

# 고효율 Hybrid LED 패키지 설계 및 초정밀 광학패턴 가공에 관한 연구

전은채<sup>1</sup>, 제태진<sup>#</sup>, 황경현<sup>1</sup>

## A Study on Design of High Luminance Hybrid LED Package and Ultra-fine Machining of Optical Pattern

E. C. Jeon, T. J. Je, K. H. Whang

(Received September 29, 2010 / Revised October 13, 2010 / Accepted October 19, 2010)

### Abstract

Newly suggested hybrid LED package can reduce the number of LED processes and enhance light efficacy in virtue of its integrated optical patterns. Square-type pyramid pattern was chosen for the integrated optical pattern in this study, and it was proved that the pattern enhances illuminance about three times and luminance about two and half times by optical simulation. Square-type pyramid patterns of 0.02mm height and 0.04mm pitch were successively machined on a copper mold which is necessary for imprinting the integrated pattern. Hybrid LED package with integrated optical pattern will be manufactured with ultra-fine machined mold in future study.

**Key Words** : Hybrid LED Package, Ultra-fine Machining, Pyramid Optical Pattern

### 1. 서 론

LED (Light Emitting Diode)는 광효율이 높고 수명이 길며 환경유해물질을 사용하지 않기 때문에 차세대 친환경 광원으로서는 기존 광원들을 대체할 수 있을 것으로 기대된다. 특히 LED BLU (Backlight Unit)를 사용한 대형 LCD TV 가 널리 보급됨에 따라 LED 에 대한 수요가 높아지고 있다. 그러나 LED 는 여러 가지 장점에도 불구하고 기존 광원에 비해 가격이 높기 때문에 대형 LCD TV 와 같은 고가 제품에는 사용되고 있으나 저가형 제품, 특히 일반 조명 제품에는 잘 사용되지 못하고 있다. LED 의 가격이 높은 이유로는 원자재 가격이 높은 이유도 있지만, LED 관련 최종제품을 제조하기 위해서 칩, 패키지, 모듈

그리고 시스템의 4 단계의 복잡하고 다양한 공정을 거쳐야 하는 것도 주요원인이다. 4 개의 공정은 다시 다수의 세부공정으로 나누어지기 때문에 전체 공정수는 수십 개에 이른다. 따라서 제품 제조공정을 단순화하는 것은 원가절감에 큰 효과를 가져온다. 특히 한국 LED 업체의 80% 이상이 칩 공정을 제외한 패키지 공정 이후에 종사하는 점[1,2]을 감안할 때 패키지 공정과 그 이후 공정을 단순화하는 것은 국가경제에 큰 도움이 된다. 이에 본 연구에서는 LED 제품 제조 공정을 대폭 줄이고, 초정밀 광학패턴을 도입하여 광효율을 높일 수 있는 hybrid LED 패키지의 개념을 제시하고 제품을 설계하였으며 제품제조에 필요한 초정밀 광학패턴 가공기술을 개발하였다.

1. 한국기계연구원 나노공정장비연구실  
# 교신저자: 한국기계연구원 나노공정장비연구실,  
E-mail: jtj@kimm.re.kr

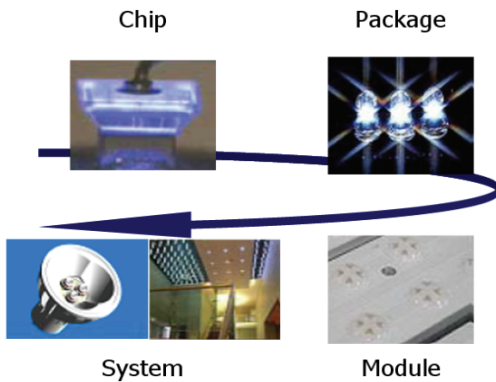


Fig. 1 Conventional LED processes

## 2. Hybrid LED 패키지

### 2.1 기존 LED 공정

앞서 밝힌 바와 같이 LED 제품을 제조하기 위해서는 Fig. 1 과 같은 칩, 패키지, 모듈 그리고 시스템의 4 단계를 거친다. 칩 공정은 사파이어 기판에 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 공정을 통해 화합물 반도체를 성장시킨 후 반도체 공정을 통해 전극을 형성한 후 개별 칩으로 자르는 공정을 의미한다. 패키지 공정은 LED 칩에 전기를 인가할 수 있고 외부환경으로부터 보호해줄 수 있는 패키지에 담는 공정이다. 모듈공정은 패키지를 사용목적에 따라 특정 프레임에 부착하는 공정으로, 프레임은 주로 PCB (Printed Circuit Board)에 부착한다. 시스템 공정은 제품에 적합한 케이스, 전원공급장치, 방열기구, 광학기구 등을 부착하여 최종 제품을 만드는 공정이다. 이처럼 기존 LED 제품 제조공정은 전체 공정이 4 단계로 구분될 뿐만 아니라 각각의 공정이 여러 세부공정으로 구성되어 있기 때문에 원가절감에 한계가 있는 문제점을 가지고 있다.

또한 공정 별로 서로 다른 산업체에서 담당을 하고 있기 때문에 최종제품의 특성에 따른 맞춤형 제품을 제조하는 것이 거의 불가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 글로벌 조명업체인 Osram, Philips 등은 LED 관련 업체들을 인수하여 칩에서부터 시스템에 이르기까지 수직계열화를 실시하였다[3]. 그러나 국내 조명업체들은 매우 영세하기 때문에 이러한 수직계열화는 불가능하므로 새로운 공정을 개발하여 맞춤형 제품을 제조하는 것이 가장 합리적인 해법이다.

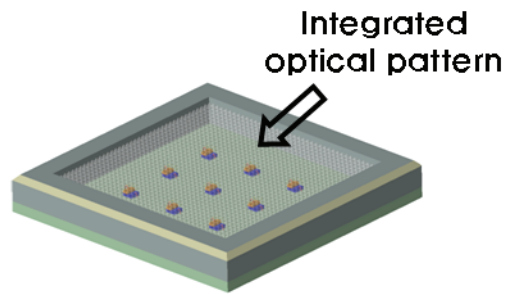


Fig. 2 A schematic diagram of hybrid LED package

### 2.2 Hybrid LED 패키지 공정

LED 공정의 단순화 및 맞춤형 제품 제조가 가능한 새로운 기술로서 hybrid LED 패키지가 최근 제시되었다[4]. Hybrid LED 패키지는 기존의 패키지 공정과 모듈 공정을 하나로 합친 공정기술이며 Fig. 2와 같이 일체형 초정밀 광학패턴을 도입하여 시스템 공정에서 사용하는 광학부품을 일체화한 기술이다. LED 칩을 패키지 없이 PCB 위에 바로 실장을 한 후 LED 칩이 있는 부분만 형광체가 포함된 레진으로 덮어준다. 그 후 UV resin 등으로 PCB 를 덮어준 후 임프린팅 등의 방법으로 스탬프를 사용하여 초정밀 패턴을 표면에 인가하여 일체형 광학패턴을 만들면 제조가 완료된다. 이렇게 제조된 제품은 기존 모듈 공정이 완료된 후 나온 LED 모듈에 광학부품을 부착한 것과 동일한 상태이기 때문에 한 번의 공정으로 패키지, 모듈 그리고 일부 시스템 공정까지 모두 완료하게 된다. 또한 최종 제품의 광특성이 빛을 집중하는 제품일 경우에는 빛을 모아주는 광학패턴을 인가하고, 빛을 확산하는 제품일 경우에는 빛을 퍼뜨려주는 광학패턴을 인가하면 되므로 최종 제품의 특성에 맞는 맞춤형 제품을 제조할 수 있다. 공정이 대폭 간소화되며 광학부품도 삭제할 수 있기 때문에 원가절감이 가능하다. 또한 광학패턴에 따라 기존 제품에 비해 광효율이 향상되기 때문에 추가적인 원가절감이 가능한 장점을 가지고 있다.

이러한 hybrid LED 패키지를 제조함에 있어서 가장 핵심이 되는 기술은 레진 표면에 초정밀 광학패턴을 인가하는 기술이다. 특히 초정밀 광학패턴을 인가할 수 있는 스탬프를 제조하기 위해서는 초정밀 금형을 가공하는 기술이 가장 중요하다[5,6]. LED 칩을 PCB 위에 실장하는 것은 반도체 분야에서 사용되어 온 COB(Chip on Board)

기술과 유사하여 일부 산업체에서는 소량 양산하는 사례가 있으나 본 연구에 제시한 것과 같은 초정밀 광학패턴을 일체화한 제품은 찾아보기 힘들다. 그 이유가 바로 광효율을 증가시키는 초정밀 광학패턴을 제조할 초정밀 금형 가공 기술이 부족하기 때문이다.

### 3. 초정밀 광학패턴 설계 및 광특성 검증

#### 3.1 초정밀 광학패턴 설계

Hybrid LED 패키지의 일체형 광학패턴의 형상을 설계하기 위하여 광학시뮬레이션을 실시하였다. 본 연구에서 선택한 광학패턴은 기존 연구들[7-9]을 통해 광효율이 향상됨이 알려져 있는 사각피라미드 패턴이다. 이 패턴은 LCD 용 BLU에 광범위하게 사용되어온 프리즘 패턴을 X, Y 양방향으로 가공한 형태이기 때문에 프리즘 필름을 수직방향으로 두 장 겹쳐서 사용한 것과 유사한 광효율 향상 효과를 기대할 수 있다. 이와 더불어 프리즘 패턴이 광확산 효과는 없는 것에 반해 사각피라미드 패턴은 광확산 효과도 기대할 수 있는 패턴이다. 그러나 사각피라미드 패턴은 여러가지 장점에도 불구하고 가공이 어렵기 때문에 널리 사용되어 오지 못하였다. 기존 연구들에서는 소재의 결정방향을 이용한 에칭 공정을 통해 사각피라미드 패턴을 가공하였다. 그러나 에칭 공정은 대면적의 금형을 제작하기 어려우며 피라미드 꼭지점 각을 조절하는 것이 매우 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서 다이아몬드 공구 등을 이용하여 기계적 가공을 하는 것이 가장 바람직하다.

본 연구에서는 상용 광시뮬레이션 프로그램인 SPEOS를 사용하여 사각피라미드 패턴이 hybrid LED 패키지에서 어떠한 광학적 효과를 나타내는 지 검증하였다. LED는 1mm\*1mm의 청색 LED로 가정하였고 황색 형광체를 통과한 뒤 최종적으로 백색광이 되도록 하였다. LED는 25mm 간격으로 총 6개를 배치하였다. Hybrid LED 패키지의 전체 형상 및 패턴 형상을 Fig. 3에 나타내었다. LED 칩 위에 1mm 높이의 레진을 씌운 후 3mm 두께의 레진으로 PCB 전체를 덮었다. 레진 표면에 X, Y 방향으로 동일하게 높이 0.025mm, 피치 0.05mm의 사각피라미드 패턴을 생성시켰다. 사각피라미드 패턴이 없을 경우와 있을 경우의 조도와 휘도 값을 비교하여 패턴 효과를 검증하였다.

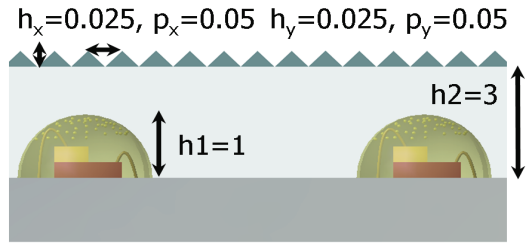


Fig. 3 Conditions of optical simulation (mm)

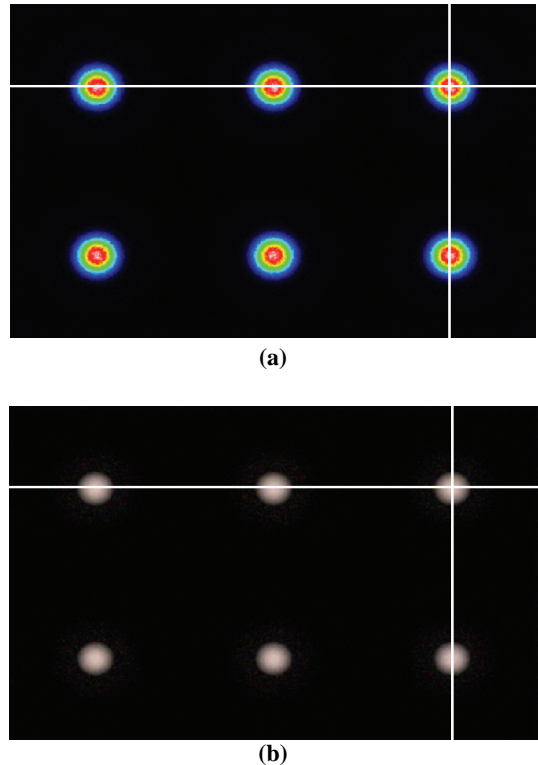
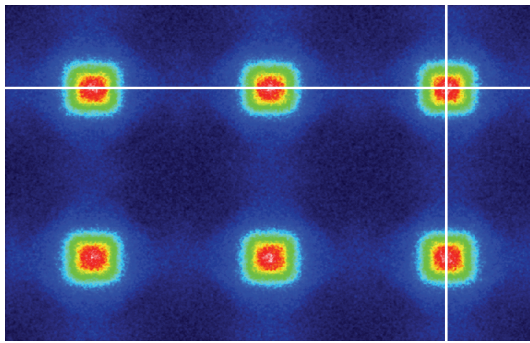


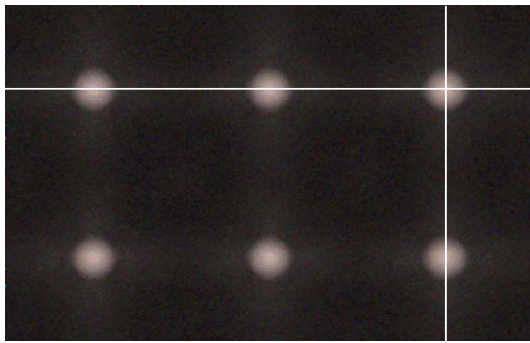
Fig. 4 (a) Illuminance and (b) luminance distribution of hybrid LED package with no pattern

#### 3.2 초정밀 광학패턴의 광특성 검증

Hybrid LED 패키지에 광학패턴이 없을 경우의 조도와 휘도 분포를 Fig. 4에 나타내었다. 조도와 휘도 분포 모두 LED가 위치한 곳에만 매우 밝게 나타나고 있다. 실제 제품이 이런 특성을 갖는다면 심한 눈부심 현상이 발생하기 때문에 광손실이 많은 불투명한 확산판 등을 추가로 사용하여야 한다. 이에 반해 사각 피라미드 패턴이 있을 경우에는 Fig. 5와 같이 조도와 휘도 분포 모두 LED 주변으로 넓게 퍼졌음을 알 수 있다. Hybrid LED 패키지 전체 평균값을 비교해보



(a)



(b)

**Fig. 5 (a) Illuminance and (b) luminance distribution of hybrid LED package with square pyramid pattern**

면 사각피라미드 패턴이 있으면 패턴이 없을 때와 비교하여 조도 값이 3.04 배 증가하였으며, 휘도 값은 2.67 배 증가하였다.

조도는 조명 분야에서 많이 사용하는 광특성으로서 일정 영역 내에 들어오는 모든 빛의 양을 의미한다. 이에 반해 휘도는 디스플레이 분야에서 많이 사용하는 광특성으로서 바라보는 한 방향으로 들어오는 빛의 양을 의미하며 보통은 디스플레이의 수직방향으로 들어오는 빛의 양을 의미한다. 일반적으로 조명과 디스플레이에서 사용되어온 광학부품으로는 프리즘 필름과 확산필름[10]이 있는데, 프리즘 패턴은 휘도를 높여주지만 조도는 높여주지 못한다. 확산 비드를 사용하는 불투명한 확산필름은 한 곳에 모인 빛을 퍼뜨려주기 때문에 조도는 상승시킬 수 있으나 휘도는 감소시키는 문제점이 있다. 그러나 본 연구에서 도입한 사각피라미드 패턴은 조도 값이 대폭 상승하였을 뿐만 아니라 휘도 값도 대폭 상승하였기 때문에 기존 광학부품에 비해

효과가 월등함을 알 수 있다. 또한 조도와 휘도가 모두 높아진 것은 빛의 양이 늘어난 것을 의미하기 때문에 최종 제품의 광효율도 대폭 상승할 것으로 예상되어 적은 수의 LED 로 동일한 밝기의 제품을 만들 수 있다. 추후 다양한 형상의 사각피라미드 패턴에 대해 시뮬레이션을 실시하여 최적화를 진행한다면 더 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 사각피라미드 패턴 금형 가공

사각피라미드 패턴이 광효율 향상 및 광확산 효과가 있는 것을 확인하였으므로 초정밀 광학패턴 인가에 필요한 스탬프 제작을 위한 초정밀 금형 가공을 실시하였다. Fig. 6 에 본 연구에서 사용한 초정밀 금형 가공기를 나타내었다. 가공시스템은 초정밀 리니어모터로 구동되며 X, Y, Z 축 스트로크는 각각 900mm, 900mm 그리고 100mm 이며, 반복정밀도는 0.5 $\mu$ m 이다. 공구형상각 90° 의 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 패턴을 가공하였다. 금형은 구리가 0.7mm 두께로 도금된 100×100mm 크기의 소재를 사용하였고, 경도는 비커스 경도 270Hv 였다. 패턴 형상은 Fig. 7 과 같이 X, Y 방향으로 동일하게 높이가 0.020mm, 피치 0.04mm 의 사각피라미드로 설정하였다. 앞서 시뮬레이션한 형상은 높이가 0.025mm, 피치 0.05mm 의 사각피라미드 패턴이지만 추후 최적화를 통해 패턴 크기가 작아질 것에 대비하여 더 작은 크기의 패턴을 선정하였다. 이러한 패턴을 형성하기 위하여 X 방향으로 5 $\mu$ m, 10 $\mu$ m, 8 $\mu$ m 그리고 1 $\mu$ m 깊이로 4pass 가공을 실시하였다. X 방향으로 프리즘 패턴과 같은 형상으로 가공이 완료된 후 금형을 90° 회전하여 앞서와 동일한 4pass 가공을 실시하여 최종적으로 사각피라미드 패턴을 가공하였다. 가공속도는 8,000mm/min 으로 설정하였다.

사각피라미드 패턴이 정상적으로 가공되었는지 확인하기 위하여 금형의 전부분을 광학현미경으로 측정하였고, 그 중 일부를 Fig. 8 에 나타내었다. 금형 전부분에 걸쳐 정상적으로 사각피라미드 패턴이 생성되었고, 배율을 확대하여 패턴 간의 피치를 측정하였을 때 0.04mm 로 정상적으로 생성되었음이 확인되었다. 패턴 표면에서 버도 관찰되지 않았다. 따라서 높이가 0.02mm, 피치 0.04mm 의 사각피라미드 패턴이 가공된

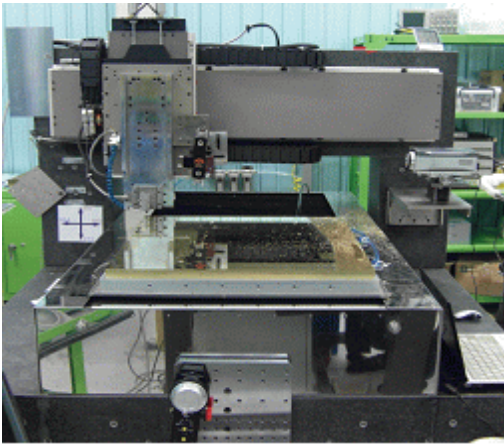


Fig. 6 Ultra-fine machining system

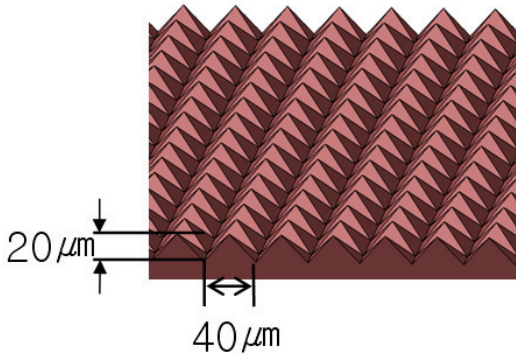
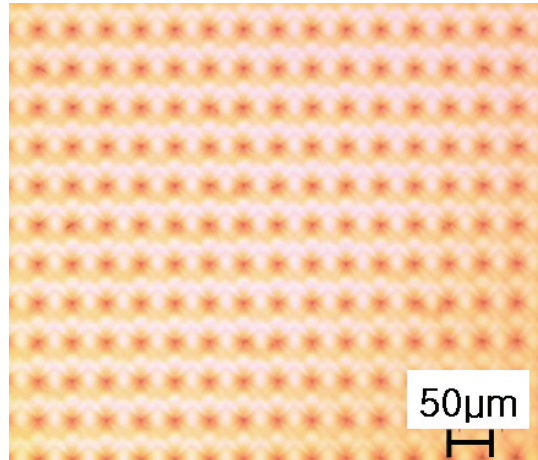


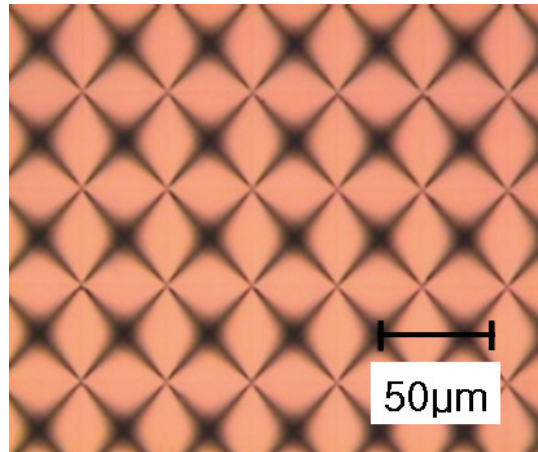
Fig. 7 Shape of machined square-type pyramid pattern

100×100mm 크기의 초정밀 금형을 얻을 수 있었다. 시뮬레이션 최적화에 따라 사각피라미드 패턴 크기가 작아지더라도 패턴 제조를 위한 스탬프 제작이 가능한 것이 증명되었다.

본 연구를 통해 hybrid LED 패키지에 사용될 사각피라미드 패턴의 광효율 향상 효과와 패턴 제조를 위한 금형 가공 가능성을 확인하였다. 추후에는 다양한 형상의 사각피라미드 패턴에 대한 시뮬레이션을 실시하여 패턴 형상 최적화를 실시할 계획이다. 또한 실제 LED chip 을 이용하여 hybrid LED 패키지의 무패턴 제품을 제조한 후 사각피라미드패턴이 가공된 스탬프를 사용하여 일체형 패턴을 제조할 예정이다. 이를 통해 hybrid LED 패키지의 광효율 향상효과를 실제로 검증하는 연구를 수행할 계획이다.



(a)



(b)

Fig. 8 (a) Machined shape and (b) Magnified photo of machined shape of square-type pyramid patterns

## 5. 결론

본 연구에서는 고효율 광학제품 제조를 위한 hybrid LED 패키지의 개념을 제시하였고 hybrid LED 패키지 제조를 위한 광학패턴 시뮬레이션 및 초정밀 금형 가공을 실시하였다. 이를 통해 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) LED 칩을 PCB 위에 직접 실장한 뒤 레진 표면에 일체형 광학패턴을 인가하는 hybrid LED 패키지는 LED 제품 제조공정을 획기적으로 줄일 수 있으며 맞춤형 제품을 만들 수 있는 장점이 있다.

(2) Hybrid LED 패키지의 일체형 광학패턴으로 높이가 0.025mm, 피치 0.05mm의 사각피라미드 패턴을 사용하면 조도는 약 3 배, 휘도는 약 2.6 배 증가하여 광효율이 대폭 상승한다.

(3) 초정밀 금형가공기를 사용하여 100×100mm 크기의 금형에 높이가 0.02mm, 피치 0.04mm의 사각피라미드 패턴 가공에 성공하였다.

(4) 이를 통해 hybrid LED 패키지의 일체형 패턴제조를 위한 초정밀 금형 가공이 가능함을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] Daco industry research center, 2009, State-of-art and forecast of LED and LED lighting, Jinhan M&B, pp. 5~14.
- [2] B. Bae, 2009, Lighting LED market forecast & Korea's LED lighting industry analysis, Displaybank, pp. 37~38.
- [3] H. S. Jeon, P. S. Huh, 2010, Analysis of chain-value of LED lighting industry, E-trends (ETRI), Vol. 25, No. 2, pp. 142~151.
- [4] E. C. Jeon et al., 2009, LED lighting apparatus having LED package integrated on circuit board and fabricating method thereof, Applied Korean Patent No. 2009-0126621.
- [5] T. J. Je et al., 2009, Influence upon machining accuracy of micro-pattern roll mold processed by temperature variation, Trans. of Materials Processing, Vol. 18, No. 2, pp. 107~111.
- [6] Y. E Yoo et al., 2006, A study on the manufacturing of micro-patterned light guide, Proc. Kor. Soc. Pre. Eng. 2006, pp. 534~535.
- [7] H. R. Saghai, A. Asgari, H. B. A. Nejad, A. Rostami, 2008, A study in optical properties of AlGaIn/GaN pyramid and prism-shape quantum dots, Physica E, Vol. 41, pp. 245~253.
- [8] N. Skoulidis, H. M. Polatoglou, 2005, Modeling the optical properties of Si-capped germanium quantum dots, Comp. Mater. Sci., Vol. 33, pp. 303~309.
- [9] M. Karl, D. Rulke, T. Beck, D. Z. Hu, D. M. Schaadt, H. Kalt, M. Hetterich, 2010, Reversed pyramids as novel optical micro-cavities, Superlattices and Microstructures, Vol. 47, pp. 83~86.
- [10] Y. M. Lee, J. H. Lee, E. C. Jeon, 2010, A study on an integrated light guide plate, Kor. J. of Optics and Photonics, Vol. 21, No. 2, pp. 53~30.