논 문
58-12-23

Si가 첨가된 MgO의 기초 물성 및 응용 연구

A Study on the Material Property and Application of the Si-doped MgO Layer

조 성 용* · 박 정 후** · 유 윤 식*** · 이 돈 규†
(Sung-Yong, Cho · Chung-Hoo Park · Yun-Sik Yu · Don-Kyu Lee)

Abstract - The effects of Si-doped MgO have been investigated in order to improve the material properties of the MgO protective layer in plasma display panels. A small amount of Si is added to the MgO pellet while the MgO layer is being deposited by using an electron-beam evaporation method. Both the surface characteristics of the protecting layer and the electro-optical properties of 4 in. test panels are investigated, such as XRD patterns, SEM images, firing and sustain voltages, secondary electron emission coefficient(γ), luminance, luminous efficacy and lifetime. The firing and sustain voltage are minimized when Si concentration is 0.038%, where the luminance and luminous efficacy increase up to 17% and 26% compared with that of the pure MgO film, separately, and lifetime also shows good characteristics.

Key Words : PDP, MgO, Si, Luminous efficacy, Lifetime

1. 서 론

MgO는 녹는점이 2800℃ 로 우수한 내열성과 내마모성을 지니고 있으며, 단결정 형성시 높은 광투과도를 가지고 있다. 이런 특성으로 인해 MgO 는 내열성을 필요로 하는 고열 처리용 챔버와 벽돌 형식의 MgO 내열재로 쓰이고 있다. 또한 내마모성과 광투과도를 이용하여 MgO 박막을 형성하여 FDP(Flat Display panel) 중 하나인 AC-PDP (Alternating current plasma display panels) 에 유전체 보호층으로 사용되고 있다. 이때 MgO 박막은 내마모성의 우수성과 높은 2차 전자의 방출 계수를 필요로 하며 또한 높은 광투과도를 가져야 한다. 순수 MgO 박막은 가시광 영역의 80% 의 투과도를 가지며, 0.07 정도의 2차 전자 방출계수를 가진다. 이는 AC-PDP에서 방전 전압과 휘도, 효율을 결정짓는 인자로 이에 대한 개선이 필요하다.

현재까지 MgO 박막의 특성 개선을 위해서 많은 노력이 이루어져 왔으며, 결정성과 증착방법 및 조건에 따른 연구가 주로 이루어 졌다. 결정성에 관한 연구는 단결정 또는 다결정 MgO의 제작이 있어왔고, 증착방법은 E-beam 증착방법과 RF-sputtering 방법이 사용되었으며, 증착조건은 온도, 거리, 시간 등의 변수에 따른 MgO 박막의 특성이 연구되었다.[1-5] 본 실험에서는 MgO 자체에 Si-doping을 실시하여 MgO 자체의 밴드갭과 결정성의 변화를 주어 2차 전자 방출 계수와 내마모성의 개선을 통해 AC-PDP 패널의 성능을 개선하고자 하였다.

* 정 회 원 : 부산대 공대 전기공학과 박사과정
** 펠로우회원 : 부산대 공대 전기공학과 교수 · 공박
*** 정 회 원 : 동의대 자연대 물리학과 교수 · 이박
† 교신저자, 정회원 : 동의대 전임강사 · 공박
E-mail : donkyu@deu.ac.kr
접수일자 : 2009년 10월 8일
최종완료 : 2009년 10월 26일

2. 실험 방법

그림 1은 현재 널리 이용되고 있는 플라즈마 디스플레이 TV의 개략도를 나타내고 있으며 실제 실험을 위해 제작된 패널은 실제 PDP와 동일한 조건으로 제작되었다. AC-PDP는 3mm의 두께를 가진 상판과 하판의 2장의 유리로 구성되어 있고, 이 중 상판에는 한 쌍의 방전유지 전극이 있고, 각 전극은 상판 투과도 향상과 방전 안정성을 위해 ITO(Induim Tin Oxide) 와 Ag 전극으로 구성된다. 이 위에 프린팅 기법에 의해 형성된 유전체가 유지전극을 덮고 있으며, 유전체 보호층인 MgO 박막이 유전층 위에 증착된다. 그리고 하판에는 방전을 제어하기 위한 Ag 성분의 어드레스 전극과 흰색 유전층, 격벽, R.G.B 삼원색의 형광체로 구성되어 있으며, 인접 cell 과의 구분을 위하여 샌드 블라스터 기법에 의한 격벽이 형성된다. 이렇게 제작된 상-하판을 합착한 후 Ne + Xe (8%) 이원가스를 400 Torr 주입한다. 동일한 MgO pellet을 E-beam evaporator 장비를 이용하여 상판 유전체 위에 증착하였다.

표 1에서는 증착 조건에 따른 증착 방법을 나타내고 있다. E-beam evaporator 방법은 진공 챔버안에서 MgO pellet을 사용하여 높은 광투과율과 빠른 증착 속도를 가지며 박막을 생성할 수 있어 현재 AC-PDP 의 MgO 보호층 제작에 가장 많이 이용되는 방법이다. 실험에서 변수로 사용된 요소는 Si doping ratio 의 변화에 따른 MgO 박막의 특성 변화 및 패널의 기초 특성을 분석 하였고 이를 바탕으로 Si-doping 에 따른 MgO 물성 변화 및 전기 광학적 특성을 실험 하였다. 테스트 패널의 전기광학적 특성을 측정하기 위한 실험장치는 크게 signal 발생부분과 구동회로 부

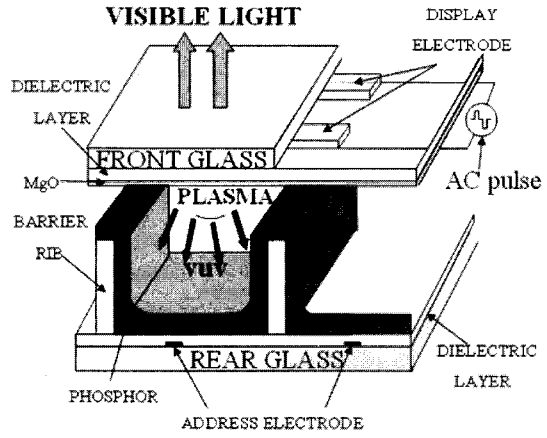

그림 1 플라즈마 디스플레이 TV의 개략도
Fig. 1 Schematic diagram of plasma display TV

'분, 그리고 측정 부위로 휘도 측정을 위한 BM-7 휘도 측정기와 방전 전류, 전압 및 방전 지연을 측정하기 위한 오실로스코프로 구성되어 있다. 측정된 전류, 전압, 휘도를 이용하여 효율을 계산하였다.[6]

표 1 MgO 박막 증착 조건
Table 1 MgO layer deposition condition

조건	증착 조건
증착 전압	-7.5 kV
증착 전류	4 A
증착 온도	250 °C
증착 속도	800 Å/min
증착 두께	8000 Å
Si 도핑율	0%, 0.016%, 0.03%, 0.038%, 0.056%, 0.07%

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 MgO 박막의 도핑율에 따른 시료 표면의 XRD 패턴을 나타낸다. XRD 패턴은 theta(Θ)-2theta(Θ) 방식으로 측정하였다. Si doping % 에 따라 각 시료에 대해 XRD peak를 측정 하였으며, Si 도핑율은 0.016, 0.03, 0.038, 0.056 and 0.07 % 이다. 이 중 XRD data 는 0.038% 와 0.07% 의 시료에 대한 것이다. 일반적으로 증착된 MgO 박막은 (111), (200) 및 (220) 결정구조를 주요 peak 로 가지고 있으며, Si-doping 율에 따라 (220) peak 의 변화보다 (200) peak 의 증가가 나타나고 있다. 본 실험방법으로는 이는 증착 pallet 의 성질에 의해 같은 증착 조건하에서 E-beam 증착을 할 경우 박막의 성장 방향이 틀려짐을 알 수 있다. MgO 박막의 XRD peak 은 박막의 방향성을 알 수 있으며 결정 방향성에 따라 (111) peak 증가 시 방전개시 및 유지 전압이 감소하며, (200) peak 증가 시 방전 지연시간이 감소 및 오방전 확률이 줄어든다.[7, 8] 본 실험 결과 (111) peak 는 나타나지 않았으며, (200) peak 의 증가로 인해 방전 지연시간 감소 및 오방전 확률이 줄어 들 것으로 보인다.

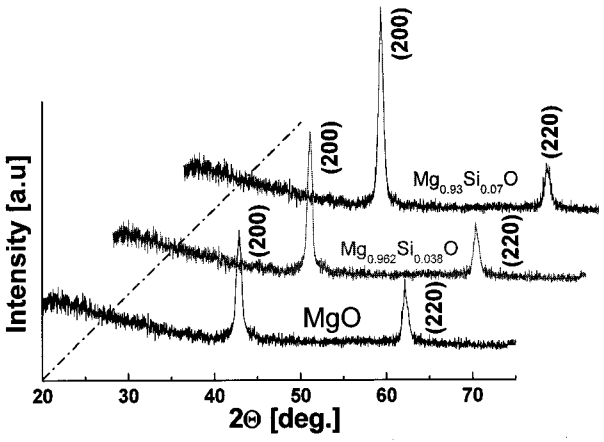

그림 2 Si-doping 율에 따른 XRD 패턴 :
MgO, $Mg_{0.962}Si_{0.038}O$와 $Mg_{0.93}Si_{0.07}O$ XRD 패턴
Fig. 2 XRD data with variation Si-doping ratio :
MgO, $Mg_{0.962}Si_{0.038}O$ and $Mg_{0.93}Si_{0.07}O$

그림 3은 순수 MgO 박막과 0.07%의 Si가 도핑된 MgO 박막의 SEM(scanning electron microscopy) 사진을 나타낸다. 표면 분석 결과 Si-doping량이 증가할수록 입자크기가 증가함을 알 수 있다. 입자크기의 증가는 단일 결정상의 박막이 형성됨을 의미 하고 높은 에너지를 가지는 이온 입자로 부터의 충돌에 강할 것이다. 이온 입자의 충돌에 의한 박막의 파괴는 grain boundary 근처의 파괴부터 진행 되므로 입자크기의 증가에 의한 boundary 의 감소로 인해 이온 입자로 부터의 내 마모성은 Si-doping 에 따라 증가할 것으로 예상된다.

그림 4는 Si-doping 율에 따른 AC-PDP 패널의 방전 개시 전압 및 유지 전압특성과 방전 개시 전압을 이용하여 계산한 2차 전자 방출 계수 그래프이다. 2차 전자 방출 계수는 파센 법칙을 사용하여 계산 하였으며, 순수 MgO 의 2차 전자 방출 계수를 0.07 로 계산하였다. 파센 법칙은 평행 평판사이의 전압인가에 따른 방전 개시 전압을 이용하여, 전극의 2차 전자 방출 계수를 계산하는 방법으로 AC-PDP에서는 평판형태의 전극을 사용하는 구조이지만, 일반적인 방전 개시 전압 및 2차 계수 측정에는 널리 사용하고 있다. 이때 계산식은 식 1과 같다. 여기서 V_f는 방전개시전압이고, P는 압력, γ는 이차전자방출계수 이고 A와 B는 상수이다.

$$V_f = \frac{A(pd)}{\ln\left\{\frac{B(pd)}{\ln(1+\frac{1}{\gamma})}\right\}} \quad (1)$$

0.038% 까지 Si-doping 함유량이 증가할수록 방전개시전압 및 유지전압은 각각 7V, 10V 까지 감소하는 특성을 나타내고 있으며, 이후 0.07% 까지는 방전 개시 및 유지 전압 다시 상승함을 알 수 있다. 따라서 이차전자방출계수는

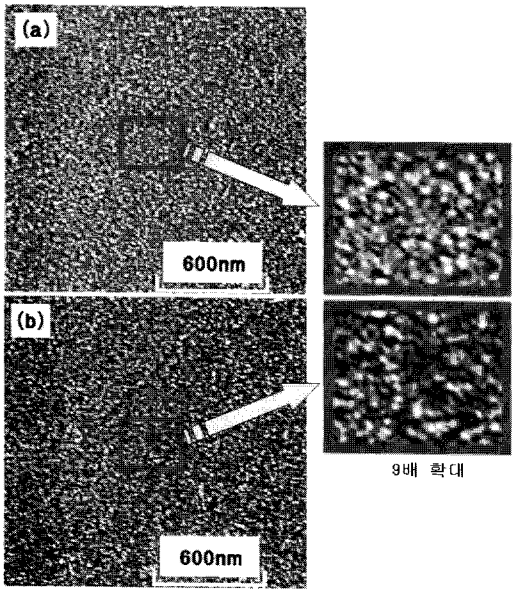

그림 3 Si-doping 율에 따른 SEM 사진 :
(a) MgO, (b) $Mg_{0.93}Si_{0.07}O$ SEM 사진

Fig. 3 SEM image with variation Si-doping ratio :
(a) MgO, (b) $Mg_{0.93}Si_{0.07}O$ SEM images

0.038%의 Si-doping에서 0.0875까지 증가하였다가 0.08로 다시 감소하게 된다. 이는 초기 Si-doping 에 의해 MgO 박막의 defect level 증가 및 표면 개선에 의해 나타나는 현상으로 defect level 증가는 동일 외부 전기장 인가 시 여기되는 전자의 발생확률을 증가시킴으로서 방전 전압 및 유지 전압을 감소시킬 수 있다. 하지만 SEM 사진 결과에서 알 수 있듯이 입자크기의 증가로 인하여 MgO 표면적의 감소가 생기게 되고 방전 개시 전압 및 유지 전압이 증가하게 된다. MgO 박막이 동일한 2차 전자 방출계수를 가지더라도 방전 표면적의 대면적이 감소하는 경우 MgO 박막에서 방출되는 전자의 개수가 증가하여 방전 개시 및 유지 전압이 증가하게 된다. 이는 SEM 사진 결과와 같음을 알 수 있다.

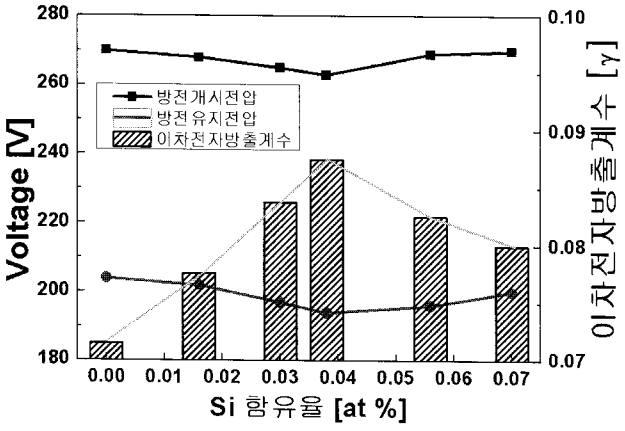

그림 4 Si-doping율에 따른 방전 전압 특성 및 2차전자방출계수

Fig. 4 The characteristics of discharge voltage and secondary electron emission coefficient

그림 5는 Si-doping 율에 따른 PDP 의 휘도 및 방전 효율 그래프이다. 휘도 및 효율은 방전 유지 전압 +20V에서 측정 하였으며, 이는 상용 PDP 제품의 구동 조건과 동일한 조건을 맞추기 위하여 측정 전압 조건을 설정하였다. 휘도 특성은 0.03% 와 0.038%에서 기존 MgO 보다 각각 13%, 17% 높게 나타나고 있으며, 이외 모든 영역에서 기존 MgO 보다 높은 휘도를 나타내고 있다. MgO 도핑에 의해 방전전압과 전류의 변화로 소비전력과 효율의 변화의 효과는 기대하기 쉬우나 휘도가 10%이상 증가되는 경우는 매우 이례적이다. 동일 측정 전압에서 측정한 효율 특성은 휘도 증가와 방전 전압의 감소로 인하여 0.03% 와 0.038%에서 기존 MgO 보다 각각 28%, 26% 높게 나타나고 있다. 패널의 효율 특성은 동일 외부 전력 인가 시 패널에서 방출 할 수 있는 광에너지의 량을 구한 것으로 이 값이 높을수록 저전력 구동이 가능하며 구동 파형의 변경 등을 통한 기타 특성을 향상할 수 있게 된다. 일반적인 경우 휘도는 전압의 세기에 비례하게 되고 동일 전압 또는 더 낮은 전압에서 높은 휘도를 얻기 위해서는 방전 구조의 변화 또는 방전 공간과 직접 상호 작용하는 MgO 표면의 개선을 필요로 한다. 본 실험의 경우 MgO 박막 이외의 조건이 모두 같기 때문에 휘도 및 효율 특성은 Si-doping 에 의해 나타나는 특성 개선으로써 이는 2차 전자 방출 계수의 상승 및 표면 개선에 의해서 나타나는 현상으로 보인다.

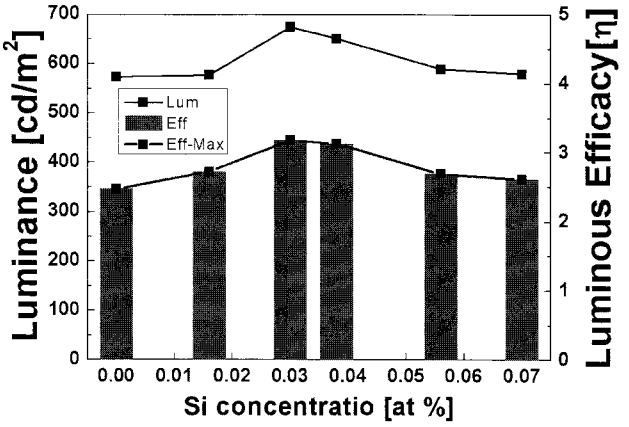

그림 5 Si-doping 율에 따른 패널의 휘도 및 효율 특성

Fig. 5 The characteristics of luminance and luminous efficacy

그림 6은 Si-doping 율에 따른 PDP 테스트 패널의 수명 그래프이다. 패널의 수명은 패널의 휘도가 초기 패널의 휘도값의 절반이 될 때까지의 시간이고, 정상적인 구동에서는 상당한 수명시간을 가지므로, 본 실험에서는 패널을 일반적인 경우 보다 가속 시켜 실험을 실시하였다. 이때 가속 조건은 방전개시전압과 방전유지전압의 중간값보다 20V 높은 전압에서 구동시키는 동시에 sustain pulse를 300kHz 로 무한 반복하였으며 휘도를 측정할 때는 50kHz에서 측정하였다. 이는 일반적으로 PDP를 구동시키는 조건은 ADS (Address display separate) 파형의 sustain구간에서 100~200kHz이고, 전압역시 방전유지전압을 조금 넘기는데 비하여 과도한 부하를 적용한 것이다. 패널의 온도 상승을 억제

하기 위하여 냉각 팬을 부착 하였다. 순수 MgO박막을 가진 패널은 1427cd/㎡의 휘도에서 714cd/㎡까지 감소하는데 걸리는 시간은 166시간이었고, 이 때 방전개시전압과 방전유지전압이 각각 20V, 11V증가 하였다. Si가 0.038% 도핑된 패널의 경우는 1542cd/㎡의 휘도에서 772cd/㎡까지 감소하는데 180시간이 소요되었다. 이 때 방전개시전압과 방전유지전압이 각각 18V, 11V증가 하였고, Si가 0.07% 도핑된 패널의 경우는 1419cd/㎡의 휘도에서 710cd/㎡까지 감소하는데 걸리는 시간은 192시간이었고, 방전개시전압과 방전유지전압은 각각 22V, 14V 증가 하였다. 즉, 패널의 수명은 Si-doping 율이 증가할수록 수명이 증가하고 있으며, 이는 SEM 사진 결과 및 XRD 데이터 에서도 알 수 있듯이 XRD 데이타의 (220) peak 의 상승과 SEM 사진결과에서 입자크기의 증가에 따른 grain boundary 감소 등의 영향으로 방전시 나타나는 이온 충돌로 인한 데미지에 대한 내마모성이 Si-doping 의 영향으로 개선 된 것을 알 수 있다.

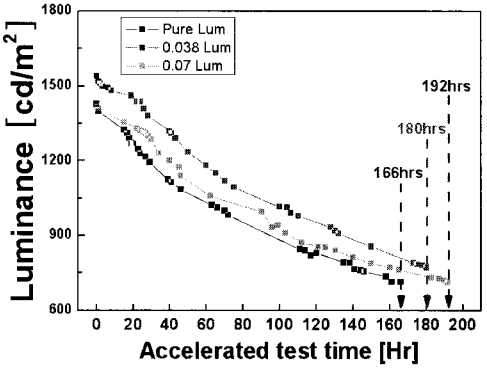

그림 6 Si-doping 율에 따른 패널의 수명 특성
Fig. 6 The characteristics of lifetime.

3. 결 론

본 논문에서는 플라즈마 디스플레이 패널의 MgO 보호막에 Si를 미량 도핑하여 밴드갭과 결정성에 변화를 주어 2차 전자 방출계수의 개선과 내마모성의 개선을 통해 전기, 광학적 특성을 개선시켰다. Si를 도핑함에 따라 (200)의 결정구조가 강하게 나타났으며, 입자크기가 증가하였다. 그에 따라 방전전압과 그에 따른 2차 전자 방출계수 특성이 향상되었고, 휘도, 효율 특성과 수명 특성이 향상되었다. 특히, Si가 0.038% 도핑된 MgO 박막의 경우 2차 전자 방출계수는 22%가 증가하여 방전유지전압이 10V까지 감소하였으며, 17%의 휘도 증가와 26%의 효율증가 및 8.4%의 수명증가의 결과를 얻을 수 있었다. Si가 0.07%까지 증가된 경우 수명 특성이 더욱 향상되었으나, 휘도, 효율, 방전전압 특성의 개선이 크게 이루어지는 않았다.

감사의 글

본 지적재산권은 지식경제부(정보통신연구진흥원), 부산광역시 및 동의대학교의 지원을 받아 수행된 연구결과임.(08-기반-13, IT특화연구소:"부산IT융합 부품연구소" 설립 및 운영)

참 고 문 헌

[1] S. K. Lee, K. W. Whang, J. H. Kim and J. H. Lee, "Secondary Electron Emission from MgO Thin Films for Low-Energy Noble gases by Pulsed ion beam Technique", SID 02 DIEST, pp,424-427, 2002.
[2] J.Y. Jeong, S.Y. Choi, D.K. Lee, H.J. Lee, H.J. Lee, C.H. Park, Trans. KIEE. Vol. 58, No. 8, AUG, 2009.
[3] J.E. Heo, D.K. Lee, S.Y. Choi,H.J. Lee, H.J. Lee, C.H. Park, 전기전자재료학회논문지, Vol. 21, No. 5, 2008년 5월
[4] D.K. Lee, C.H. Park, H.J. Lee, W.S. Choi, D.H Kim, H.J. Lee, Appl. Phys. Lett., Vol. 89, No.19, p.191501, 2006
[5] D.K. Lee, C.H. Park, H.J. Lee, J.Y. Choi, D.H Kim, H.J. Lee, Phys. Plasma, Vol. 14, No.10, p.103505, 2007
[6] C.H. Park, S.B Yoo, D.K. Lee, H.J. Lee, H.J. Lee, J.S. Kim, Trans. KIEE. Vol. 56, No. 9, SEP, 2007.
[7] E. H. Choi, "Discharge and γ characteristics of Ion induced MgO protective layer in PDP" Information Display, VOL.5, No.6, pp,23-35, 2004
[8] Eun-ha. Choi, "Measurement of Secondary Electron Emission coefficient(γ) of MgO Protective Layer with Various Crystallinities.", Japanese Jounal of Applied physics vol.37 pp,7015-7018, 1998

저 자 소 개

조 성 용 (曺 成 龍)

1978년 3월 15일생. 2006년 부산대학교 대학원 물리학과 졸업(석사). 2006~2009년 현재 동대학원 전기공학과 공학박사 과정 재학중
Tel : 051-510-1544
Fax : 051-510-1498
E-mail : jwok@pusan.ac.kr

박 정 후 (朴 正 后)

1945년 4월8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980~1983년 일본 구주대학대학원 졸업 (공박). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.
Tel : 051-510-2369
Fax : 051-513-0212
E-mail : parkch@pusan.ac.kr

유 윤 식 (兪 允 植)

1954년 4월 17일생. 1977년 부산대 자연대 물리학과 졸업. 1979년 동 대학원 물리학과졸업 (석사). 1990년 동 대학원 물리학과 졸업 (박사). 현재 동의대 자연대 물리학과 교수

Tel : 051-890-2760
Fax : 051-890-1664
E-mail : ysyu@deu.ac.kr

이 돈 규 (李 敦 揆)

1976년 10월 15일생. 2002년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업 (박사). 현재 동의대 전기공학과 전임강사

Tel : 051-890-1666
Fax : 051-890-1664
E-mail : donkyu@deu.ac.kr