 가져올 것이다. 본고에서는 이들 신소재 중에서 중요한 몇 가지만 기술하고자 한다.

1. HM₂ 기술

HM₂는 Highly Lattice Mismatched Hetero Epitaxy의 약자로서 일본에서 개발한 것이다. 이것은 실리콘과 갈륨비소 등 반도체 재료를 성장시키는데 있어서 매우 획기적인 것으로서 헤테로 에피택시의 기본원리인 格子整合을 무시하고 반도체 재료를 자유롭게 설계할 수 있어 큰 주목을 끌고 있다.

HM₂ 기술은 갈륨비소·실리콘 뿐만 아니라 실리콘 카바이드·실리콘, 인듐인을 비롯해서 격자정수가 크게 다른 기판상에 에피택설을 성장시키는 기술로 인식되었다.

실리콘과 갈륨비소의 격자정수는 각각 0.543, 0.563nm로서 두 재료 사이에는 4%의 차이가 나

는데 단일에 이 4%의 格子不整이 있다면 실리콘 원자가 횡렬로 1백개 늘어선 기판 위에 갈륨비소는 96개밖에 실을 수 없게 되므로 결합없는 에피택셜 성장이 불가능하게 된다.

이 결과 격자정수가 맞지 않은 채로 원자가 결합하려고 하여 転位를 포함한 결정결함이 발생하게 되며 이것이 현저해지면 성장층은 다결정이 되어 디바이스에 이용할 수 없게 된다.

그러나 반도체의 에피택셜 성장에는 일정한 수준의 기판이 필요한 것으로서 이것이 실리콘에는 실리콘기판을, 그리고 갈륨비소에는 갈륨비소기판식으로 에피택셜층에 格子整合하는 것이 보통이었다.

따라서 기판 선택은 제한되었고 이중에는 실리콘 카바이드처럼 대형의 결정기판을 구하기 힘든 재료도 있어 종전부터 비교적 값이 저렴하며 大口經基板을 쉽게 구할 수 있는 실리콘을 기판으로 사용할 수 있기를 기대하였다.

특히 설계가능한 재료로서 III-V족 화합물반도체의 혼합결정을 보다 쉽게 얻는데 HM_2 기술이 기여하게 되었다.

현재 III-V족의 혼합결정으로서 갈륨 인듐비소계는 반도체 레이저나 발광 다이오드에 응용하고 인듐 갈륨비소계는 高電子移動度를 활용한 고속소자에 이용되고 있다.

이들의 혼합결정은 組成을 재조합하거나 헤테로 구조로 함으로써 에너지帶 구조(블로흐 구조)로 설계할 수 있는 특징을 갖고 있으나 이러한 혼합결정은 용액에서 취출하기가 어려우므로 어느 基板을 사용해서라도 에피택셜 성장을 시도하여야만 하였다.

실제로 혼합결정의 화합물 반도체에서 벌크 單結晶을 취출하려고 할 때 구성반도체의 격자정수가 다르면 용액의 조성이 변화하여 대형의 것을 만들기가 어려웠다.

한편 실리콘은 에너지帶 구조가 間接遷移形이 기 때문에 발광 다이오드에는 적합하지 않다. 이로 인하여 갈륨비소와 같이 直接遷移形 화합물 반도체에 빛의 수광처리를 담당시켜서 실리콘과 화합물을 單一體로 集積化하는 것이 과제로 되어 왔는데 일본에서 금번 3차원 회로소자 연구 도중 2단계 성장법을 도입하고 실리콘기판 위에 양질의 갈륨비소 에피택셜 성장층을 만드는데 성공하였다.

과거에는 미국 MIT 그룹이 젤마늄을 중간층으로 하여 진행해왔으나 일본의 연구는 2단계 성장법에 의해서 직접 실리콘기판 위에 갈륨비소를 성장시킨 것이 특징이다.

2단계 성장법이란 처음에 $400^{\circ}C$ 의 저온에서 10 nm 정도의 얇은 갈륨비소 버퍼층을 형성한 후 $700^{\circ}C$ 의 고온에서 일반적인 갈륨비소 에피택셜 성장을 행하는 것이다.

이때 실리콘과 갈륨비소의 格子不整에서 일어난 왜곡은 저온에서 형성된 얇은 버퍼층에 집중되기 때문에 고온에서 성장된 상층부의 갈륨비소 활성층까지 轉位の 결함이 전달되기 어렵다는 원리로부터 양질의 에피택셜막을 얻는 유력한 HM_2 기술로서 각광을 받게 되었다.

그런데 超格子를 사용한 HM_2 기술은 실리콘기판 위에 알루미늄 갈륨비소, 갈륨비소의 반도체 레이저를 제작하여 펄스발진에 성공하였다고 한다.

2단계 성장법과 초격자에 의한 HM_2 기술 중 그 우열을 정하기는 어려우나 공업적 측면을 제외한다면 초격자 방법이 장래성이 있을 것이다.

이와 같이 실리콘기판 위에 갈륨비소를 성장시키는 방법이 주목을 받는 이유는

첫째, 大口經基板을 싼 가격에 구할 수 있으며 더욱이 기계적 강도나 열전도성이 뛰어나고,

둘째로 갈륨비소는 실리콘에 없는 높은 전자 이동도나 반결연성 및 발광특성을 갖고 있어 HM_2

기술은 갈륨비소 IC의 가격중 3분의 2를 차지하는 갈륨비소기판 웨이퍼를 실리콘으로 대체할 수 있다는 것이다.

한편 일본에서는 2단계 성장법이나 초격자 사용법과 다른 MIBE법 즉 인듐인·실리콘의 에피텍셀 성장법을 연구중에 있는데 이것을 HM_2 에 응용하는 경우 100eV의 저속 인이온을 실리콘기판 위에 쪼이면 원자혼합효과에 의해 기판에서 계면에 이르기까지 그 組成이 연속적으로 변화한다고 한다.

이렇게 되면 원자혼합에 의해 서서히 인듐인의 0.543nm에서 인듐인의 0.587nm로 변화하게 되며 인듐인·실리콘법에 의한 것은 이론적으로 높은 평가를 받고 있다.

2. 컬러 액정 디스플레이

정보화사회의 진전에 따라 현재 사용되고 있는 CRT는 부피와 중량이 크고 구동전압이 높고 큰 소비전력으로서 많은 문제점을 안고 있다.

또한 平面形의 大形화면을 구성할 수 없어 최근에는 다양한 컬러표시 방식이 연구되고 있는데 이 중에서 液晶디스플레이(LCD)에 대하여 기술하고자 한다.

액정이란 주로 긴 사슬 모양의 有機化合物分子로 구성되어 있으며 고체와 보통의 等分性 액체와의 중간상태인 혼탁한 유체상으로 존재하며 유동적이고 분자들 사이에 일정한 배열이 유지되어 결정團體에서와 같은 異方性을 갖는 것을 말한다.

그러므로 액정을 흔히 異方性 액체(Anisotropic Liquid) 또는 中間相(Mesophase)이라고도 한다.

액정은 분자 배열의 모양에 따라서 Nematic, Smetic, Cholesteric 액정으로 분류되며 컬러 LCD의 發色原理는 다음과 같이 나눌 수 있다.

첫째, 색소의 2色素 및 光干涉 效果 이용

둘째, 無偏光 컬러필터 및 컬러반사막의 이용 셋째, 2色性 반사판 및 畫像順次 이용방식 이외에 이들을 조합시켜서 色의 3屬性(明度, 色相, 彩度)을 선택함으로써 컬러를 표시할 수 있다.

한편 2色性 색소를 이용한 것으로는 컬러편광판과 TN(Twisted Nematic)셀을 조합시킨 것 및 게스트 호스트(Guest Host)방식이 있으며 게스트 호스트 방식은 2색성 색소를 액정 셀내에 용해시키고 액정분자 집단의 방향을 전압으로 제어하는 방식으로서 색소의 방향이 변화함에 따라 투과율이 변하는 것이다.

화상순차방식은 모노컬러 CRT와 同期制御되는 액정 셀 및 컬러편광판의 조합에 의한 컬러표시 방식으로서 액정 셀과 흑백 CRT를 동기시켜서 망막잔상을 이용하는 것이다.

이 흑백 CRT는 새로 마스크를 사용하지 않고 있기 때문에 분해능과 휘도가 높으며 현재 바이 컬러편광판을 이용한 R-G, Y-B를 조합시킨 컬러표시가 실용화되고 있다.

최근 컬러 LCD의 신기술을 보면 첫째로 TFT(Thin Film Transistor) 컬러 LCD는 박막 트랜지스터를 畫素 단위마다 부착하고 액정의 전기광학 효과를 화소단위로 제어함으로써 화질을 향상시킨 컬러 표시소자이다.

이것은 2매의 유리기판으로 된 액정패널, 유리기판상에 실장시킨 드라이브 LSI, 드라이브 콘트롤러 및 백라이트 등으로 구성되어 있다.

유리기판 안쪽에는 TFT와 10만~100만 개의 투명한 畫素電極이 매트릭스 상태로 배열된 TFT 어레이가 형성되어 있으며 반대쪽 유리기판 내부에는 화소전극과 對向되는 위치에 RGB 3원색으로 구성된 컬러필터가 매트릭스 상태로 배열되어 있다.

또한 각각의 유리기판 외측에는 편광판이 접착

되어 있고 액정화합물은 유리기판 사이에 충전되어 있다.

TFT 어레이를 구동하는 게이트 드라이브 LSI와 데이터 드라이브 LSI는 외부 입력신호를 처리하는 컨트롤러에 의하여 제어되고 있으며 백라이트는 형광판과 산란판이 조합된 것을 많이 사용하고 있다.

현재 컬러 TFT LCD의 당면과제는 드라이브 LSI와 실장 제조 코스트, 컬러필터 제조 코스트의 절감 및 어레이 코스트를 낮추는데 있다.

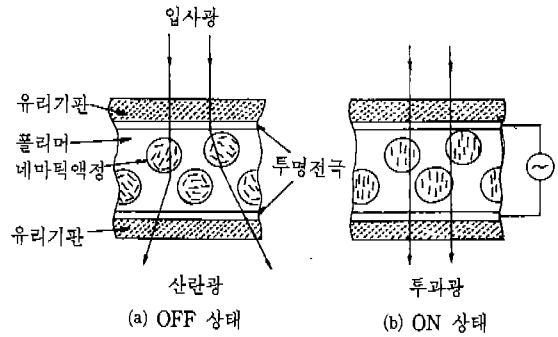
둘째로, 強誘電性 LCD(FLCD; Ferroelectric Liquid Crystal)는 간단한 전극구조로 대형화면을 실현할 수 있으며 自發分極과 전계와의 상호작용이 강하기 때문에 誘電分極을 이용하는 일반액정에 비하여 전계에 대한 액정분자의 응답속도가 3배 이상 빠르다.

또한 콘트라스트比가 높기 때문에 선명한 화상 표시가 가능하고 플리커가 없으며 전자파에 의한 VDT 장애도 없다.

그리고 TN(Twist Nematic), STN(Chiral Smetic Twist Nematic) 등 일반액정은 메모리성이 없고 전계효과 실효치에 의하여 누적적으로 응답하기 때문에 주사선수가 증가하면 명암의 印加實効 電界差가 감소하여 화질이 열화되나 FLC에서는 액정 자체의 메모리성을 이용하고 있어 이러한 점이 개선된 것이다.

한편 FLCD는 균일 박층셀의 제조, 높은 콘트라스트의 配向, 고내압, 고유전율 절연층의 제조, 내충격성 향상, 고속화상의 표시 및 액정재료의 개선 등이 기술적 과제로 남아 있다.

셋째로, 폴리머 분산형 LCD(PDLCD)는 투명한 폴리머막 중에 다수의 粒狀液晶이 산란해 있는 PDLC(Polymer Distributed Liquid Crystal)를 기존 TN 액정과 전혀 다른 구조와 光變調 동작을 수행하고 있는 표시소자이다(그림 1 참조).



<그림 1> PDLC 셀의 구조

대표적인 PDLC는 두께 수 μm ~수십 μm 의 투명폴리머 안에 서브 μm ~수 μm 크기의 粒狀液晶이 분산되어 있는 구조를 갖고 있으며 여기서 液晶粒은 완전 구형이 아닌 원형 원추형에 가까운 형상을 하고 있다.

PDLCD는 인가전압의 유무에 따라서 광을 투과하거나 산란시키기 때문에 편광편이 필요없고 허용가능한 막의 오차범위를 기존 액정보다 크게 할 수 있는 장점을 갖고 있기 때문에 앞으로 각광받을 표시소자로 전망되고 있다.

3. 형상기억합금

형상기억합금은 금속이라기보다는 사실상 金屬間化合物이 만들어낸 새로운 특성의 물질이다.

금속간 화합물이란 성분 금속의 原子數가 간단한 整數比로 결합하고 성분원소의 원자배열이 규칙적인 합금을 말한다.

일반적으로 금속간 화합물은 성분금속과 다른 결정구조인데 置換形 固熔體이며 X선으로 보아도 고용체와의 구별이 어렵다.

금속간 화합물은 고체상태에서만 존재하며 용해와 동시에 분해하는데 고용체에 비하여 도전율이 매우 적다.

금속에서의 形狀記憶效果 즉 늘어나거나 구부러졌다가도 일정한 온도에 이르면 원래의 형태로 돌아가는 성질이 처음으로 발견된 것은 1957년 구리와 카드뮴 및 인듐·티탄합금에서 비롯되었다.

그후 1963년 미 해군연구소가 니티놀(니켈·티탄의 합금)계 합금에서 형상기억 효과를 발견하여 본격적인 응용연구를 시작하였다.

형상기억 메커니즘에는 다양한 유형이 있으나 대표적인 니티놀에 대하여 살펴보기로 한다.

고온에서의 원자배열은 面心立方인데 이것은 주사위 모양의 입체로 8개의 모서리와 6개 面의 중심에 원자가 배치되어 있으나 냉각되면 어느 온도에서 갑자기 원자배열이 변한다. 즉 같은 주사위 모양의 배열에서 8개의 모서리 원자는 그대로 있으나 면에 있던 원자는 주사위의 중심에 위치하게 되는 體心立方의 배열을 하게 된다.

면심입방에서 체심입방으로의 변화는 철에 소량의 탄소가 녹은 오스테나이트鋼(Austenite Steel)의 마르텐사이트鋼으로의 변태와 비슷하여 마르텐사이트變態(Martensitic Transformation)라고 한다.

마르텐사이트 변태를 한 니티놀은 결정전체에 걸쳐 주사위 모양으로 원자가 즐지어 있는 것이 아니고 지그재그로 배열되어 있는데 이러한 구조를 雙晶 마르텐사이트라고 부른다.

이 쌍정 니티놀을 가공하여 변형시키면 지그재그 배열이 산뜻하게 스트레이트의 배열이 되며, 가열하여 면심입방의 배열로 되돌리면 原形으로 되돌아간다.

한편 니티놀은 니켈과 티탄의 합금이지만 組成이 변하면 마르텐사이트 變態溫度가 민감하게 바뀌어진다. 예를 들면 니켈이 50%에서는 60°C이지만 니켈을 51%로 하면 영하 30°C로 떨어진다.

그런데 구리계의 실용적인 형상기억합금은 베타알로이(β Alloy)라고도 하는데 아연을 12%,

알루미늄을 17% 함유한 구리합금의 변형온도는 60°C이지만 여기에 아연을 25%, 알루미늄을 10%로 하면 영하 105°C로 떨어진다.

강(鋼)은 견고하여 변형하기 어려우며 냉각되었을 때 쌍정 마르텐사이트가 되기 어렵기 때문에 형상기억의 가능성이 없다고 한다.

니켈, 티탄의 합금인 니티놀계는 특성이 우수하고 피로수명이 길어서 신뢰성이 높으나 고가이며 제조공정의 복잡성 및 용접성도 좋지 않은 단점을 갖고 있다. 구리계에서는 延成을 증가시키고 열적·기계적 經時變化面에서 특성을 개선하는 것이 주요과제로 남아있다.

4. 水素저장합금

수소를 금속과의 화합물 상태로 저장하면 과거와 같이 무거운 고압볼베를 사용하거나 극저온에서 액화하지 않고도 수소의 이동이 가능해 폭발 위험도 없다.

최근에 이와 같은 저장용기 이외에도 수소저장합금의 흡수 및 발열반응을 이용한 냉온방장치와 폐열회수 시스템의 실용화 연구가 활발히 진행되고 있다.

화학적인 반응으로 대량의 수소가스를 흡수하거나 방출하는 수소저장합금은 수소와 결합한 상태를 가리켜 金屬水素化(메탈하이드라이드)라고도 부른다.

수소저장합금의 특징은 수소를 저장하는 반응뿐만 아니라 역반응을 일으켜 수소를 방출할 수 있다는 점이다.

저장과 방출은 몇 번이라도 반영구적으로 반복시킬 수 있는 데다가 빨아들이고 내뿜는 속도도 대단히 빨라 양의 많고 적음에 관계없이 수초에서 수십초 사이에 저장과 방출을 완료한다.

또 하나의 큰 특징은 흡수시에 발열을 하고 그

역반응인 수소 방출시에 발열시와 같은 양의 흡열현상을 수반하는 점이다.

여기에서 수소저장합금이 지닌 수소 저장능력의 크기를 보다 쉽게 이해하기 위해 합금의 중량을 인간체중(평균 70kg)으로 비교할 경우 이 정도의 중량을 가진 합금의 수소저장 능력은 12~14m³이 되며 이 수치는 드럼통 60~70개분에 달한다.

이 같은 양은 병맥주 약 2만개 정도를 단숨에 들이키는 것에 상당하는데 이 경우 소요시간은 겨우 10분 정도에 불과하다.

이와 같이 수소가스에 대해 특히 높은 반응성을 가진 수소저장합금은 수소와 관련한 다음 세 대 에너지 체계의 핵심요소라고 여겨지고 있다.

금속수소 화합물의 용도로서 현재 가장 높은 기대를 모으고 있는 것은 액체수소나 고압력으로 가압한 수소 이상으로 고밀도의 수소를 저장할 수 있는 합금의 성질과 극히 높은 발열과 흡열을 수반하는 열적현상을 갖는 에너지 변환기능이다.

이와 같은 특성 중에서도 야간전력과 같은 잉여에너지의 저장과 공업폐열의 회수 등에 효과적인 수단으로 사용될 전망이다.

일본에서는 통산성 공업기술원의 지원을 받아서 중앙전기 등 3개회사에서 폐열회수에 의한 스탬발생을 목적으로 플랜트를 완성하였다.

이 플랜트는 80℃ 이하의 폐열을 이용하여 120℃ 이상의 고온스팀을 발생시키는 것으로 수소저장합금 이용기술의 본격적인 개발사태가 되고 있다.

그러나 수소저장합금이 새로운 기능성 재료로서 기존기술과 결합할 수 있기 위해서는 다음의 두 가지 과제를 해결해야 할 것이다.

첫째로, 다량의 수소를 저장하고 있는 것처럼 보이는 수소저장합금도 실제로 사용할 수 있는 수소의 양은 의외로 적기 때문에 수소 저장능력

이 보다 높은 재료를 개발하는 것이 관건이 될 것이다.

최근에 발표되고 있는 재료도 수소 저장능력이 적은 점에서는 대동소이하며 신규성도 높은 것은 아니다. 앞으로 경량이며 다량의 수소를 함유할 수 있는 합금의 개발이 해결되어야 할 과제이다.

이런 점에서 마그네슘과 망간을 주성분으로 하는 합금의 개발성과가 주목을 받고 있다.

둘째로, 반응을 급속히 행하여 흡열과 발열에 의한 온도변화를 효율적으로 외부에 전달하는 용기구조의 개발이다. 수소의 흡입과 방출속도는 이론적으로 수초 정도이지만 실제로는 5분 이상 걸리는 경우가 많다.

그 원인은 수소의 출입을 반복하는 동안에 합금의 사이즈가 수 μ 정도로 작아져 마치 작은 입자내에 열을 전달하는 것처럼 나쁜상태가 발생하기 때문이다.

따라서 전달성능이 좋은 합금충전구조의 개발이 이 분야에서 중요한 과제로 되어 있다.

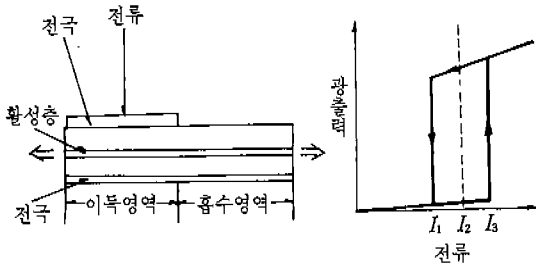
5. 新形 光스위치素子

광컴퓨터는 畫像情報에 대한 연산이나 대규모 매트릭스 연산 등의 超並列處理를 필요로 하는 분야에서 유효하며 이것이 실현되면 현재의 슈퍼 컴퓨터에 비해 1백만배 이상의 연산능력을 가질 것으로 기대하고 있다.

일본의 미쓰비시電機에서는 광출력이 크고 약한 입력광에도 작동하며 더욱이 입력광의 파장을 정확히 컨트롤 할 필요가 없는 쌍안정 광스위치 소자를 개발하였는데 이것은 고속이며 2차원 어레이화가 가능한 것이 특징이다.

먼저 쌍안정 반도체레이저형 광스위치의 기본 구조와 동작특성을 살펴보면 다음과 같다.

광의 흡수영역은 광의 강도가 작을 때에는 강



(a) 기본구조 (b) 전류-광출력 특성
 <그림 2> 쌍안정 반도체 레이저형 광스위치

하게 흡수하며 광강도가 클 때에는 흡수가 약하게 되는 특징을 갖는다.

이와 같은 소자의 이득영역에 전류를 유입해가면 그림 2와 같이 광출력은 서서히 중대되는데 흡수영역에서의 흡수가 크기 때문에 특수한 경우 이외는 발진하지 않지만 어떤 전류 I_1 에서 갑자기 발진을 하게 된다.

발진한 후에는 빛이 강하기 때문에 흡수가 작으며 전류를 I_2 에 감소시킬 때까지 발진을 유지한다.

이와 같이 전류와 광출력 사이에는 이력특성이 있는데 전류를 I_3 에 고정시키면 과거의 이력에 의해서 ON 상태와 OFF 상태의 2가지 상태를 취할 수 있기 때문에 메모리작용을 갖는다. 또한 외부에서 어떤 강도 이상의 빛이 입사되면 OFF 상태에서 ON시킬 수 있기 때문에 入光值素子로서도 동작시킬 수 있다.

이 소자의 특징은, 첫째 활성층에 多重量子阱 구조를 도입하였으며, 둘째로는 回析格子를 사용한 것이다.

다중양자阱 구조란 電子를 10nm의 좁은 영역에 집어 넣어 양자효과를 내기 위한 것이며 동작의 고속화에 한 몫을 담당한다. 한편 회절격자는 발진파장의 안정화와 함께 빛을 기판에 수직으로 외부로 빼내는 面發光을 행한다(그림 3 참조).

결정 성장시에는 매우 얇은 층을 안정적으로 만들 수 있는 分子線에 MBE법을 사용한다. 회절격자의 주기는 258nm로 2차의 회절격자에 해당하며 2光束干涉露光法에 의해 제작된 포토레지스트의 주기구조를 화학에칭에 의해 소자에 轉寫하여 만든다.

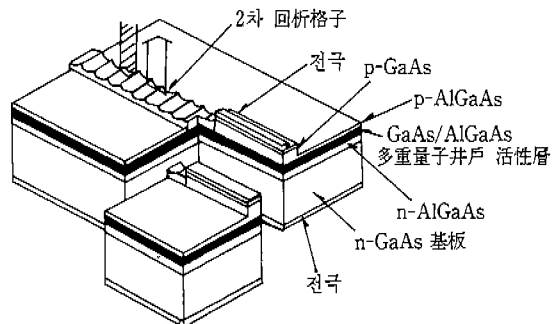
이득영역의 길이는 150 μ m, 흡수영역의 길이는 300 μ m로서 소자의 전류-面發光出力특성은 入光值전류가 47mA, ON인 경우 面發光出力이 1.4mW로서 소자구조의 최적화에 의해 入光值전류나 面發光出力은 더욱 향상되었다.

이외에 전류입력에 의한 소자의 스위칭 속도를 측정된 결과 스타트시간은 12PS로서 종래의 것보다 한 자리 이상의 고속을 나타내었으며 하강시간도 90PS였다고 한다.

이상과 같이 쌍안정 광스위치 소자의 구조와 특징을 살펴보았으나 시스템에 조합하여 장착하기 위해서는 보다 작은 광입력으로 동작할 것과 소비전력이 작고 2차원 어레이를 실현할 것 등이 과제로 남아있다.

6. 고온초전도 코일

1986년 1월 스위스 취리히에 있는 IBM 연구소



<그림 3> 面發光 쌍안정 광스위치 소자의 구조

에서는 구리를 함유한 산화물이 초전도 현상을 나타낸다는 것을 발견하였는데 이때 초전도체의 轉移溫度(T_c)는 30°K로 듀폰사의 14°K를 앞선 것이다.

한편 東京大學의 교수팀에서는 1986년 12월에 구리와 산소 이외의 두 종류의 원소를 섞어 얻어지는 화합물이 구리와 산소 이외의 원소 종류와 양에 의하여 전이온도가 40°K의 산화물 초전도체가 된다는 것을 발표하였는데 이것은 그 당시의 최고전이온도를 갖는 Nb₃Ge의 24°K를 완전히 돌파한 것이다.

그후 미국 텍사스대학의 추교수는 123화합물이라는 것을 발견하였는데 이것은 이트륨(Y), 바륨(Ba), 구리(Cu), 산소(O)가 1:2:3:7의 비율로 이루어진 산화물로서 전이온도가 90°K라고 하는 놀랄만한 숫자였다.

90°K 초전도체는 냉각제로 77°K의 비등점을 갖는 질소가 사용되는데 이것은 1리터당 7천원 정도로 살 수 있는 것이었다.

세계의 주요기업들은 프로젝트팀을 만들어 새로운 초전도체의 발견과 실용화에 박차를 가했으며 1987년에는 하루에 30건의 특허출원이 있었고 일본의 과학기술청 금속 재료기술연구소에서는 전이온도가 105°K인 비스무트를 포함한 산화물 초전도체를 발견하였다.

다음 해인 1988년 1월에 미국의 아칸소 대학에서 전이온도 125°K의 것이 발견되었으나(표 1 참조) 탈륨이라고 하는 독성이 강한 원소를 사용하였기 때문에 환영받지 못하였다.

최근에는 273°K(0°K)를 넘어선 물질까지 등장하여 상온 초전도체의 등장이 시간문제라고 하는 분위기가 나타나 현재까지의 공인기록은 127°K라고 한다. 또한 유기물 초전도체의 연구가 성행하여 현재 8°K의 것이 등장하였다.

그런데 100°K의 초전도 코일 즉 액체질소로 작

<표 1> 1986~1988년 사이에 발견된 고온초전도체

화 학 식	이름 $T_c(K)$	공 인 된 발견연도	발견한 기관 교
(La, Ba) ₂ CuO ₄	LBCO 30	1986	스위스 IBM
(La, Sr) ₂ CuO ₄	LSCO 40	1987	동 경 대 학
YBa ₂ Cu ₃ O _x	YBCO 92	1987	미국텍사스대학
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	BSCCO 110	1988	일본금속재료기술연구소
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	TBCCO 125	1988	미국아칸소대학

동하는 코일이 실용화된다면 시장은 수년내에 엄청나게 커질 것이고 그만큼 초전도 코일은 중요한 핵심기술이 될 것이다.

초전도 코일의 최대용도는 자기장을 만드는 것이고 여기에 영구히 전류를 흘릴 수 있는데 이것에 의해서 코일은 자석이 된다.

만일에 磁氣浮上에 사용하기 위해서는 코일의 단면적 1제곱센티미터로 환산하여 50~100암페어의 전류를 흘려도 좋지만 실제로는 한계가 있다.

이 전류에 의해서 발생하는 자기장이 어느 한계를 넘으면 초전도가 파괴되어 보통의 금속선과 같이 약간이지만 전기저항이 생기는 데 이 한계치를 임계전류(J_c)라고 하며 임계전류는 물질고유값임과 동시에 形狀에도 의존하게 된다.

초전도 전선은 가늘수록 1cm당으로 환산한 임계전류를 높일 수가 있으나 초전도체내에 성분이 불균일하거나 결함이 있으면 전류를 변화시킬 때 불안정한 상태가 되어 국부적으로 초전도상태

10% 절전

가 파괴될 가능성이 높아진다.

이렇게 되면 그 장소의 전기저항이 제로에서 일정값까지 상승하기 때문에 발열의 원인이 되는데 또 온도가 오르면 인접부분이 초전도상태를 잃어버리게 되어 역시 발열하게 된다.

더욱이 코일은 자기장의 힘에 의하여 퍼져나가기 때문에 코일의 단선은 폭발의 원인이 된다.

초전도체는 될 수 있는 한 가늘게 하여 그 묶음을 구리선속에 물을 수 있게 되면 가는 선 한 가닥의 초전도가 파괴되어도 발생하는 열은 주위의 구리선에 흡수되고 구리선에 의해 코일에 걸리는 힘을 지탱할 수 있게 된다.

여기서 대표적인 금속 초전도선인 Nb_3Sn 의 제법을 살펴보면 먼저 지름 5밀리미터의 선 재료를 만든 후 30가닥이 들어가도록 구리선의 묶음 속에 분산시키고 전체에 힘을 가하여 작은 구멍으로 뽑아낸다.

이러한 동작을 반복하여 1가닥의 Nb_3Sn 선의 굵기가 20미크론 그리고 전체의 굵기가 1mm 정도의 가는 선으로 한다. 이 가는 선을 구리선과 다발로 묶어 다시 가늘게 함으로써 1가닥의 선으로 마무리 한다.

Nb_3Sn 은 매우 부서지기 쉬운 재료이지만 구리선속에서 묶어 잡아늘려 와이어를 제조할 수 있다. 아무리 높은 임계전류의 물질이라도 와이어로 할 수 없으면 소용이 없게 되므로 금속튜브에 분말 원료를 채워서 線材化한 후 코일에 감고 열처리하여 분말입자끼리 소결하는 접착식 방법이 연구되고 있다.

한편 유기물에 원료를 섞어서 질게 한 후 방사하여 굽는 방법도 시도되고 있는데 이것은 금속튜브를 사용하지 않고 세라믹스 코일이 벗겨진 상태로 만드는 것이다.

코일로 하여 전류를 흘리면 몇 톤의 하중이 코일에 발생하게 되는데 이 때에 어디까지 코일이

견딜 수 있는지, 금속튜브 속에 들어 있어도 같은 힘에 의해 늘어나는 비율은 튜브쪽이 크므로 세라믹스 코일에 금이 생겨 초전도가 파괴된다.

초전도체의 용도는 強電과 弱電으로 분류할 수 있는데 前者에는 조셉슨 효과라는 현상이 있다. 이것은 2장의 초전도체판 사이에 얇은 절연체를 넣는 것으로서 절연체가 들어있으므로 2장 사이에는 전류가 흐르지 않지만 전압을 높이면 전류가 흐르게 된다. 이것을 터널효과라고 하며 절연과 다른 점은 전압을 낮추어 가면 또다시 전류가 흐르지 않게 된다는 것이다. 그러나 외부로부터 조금이라도 자기장을 걸어주면 전압값이 변하게 되는데 이 효과가 조셉슨 효과이다.

조셉슨 컴퓨터는 이러한 효과를 이용한 것으로서 이상적인 특성을 갖고 있으나 반도체 스위치와 경쟁하기 위해서는 15밀리미터의 칩에 수십만 개를 설치해야 하고 또한 저온으로 냉각시켜야 하기 때문에 실용화의 전망이 없어 10년전에 연구를 중지하였다. 그러나 일본에서는 단념하지 않고 꾸준히 노력하고 있는 분야이다.

이외에도 컴퓨터 단층촬영기나 공장의 계측기계나 컴퓨터를 외부의 잡음으로부터 보호하기 위하여 자기실드(Magnetic Shield)가 필요하게 될 것이지만 이것은 24시간 액체질소로 냉각해야 하는 결점을 갖고 있다.

強電分野에서 초전도 코일은 자기부상 뿐만 아니고 전력저장장으로서 매우 중요하다. 즉 발전된 전력을 코일에 흘려서 永久電流로 보존하면 필요할 때 전력으로 사용할 수 있다.

이상에서 언급한 소재 이외에도 다수 있으나 지면관계상 끝을 맺으며 新素材가 확고한 산업분야로서 발전해 가는 과정에서 해결해야 할 중요 과제로는 용도개발의 중요성, 신뢰성 확보 그리고 연구개발에 따르는 모험을 감수하는 것이라고 생각된다.