

50 μ m급 마이크로렌즈 적용 2인치 휴대폰 LCD-BLU 금형 개발 : 광학패턴의 세장비 영향

김종선¹· 고영배¹· 민인기²· 유재원²· 허영무¹· 윤경환²· 황철진[#]

A Study on the Fabrication Method of Mold for 2 inch LCD-BLU by 50 μ m Microlens : Effect of Different Aspect Ratio

J. S. Kim, Y. B. Ko, I. K. Min, J. W. Yu, Y. M. Heo, K. H. Yoon, C. J. Hwang

(Received November 16, 2006)

Abstract

LCD-BLU(Liquid Crystal Display - Back Light Unit) consists of several optical sheets: LGP(Light Guiding Plate), light source and mold frame. The LGP of LCD-BLU is usually manufactured by etching process and forming numerous dots with 50 μ m in diameter on the surface. But the surface roughness of LGP with etched dots is very high, so there is much loss of light. In order to overcome the limit of current etched dot patterned LGP, optical pattern design with microlens of 50 μ m diameter was applied in the present study. The microlens pattern fabricated by modified LiGA with thermal reflow process was applied to the optical design of LGP and optical simulation was carried out to know tendency of microlens patterned LGP simultaneously. The attention was paid to the effects of different aspect ratio(i.e. 0.2~0.5) of optical pattern conditions to the brightness distribution of BLU with microlens patterned LGP. Finally, high aspect ratio microlens patterned LGP showed superior results to the one made by low aspect ratio in average luminance.

Key Words : Micro-lens, Injection Molding, Back Light Unit, Light Guide Plate, Aspect Ratio, UV-LiGA

1. 서 론

LCD(Liquid Crystal Display)는 평판 디스플레이의 한 종류로 PDP와 함께 시장을 양분하고 있다 해도 과언이 아니다. 하지만 PDP는 대형디스플레이에 주로 이용되고 있고, 이에 반해 LCD는 휴대폰용 소형 제품부터 TV에 사용되는 대형디스플레이까지 적용범위가 넓은 편이다. 이중 휴대폰용 디스플레이에 사용되는 LCD는 크게 액정 패널, 구동회로, BLU(Back Light Unit)로 구성되고, 이중 액정 패널은 컬러필터, 배향막, 액정층, TFT(Thin Film Transistor), 액정용액 등으로 구성 되어 있고,

이중 BLU는 Fig. 1에 도시된 것과 같이 반사판, 도광판, BEF(Brightness Enhancement Film), 보호시트 등으로 구성되어 있다[1]. 이중에서 BLU의 구성 부품 중 도광판은 선광원인 CCFL이나 점광원인 LED의 광을 면광원으로 만들어주는 역할을 하며, 기존의 휴대폰용 도광판은 도광판 하부에 확산 개별 광학패턴을 인쇄하거나 부식 및 레이저 가공을 이용하여 가공된 광학패턴을 주로 사용해왔다. 하지만 기존에 사용되고 있는 부식패턴은 Fig. 2(a)와 같이 제작공정의 특성상 광학패턴의 표면 거칠기가 높아 표면에서 빛이 산란되어 손실되는 비율이 높고 LCD-BLU의 효율을 높이는 데 한계가

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀

2. 단국대학교 기계공학과 대학원

교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀,

E-mail: cjhwang@kitech.re.kr

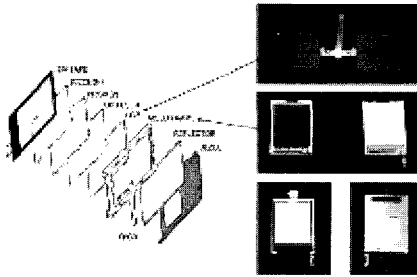
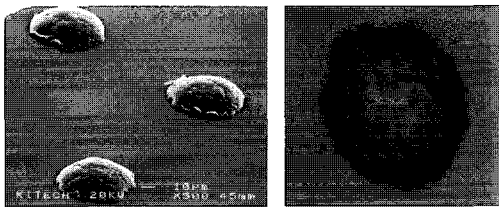
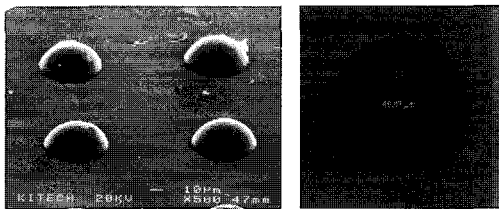


Fig. 1 Schematic diagram of LCD-BLU



(a)



(b)

Fig. 2 SEM image of (a) etching pattern and (b) micro lens pattern

있으며, 부식 공정은 도광판에 양각의 부식 패턴만이 가능하다. 또한, 개별 광학패턴의 크기 등 형상의 균일도 문제 때문에 개별 광학패턴 패턴의 정밀한 제어를 통한 고휘도의 도광판 개발이 힘들다는 사실은 아주 잘 알려져 있다. 따라서, 본 연구는 이와 같은 기존의 도광판의 한계를 뛰어넘기 위하여, 광학설계를 통한 최적화와 도광판의 핵심 광학 기술인 광학 패턴의 생성방법을 패턴제어가 가능하고 표면 거칠기가 수 나노급으로 가공할 수 있는 UV-LiGA 공정 기술을 이용하여 Fig. 2(b)와 같은 직경 수십 마이크로급의 마이크로 렌즈 패턴을 개발함과 동시에 이와 같이 만들어진 마이크로 렌즈 패턴의 세장비를 조절함으로써 도광판의 광특성에 미치는 영향을 밝히는 것을 목적으로 하였다.

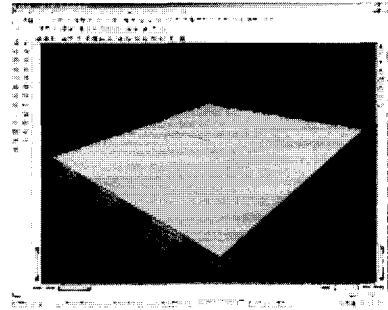
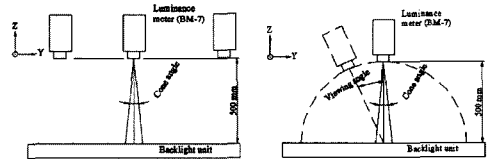


Fig. 3 Simulation model of microlens patterned LGP by SPEOS



(a)

(b)

Fig. 4 Measurement method of (a) spatial luminance and (b) angular luminance

2. 광학해석

2인치급 도광판을 설계하기 위해서 본 연구에서는 직경이 50 μ m인 반구형 마이크로 렌즈를 적용하였고, 휘도 조절은 광학패턴의 밀도를 조절하는 방법을 사용하여 광학패턴을 설계하였다. 이와 같은 설계에 의해 본 연구에 적용한 2인치급의 도광판에는 99,863개의 반구형 마이크로 렌즈가 적용되었다. 또한, 설계된 도광판의 광학특성을 평가하기 위해 광학 해석 프로그램인 OPTIS사의 SPEOS를 사용하였으며 광학해석 모델은 Fig. 3과 같은 전체 도광판 구조 중 백색 LED 3개, 0.8mm의 일정한 두께를 가진 도광판, 배면의 반사시트로 되어있으며, 입광부는 피치 50 μ m, 높이 25 μ m의 프리즘 패턴이 적용되었다. 또한, 도광판에 사용된 수지는 미쯔비시사의 H3700R로 굴절률이 1.59인 PC를 사용하였다. 이와 같은 조건을 바탕으로 Fig. 3과 같은 SPEOS 도광판 해석 모델이 완성되었다. 해석 과정은 동일한 패턴 밀도와 지름 50 μ m를 가지는 반구형 마이크로렌즈를 사용하였고 마이크로렌즈의 높이가 각각 10 μ m, 15 μ m, 20 μ m, 25 μ m를 가지는 음각 및 양각의 광학 패턴이 가공되는 경우를 해석하였다.

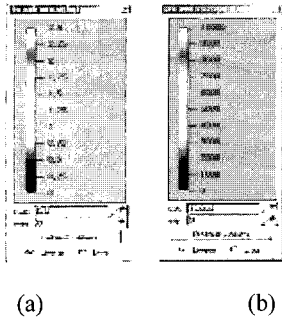


Fig. 5 Scale for (a) spatial luminance and (b) angular luminance

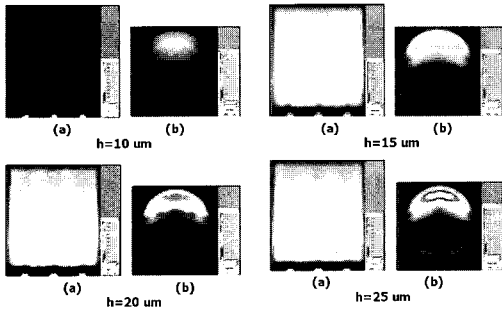


Fig. 6 Simulation result of (a) spatial luminance and (b) angular luminance in positive microlens patterned LGP

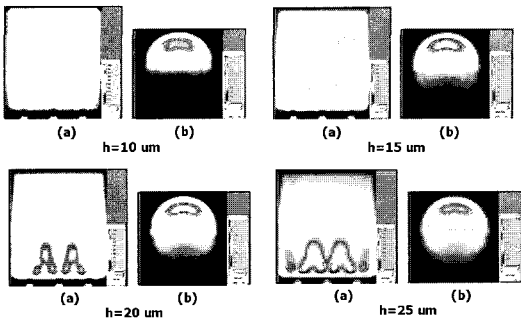


Fig. 7 Simulation result of (a) spatial luminance and (b) angular luminance in negative micro-lens patterned LGP

해석결과는 photometry 관점에서 Fig. 4(a)와 같이 단위면적을 통과하는 radiation flux를 측정하는 spatial luminance(휘도)와 Fig. 4(b)와 같이 시야각을 볼 수 있는 angular luminance를 해석하였다. 또한 각각의

Table 1 Simulation result of luminance and optical quality in positive microlens patterned LGP

Parameter	Positive patterned LGP			
	10	15	20	25
Pattern height (um)	10	15	20	25
Contrast	0.24	0.24	0.22	0.24
Average luminance (nit)	1,786	3,470	3,641	3,818
Luminance uniformity (%)	62	62	64	61
Coefficient of light utilization (%)	21	42	43	46
Viewing angle (°)	32	20	23	21

Table 2 Simulation result of luminance and optical quality in negative microlens patterned LGP

Parameter	Negative patterned LGP			
	10	15	20	25
Pattern height (um)	10	15	20	25
Contrast	0.25	0.31	0.45	0.57
Average luminance (nit)	4,909	5,649	5,955	6,053
Luminance uniformity (%)	60	52	36	27
Coefficient of light utilization (%)	58	65	68	69
Viewing angle (°)	30	30	30	30

해석결과는 Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)와 같은 척도(scale)를 사용하였다.

먼저 현재 부식에 의해서 만들어지는 도광판에 많이 쓰였던 광학패턴이 도광판의 양각으로 성형된 경우의 광학 해석 결과는 Fig. 6과 같다. 양각의 광학 패턴을 가진 도광판의 경우 세장비(aspect ratio)가 0.2로 낮은, 즉 10 μ m 높이의 반구형 마이크로 렌즈 광학패턴을 가진 경우 평균휘도가 1786 nit를 보이나, 세장비가 0.5인 높이 25 μ m의 반구형 마이크로 렌즈 광학패턴을 적용하면 3818nit로 2배에 가까운 평균휘도의 증가를 얻을 수 있다. 하지만 기존의 부식공정의 경우 언더컷 때문에 광학패턴의 높이를 15 μ m 이상 올리기가 힘들어 도광판에 입사되는 광을 최대한으로 이용하지 못하고 있는 실정이다. 또한 도광판에 음각으로 광학 패턴을 성형한 경우는 Fig. 7과 같이 광 이용도 면에서는 기존의 양각 도광판 보다 우수한 것을 볼 수 있다. 현 광학 패턴상에서 10 μ m의 음각 광학패턴의 경우 평균 휘도가 약 4909nit로 세장비가 0.5인 양각 도광판의 평균휘도를 넘어서고 있으며, 휘도 균일도도 60%로 큰 차이를 보이고 있다.

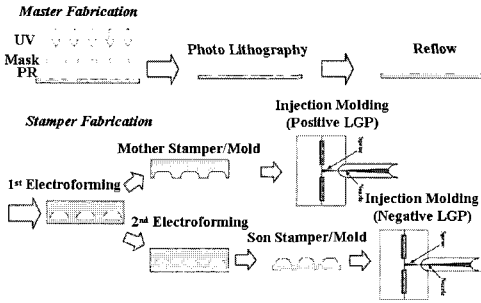


Fig. 8 Schematic diagram of LIGA-reflow process

이상의 결과를 Table 1, 2에 정리해보면, 현 설계 패턴의 경우 양각 BLU의 경우는 마이크로 광학 패턴의 높이를 25 μ m로 성형했을 때 높은 휘도와 균일도를 확보할 수 있으며, 음각의 BLU의 경우 마이크로 광학패턴의 높이를 증가 시킬수록 휘도는 상승하나, 또 다른 고려사항인 균일도를 충족시킬 수 없기 때문에 균일도 확보 측면에서 마이크로 광학패턴의 높이를 10 μ m로 성형할 수 있는 금형을 제작해야 한다. 본 결과에서 볼 수 있듯이 같은 광학 설계에서 단순히 광학 패턴을 음각이나 양각으로 성형 방법만 바꾸어서는 최적의 광학효과를 얻을 수 없으며 양각 BLU와 음각 BLU는 광학 설계가 달라야 함을 알 수 있다.

3. 마이크로 금형 가공

이와 같은 광학해석 결과를 바탕으로 본 연구에서 응용된 금형 가공방법은 LiGA 공정을 변형한 LiGA-reflow 공정을 이용하였으며, 금형 제작 공정은 (i) 식각 단계, (ii) reflow 단계, (iii) 전주단계(또는 도금단계) 등의 세 단계로 구성된다[2~3].

먼저 (i) 식각단계는 수 μ m에서 수백 μ m 정도의 두께를 갖는 PR(photo resist)을 노광시킨 후 현상액을 이용하여 현상하여 원하는 구조물을 만드는 단계이다. 노광을 위해 UV를 잘 투과시키는 부분과 잘 흡수하는 부분으로 되어 있는 mask를 활용한다. 본 연구에서는 film mask를 활용했다.

이렇게 빛에 조사된 부분과 mask에 의해 조사되지 않은 부분의 차이에 의해 분자구조가 변한 PR 부분이 특정 화학약품에 쉽게 용해되는 특성을 이용해 현상하는 공정을 통해 Fig. 9(a)와 같은 PR 구조물을 얻는다. 또한 Fig. 9(b)는 만들어진 PR 구조물을 광학현미경을 사용하여 측정하였고, Fig. 9(c), (d)는 3D-profiler를 사용하여 측정한

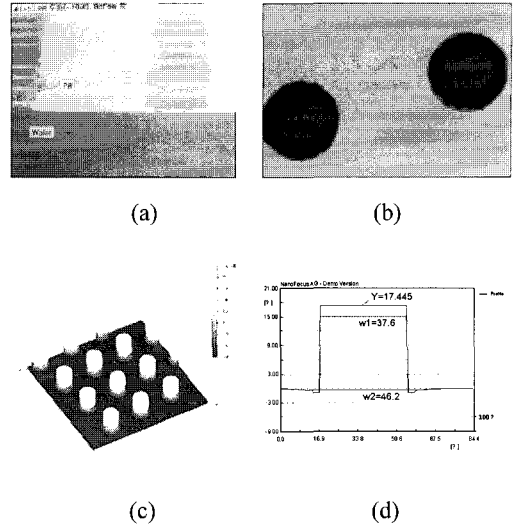


Fig. 9 The image of positive microlens PR pattern ((a) SEM, (b) microscope, (c), (d) 3D-profiler)

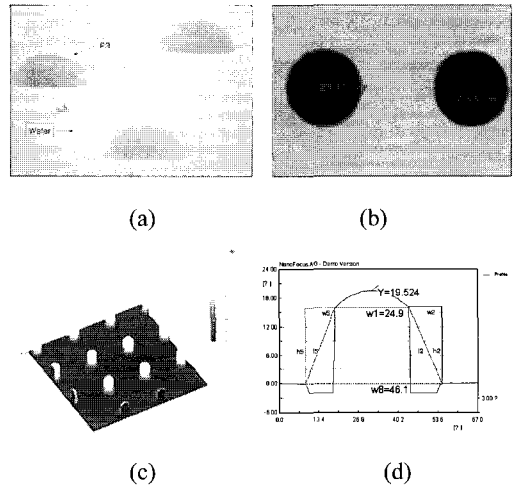


Fig.10 Image of Positive reflowed PR((a) SEM, (b) microscope (c), (d) 3D-profiler)

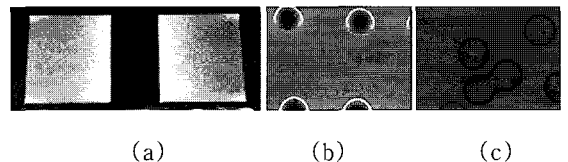


Fig.11 Micro-lens patterned micro-mold(negative pattern mold: (a) mold, (b) SEM image, (c) 500x optical image

결과이다. 만들어진 PR구조물은 높이가 17.445 μm , 지름이 46.2 μm 의 원기둥형상을 가지고 있다. (ii) 식각 단계에서 얻은 PR 형상은 reflow 공정을 위해서 주로 원기둥 모양을 가지게 되는데, 이를 유리전이 온도(T_g)보다 높은 140 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 유지되는 오븐에 넣어 30분 동안 reflow를 시키면 표면장력에 의해 반구형 마이크로렌즈 형상으로 가공된다. 이러한 LiGA-reflow 공정은 다른 공정과 달리 마이크로렌즈 형상을 가공하는 간단한 방법이지만 수 나노 정도의 표면 거칠기를 갖게 되는 우수한 특징을 가지고 있다[4]. 이와 같은 LiGA-reflow공정을 통해 반구형 마이크로렌즈가 제작되며, Fig. 10(a), (b)는 원기둥 모양의 PR이 reflow공정 후 반구형 마이크로렌즈 형상으로 변화되는 것을 보여주기 위해 촬영한 SEM과 광학현미경 사진이고, Fig. 10(c), (d)는 3D-profiler를 사용하여 측정된 결과이다. reflow공정을 통해 만들어진 마이크로렌즈 형상은 높이가 19.54 μm , 지름이 46.1 μm 을 가지고 있다. (iii) 이와 같이 LiGA-reflow 공정을 통해 얻은 마이크로렌즈 형상의 PR구조물을 이용해 마이크로 패턴을 그대로 복제하는 초정밀 전주공정을 통해 전주된 금형(Fig. 11)을 얻을 수 있다. 같은 방법으로 직경은 50 μm 이고, 높이는 15 μm 인 금형을 제작하여, 마이크로렌즈의 높이를 직경의 비로 정의 되는 세장비(aspect ratio)가 각각 0.3과 0.4인 금형을 제작하였다.

4. 사출 성형품의 전광특성

LiGA-reflow 공정과 초정밀 전주공정을 통해 만들어진 높이 20 μm 와 15 μm 의 반구형 마이크로렌즈 광학패턴 금형을 이용한 제품을 성형하기 위하여 사용된 사출성형기는 FANUC 사의 ROBOSHOT 50톤을 사용하였으며, 미세사출성형을 위한 성형조건으로는 2 인치 2-cavity 도광판 금형의 전체 충전시간을 0.4 초로, 사출속도를 금형 cavity 부분에서 100mm/s 으로 설정하였다. 또한 미세패턴의 성형성에 가장 크게 영향을 미칠 것으로 예상한 사출온도(노즐부)는 315 $^{\circ}\text{C}$, 금형온도는 110 $^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다. 이와 같은 조건으로 사출성형을 실시하여, Fig. 12 에 도시한 2-cavity 금형으로 도광판을 사출성형 하였다[5].

사출성형된 도광판을 포함한 LCD-BLU 의 휘도는 Fig. 13(a)와 같이 spatial luminance (휘도)를 측정

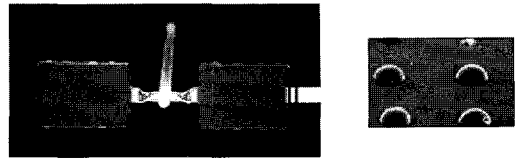


Fig.12 Injection-molded LGP for cellular phone

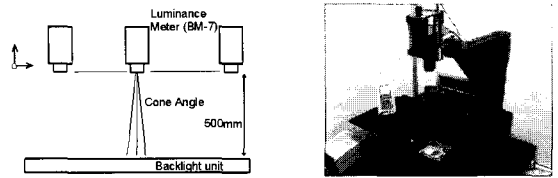


Fig.13 Luminance measurement : (a) schematic diagram and (b) apparatus setup

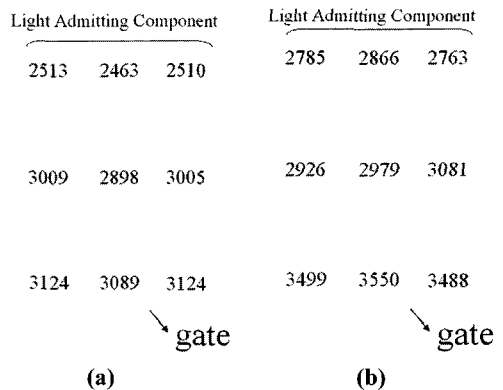


Fig.14 A result of spatial luminance measurement : (a)pattern height: 15 μm , avg. luminance: 2,859nit, (b)pattern height: 20 μm , avg. luminance: 3,104nit

하였으며, 측정기로는 Fig. 13(b)에 도시한 것 같이 BM7을 사용하였다. 또한 측정 지점은 일반적으로 많이 사용하는 9점 평균 휘도를 사용하였으며 각 측정점의 위치는 Fig. 14와 같다. BM7을 이용한 휘도 측정 결과, 반구형 마이크로렌즈의 높이가 15 μm 인 경우 9점 평균휘도가 2,859nit, 20 μm 인 경우 3,104nit를 얻었다.

하지만 광학 해석결과와 다르게 입광부에 비해 입광부에서 먼부분이 휘도가 높은 것은 사출성형시 금형의 게이트(gate)가 입광부의 반대방향에 위치해 마이크로 렌즈 광학패턴의 전사성(replication quality)이 떨어지기 때문이다.

5. 결 론

참 고 문 헌

기준에 사용되고 있는 부식에 의한 광학 패턴을 대체하기 위해 도입한 마이크로렌즈형태의 광학 패턴의 경우 부식 패턴에 비해 세장비를 높일 수 있는 장점을 가지고 있으며, 이렇게 만들어진 높은 세장비는 기존에 설계되어 있는 양각의 도광판의 광학패턴을 대체하여 보다 고휘도의 도광판을 생산할 수 있다는 결과를 얻었다. 하지만 높은 세장비를 가지는 마이크로렌즈 형태의 광학 패턴의 경우 사출성형 공정에서 광학 패턴의 충진률이 떨어질 수 있는 문제를 가지고 있어 사출성형 공정에서 세심한 주의가 필요할 것으로 생각된다. 또한 높은 세장비를 가지는 광학 패턴의 대안으로 기존에 사용되고 있는 양각의 광학패턴보다 광 이용도가 뛰어난 음각의 광학 패턴의 도입을 통해 고 휘도의 LCD-BLU 개발이 가능함을 보여주었다.

후 기

본 연구는 2010 생산기반혁신기술개발사업 중 <기능성 고분자소재 성형용 마이크로 금형시스템 과제>의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

- [1] T. Nagahara, A. Fukui, 2001, Light-Guide Plate for Liquid Crystal Display, Matsushita Technical Journal, Vol 47, No. 3, pp. 2~6.
- [2] M. H. Wu, G. M. Whitesides, 2002, Fabrication of two-dimensional arrays of microlens and their applications in photolithography, J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 12, pp. 747~758.
- [3] S. Moon, N. Lee, S. Kang, 2003, Fabrication of a microlens array using micro-compression molding with an electroformed mold insert, J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 12, pp. 98~103.
- [4] D. S. Kim, S. S. Yang, S. K. Lee, T. H. Kwon, S. S. Lee, 2003, Physical modeling and analysis of microlens formation fabrication by a modified LIGA process, J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 13, pp. 523~531.
- [5] Y. C. Su, J. Shah, L. Lin, 2004, Implementation and analysis of polymeric microstructure replication by micro injection molding, J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 14, pp. 415~422.