

MCPCB의 온도에 따른 고출력 LED의 광학적, 열적 영향력 분석

論 文

57-12-23

Optical and Thermal Influence Analysis of High-power LED by MCPCB temperature

李承敏* · 梁種璟** · 趙胄雄** · 李鐘燦*** · 朴大熙†

(Seung-Min Lee · Jong-Kyung Yang · Ju-Ung Jo · Jong-Chan Lee · Dae-Hee Park)

Abstract - In this paper, we present thermal dependancy of LED package element by changing temperature of MCPCB for design high efficiency LED lamp, and confirmed influence of LED chip against temperature with analysis of thermal resistance and thermal capacitance. As increasing temperature, WPOs were decreased from 25 to 22.5 [%] and optical power were also decreased. that is decreased reason of optical power that forward voltage was declined by decrease of energy bandgap. Therefore optical power by temperature of MCPCB should consider to design lamp for street light and security light. Moreover, compensation from declined optical efficiency is demanded when LED package is composed. Also, thermal resistances from chip to metal PCB were decreased from 12.18 to 10.8 [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$] by changing temperature. Among the thermal resistances, the thermal resistance from chip to die attachment was decreased from 2.87 to 2.5 [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$] and was decreased 0.72 [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$] in Heat Slug by changing temperature. Therefore, because of thermal resistance gap in chip and heat slug, reliability and endurance of high power LED affect by increasing non-radiative recombination in chip from heat.

Key Words : High power LED, Thermal resistance, Junction temperature, Efficiency, LED lamp

1. 서 론

발광다이오드(Light Emitting Diode : LED)는 1962년 GaAsP 화합물 반도체를 이용하여 처음 소개되었으며 초창기 LED는 낮은 광 효율로 적색의 단순한 색상을 내었으며, 주로 표시용 소자로 사용되었다[1]. 1990년도 초반에 들어서야 반도체 박막 성장 기술의 발달로 인해 고출력 LED 생산이 가능하게 되었다. 1990년도 후반에 들어서 조명으로서의 응용제품 증가로 인해 GaN/InGaN 기반의 고출력 LED 패키지의 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 환경안전에 대한 세계적인 관심이 높아지면서 RoHS 등의 환경관련 규약에서는 2006년 7월부터 CO₂나 Hg 등의 유해물질을 사용하지 않는 친환경 광원을 사용하도록 시행 하고 있다[2]-[4].

현재 LED는 실외조명과 광색가변 및 색온도 제어 감성 조명 및 경관조명, 다리조명, 분수 조명 등 장식용 조명으로 광범위 받고 있으며, 일부 실내조명용 10W 이내의 MR16이나 PAR 형태의 광원과 도로조명의 가로등 및 보안등에 적용 개발되고 있는 실정이다. 그러나 고출력 LED는 인가된 에너지에 대해 통상적으로 20%정도의 광효율과 80% 정도의 열로 전환되어 고 발열에 의한 문제로 인해 고출력 LED의

수명 저하 및 고효율에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있고 가로등 및 보안등 등의 일반램프로 응용되는 고출력 LED의 경우 이러한 문제는 더욱 심각하게 부각되고 있다[5].

고출력 LED의 접합온도는 LED 패키지의 열적 성능에 크게 의존하고 있으며, 실제적인 광 출력은 접합온도와 밀접한 관련이 있다. 접합온도의 증가는 PN 접합 부분에서 생성된 열이 외부로 원활하게 방출되는 것을 저하시키고, 칩 내부에 남은 열이 전자와 정공의 비 발광 재결합을 증가시켜 고출력 LED의 신뢰성과 내구성에 큰 영향을 미친다[6].

이에 고출력 LED 패키지의 낮은 열저항 특성과 PN 접합 부분의 온도를 낮추기 위한 세라믹 패키지에 대한 연구와 접합부분 발열에 의한 와이어 본딩 끊김 현상, solder past 접속 분리 인한 신뢰성저하를 향상시키기 위한 고출력 LED 패키지 연구가 활발히 진행되고 있다[7][8].

따라서, 고효율 LED 램프를 설계하기 위해서 LED 패키지의 전기적, 광학적, 열적 특성과 내부 구조를 고려한 접합 온도 및 열저항 특성이 고려되어야 한다.

본 논문에서는 고효율 LED램프 설계를 위해 MCPCB 온도 변화에 따른 LED 패키지 소자의 온도 의존성을 확인하였으며 열저항과 열용량 특성 분석을 통해 LED chip에 미치는 영향을 확인하고자 하였다.

2. 이론 및 실험

일반적으로 전기회로에서 전류, 전압, 저항의 관계는 옴의 법칙에 의해 설명된다.

* 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 碩士課程

** 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 博士課程

*** 正 會 員 : 금호전기(주) 부설연구소 선임연구원 · 工博

† 교신저자, 終身會員 : 圓光大學校 教授 · 工博

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr

接受日字 : 2008年 10月 20日

最終完了 : 2008年 11月 4日

$$I = \Delta V / R \quad (1)$$

식(1)에서 보는 바와 같이 I는 전기회로에 두 지점사이에 도선을 통해 흐르는 전류를 나타내며 ΔV는 두지점사이의 전압차, R은 두점 사이에 흐르는 전기저항을 나타낸다.

마찬가지로 열회로에서 역시 전기회로와 유사한 특성으로 다음 식이 성립된다.

$$P_D = \Delta T / R_{th} = T_J - T_A / R_{th} \quad (2)$$

식(2)에서 보는 바와 같이 P_D는 소모된 전력, ΔT는 온도차, T_J는 접합온도, T_A는 외부 온도, R_{th}는 열저항을 나타낸다.

여기서 LED 패키지의 열저항을 정확히 평가하기 위해 광출력(Optical Power)에 대한 특성이 고려되어야 한다. 왜냐하면 전기적 전력소비는 실제 광출력 부분(발광 부분)과 열(비발광 부분)로 구분되기 때문이다.

$$P_{heat} = P_{el} - P_{opt} \quad (3)$$

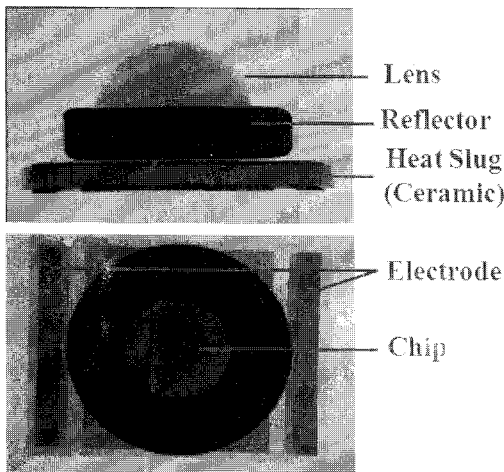


그림 1 X-ray를 통해 촬영한 LED sample 구조
Fig. 1 LED sample structure by using X-ray

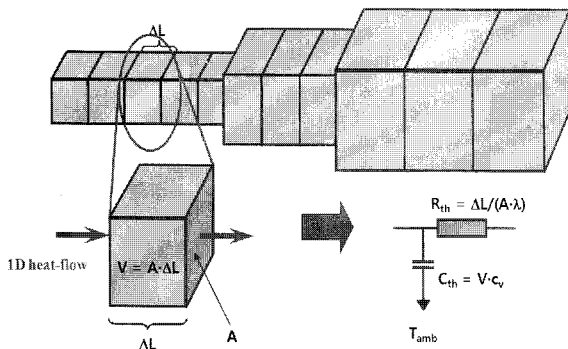


그림 2 LED 패키지 열전달 특성에 대한 등가적 모델링
Fig. 2 Thermal-equivalent Modeling of LED package

그림 1은 Cree사의 고효율 LED 패키지를 나타낸 것이므로 내부 칩을 기준으로 상반부에는 렌즈와 Reflector로 구성되어 있다. 칩은 GaN로서 골드 와이어 본딩을 통해 상부 전극과 연결되어 있으며 하부 전극과는 홀을 통해 연결되어 있다. 또한 두 전극 사이에 세라믹을 통해 절연함으로써 열 방출 특성을 개선하고자 하였다.

일반적으로 열은 칩에서 생성이 된다. 렌즈는 낮은 열전도체로서 열은 주로 Heat Slug 에서 메탈 PCB를 통해 외부로 열이 전달된다. 이때 열에너지가 어떤 매질을 통해 전달할 경우 그 에너지에 대한 전달능력은 매질의 체적과 재질에 따라 열저항(R_{th}) 값과 열용량(C_{th})값으로 나타낼 수 있다.

따라서 LED 패키지에 대한 특성을 열저항(R_{th}) 값과 열용량(C_{th})값으로 나타냄으로써 부분별 열에 대한 특성을 평가할 수 있다. 식(4)에서 보는 바와 같이 열저항과 열용량의 변화의 비율인 K 값으로서 LED 패키지를 평가할 수 있다.

$$K(R_{\Sigma}) = \frac{dC_{\Sigma}}{dR_{\Sigma}} \quad (4)$$

$$K(R_{\Sigma}) = \frac{c \Delta dx}{dx / \lambda A} = c \lambda A^2 \quad (5)$$

또한 식(4)는 식(5)로 나타낼 수 있으며 c는 체적당 열용량, λ는 열전도도, A는 열흐름의 단면 면적이다. 그러므로 열저항은 c, λ, A에 의해 변화됨을 알 수 있다[9].

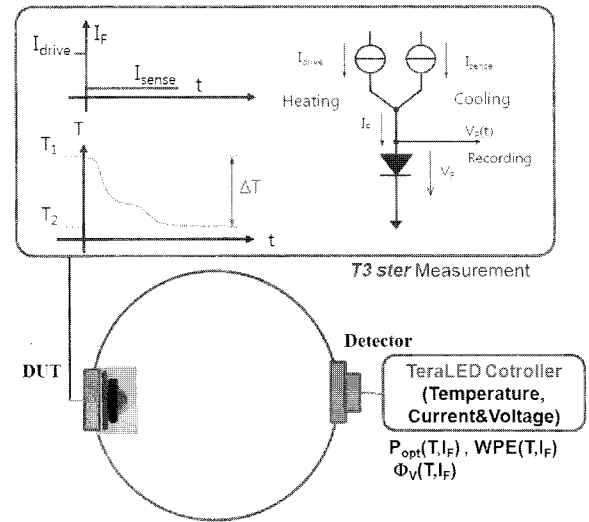


그림 3 LED 측정 실험장치 구성
Fig. 3 Schematic of experimental equipment for LED measurement

LED소자는 그림 1에서 보는 바와 같이 Cree사의 고효율 LED 패키지를 사용하였으며 25 mm × 25 mm의 MCPCB를 제작하였으며 구동 전류는 350 [mA]를 사용하였다. 일반적으로 1W급 LED의 경우 350 [mA]를 인가하였을 경우를 기준으로 한다.

따라서 LED 패키지 샘플을 이용하여 25~85 °C의 온도

변화에 따른 열저항 특성과 전기적, 광학적 특성을 평가하였다. 측정장비는 열저항 측정 장비로서 MicRed社의 T3ster를 사용하였으며, 광학적 측정 평가 장비로 MicRed社의 TeraLED를 사용하였다.

T3ster장비의 경우 그림 3에서 보는 바와 같이 Cooling 방식을 적용하였으며 I_{drive}(구동전류) 인가 후 전류를 변화시켰을 경우 전기적 특성 변화에 따른 온도 변화 특성을 분석함으로써 열저항 특성을 확인할 수 있다. 또한 열전소자를 통해 온도를 변화시킴으로써 온도 변화에 따른 열저항 특성을 확인할 수 있다. 또한 TeraLED의 경우는 적분구를 이용하여 LED 패키지의 광학적 특성을 평가할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 MCPCB의 온도 변화에 따른 WPO (Wall Plug Optical Efficiency)와 광출력에 대한 특성을 나타낸 것이다. WPO는 P_{opt}/P_{el}의 비율로서 전체 인가 전력에 대한 광출력의 정도를 나타낸다. 그림 1에서 보는 바와 같이 온도가 증가함에 따라 WPO는 25 [%]에서 22.5 [%]로 감소하는 특성을 보였다. 즉 온도가 증가함에 따라 광출력이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 더욱이 전체 전력의 약 25 [%] 이하정도만 광출력으로 변환될 뿐 나머지 75 [%]이상이 열로서 소모됨을 알 수 있다.

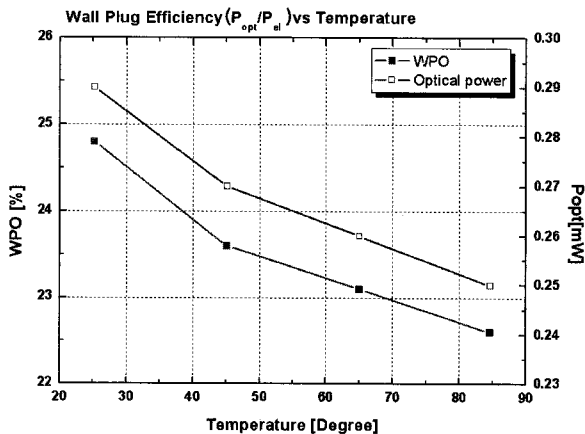


그림 4 MCPCB 온도 변화에 따른 WPO특성과 광출력
Fig. 4 WPO property and optical power change as function of MCPCB temperature

MCPCB 온도 변화에 따른 광효율 특성과 정전류 350 [mA] 인가시 LED의 전압변화 특성을 확인한 결과 그림 5에서 보는 바와 같이 10 [lm/W]의 효율감소와 인가전압이 감소됨을 확인할 수 있다. 이는 인가전압에 대한 감소로 인해 전체적인 광출력을 저하시키는 요인의 하나로 볼 수 있다.

LED의 경우 식(6)(7)에서 보는 바와 같이 온도가 증가함에 따라 에너지 밴드갭의 감소로 인해 인가전압이 감소됨을 확인할 수 있다. 여기에서 α, β는 Varshni 파라미터로서 반도체마다 다른 값을 가지고 있다[10]. 본 고출력 LED에 사용된 칩은 GaN로서 α=7.7×10⁻⁴eV/K, β=600K의 값을 가지며, 그림 5에서 보는 바와 같이 MCPCB의 온도변화에 따라 0.003 V/°C씩 감소함을 확인할 수 있다.

$$E_g = E_g|_{T=0K} - \frac{\alpha T^2}{T+\beta} \tag{6}$$

$$\frac{dV_f}{dT} \approx \frac{k}{e} \ln\left(\frac{N_D N_A}{N_C N_V}\right) - \frac{\alpha T(T+2\beta)}{e(T+\beta)} - \frac{3k}{e} \tag{7}$$

또한 광출력에 대한 효율감소와 전압 감소는 LED 패키지를 통해 가로등 및 보안등 램프 설계시 고려해야할 요소이다. 현재 가로등대체용 LED 등기구 고효율 기술기준에 따르면 외부 온도 90 °C이하를 기준으로 하고 있으며 방열판을 사용할 경우 70 °C이상을 유지하고 있는 상황이다. 따라서 가로등 및 보안등 램프 설계시 온도에 따른 광출력 특성을 고려한 설계가 이루어져야 하며 패키지 형성시 열적 성능 향상 및 광효율 저하에 보상이 요구된다.

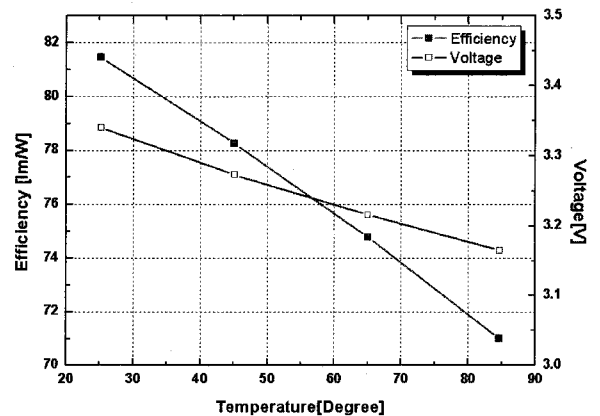


그림 5 MCPCB 온도 변화에 따른 효율과 인가전압
Fig. 5 Luminous efficiency and applied voltage change as function of MCPCB temperature

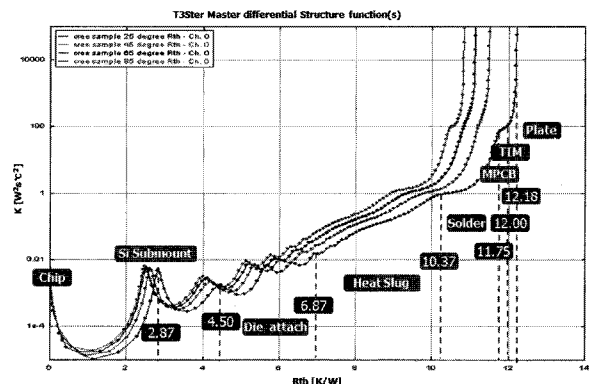


그림 6 MCPCB 온도 변화에 따른 열저항과 K-factor
Fig. 6 Thermal resistance and K-factor change as function of MCPCB temperature

온도 변화에 따른 LED 패키지의 영향을 확인하기 위해 그림 6, 7에서 보는 바와 같이 열저항 특성과 열용량 특성을 측정하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 25 °C에서 85 °C로 온도를 증가하였을 경우 칩으로부터 메탈 PCB까지의 열저

항($R_{th j-a}$)은 12.18 [$^{\circ}C/W$]에서 10.8 [$^{\circ}C/W$]로 감소하였다. 이는 칩으로부터 Si Submount의 열저항의 경우 2.87 [$^{\circ}C/W$]에서 2.5 [$^{\circ}C/W$]로 감소되었다.

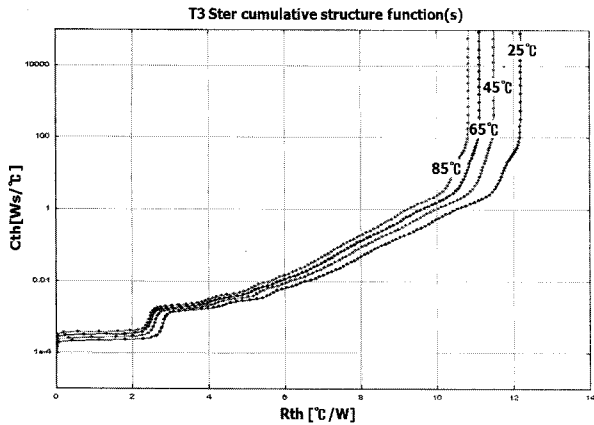


그림 7 온도 변화에 따른 열저항과 열용량
Fig. 7 Thermal resistance and thermal capacitance change as function of MCPCB temperature

또한 온도가 증가함에 따라 Die부분에서는 0.12 [$^{\circ}C/W$], Heat Slug 부분에서는 0.15 [$^{\circ}C/W$], Solder 부분에서는 0.72 [$^{\circ}C/W$]의 온도 변화 특성을 보였다. 즉 칩 부분과 Solder부분에서 열저항의 변화가 컸으며 이는 칩 부분의 열저항의 감소가 다른 부분에 비해 커서 내부 칩으로 발생된 열의 전달이 감소됨으로써 칩 자체에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 다시 말하면, PN 접합 부분에서 생성된 열이 외부로 원활하게 방출되는 것을 저하됨으로써, 칩 내부에 남은 열이 전자와 정공의 비 발광 재결합을 증가시켜 고휘력 LED의 신뢰성과 내구성에 큰 영향을 미친다.

또한 식(2)를 이용하여 T_j 를 계산할 경우 MCPCB의 온도를 25 $^{\circ}C$ 에서 85 $^{\circ}C$ 증가함에 따라 39.14 $^{\circ}C$ 에서 96.85 $^{\circ}C$ 로 크게 증가하였다. 이는 열에 의해 칩에 대한 인가전압을 감소시켜 동시에 칩의 신뢰성을 저하시키는 요인이 된다.

4. 결 론

본 논문에서는 고효율 LED램프 설계를 위해 MCPCB 온도 변화에 따른 1W급 LED 패키지 소자의 온도 의존성을 확인하였으며 열저항과 열용량 특성 분석을 통해 LED chip에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 온도가 증가함에 따라 WPO는 25 [%]에서 22.5 [%]로 감소하여 광출력이 감소하였으며 에너지 밴드갭의 감소로 인해 인가 전압이 감소됨에 따라 광출력을 저하시키는 원인으로 사료되었다. 따라서 가로등 및 보안등 램프 설계시 온도에 따른 광출력 특성을 고려한 설계가 이루어져야 하며 패키지 형성시 열적 성능 향상 및 광효율 저하에 보상이 요구된다.

온도 변화에 따른 열저항 특성과 열용량의 경우 25 $^{\circ}C$ 에서 85 $^{\circ}C$ 로 온도를 증가함에 따라 칩으로부터 메탈 PCB까지의 열저항($R_{th j-a}$)은 12.18 [$^{\circ}C/W$]에서 10.8 [$^{\circ}C/W$]로 감소하

였다. 그중 칩 부분에서 열저항이 0.37 [$^{\circ}C/W$]와 Solder 부분에서는 0.72 [$^{\circ}C/W$]의 큰 변화 특성을 보였다. 이는 다른 부분에 비해 큰 열저항의 변화로 열전달 특성이 감소됨으로써 칩 자체 신뢰성 및 발광 특성에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

감사의 글

이 논문은 한국산업기술재단에서 지원하는 “지역혁신인력양성사업”과 에너지관리공단 주관 “에너지·자원 기술개발사업”의해 지원 되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] N. Holonyak Jr. and S. F. Bevaqua, Appl. Phys. Lett., Vol.1, p82 (1962)
- [2] Jianzheng Hu, Lianqiao Yang, and Moo Whan Shin “Thermal and Mechanical Analysis of High-Power LEDs With Ceramic Packages”, IEEE TRANSACTIONS ON DEVICE AND MATERIALS RELIABILITY, VOL. 8, NO. 2 (2008)
- [3] Takashi Mukai, Daisuke Morita, Shuji Nakamura, Journal of Crystal Growth, Vol. 189/190, p778 (1998).
- [4] Nadarajah Narendran, Lei Deng, Proceedings IESNA Annual Conference: Performance Characteristics of Light Emitting Diodes (2002).
- [5] Jianzheng Hu, Lianqiao Yang and Moo Whan Shin, “Electrical, optical and thermal degradation of high power GaN/InGaN light-emitting diodes”, J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008)
- [6] Jeong Park, Moowhan Shin, Chin C. Lee, OPTICS LETTERS, Vol. 29, No. 22, p2656 (2004).
- [7] Jianzheng Hu, Lianqiao Yang and Moo Whan Shin, “Thermal and Mechanical Analysis of High-Power LEDs With Ceramic Packages”, IEEE TRANSACTIONS ON DEVICE AND MATERIALS RELIABILITY, VOL. 8, NO. 2, JUNE (2008).
- [8] T. Margalith, M. O. Holcomb, S. Boles, and D. A. Steigerwald, Proc. SPIE 6134 (2006).
- [9] H. Pape et al.: Thermal transient modeling and experimental validation in the European project PROFIT, IEEE Tr. on Component and Packaging Technologies, Vol.27, No.3, pp, 530-538 (2004)
- [10] Varshni Y.P., “Temperature dependence of the energy gap in semiconductors”, Physica, Vol 34, p149 (1967)

저 자 소 개



이 승 민 (李 承 敏)

1981년 6월 14일생. 2002년 2월 벽성대학교 전자과 졸업. 2006년 8월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보공학부 졸업. 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 석사과정.

Tel : 063-850-7023, Fax : 063-850-7022
E-mail : gomusin7@wonkwang.ac.kr



양 종 경 (梁 種 璟)

1980년 1월 13일생. 2001년 8월 원광대학교 공대 전기전자 공학부 제어계측 졸업. 2006년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 박사과정.

Tel : 063-850-7023, Fax : 063-850-7022
E-mail : duck2214@wonkwang.ac.kr



조 주 응 (趙 胄 雄)

1975년 5월 27일생. 2003년 원광대학교 자연대 물리학과 졸업. 2005년 동 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2005년~2007년 SEplasma Inc. 주임연구원. 현재 원광대학교 박사과정.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-850-6890
E-mail : afkll@hanmail.net



이 종 찬 (李 鐘 燦)

1972년 8월 13일생. 1977년 원광대학교 공대 전자공학과 졸업. 1999년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2003년 동대 대학원 졸업(공학박사). 2003년~2004년 UTD Univ. Post-Doc. 2004년~2005년 Ehime Univ. Post-Doc. 2005년~현재 금호전기(주) 기술연구소 선임연구원.

Tel : 031-329-7740, Fax : 031-329-7705
E-mail : chaos@kumho.khe.co.kr



박 대 희 (朴 大 熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공학박사). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원.

1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환 교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수. 2004년~현재 원광대학교 전기응용신기술연구센터 센터장.

Tel : 063-850-6349, Fax : 063-857-6890
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr