

신광원 유기분산형 백라이트 EL 디스플레이 소자

(Organic Dispersion Type Back Light EL Display Device as a New Light Source)

임인호* · 박종주** · 장관식** · 정희승*** · 박창엽*

(In-Ho Im · Jong-Joo Park · Kwan-Sik Jang · Hoy-Seung Chung · Chang-Yub Park)

요 약

Ethyl hydroxy ethyl cellulose의 고분자를 중심으로 하는 유기 결합체를 사용하고 형광체로서 ZnS:Cu와 유전체로 BaTiO₃를 사용해 screen printing법에 의해 신광원으로서 많은 연구 개발이 집중되고 있는 유기분산형 백라이트 EL (Electroluminescent) 소자를 제조하였다. 제조된 백라이트용 유기 분산형 EL 소자의 특성은 25[°C], 100[V], 400[Hz]에서 1.98[mA/m²]의 전류밀도, 0.075[W]의 power consumption, 정전용량 7.1[nF]를 나타내었다. 소자의 휘도는 50~150[V] 사이에서 20~110[cd/m²]의 밝기를 나타내었으며, 형광체의 색상변화는 CIE에 공인된 색 좌표에 의해 x=0.1711, y=0.3676의 bluish green의 색상을 나타내었다.

Abstract

In this paper, organic dispersion type back light EL(Electroluminescent) devices were manufactured using Ethyl hydroxy ethyl cellulose as organic binder, ZnS:Cu as phosphor powder and BaTiO₃ as dielectrics by screen printing method, which are focused on as a new light source. The properties of the fabricated organic dispersion type back light EL devices were showed 1.98[mA/m²]of current density, 0.075[W] of power consumption, 7.1[nF] of capacitance at 25[°C], 100[V], 400[Hz], repectively. Also brightness of the fabricated device was revealed 20~110[cd/m²] at 50~150[V] and the change of color was showed bluish green of x=0.1711, y=0.3676 which are color coordinate by CIE.

1. 서 론

생활이 윤택해짐에 따라 정보화 사회의 발전은 가속화되어 인간이 접할 수 있는 정보의 양도 방대해지고 그 종류도 다양해짐에 따라 정보통신의 발달로 인해 인간과 기계를 연결하는 매체가 필요로 하게 되었다. 이러한 매체 중의 하나로 부각되어진 것이

영상정보 표시장치이며 현재는 많은 Display가 사용되고 있다. 정보표시소자로서 CRT(Cathode Ray Tube) 전자관이 주로 사용되어 왔지만 최근에는 경량화, 고체화, 평면화의 요구에 따라 LCD(Liquid Crystal Display), LED(Light Emitting Diode), PDP(Plasma Display Panel), ELD(Electroluminescence Device) 등의 연구가 활발히 전개되고 있다.

PCS 단말기, Pager 등의 전기 전자제품 및 각종 표시 패널에 응용되는 ELD는 고전기장에 의해 생성된 에너지성 전자와 발광 중심과의 상호작용에 의해 빛을 방출하는 능동형 고체 표시소자이다. 1936년 O.

* 정희원 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과

** 정희원 : 명지대학교 화학과

*** 정희원 : 주성대학 전기과

접수일자 : 1999년 10월 4일

W. Destriau[1]가 ZnS:Cu의 결정성 분말을 두 개의 전극 사이에 넣고 교류전장을 인가하여 EL 현상을 발견한 이후, 분말형 EL에 관한 연구가 집중되어 1969년 D. Kahng[2] 등이 ZnS 모체에 천이원소인 Mn과 희토류불화합물을 첨가하여 다색의 EL 발광현상을 관측하였고, 1974년 T. Inoguchi[3] 등에 의한 박막형 EL 소자에 대한 연구 결과후 새로운 관심을 불러 일으켰다. EL 소자는 정보 표시소자로서 주로 사용되어온 CRT에 비해 무게가 가볍고 두께가 매우 얇으며 균일한 발광 및 대면적화를 이룰 수 있는 장점 때문에 새로운 표시장치로서 관심의 대상이 되고 있다.

액정표시소자(LCD)는 자체발광을 하지 못하기 때문에 시각적 정보를 나타내기 위해서는 LCD 후면에 별도의 광원이 필요하게 되는데 이러한 역할을 하는 부분을 backlight라 한다. 현재 실제로 사용되고 있는 backlight로는 형광등, 발광 다이오드(LED), 유기 분산형 EL 소자 등이 있다. 선 광원인 형광등이나 점 광원인 발광 다이오드는 균일한 휘도를 얻을 수 없고 얇은 두께로 제작이 불가능하며, 광원 구동시 전력소모가 크고 열이 많이 발생하는 등의 단점을 가지고 있다. 그러나 EL 소자는 면 광원이기 때문에 균일한 휘도의 발광면을 얻을 수 있고 박막형태로 소자 자체가 유연하며 소자 구동시 소비전력이 극히 적고 열이 발생하지 않는다는 특성을 가지고 있다.

EL 소자는 구동방법에 따라 크게 AC형과 DC형으로 구분되며 제조방법 및 소자 구조에 따라 형광체를 binder에 분산시켜 후막 인쇄하는 분산형 EL과 박막공정으로 소자를 제작하는 박막형(Thin film) EL로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 이동통신 단말기 및 휴대용 소형 전기전자 제품의 정보표시를 위한 액정용 backlight로 사용되는 유기분산형 EL 소자를 제작하는데 필요한 유기 결합제 및 유전체와 후면전극으로 쓰이는 Ag paste를 제조하고 제조된 paste를 screen printing하는 방법으로 EL 소자를 제작한 후 전기적 특성을 측정 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 유기 결합제(Organic Binder)의 제조

본 실험의 유기 결합제 제조에 사용된 재료의 조성비는 다음과 같다.

Ethyl hydroxy ethyl cellulose 7.0%, Hydroabietyl alcohol 5.0%, Staybelite ester rosin 3.0%, Hexylene glycol 3.0%, Kerosene 65.6%, Mineral sprits 16.4% phosphate ester 0.5%

이와 같은 조성으로 각각의 성분을 칭량한 후 emulsifier 혼합기로 2시간동안 교반한 다음 고분자 성분을 완전 용해함으로써 유기 결합제를 얻었다.

2.2 유기 결합제에 의한 paste 제조

유기 결합제와 형광체인 phosphor powder (Sylvania, ZnS:Cu)를 55:45의 비율로 칭량하여 섞은 후 Homo-Mixer로 혼합 속도를 조절해가며 powder가 골고루 잘 분산되도록 약 1시간 정도 혼합하여 phosphor paste를 얻었다. 또한 동일한 유기 binder와 고유전율의 유전체 원료인 바륨티타네이트(BaTiO₃) powder를 50:50의 비율로 섞고 막대주걱으로 잘 저어주어 일차적인 분산이 되게 하였으며, 균일한 분산 및 agglomerate된 binder와 powder에 milling 효과를 주어 적절한 유동특성을 갖도록 하기 위해 3-roll mill로 밀링하여 고루 분산된 유전체 paste를 얻었다. EL 소자의 후면전극으로 쓰이는 Ag paste는 binder와 Ag metal powder의 비를 35:65로 하여 3-roll mill로 밀링하여 사용하였다.

2.3 EL 소자의 제조

앞서 제조한 phosphor paste와 유전체 paste 및 silver paste를 기본 재료로 하여 간단하고, 박막화, 대면적화가 가능하며 다양한 형태의 pattern으로 제작 가능한 screen printing법으로 EL 소자를 제조하였다.



그림 1. EL 소자 구조
Fig. 1. The structure of EL device

먼저 ITO 필름위에 형광체 pattern이 형성된 Screen을 장착하고 스크린 위에 phosphor paste를 올려놓고 스퀴지로 끌어당겨 printing하였으며 printing된 필름은 120℃로 유지된 drying oven 속에 10분간 넣어 건조시켰다. 제작된 EL 소자 구조를 그림 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

새로운 평면소자로서 EL 소자는 고도의 정보화의 진행에 따라 양질의 정보표시소자로서 주목받고 있다. 분산형 EL소자는 제작방법과 구동에 있어 비교적 용이하며 표시소자로서 요구되는 휘도, 수명, 색 대비, 색 순도 등의 우수한 특성을 갖고 있다.

유기분산형 EL 소자를 제작하는데 있어서 유기 결합체는 매우 중요한 역할을 하게 된다. 특히 후막 인쇄 공정을 이용한 ELD 제작에 있어서 유기 결합체는 먼저 유전체 및 형광체 powder를 균일하게 분산시키는 기능을 가져야 하며 인쇄시 양호한 작업성을 갖도록 유동특성이 우수해야 한다. 또한 Screen printing된 film이 건조 후에도 pin hole이나 void가 존재하지 않는 균일한 표면 특성을 유지할 수 있어야 한다. 본 실험에서는 powder의 분산성을 높이기 위하여 분산제로 음이온 계면활성제인 phosphate ester를 사용하였으며, flexible한 특성을 부여하기 위하여 가소제로 Hexylene glycol를 사용하였다. 특히 외부에서 인가되는 전압에 대해 형광체 입자에 가해지는 전압을 크게 하기 위해서는 고유전율의 폴리머가 필요하며 이러한 폴리머는 그 재료의 가공성이 양호해야 하고 형광체를 균일하게 분산시킬 수 있는 기능이 있어야 한다. 폴리머를 사용하여 형광층을 제조한 경우 형광체에 가해지는 전압 V_p 는 다음과 같이 주어진다[4].

$$V_p = E_p \cdot L_p = \left(E_b \cdot \frac{L_b}{\epsilon_b \cdot L_p} + \epsilon_p \cdot L_b \right) \cdot V_a$$

여기에서 E_b : 폴리머에 가해지는 전계, E_p : 형광층에 가해지는 전계, ϵ_b : 형광층의 비유전율, L_b : 폴리머의 두께, L_p : 형광층의 두께, ϵ_p : 결합체의 비유전율, V_a : 외부인가전압으로 주어진다.

형광층의 휘도를 높이기 위해서는 ϵ_b 가 큰 폴리머의 선택이 중요해진다. 또한 형광층은 폴리머와 형광체가 혼합되어 형성되므로 형광체에서의 발광이

외부로 전달되도록 하기 위해서는 사용되는 폴리머가 투명해야 한다. 이에 본 실험에서는 폴리머로서 접착력과 투명성이 좋으면서 유전율이 13인 Ethyl hydroxy ethyl cellulose를 선택하였다.

유전체층은 고유전율과 높은 절연파괴강도를 가져야 한다. 또한 유전체층은 반사층의 역할을 해야 하므로 흰색이어야 한다. 본 실험에서는 비유전율이 60, 전체 powder 평균입경이 1.0~1.4[μm]의 입자 크기를 갖는 BaTiO_3 를 사용하였다.

본 실험에서 제작된 EL 소자는 스크린 인쇄방법으로 Ag 전극층 두께가 15[μm], 유전체층이 40[μm], 형광체층이 30[μm]인 소자를 제작하였다. 제작된 EL 소자의 25[$^\circ\text{C}$], 100[V], 400[Hz]에서의 휘도는 58[cd/m^2]을 나타내었다. 스크린 인쇄방법에서 층과 층 사이의 밀착성은 EL 소자의 휘도에 큰 영향을 미치며 형광층과 ITO 전극 사이에 틈이 전혀 발생하지 않는다고 가정하면 다음과 같은 식을 세울 수 있다. 절연층과 형광층에 인가되는 총 전계를 E_T 라 하고 이 두 층을 하나의 유전체층이라고 가정하면 인가되는 전압과의 관계식은 $E_T = V_a / L_T$ [5] 가 된다. 여기서 V_a 는 인가전압이고, L_T 는 두 층의 합성 두께를 나타낸다. 만약 형광층과 투명전극 사이에 틈이 형성되어지면 E_T 는 다음과 같이 바뀌게 된다[6].

$$E_T = \left(\frac{\epsilon_a}{\epsilon_a \cdot L_a} + \epsilon_T \cdot L_T \right) \cdot V_a$$

여기에서 ϵ_a : 틈새 유전율, L_a : 틈새 간격이다. 틈이 형성됨으로 인해 E_T 의 값은 초기의 값에 비해 다음과 같이 줄어 든다.

$$\begin{aligned} & [(\epsilon_a / \epsilon_a \cdot L_a + \epsilon_T \cdot L_T) \cdot V_a] / (V_a / L_T) \\ & = 1 / (L_a / L_T + \epsilon_T / \epsilon_a) \\ \epsilon_a & = 1 \text{ 이라면} \\ & [(\epsilon_a / \epsilon_a \cdot L_a + \epsilon_T \cdot L_T) \cdot V_a] / (V_a / L_T) \\ & = 1 / (L_a / L_T + \epsilon_T) \end{aligned}$$

여기서 L_a 는 수 [μm]이고 L_T 는 70[μm]이므로 L_a / L_T 항은 무시할 수 있고 $1/\epsilon_T$ 의 값은 10^{-1} 정도를 가지게 되어 휘도는 1/10으로 줄어들게 될 것이다. 이러한 형상은 스크린 인쇄방법의 경우 마스크의 그물망으로 인해 발생하는 부분적인 요철부가 ITO 전극과 밀착되지 못하기 때문에 필연적으로 발생한다[7]. 본 실험에서 제작된 소자는 이러한 문제점에 크게 영향을 받았으리라 생각되어진다.

제작된 유기분산형 EL 소자의 물리적 특성변화를 살펴보면 25[°C], 100[V], 400[Hz]에서 정전용량은 7.1[nF]을 나타 내었으며 1.98[mA]의 전류밀도, 0.075[W]의 power consumption, 58[cd/m²]의 휘도를 보여 주었다. 30~100[V] 사이에서의 인가전압에 따른 전류밀도-전압(I-V) 특성과 power consumption-전압의 특성 변화를 그림 2과 3에 나타내었다. I-V 특성변화는 일정전압 이상에서 전류의 흐름이 급상승함을 볼 수 있는 문턱전압(threshold voltage)을 볼 수 있다.

그림 2를 통해 본 논문에서 제작된 유기분산형 EL 소자의 경우 50[V] 정도에서 전류의 흐름이 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이러한 일정전압에서의 전류의 급격한 흐름은 먼저 Cu₂S와 ZnS를 혼합하여 제조한 유기분산형 EL용 형광체에 기인한다. Cu₂S는 ZnS입자 내부에서 바늘처럼 가느다란 전도체가 되어 전도성 막대기와 같은 역할을 하게 되는데[8], 이는 Cu₂S의 밴드폭이 매우 작기 때문이다. 밴드폭이 작으면 전자-정공쌍의 열적 생성이 쉽게 일어나고, 이때 생성된 캐리어가 전기 전도도에 기여하게 되기 때문이다. ZnS는 밴드폭이 3.7[eV][9]로 대단히 큰 값을 갖고 있어서 ZnS내에서의 열적 생성에 의한 캐리어의 발생은 불가능하다[10]. 따라서 형광체 입자에 전계를 인가하면 Cu₂S에서 발생한 캐리어들은 ZnS의 에너지밴드가 기울어짐에 따른 전위장벽 축소로 터널링이 가능해진다. 외부에서 전압이 인가되면 ZnS의 밴드가 기울어져 ZnS와 Cu₂S간의 전위 장벽이 얇아짐에 따라 일정전계 이상에서는 전자가 쉽게 터널링되는 현상이 발생하게 된다. 또한 형광층 두께에 따른 에너지 장벽을 고려해 볼 수 있다. 형광층의 두께가 증가할수록 에너지 장벽이 커지므로 특정전류 밀도를 얻기 위하여 전기장 또한 증가되어야 하며 일정두께 이상이 되면 터널링 효과가 감소하게 된다. 반면 너무 얇게 형광층이 형성되면 pin hole이 생겨 단락이 발생할 수 있다.

인가전압에 따른 휘도특성은 그림 4에서 알 수 있듯이 인가전압이 30~50[V]로 변화함에 따라 7~18[cd/m²]으로 휘도가 서서히 증가함을 볼 수 있었고, 50~150[V]의 범위에서 20~110[cd/m²]으로 선형적으로 증가함을 볼 수 있었다.

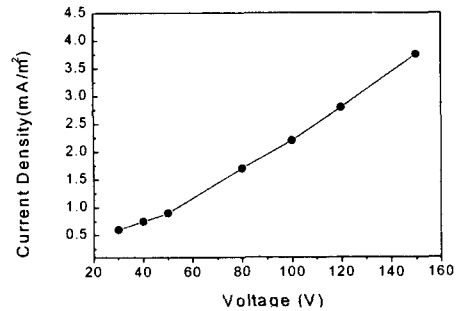


그림 2. 인가 전압에 따른 EL 소자의 전류밀도 변화

Fig. 2. The change of current density as a function of applied voltage

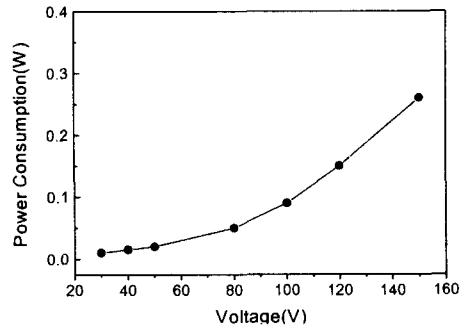


그림 3. 인가 전압에 따른 EL 소자의 소비전력 변화

Fig. 3. The change of power consumption as a function of applied voltage

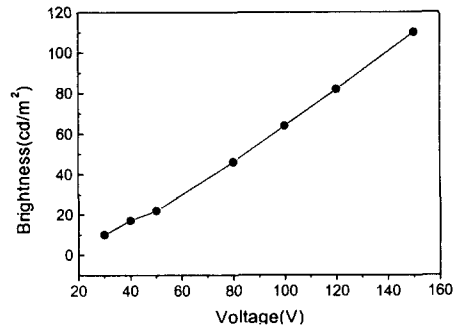


그림 4. 인가 전압에 따른 EL 소자의 휘도 변화

Fig. 4. The change of brightness as a function of applied voltage

휘도특성은 크게 3구간으로 나누어지는데, 0~50[V]까지의 제 1구간, 50~150[V]까지의 제2구간 그리고 150[V] 이상의 제 3구간으로 나뉜다[11]. 제 1구간에서는 전압의 증가에 대해 휘도가 비선형적으로 증가하고 제 2구간에서는 거의 선형적으로 증가한다. 그리고 제 3구간에서는 인가전압에 대해 휘도가 포화되는 경향을 보인다. 통상 사용되는 전압은 50~150[V]의 제 2구간인데 이러한 인가 전압에 따른 휘도특성은 ZnS:Cu 형광체의 발광특성과 관계된다. 위에서 설명한 것과 같이 외부에서 전압이 인가되면 ZnS의 밴드가 기울어져 ZnS와 Cu₂S 간의 전위장벽이 낮아져 일정전계 이상에서는 전자가 쉽게 터널링되는 현상으로서 저전압이 인가되는 제 1구간에서는 전위장벽으로 인해 전류가 거의 흐르지 못하여 휘도 발생이 미약하게 된다. 일정전압 이상이 되면 전류의 흐름이 이루어지고 휘도도 따라서 서서히 증가하게 된다. 이때의 전압을 임계전압이라고 한다. 본 실험에서의 EL소자에서도 50[V] 정도에서 휘도의 변화가 증가함을 보이고 있어 임계 전압임을 알 수 있었다. 계속해서 전압을 인가하면 캐리어에 의한 전류가 계속적으로 증가하여 150[V] 정도까지 휘도가 선형적으로 증가함을 볼 수 있었다. 그러나 Cu₂S 자체가 저항성분을 갖고 있으므로 일정한 전압 이상에서는 더 이상 전류흐름에 의한 전압강하를 무시할 수 없게 되어 전류는 전압강하에 의한 성분만큼 제한되어 흐르게 되어 고전압 인가에 의해 포획되어 있던 정공이 방출되어 재결합 중심이 줄어들면서 재결합에 의한 전계 발광확률이 줄어들 것이다. 이와 같은 이유로 인하여 고전압 영역에서는 휘도가 더 이상 증가하지 않으리라 판단된다.

본 실험에서 제작된 유기분산형 EL소자의 경우 25[°C], 100[V], 400[Hz]에서 형광체의 색상변화는 CIE에 공인된 색 좌표에 의해 x=0.1711, y=0.3676의 bluish green의 색상을 나타내었다. 그림 5와 6을 통해 알 수 있듯이 인가전압이 30~100[V] 사이에서 x 좌표는 0.168~0.173, y 좌표는 0.371~0.378 사이의 bluish green 계통을 나타내었다. bluish green 계통의 색상은 형광체로 사용된 ZnS:Cu의 특성에 기인한 것이다.

차세대 분산형 EL 소자는 에너지 절약 측면에서 저전류 밀도와 저전압 특성을 갖추며 긴 수명, 삼원색, 고휘도용 EL 소자가 필수적이다. 이러한 소자특

성을 갖기 위해서는 무엇보다도 유기 고분자 화합물의 형광체 개발, 고유전율의 유전체 개발, EL 소자의 새로운 구조형태뿐 아니라 접착성, 투과성, 유전율이 우수한 유기 결합제 개발이 향상되어야 될 것이다. 이러한 문제가 개선되어진다면 정보화시대에 있어 EL 소자는 차세대 영상정보 표시장치로 더욱 각광받을 것이다.

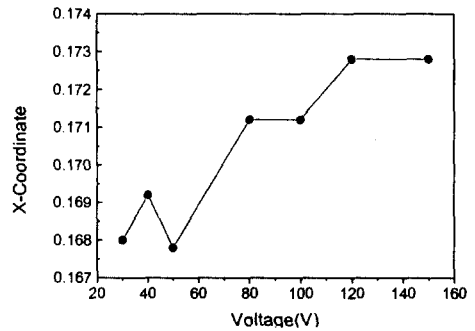


그림 5. 인가전압에 따른 EL 소자의 x좌표색상 변화
Fig. 5. The change of x coordinate as a function of applied voltage

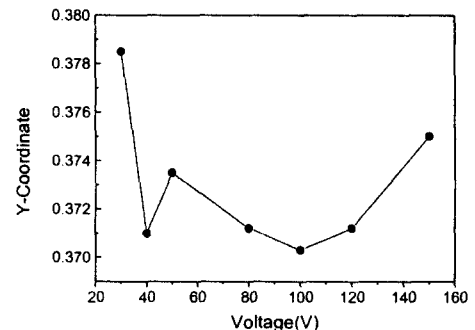


그림 6. 인가 전압에 따른 EL 소자의 y좌표색상 변화
Fig. 6. The change of y coordinate as a function of applied voltage

4. 결론

본 실험에서는 유기분산형 EL 소자를 제작하는데 필요한 Ethyl hydroxy ethyl cellulose를 주 재료로 한 유기 결합제를 제작하고 형광체로서 ZnS:Cu와 유

신광원 유기분산형 백라이트 EL 디스플레이 소자

전체로 BaTiO₃를 사용하여 인쇄하기 적절한 유동성을 갖도록 paste를 제작한 후 screen printing법에 의해 유기분산형 EL 소자를 제작하였다. 제작된 유기분산형 EL 소자의 물리적 특성은 다음과 같다.

1) 제작된 유기분산형 EL 소자의 휘도는 50~150[V]의 범위에서 20~110[cd/m²]로 선형적인 증가를 나타 내었다

2) 제작된 유기분산형 EL 소자의 물리적 특성변화는 25[°C], 100[V], 400[Hz]에서 정전용량은 7.1[nF]을 나타내었으며 1.98[mA]의 전류밀도, 0.075[W]의 power consumption, 64[cd/m²]의 휘도를 나타내었다.

3) 제작된 유기분산형 EL 소자의 경우 25[°C], 100[V], 400[Hz]에서 형광체의 색상변화는 CIE에 공인된 색 좌표에 의해 x=0.1711, y=0.3676의 bluish green의 색상을 나타내었다

참 고 문 헌

- [1] A. G. Fisher, " Luminescence of inorganic solids ", Academic Press, New York, pp. 541, 1996.
- [2] J. N. Bowtell, " Electro luminescence and its applications", I.E.E.E., pp. 454, Aug, 1957.
- [3] N. Ohku, " NEC high brightness plastic electro luminescent lamps", NEC 技報, 34, 8, pp. 71, 1989.
- [4] K. H. Burler, C. W. Jerome and J. F. Waymouth, " The Electro Luminescent Lamp as a New Light Source", Elec. Eng., pp. 524, Jun., 1954.
- [5] E. S. Yang, " Fundamentals of semiconductor devices", McGrawhill Book company, New York, pp. 91, 1985.
- [6] Destriau, G, " The new phenomenon of electro luminescence and its possibilities for the investigation of crystal lattice", Philosophical Magazine, 38, pp. 700, 1947.
- [7] "Sylvania Phosphors and Chemicals : Electro luminescent devices and phosphors", Product Marketing Newsletter, 3, 4, 1982.

- [8] G. F. Alfrey and J. B. Taylor, " Electro luminescence in single crystals of ZnS", Proceedings of the Physical Society, B68, pp. 775, 1955.
- [9] Ballentyne, D. W. G, " The phenomenon of electro luminescence and its applications in the electronics industry", Marconi Review, 19, pp. 160, 1956.
- [10] W. Lehmann, " Characteristics of ZnS Phosphor", J. Electrochemi. Soc., 113, pp. 40, 1966.
- [11] Cheng Hsiung Lim, Jen Dong Huang and Yu Chang Yu, " Phase transformation on the electro luminescence ZnS phosphor", Chinese J. Mat. Sci., 21, 2, pp. 82, 1989.

◇ 저자소개 ◇

임 인 호 (任寅鎬)

1964년 10월 24일생. 1988 인천대학교 전기공학과 졸업. 1990 광운대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1991-1999 삼화 콘텐서 R&D Center 근무중. 1995-1999 연세대학교 대학원 전기컴퓨터공학과 박사과정 재학중.

박 종 주 (朴宗柱)

1962년 1월 29일생. 1989 명지대학교 화학공학과 졸업. 1992 동 대학원 화학공학과 졸업(석사). 1999 명지대학교 화학과 졸업(이학박사). 1991-1999 삼화 콘텐서 R&D Center 근무중.

장 관 식 (張冠植)

1969년 3월 24일생. 1994 명지대학교 화학과 졸업. 1996 동 대학원 화학과 졸업(석사). 1997-1999 동 대학원 화학과 박사과정 재학중.

정 회 승 (鄭會昇)

1963년 7월 20일생. 1986 연세대학교 전기공학과 졸업. 1988 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사) 1988-1993 린나이 코리아 연구소 근무. 1993-1997 RIST 근무. 1997-현재 주성대학 전기공학과 조교수.

박 창 엽 (朴昌燁)

1935년 2월 13일생. 1958년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1960년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1973년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 연세대학교 전기컴퓨터공학과 교수.