졸겔 법으로 제조한 압전 센서용 PZT 박막의 결정 배향 및 전기적 특성 연구

변진무 · 이호년* · 이흥기* · 이성의 · 이희철†

A study on the crystalline orientation and electric properties of sol-gel PZT thin film for piezoelectric sensors

Jin Moo Byun, Ho Nyun Lee*, Hong Kee Lee*, Seong Eui Lee, and Hee Chul Lee†

Abstract

This study examined the dependency of crystalline orientation and electric properties of sol-gel PZT film on hydrolysis, a PbTiO₃ seed layer and a concentration of sol-gel solution. The PZT thin films were prepared by using 2-Methoxyethanol-based sol-gel method and spin-coating on Pt/Ti/SiO₂/Si substrates. The 1-μm-thick PZT films were coated and then fired in a furnace by direct insert method. The highly (111) oriented PZT film of pure perovskite structure could be obtained. We could control the degree of orientation by various parameters such as hydrolysis, a PbTiO₃ seed layer and a concentration of sol-gel solution. The highest measured remanent polarization, dielectric constant and piezoelectric coefficient are 24.16 μC/cm², 2808, and 159 pC/N, respectively.

Key Words : PZT, sol gel, piezoelectric, orientation

1. 서 론

Pb_{1-x}Ti_xO₃(PZT)는 대표적인 압전 재료로서, 페로브스카이트(perovskite) 상의 구조를 가지고 있다. 위 재료의 결정학적 특징에서 나오는 압전 효과는 많은 잠재적 응용성을 가지고 있으며, 박막화 함으로서 초소형, 초고감도 압전 센서 소자, MEMS 액추에이터 소자 등 다방면에 적용이 가능하다^[1-4]. PZT는 조성에 따라 특성이 변하는데 Zr-rich(rhombohedral) 또는 상경계 영역(52/48) (MPB, morphotropic phase boundary) 영역에서 높은 유전상수와 낮은 항전계를 나타내어 압전 소자(piezoelectric device)에 적합한 것으로 보고되고 있다^[5,6]. 최근 소자의 미세화로 인하여 박막 기술에 대한 연구가 활발히 진행 되면서 기존 벌크 기술에서 박막 기술로 변화하여 벌크에 적용된 물리적, 전

기적 연구 결과를 박막에서도 진행하고 있다. 최근 박막 형성 방법으로 많이 쓰이고 있는 졸겔 법은 화학적 증착 법의 일종으로 간단한 장비로 저온에서 낮은 가격으로 제조 가능하고, 고순도 재료를 이용하여 미세하며 균일한 입자로 된 다결정 세라믹의 합성을 가능하게 한다. 또한 대 면적에 균일한 증착이 가능하여 대량 생산에 장점을 갖고 있으며, 스퍼터링법(sputtering)이나 화학 기상 증착법(chemical vapor deposition)에 비해 생산 효율도 높다^[7]. 반면 졸겔 법은 습도에 민감하여 재현성이 떨어지며 다층 코팅으로 인한 불순물과 응력(stress)의 증가로 균열(crack)이 발생하기 쉬운 단점을 갖고 있다.

본 연구에서는 PZT를 박막으로 적용하기 위하여 졸겔 법을 사용하여 스핀 코팅(spin-coating) 하였으며, 재현성을 위해 건조하고 일정한 습도를 유지시킬 수 있는 질소(N₂) 분위기 글러브 박스(glove box) 안에서 증착 공정을 실시 하였으며, 열처리 시 Pb 휘발로 인한 파이로클로로(pyrochlore) 상 형성을 억제하기 위해 Pb가 과잉 첨가된 PZT 졸겔 용액을 제조 하였으며, 다층 코팅(multi-coating) 법을 이용하여 압전 센서로 널리 사용되는 약 1 μm 두께의 PZT 박막을 코팅 하였다.

한국산업기술대학교 신소재공학과(Department of Advanced Materials Engineering, Korea Polytechnic University)

*한국생산기술연구원 열·표면기술지원센터(Heat Treatment & Plating Technology Service Center, Korea Institute of Industrial Technology)

†Corresponding author : eechul@kpu.ac.kr

(Received : December 16, 2009, Revised : March 16, 2010)

Accepted : April 13, 2010)

Fig. 1. Diagram of fabrication of (a) PZT Sol-gel and (b) PbTiO₃ Sol-gel.

페로브스카이트 상의 결정화 배향에 따라 전기적 특성을 분석하였으며, 압전 재료로서 적합한 PZT 박막을 제조하기 위해 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1. PZT 졸겔 용액 제조

Fig. 1(a)는 증류법에 의한 PZT 졸겔 용액의 제조법을 나타낸다. 원료로 Lead acetate trihydrate, Titanium isopropoxide 및 Zirconium(IV) propoxide 70 wt% 등이 사용되었으며, 2-Methoxyethanol 용매를 사용하였다. 추가적으로 물질들의 교차결합을 위해 ethylene glycol을 첨가하였다. 열처리 과정에서 Pb 휘발로 인한 Pb 부족 파이로클로로 상이 생기는 것을 막기 위해 Pb 10%를 과잉 첨가하였다. 먼저 실리콘 오일 욕조 안에서 2-Methoxyethanol 과 Pb 원료 물질을 혼합한 용액을 120 °C에서 용해 시킨 후, 실리콘 오일 욕조 바깥에서 상온까지 냉각 시켰다. Pb 용액을 만드는 동안 Zr-propoxide, Ti-isopropoxide 를 52:48의 물 비율로 칭량한 후 2-Methoxyethanol 과 상온에서 혼합하였다. Pb 용액이 상온이 되면 Zr/Ti 용액, 2-Methoxyethanol, ethylene glycol 등과 혼합하였으며 120 °C 온도의 실리콘 오일 욕조 안에서 원하는 농도까지 증류 시켰다. 제작된 Pb 가 10 % 과잉 된 압전 PZT 졸겔 용액은 밀봉하여 건조 보관함에서 24시간 이상 aging 시켰다^[8]. PZT 졸겔 용액의 가수분해는 PZT 졸겔 용액 제조 후 10 ml 추출하여 DI water 2 ml를 첨가한 후 밀봉하여 건조 보관함에서 24시간 이상 aging 시켰다. PZT 박막의 PbTiO₃ 씨앗 층 제조에 사용 될 PbTiO₃

Fig. 2. Diagram of fabrication of PZT thin film.

졸겔 용액은 Fig. 1(b)에서 보는 것과 같이 PZT 졸겔 용액의 제조 방법에서 Zr-propoxide 의 첨가를 제외하고 동일하다^[8]. PZT 박막의 결정학적 배향 조절을 위해 사용된 PZT 졸겔 용액의 농도 변화는 증류 과정에서 10에서 60 %의 범위로 증류량을 다르게 한 PZT 졸겔 용액을 각각 제조하였다.

2.2. PZT 박막 제조 및 측정

졸겔 용액 및 공정은 습도에 민감하기 때문에 스�핀 코팅 공정은 질소(N₂) 분위기의 글러브 박스(습도 35 % 이하) 안에서 진행 하였다. 졸겔 공정은 Fig. 2 와 같이 진행 되었으며, Pt/Ti/SiO₂/Si 기판 위에 먼저 3000 rpm에서 20초 동안 씨앗 층(seed layer)으로 PbTiO₃ 용액을 한 층 올린 후, 코팅 된 박막 내의 유기물의 탈리를 위해 가열판 위에서 300 °C에서 10 분 동안 건조 시켰다. 그 위에 압전 PZT 용액을 동일한 조건의 스�핀 코팅 법과 건조법을 이용하여 코팅 하였다. 반복 코팅 후 박스로(box furnace)에서 D.I(direct insert)법을 이용하여 650 °C에서 15 분간 열처리 공정을 했다. 위 공정을 반복하여 원하는 두께의 압전 PZT 박막을 얻고, 최종 열처리는 650 °C에서 30 분간 하였다. 최종적으로 얻은 압전 PZT 박막의 두께는 약 1 μm로써 미세균열이 전혀 발견되지 않았으며 전체 공정 시간은 약 4 hr이었다. 전기적 특성을 측정하기 위하여 PZT 박막 위에 상부 전극 Pt 도트(dot)를 패터닝된 새도우 마스크를 통해 스퍼터링 법 으로 증착하여 형성하였다. 스퍼터링 도중에 플라즈마의 노출에 의해 발생하

Fig. 3. XRD patterns of PZT(52/48) films by hydrolysis and a PbTiO_3 layer (a) PZT(52/48) (b) hydrolyzed PZT (c) PZT with PbTiO_3 seed layer.

Pt와 PZT 계면의 플라즈마 손상을 완화하기 위해 급속 열처리 장치(RTP, rapid thermal processing)를 이용하여 650°C 에서 2 분간 열처리 하였다.

제작된 압전 PZT 박막의 결정 배향은 XRD를 통해 분석하였으며, 박막의 두께는 SEM을 통해 측정하였다. P-E 이력곡선에서 얻은 잔류 분극(P_r) 및 유전상수 값은 TF-Analyzer 2000(aixacct inc., germany)을 통해 측정하였다. 압전계수(d_{33})는 PIEZOVIEW 2005(piezo lab, co.)를 통해 측정하였으며, 누설 전류는 Keithley 2636a I-V meter로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 가수분해 및 PbTiO_3 씨앗 층 영향 연구

Fig. 3은 제조된 PZT(52/48) 압전 박막의 졸겔 용액의 가수분해 유무 및 PbTiO_3 씨앗 층의 유무에 따른 XRD 패턴의 변화를 나타낸다. 모든 경우 파이로콜로로 상과 같은 제 2 상의 생성 없이 순수 페로브스카이트 상으로만 형성되었으며, (111) 주 배향인 박막을 얻었다. 졸겔 용액의 가수분해와 PbTiO_3 씨앗 층이 없는 PZT 박막은 (100) 및 (110) 배향의 페로브스카이트 상이 약간 혼재되어 있었다. 반면에 PbTiO_3 씨앗 층 위에 형성한 PZT 박막에서는 (100) 및 (110) 배향의 페로브스카이트 상이 거의 없는 (111) 주 배향의 결정성을 얻을 수 있었다. 몇몇 문헌들에서 페로브스카이트 핵 생성에 도움을 주는 TiO_2 및 PbTiO_3 씨앗 층을 사용하여 각각 (111) 및 (100) 배향을 가진 PZT 박막을 얻을 수 있다고 알려져 있다^[9,10]. 반면에 다른 문헌들

Fig. 4. Lattice matching between (111) PZT and (111) Pt.

에서 PbTiO_3 씨앗 층 코팅 후 높은 온도에서 열처리 하거나, 또는 용액 제조 시 Pb를 과잉 첨가 량 함에 따라 (111) 배향을 가진 PZT 박막을 얻을 수 있다고 최근에 보고 되어있다^[11,12]. 그리고 (111) 배향을 가진 PZT 박막은 높은 강유전성, 잔류 분극 값, 압전계수 등 우수한 전기적 특성을 갖는 것으로 알려져 있다^[13]. 따라서, 본 실험에서는 10 % Pb 과잉 된 PbTiO_3 씨앗 층 졸겔 용액을 이용하여 높은 온도에서 열처리 함으로써 (100) 및 (110) 배향의 페로브스카이트 상이 거의 없는 (111) 주 배향을 가진 PZT 박막을 얻고자 하였다.

Fig. 4는 (111) 페로브스카이트 상을 가진 PZT 박막과 (111) 배향인 Pt 하부 전극 간의 격자정합성을 판단하기 위하여 각자의 결정 구조를 도식화하여 나타낸 개략도이다. (111) 배향인 Pt 단위 격자 2개 위에 (111) 배향인 PZT 단위 격자 하나가 올라가 격자상수 3.8 % 차이의 우수한 정합성을 가지며 PZT 박막의 (111) 배향 표면 에너지가 더 낮기 때문에 분자 간의 반응이 촉진된다면 주 배향은 (111)이 된다. 앞에서 언급한 PbTiO_3 씨앗 층이 페로브스카이트 핵 생성에 필요한 활성화 에너지 (E_a)를 낮춰주는 역할을 하기 때문에 분자간의 반응이 촉진되어 (111) 우선 배향의 페로브스카이트 상을 가진 것으로 판단된다. 가수분해를 실시한 졸겔 용액으로 제조한 PZT 박막은 겔 형성 시 극성 물 분자의 영향으로 분자 간 반응이 저하되어 상대적으로 (100) 및 (110) 배향의 PZT 상이 많이 혼재된 것으로 생각된다.

Fig. 5는 앞선 졸겔 용액의 가수분해 유무와 PbTiO_3 씨앗 층 PZT(52/48) 박막들의 P-E 이력곡선 변화를 나타내고 있다. PbTiO_3 씨앗 층에 형성된 PZT 압전 박막의 포화 분극 및 잔류 분극 값이 각각 38.02 및 $24.16 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 으로서 가장 높은 값을 나타내었다. 이는

Fig. 5. P-E hysteresis loops of PZT(52/48) films by hydrolysis and a PbTiO_3 seed layer.

Fig. 7. Leakage current of PZT(52/48) films by hydrolysis and a PbTiO_3 seed layer.

Fig. 6. Electric properties of PZT(52/48) films by hydrolysis and a PbTiO_3 seed layer.

Fig. 8. XRD patterns of PZT(52/48) films by a concentration of PZT Sol-gel solution distilled (a) 10 % (b) 20 % (c) 30 % (d) 40 % (e) 50 % (f) 60 %.

PZT 박막을 이루고 있는 결정립들이 한 방향으로 균일하게 우선 배향되어 세부 도메인 구조가 전체의 방향에 따라 균일하게 배열되며 (111) 방향으로 형성된 쌍극자 간의 상대적 거리가 길기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 6은 앞선 실험에서 PZT 박막들의 유전상수 및 압전계수 값들을 정리한 데이터이다. (111) 방향으로 우선 배향되어 우수한 분극 특성 곡선을 가진 PbTiO_3 씨앗 층 위에 형성한 PZT 박막이 높은 유전상수 및 압전계수를 가지고 있음을 알 수 있다. 우선 배향된 PZT 박막의 높은 압전계수를 갖는 것은 일 방향으로 도메인 구조가 배향된 경우 분극이 발생할 때 더 큰 기계적 응력이 유도될 수 있기 때문이다. 그리고 (111) 구조가 면 밀도가 높기 때문에 박막 내 단위 면적 당 페로브스카이트 상이 더 많이 존재하고 있고, 앞에서 언급한 내용과 같이 (111) 방향으로 형성된 쌍극자 간의 상대적 거리가 길기 때문이라고 사료된다.

Fig. 7은 앞선 박막 커패시터들의 누설 전류 값을 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 양의 전압과 음의 전압에 대해 대칭적인 누설 전류 특성을 나타내는 것은 전류 전도 기구가 박막 내부의 전하 운반자의 이동에 의존하는 벌크 제한 전류임을 의미한다^[14]. 각 시편들을 비교하면 거의 비슷한 누설 전류 값을 나타내고 있는데, 이는 결정성의 차이가 발생하여도 박막 내부의 전하 운반자의 이동과 관련된 산소 공공, 납 공공 및 산란 요인인 결합 분포 등은 큰 차이가 나지 않음을 의미한다. 따라서 앞선 분극, 유전 및 압전 특성 등의 차이는 순수하게 결정성 차이에 의한 요인으로 판단된다.

3.2. PZT 졸겔 용액 농도 변화 연구

Fig. 8은 용액 제조의 최종 단계에서 증류 정도로 조

Table 1. Relative XRD peak intensity ratios for various crystalline orientations by a concentration of PZT Sol-gel solution

Sample	(100)	(110)	(111)	(200)	(221)
10 %	24	4.4	60.6	14.3	-
20 %	11.8	1.4	79.2	7.6	-
30 %	3	1.5	93.4	2.1	-
40 %	0.6	1.5	97.6	0.4	-
50 %	1.8	2.3	94.6	1.3	-
60 %	0.2	0.6	99.3	-	-

Fig. 9. P-E hysteresis loops of PZT(52/48) films by a concentration of PZT Sol-gel solution.

절한 PZT 졸겔 용액의 농도에 따른 압전 PZT 박막의 결정 배향 변화를 나타낸다. PZT 졸겔 용액의 농도 변화에 따라 (100), (110) 및 (111) XRD 패턴의 신호 강도가 뚜렷한 경향성을 갖고 변화 함을 관찰 할 수 있었다.

Table 1은 PZT 졸겔 용액의 농도 영향을 분석하기 위해서 위 실험으로부터 얻은 XRD 결과에서 각 결정 배향성에 따라 비율로 환산하여 요약 정리하여 비교한 도표이다. PZT 졸겔 용액의 농도가 증가 할수록 (111) 방향으로 우선 배향성이 뚜렷이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 높은 농도의 용액에서는 PZT 박막을 구성 할 물질 간의 상대적 거리가 짧기 때문에 상호 반응이 촉진되어 격자정합성 및 표면 에너지 측면에서 유리한 (111) 방향으로의 배향성이 증가하는 것으로 보인다.

Fig. 9는 PZT 졸겔 용액의 농도에 따른 압전 PZT 박막의 P-E 이력곡선 변화를 나타낸다. 용액의 농도가 증가 할수록 PZT 박막의 분극 특성 값들이 뚜렷하게 증가함을 관찰 할 수 있었다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 (111) 방향으로 우선 배향 할수록 전계에 따른 내부 도메인 구조의 정렬하고자 하는 경향이 커지고,

Fig. 10. Electric properties of PZT(52/48) films by a concentration of PZT Sol-gel solution.

Fig. 11. Leakage current of PZT(52/48) films by a concentration of PZT Sol-gel solution.

(111) 방향으로 형성 된 쌍극자 간의 거리가 상대적으로 길기 때문이다.

Fig. 10은 앞선 PZT 박막의 유전상수 및 압전계수 값을 측정하여 정리한 데이터 그림이다. 농도가 높은 졸겔 용액으로 제조한 PZT 박막이 높은 유전상수 및 압전계수를 나타내었다. 이러한 특성 향상은 앞에서 언급한 내용과 같이 (100) 및 (110) 보다 면 밀도가 높은 (111) 페로브스카이트 상이 박막 내의 단위 면적 안에 더 많이 존재하기 때문에 우선 배향성과 큰 상관관계를 갖고 있는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 Figs. 8~10에서 분석한 PZT 박막들의 누설 전류 값을 측정한 결과이다. 양의 전압과 음의 전압에 대해 대칭 곡선을 나타내었으며, 약간의 차이는 관찰 되었으나 order 변화와 같은 큰 차이 없이 경향성이 확인되지 않았다. 이는 PZT 졸겔 용액 농도 변화에 의해서 분극 및 압전 특성 등이 변화하는 것은 PZT 박막

내부의 결함 및 이온 농도 등의 영향이 아닌 순수하게 결정 배향에 의한 것임을 의미한다.

4. 결 론

졸겔 법으로 3회~4회 반복 코팅 및 건조 후 열처리 공정을 반복 적용하여 미세 균열 없는 순수한 페로브스카이트 상의 압전 PZT(52/48) 박막을 제조 하였다. 본 논문에서 사용 된 제조 공정의 총 공정 시간은 4시간 이내로서, sol-gel 공정의 긴 공정 시간의 단점을 부분적으로 보완하였다. 페로브스카이트 핵 생성에 도움을 주는 $PbTiO_3$ 씨앗 층 위에 압전 PZT 박막을 형성 하거나 졸겔 용액의 농도가 진할수록 (111) 방향으로 우선 배향된 PZT 박막을 얻을 수 있었다. 제조된 PZT 박막의 (111) 배향성이 클수록 박막 내부의 면 밀도가 높은 (111) 배향의 페로브스카이트 상이 많이 존재 하기 때문에 높은 잔류 분극 값, 유전상수 및 압전계수와 같은 좋은 전기적 특성을 얻을 수 있었다. 가장 우수한 특성은 $PbTiO_3$ 씨앗 층 위에 형성 된 압전 PZT 박막으로써, 잔류 분극, 유전상수 및 압전계수 는 각각 $24.16 \mu C/cm^2$, 2808 그리고 $159 pC/N$ 이었다. 이 값들은 현재까지 보고되고 있는 $1 \mu m$ 두께 이내의 PZT 박막 중에서 가장 높은 수준에 속한다. 이러한 우수한 특성의 압전 PZT 박막을 이용한다면 높은 감도의 압전 센서 또는 큰 구동력을 갖는 압전 액추에이터를 제작 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부 국가 플랫폼기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] B. Morten, G. D. Cicco, and M. Prudenziati, "Resonant pressure sensor based on piezo-electric properties", *Sensor and Actuators A*, vol. 31, pp. 153-158, 1992.
- [2] K. Yao and W. Zhu, "Improved preparation procedure and properties for a multilayer piezoelectric thick-film actuator", *Sensors and Actuators A*, vol. 71, pp. 139-143, 1998.
- [3] G.-S. Chung, J.-M. Kim, S.-J. Yoon, S.-J. Jeong, and J.-S. Song, "MEMS & sensor systems; Design, fabrication and characteristics of a MCA valve", *J. Kor. Sensors. Soc.*, pp. 230-235, 2004.
- [4] J.-H. Lee and S.-Y. Choi, "Bonding technology for PZT and connection board using a high frequency heating machine", *J. Kor. Sensors. Soc.*, pp. 89-94, 1998.
- [5] G. A. Smolenskii and A. T. Agranovskaya, "Dielectric polarization of a number of complex compounds", *Soviet Phys. Solid state*, vol. 1, no. 10, pp. 1429-1437, 1999.
- [6] Y.-J. Kim, Y.-C. Lee, D.-H. Kwon, and B.-K. Shon, "Fabrication and characteristics of FET-type pressure sensor using piezoelectric PZT thin film", *J. Kor. Sensors. Soc.*, pp. 26-32, 2001.
- [7] W.-J. Yoon, M.-Y. Lim, and K.-W. Koo, "Sensor materials & processes : the characteristics thin film made by sol - gel method", *J. Kor. Sensors. Soc.*, pp. 75-80, 1995.
- [8] Piekarz, R. "Lead zirconate titanate(PZT) sol-gel thin film preparation, deposition and testing", MD, ARL-02-02, 2002.
- [9] P. Muralt, "Ferroelectric thin films for micro-sensors and actuators: a review", *J. Micromech. Micrieng.*, vol. 10, pp. 136-146, 2000.
- [10] J. Zeng, M. Zhang, L. Wang, and C. Lin, "Influence of lead titanate seed layer on orientation behaviour and ferroelectric characteristics of sol-gel detrived PZT thin films", *J. Phys.: Condens. Matter*, vol. 11, pp. 1139-1146, 1999.
- [11] K. Ishikawa, K. Sakura, D. Fu, S. Yamada, H. Suzuki, and T. Hayashi, "Effect of $PbTiO_3$ seeding layer on the growth of sol-gel-derived $Pb(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$ thin film", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, pp. 5128-5131, 1998.
- [12] L. Wang, J. Yu, and Y. Wang, "Effect of excess Pb in $PbTiO_3$ precursors on ferroelectric and fatigue property of sol-gel derived $PbTiO_3/PbZr_{0.3}Ti_{0.7}O_3/PbTiO_3$ thin films", *J. Mater. Sci.: Mater Electron*, vol. 19, pp. 1191-1196, 2008.
- [13] G. Wen, J.-F. Li, X. Chu, Z. Gui, and L. Li, "Preparation of (100)- and (111)- Textured $Pb(Zr,Ti)O_3$ piezoelectric films and direct measurement of their piezoelectric constants", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 42, pp. 1459-1461, 2003.
- [14] H.-C. Lee and W.-J. Lee, "Preparation and chracterization of $Pb(Zr,Ti)O_3$ films deposited on Pt/RuO₂ hybrid electrode for ferroelectric random access memory devices", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 40, pp. 6566-6573, 2001.

변진무

- 2009년 2월 한국산업기술대학교 신소재 공학과 졸업(공학사)
- 2009년 2월 한국산업기술대학교 신소재 공학과 석사 과정
- 주관심분야: 센서용 압전 재료

이호년

- 1995년 2월 KAIST 전자재료공학과 졸업(공학사)
- 1997년 2월 KAIST 재료공학과 졸업(공학석사)
- 2001년 2월 KAIST 재료공학과 졸업(공학박사)
- 2001년 2월~2008년 7월 LG 전자 책임연구원
- 2008년 7월~2008년 12월 LG 디스플레이 책임연구원
- 2009년 1월~현재 한국생산기술연구원 선임연구원
- 주관심분야: 표면처리, 디스플레이 재료

이흥기

- 1985년 고려대학교 금속공학과(공학사)
- 1989년 베를린공대 화학야금(공학석사)
- 1992년 베를린공대 화학야금(공학박사)
- 1990년~1993년 베를린공대 일반야금연구소(Scientific Associate, Habilitant)
- 1993년~1998년 삼성종합기술원 (수석연구원, 부장)
- 1998년~현재 한국생산기술연구원 (수석연구원, 센터장)
- 주관심분야: 표면처리, 전해도금, 무전해도금

이성의

- 1995년 서울대학교 금속공학과(공학박사)
- 1998년~2000년 현대전자 디스플레이 선생연구소(책임연구원)
- 2000년~2003년 iFire Technology Inc (Senior researcher)
- 2003년~2005년 삼성종합기술원 재료소재 연구소(전문연구원)
- 2005년~현재 한국산업기술대학교 신소재 공학과 부교수
- 주관심분야: 디스플레이 재료, 터치패널 센서

이희철

- 1995년 2월 KAIST 전자재료공학과 졸업(공학사)
- 1997년 2월 KAIST 재료공학과 졸업(공학석사)
- 2002년 2월 KAIST 재료공학과 졸업(공학박사)
- 2002년~2007년 LG 전자기술원 (책임연구원)
- 2007년~현재 한국산업기술대학교 신소재 공학과 조교수
- 주관심분야: 터치패널 센서, MEMS 압전 재료