

# KAIST 전자요업재료연구실



김호기 교수님

## 1. 연구실 소개

김호기 교수님이 1983년도에 KAIST에 부임해 오면서 시작된 본 연구실은 그 동안 전자세라믹재료 분야를 중심으로 연구를 진행해왔다. 20년이 채 안된 현 시점까지 전자세라믹과 관련하여 국외논문 134편, 국내논문 60편, 국외학회 발표 99건, 국내학회 발표는 181건, 그리고 출원 및 등록된 국내의 특허가 47건 등 왕성한 연구활동을 해오고 있다. 또한 석사 50명과 박사 31명의 인력을 배출하여 국내 전자부품업계 발전에 밑거름이 되고자 노력하고 있다.

본 연구실에서 중점적으로 연구하고 있는 전자세라믹재료는 전자부품산업의 핵심으로서, 우리가 일상에서 접하고 있는 정보화 기기나 통신기기가 전자 산업의 총아로써 주목을 받고 모두의 관심사에 오르내리기까지는 전자세라믹재료의 발전이 없이는 불가능했을 것이다. 또한 정보화 기기의 대중화로 인한 생활양식의 변화와 미래를 예측하는 시각의 전환은 전자제품, 전자부품 그리고 전자세라믹산업에 의해 크게 좌우되고 있는 현실이다. 이러한 기술적 경향은 앞으로 더욱 우세해질 것이라는 점에 우리는 주목하고 있다.

본 연구실에서 살펴보면 실험실 초창기부터 근래까지 유전체, 압전체, 초전도체, 고주파부품, PTC, 리튬이차전지 등 전자세라믹 재료를 꾸준히 연구하여 왔으며, 1990년대에 들어서 박막재료를 본격적으로 연구하기 시작하여 전극, 유전, 강유전 및 압전박막을 주로 연구하였다. 최근 들어 박막형 전자부품의 중요성이 크게 증가하고 있으며 그 종류 또한 다양화되고있어, 본 연구실에서는 현재 박막형 전자부품분야를 주요연구분야로 삼고 있다.

연구분야를 살펴보면 실험실 초창기부터 근래까지 유전체, 압전체, 초전도체, 고주파부품, PTC, 리튬이차전지 등 전자세라믹 재료를 꾸준히 연구하여 왔으며, 1990년대에 들어서 박막재료를 본격적으로 연구하기 시작하여 전극, 유전, 강유전 및 압전박막을 주로 연구하였다. 최근 들어 박막형 전자부품의 중요성이 크게 증가하고 있으며 그 종류 또한 다양화되고있어, 본 연구실에서는 현재 박막형 전자부품분야를 주요연구분야로 삼고 있다.

## 2. 연구내용

본 실험실은 크게 두 부분으로 팀을 나누어 연구를 진행하고 있다. 이는 전자부품용 박막재료와 리튬이차전지 부분으로 구성

되며, 각 부분에서 세부항목에 따라 연구를 수행하고 있다.

### 2.1 전자부품용 박막재료 분야

#### 2.1.1 압전박막

1990년대초 압전박막에 대한 연구가 시작된 후 압전박막에 대한 관심과 연구는 점점 증가하고 있다. 특히 가공성과 높은 압전상수 때문에 PZT를 이용한 압전박막 연구가 활발하며, 이를 이용하여 MEMS, FeRAM, Optical device 등의 많은 용도로의 응용을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

PZT압전 박막의 MEMS application을 위하여, intrinsic piezoelectricity의 현상의 관찰과 원인을 증명하려는 실험을 하고 있다. 전극으로는 기존의 Pt전극 대신에 대표적인 산화물 전극중 하나인 LSCO( $\text{La}_{0.3}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}$ )를 채용하였으며, 이로 인한 preferred orientation과 intrinsic piezoelectricity의 관계를 살펴보고 있다. 그리고 DC reactive sputtering과 PLD(Pulsed Laser Deposition)로 MPB조성의 PZT 박막을 제조한 후, 후열처리, 분극(poling) 조건 등을 바꿔가면서 PZT박막의 압전상수  $d_{33}$ 를 본 실험실에서 개발완료한 Pneumatic Loading Method로 측정한다. 이들을 통하여 LSCO전극과 PZT박막사이에 형성될 수 있는 space charge와 분극공정과의 연관성을 살펴본 바 있다. 또한 Pneumatic Loading Method를 이용한 압전박막 특성평가장치를 개발, 제조하는 피에조랩의 경우 본 연구실의 기술력을 바탕으로 벤처창업을 한 대표적인 사례라고 하겠다.

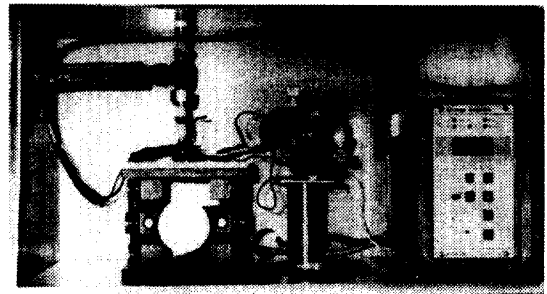


Fig. 1 본 연구실에서 개발 제작한 압전박막 특성평가장치 (Pneumatic Loading Method)

### 2.1.2 산소 확산 방지막

1T-1C type의 고집적화된 FRAM의 구조를 이루기 위해 transistor상에 직접적으로 poly-Si plug를 통해 ferroelectric capacitor가 연결되어야 한다. 그러나 ferroelectric capacitor를 제작하는 과정에서 불가피하게 고온의 산화성 분위기에 하부전극 및 poly-Si plug가 노출되기 때문에 TaSiN등과 같은 산소확산 방지막을 사용하여 poly-Si plug 및 이하의 구조가 산화되는 것을 방지하여야 한다.

현재 reactive RF sputtering을 이용해서 Ta, Si, N의 조성을 조절해가면서 확산방지막의 최적의 특성을 얻고자 실험하고 있다. Ta:Si:N=23:29:48의 조성 영역에서 Four-point probe로 비저항을 측정하며, TEM을 통하여 산소투과깊이를 알아본다. 또한 HP4145B Semiconductor Analyzer 및 Precision Pro Material Analyzer 와 Keithly 617 Electrometer를 통하여 I-V 특성 및 강유전 특성을 살펴보고 있다.

### 2.1.3 고주파 디바이스용 박막재료

최근 IMT-2000과 같은 차세대 이동통신용 단말기는 그 사용 주파수가 2GHz 이상으로 높아지고 있으며 크기도 점점 소형화 되고있는 추세이다. 이러한 이동통신용 단말기의 고주파, 소형화를 위해서는 이를 구성하는 각 부품 및 재료 역시 고주파화에 대응할 수 있어야 함은 물론이고 소형화를 위한 박막화도 필연적이라 할 수 있다.

유전 박막 중 SrTiO<sub>3</sub>(STO)와 (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub>(BSTO)등은 인가 전압에 따라 유전 상수가 변하는 가변 커패시터 특성을 보이므로, 이들을 고주파 동조 디바이스에 적용하려는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 이에 본 연구실에서는 RF sputtering과 PLD로 증착된 BSTO, STO 박막의 유전특성, 특히 고주파 동조 디바이스에 응용시 가장 중요한 특성인 낮은 유전손실을 얻기 위한 연구를 HP8720D Network analyzer를 통해 수행하고 있다.

### 2.1.4 탄소나노튜브(CNT)

탄소나노튜브는 1991년 Iijima에 의해 처음 발견되었다. 결합



Fig.3 CNT 증착용 ECR-PECVD

이 거의 없는 탄소나노튜브는 구조의 다양성, 도체에서 절연체에 이르는 전기적 특성, 특수한 기계적 성질과 열적 우수성을 갖고 있으며, 테라비트급 "분자 전자소자"의 실현을 가능케 하고 기존의 반도체 물질을 대체할 수 있는 꿈의 신소재로 각광 받고 있다.

CNT를 실용화하기 위해서는 다량의 튜브제작과 튜브를 선택적으로 성장시킬 수 있는 제어기술의 확보가 중요하다. 그리고 성장에 있어 고온(700~800℃)이 필요한 점과 수평적 성장을 위한 제어 기술의 부재, 물성분석 등도 해결해야할 문제점들이다.

이에 본 연구실에서는 ECR-PECVD를 이용하여 저온(400℃ 이하)에서 양질의 CNT를 제조하고, ETRI와 연계하여 특성을 분석함은 물론 수평적 성장의 제어 기술을 확보하고자 노력중이다.

### 2.1.5 NDRO(Non-Destructive Read-out Operation) FeRAM

현재 1T-1C형태의 FRAM에 대한 집적화가 COB (Capacitor Over Bit line)구조를 이용하여 진행되고 있다. 한편, 집적화에 더욱 유리한 1T 형태의 FeRAM에 대한 연구도 병행되고 있는데, 이는 NDRO 방식으로 작동 상에서도 유리하다. 강유전체가 gate dielectric를 대체한 형태로 메모리 특성을 구현하는데 Si 위에 직접 강유전체가 올라가기에 많은 어려움이 있어서 중간에 buffer oxide layer가 필요하다. 이런 구조에서는 구동전압 강하 측면에서 저유전율의 강유전체가 더욱 적합하며, buffer oxide의 유전율도 비교적 높아야 한다.

이에 본 연구실에서는 저유전율의 강유전체로 Pb5Ge3O11을, buffer oxide로 ZrO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub>등을 선택하였으며, KrF excimer laser를 이용한 PLD(Pulsed Laser Deposition)법으로 에피택셜 또는 우선 배향된 박막을 형성하고자 연구를 진행 중이다.

## 2.2 리튬이차전지 분야

### 2.2.1 벌크형 정극재료

최근 전자기기의 소형 고성능화와 휴대화가 진행됨에 따라, 이들의 구동전원으로서 2차전지에 큰 관심이 모이고 있다. 그 중에서도 Li-ion 이차전지는 여러 우수한 특성으로 인하여 급속도로

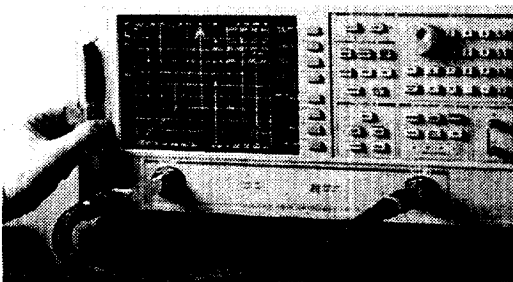


Fig. 2 HP8720D Network analyzer

시장을 늘려가고 있다.

본 연구실에서는 Li-ion 2차전지 중 가장 중요한 기술로 받아들여지는 정극재료부분을 주로 연구하고 있으며, 현재 상용화되어있는 LiCoO<sub>2</sub>보다는 차세대 재료로 대두되는 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, LiNiO<sub>2</sub> 등을 주로 연구하고 있다. LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>는 구연산연소법과 GNP(glycine nitrate process) 그리고 Pechini법을 이용하여 제조하며, LiNiO<sub>2</sub>는 emulsion법과 고상반응법으로 제조한다. 전기화학적 특성은 본 연구실에서 고안한 치구를 사용하여 EG&G Model 273(4채널), 원아텍 WBCS 3000(16채널)과 Solatron SI 1260 FRA 등으로 측정한다. 논문투고 및 학회발표, 그리고 전자신문기고(‘리튬 2차전지용 양극재료 기술’, 2000.1.25) 등으로 활발한 연구활동을 하고 있으며, 특히 최근 다수의 국내외 특허출원이 돋보이는 성과라고 할 수 있다.

### 2.2.2 박막형 이차전지

현대에 이르러 전자부품의 소형화와 저전력소비화, 그리고 전원의 소형화 및 고용량화가 중요한 연구과제로 대두되고 있다. 이러한 경향을 봤을 때 전원을 박막형태의 이차전지로 대체한다면 반도체 집적회로, 스마트카드, MEMS, 마이크로 센서, 마이크로 로봇 등의 전원으로 매우 적합할 것이다.

본 연구실에서는 벌크형태의 리튬이차전지를 박막화하는 방향으로 연구를 진행하고 있다. 정극부분에서는 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>를 sol-gel 법으로 증착하여 1000회까지 충방전용량의 변화가 거의 없는 우수한 박막을 얻은바 있으며, 현재 LiCoO<sub>2</sub> 박막을 sol-gel법으로 증착하고 LiNiO<sub>2</sub> 박막을 RF sputtering으로 증착하여 전기화학적특성을 평가하고 있다. 전해질 부분은 박막전지분야에서 널리

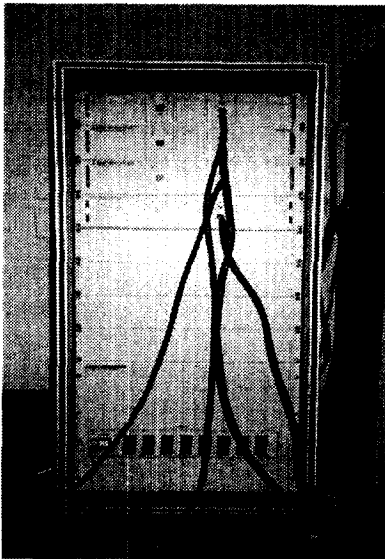


Fig. 4 4채널 전지 충방전장치(EG&G Model 273)

쓰이고 있는 LIPON을, 부극으로는 최근에 연구완료한 SnO<sub>2</sub>, SnNx를 reactive RF sputtering으로 증착하고 있다. 아직 전체 전지구조(full cell)를 완성하지는 못하였지만, 다층 박형 2차전지 관련한 특허를 출원하는 등 full cell을 구현하기 위하여 노력하는 중이다.

## 3. 연구 기자재 현황

### 3.1 Thin Film Process Systems

- ◆ PLD(pulsed laser deposition) system
- ◆ ECR-PECVD
- ◆ 3 target RF/DC magnetron sputtering system ×2
- ◆ RF magnetron sputtering system
- ◆ Reactive RF Sputtering System
- ◆ DC magnetron sputtering system
- ◆ MOCVD system
- ◆ Spin Coater for sol-gel process

### 3.2 Bulk Process Systems

- ◆ Laser Melting Growing System
- ◆ Cryogenic system for low temp. properties of oxide superconductor
- ◆ Poling Machine
- ◆ Screen printing system & Doctor Blade
- ◆ Distiller : Barnstead MP-1, USA
- ◆ Furnace : Linderburg etc.
- ◆ Diamond saw

### 3.3 Measuring Analyzer & etc.

- ◆ Ferroelectric Property Tester : RT66A
- ◆ Impedance Analyzer : HP4192A
- ◆ Gain phase/Impedance analyzer : Solatron
- ◆ Network analyzer : HP8720D
- ◆ Frequency response analyzer : Solatron
- ◆ 4 channel Multi-Potentiostat/Galvanostat : EG&G
- ◆ 16 channel Multi-Potentiostat/Galvanostat : WonA tech.
- ◆ Dry Box : VAC
- ◆ Multimeter : HP3457A, Keithley617
- ◆ Function Generator : HP
- ◆ Spectrum analyzer : HP
- ◆ Piezoelectric Constant Measurement
- ◆ Ellipsometer : Gaetner
- ◆ Scanning Electron Microscope : Topcon, ART-32
- ◆ Optical Microscope : Zeiss etc.
- ◆ Particle Size Analyzer
- ◆ Surface Area Analyzer