

가열용융 방법에 의한 Ge-BPSG 마이크로렌즈 어레이 제작

정진호[†] · 오진경 · 최준석 · 최기선 · 이형종

전남대학교 물리학과

Ⓣ 500-757, 광주광역시 북구 용봉동 300번지

배병성

경희대학교 정보디스플레이학과

Ⓣ 130-701, 서울특별시 동대문구 회기동 1번지

(2005년 2월 2일 받음, 2005년 7월 20일 수정본 받음)

화염가수분해 증착법(FHD : Flame Hydrolysis Deposition)으로 제작된 Ge이 첨가된 BPSG(Boro-Phospho-Silicate-Glass)막의 표면을 절단톱(dicing saw)을 이용하여 일정한 깊이로 절단함으로써 각 단위 마이크로렌즈 셀들을 형성시켰다. 또한 절단된 각 단위 마이크로렌즈 셀들을 가열용융(thermal reflow) 방법을 이용하여 1200℃에서 가열용융시킴으로써 직경이 53.4 μm인 마이크로렌즈 어레이를 제작할 수 있었다. 이 때 렌즈간 간격은 70 μm, 렌즈 두께는 약 28.4 μm이었다. 제작된 마이크로렌즈 어레이의 형상을 이미지 프로세스로 분석하였으며, 초점거리는 62.2 μm이었다.

본 제작방법은 일반적인 사진식각 공정을 이용한 마이크로렌즈 제작보다 간단하면서도 저렴한 비용으로 제작이 가능하다. 또한 곡률반경의 조절이 용이하고, 보다 정밀하며 다양한 마이크로렌즈 어레이를 구현할 수 있다.

주제어 : Micro-lens array, FHD, Ge-BPSG, Dicing saw, Thermal reflow.

I. 서 론

마이크로 광학 소자는 집적 광소자 및 광신호 처리 등의 응용 분야에 유용하게 사용될 수 있는 정밀한 소자이다. 이중 대표적인 마이크로렌즈는 빛의 집속 및 빔 형태의 변화를 통해 광연결의 효율을 높임과 함께 신뢰성 있는 시스템 구축에 기여할 수 있다. 최근에는 반도체가공 또는 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 가공기술을 사용하는 광학소자 집적화의 발전과 더불어 각국에서는 광연결을 위한 여러 가지 고효율, 고정밀도의 마이크로렌즈를 설계, 제작하고 있다.^[1]

마이크로렌즈는 적용 분야에 따라 그 크기가 수 μm에서 수 mm까지 매우 다양한 크기를 가지며, Lippmann^[2]에 의해 제안된 집적 영상(integral photography)에서 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 광검출기 어레이(detector array)^[3]의 효율을 높여는데 사용된다. 그리고 광처리(digital optical processing)나 광컴퓨팅(optical computing) 분야에서는 어레이 조명기(array illuminator)나 내부 연결소자로 쓰이고 있다.^[4] 또한 광통신 분야^[5]에서는 광 연결(optical interconnect)에 이용하여 광접속 효율향상, 광경로 변화 및 광세기 분포 제어 등에 응용되고 있으며 디스플레이 분야^[6]에서도 액정표시장치(LCD : Liquid Crystal Display), 개인휴대정보단말기(PDA : Personal Digital Assistant), 화상 센서(image sensor) 등의 휘도(brightness), 감도(sensitivity) 향상을 위하여 사용되고 있다.^[7]

마이크로렌즈의 종류에는 사용 가능한 파장에 따라 가시광선 영역과 적외선 영역에서 사용가능한 렌즈로 나눌 수 있고 또한, 이용방법에 따라 회절효과를 이용한 Fresnel형 마이크로렌즈와 전통적인 굴절형 마이크로렌즈로 분류할 수 있다. 특히, Fresnel형 마이크로렌즈의 경우 렌즈의 부피 및 무게를 최소화 할 수 있는 장점을 갖고 있으나 광학적 특성은 굴절형 마이크로렌즈가 더 우수한 특성을 갖는 것으로 알려져 있다.^[8]

마이크로렌즈의 제작방법에는 기판 직접 가공인 레이저 또는 플라즈마에 의한 기판 직접 가공법과 기판의 굴절률을 국부적으로 변화시키는 이온교환법 등이 있다. 그리고 기판 위에 별도의 구조층을 적층하여 렌즈를 형성하는 방법으로 잉크젯 법(computer controlled inkjet method), 플라스틱 성형사출법(plastic molding and intrusion), 포토레지스트 리플로우법(photoresist reflow) 등이 있다.^[9]

본 연구에서는 디스플레이 소자, 광 송수신기 및 광통신에서의 광섬유 간 접속 등에 이용하여 접속 손실의 감소 및 능동 소자와의 원활한 패키지에 활용될 수 있는 굴절형 마이크로렌즈 어레이를 제작하고 그 특성을 분석하였다. 설계된 마이크로렌즈 어레이는 렌즈반경이 28 μm, 렌즈간 간격이 70 μm로 설계하였으며, Ge이 첨가된 BPSG 막을 표면절단 공정과 가열용융 방법을 이용하여 제작하였다.

II. 실험 및 결과

본 연구에서 사용한 유리막은 Ge이 첨가된 BPSG 막으로

[†]E-mail: jh-poel@chonnam.ac.kr

서 화염 토치에 박막의 재료 가스를 흘려 넣어 산화물 미립자를 증착하는 화염가수분해 증착법과 고온에서 산화물 미립자를 녹여 유리막으로 만드는 고밀화(consolidation) 공정으로 제작되었다. 화염생성에는 산소와 수소를 사용하고, 재료가스로는 SiCl_4 , POCl_3 , $\text{B}(\text{CH}_3\text{O})_3$, GeCl_4 등을 사용하였다. 투입된 재료 가스는 화염 속의 고온 수증기와 반응하여 실리콘 기판 위에 산화물 미립자(soot) 층을 만든 후, 1100°C 정도의 전기로에서 기판 위의 미립자를 고밀화함으로써 Ge이 첨가된 BPSG 막을 제작하였다.^[10] 제작된 유리막은 SiO_2 90mol%와 첨가제(B_2O_3 , P_2O_5 , GeO_2)가 10mol%의 구성비를 갖는 비정질 유리상을 이루었으며, 광원 파장이 1310 nm인 프리즘 커플러(prism coupler)를 사용하여 측정된 결과 증착 두께는 $22.93 \mu\text{m}$, 굴절률은 1.4459 이었다.

제작된 유리막에 마이크로렌즈 어레이를 구성하기 위해서는 일정한 주기의 패턴을 형성해야만 한다. 본 실험에서는 일반적인 사진식각 공정을 배제하고, 절단톱(dicing saw)을 이용하여 유리막과 실리콘 기판 상부 일부까지만 절단되도록 절단 깊이를 조절한 후, 단면이 U자 홈 모양이 되도록 절단하여 가로 및 세로 배열의 각 단위 마이크로렌즈 셀을 제작하였다.

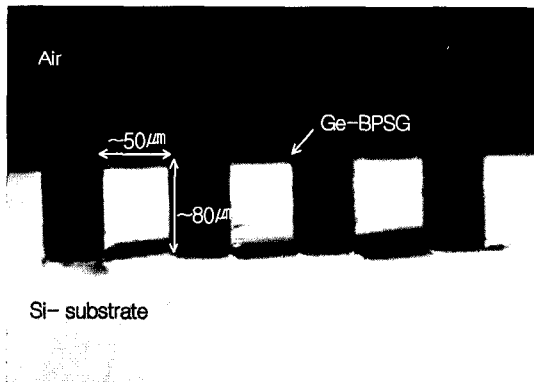
그림 1은 Ge이 첨가된 BPSG 막을 폭이 $70 \mu\text{m}$ 인 절단 톱날(dicing blade)로 절단깊이가 $80 \mu\text{m}$, 면적이 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 인 정사각형 형태를 갖는 규칙적인 모자이크 패턴으로 절단한 것을 광학현미경(Nicon Eclipse L200)으로 확대한 사진이다.

이와 같이 제작된 모자이크형 유리막 패턴 셀을 실리콘 기판 용융온도와 유리막 용융온도 사이에서 적절한 열처리 온도를 설정하여 전기로에서 가열용융하여 마이크로렌즈 어레이를 제작하였다.

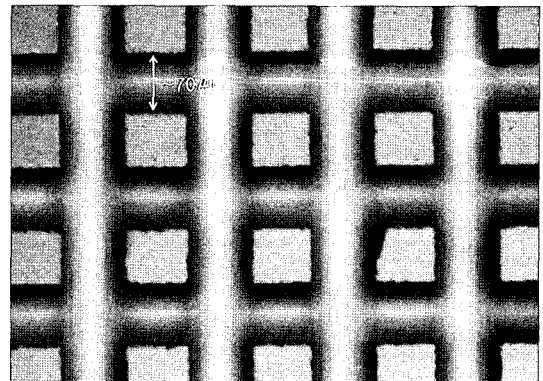
그림 2와 3은 전기로에서 1200°C 에서 20분 동안 가열용융하여 제작된 마이크로렌즈를 전자주사현미경(SEM : Scanning Electron Microscope)을 이용하여 측정된 사진이다.

면적이 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$, 두께가 $22.93 \mu\text{m}$ 인 Ge이 첨가된 BPSG 막으로 제작된 육면체 모양의 각 단위 마이크로렌즈 셀을 가열용융 후 측정된 결과, 직경이 $53.4 \mu\text{m}$, 두께가 $28.4 \mu\text{m}$ 인 반구면 형태의 렌즈를 얻을 수 있었다. 이와 같이 반구형의 렌즈 형상을 갖게 됨은 가열용융을 통하여 임의의 기판 상에 액체가 놓이게 되면 액체 표면은 표면장력에 의해 구면을 이루려는 원리를 이용한 것이다.^[11]

그림 4는 제작된 마이크로렌즈의 SEM 사진(그림 3a)으로부터 이미지 분석법을 이용하여 렌즈의 경계를 추출하고 이

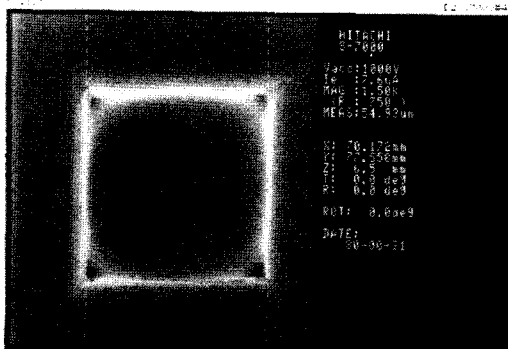


(a) 단면 사진 (×100)

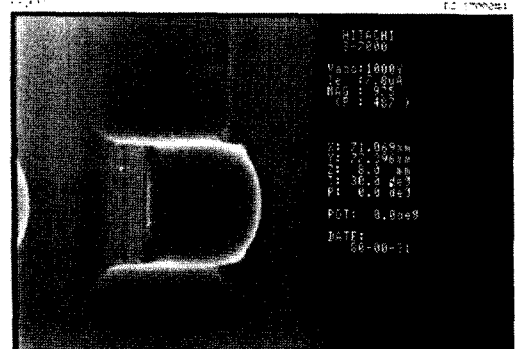


(b) 평면 사진 (×100)

그림 1. 모자이크형 유리막 패턴 셀의 형태.

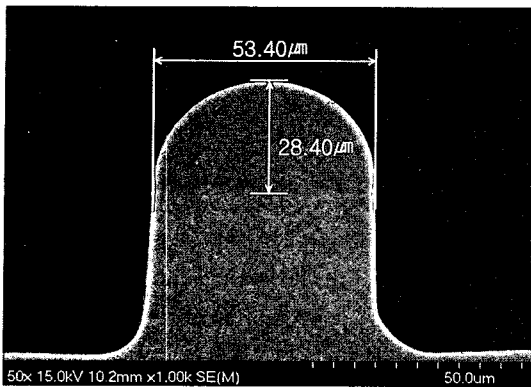


(a) 평면 사진

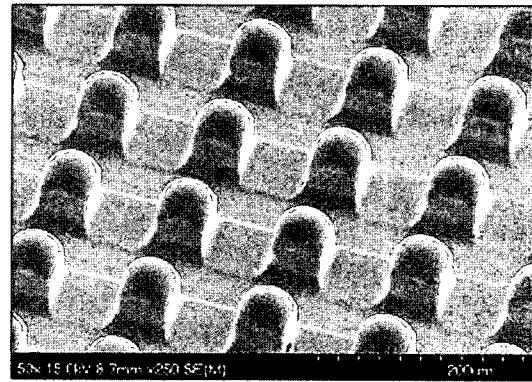


(b) 30° 기울여 찍은 평면 사진

그림 2. SEM으로 측정된 마이크로렌즈의 평면 형태.



(a) 단면 사진



(b) 45° 기울여 찍은 평면 사진

그림 3. SEM으로 측정한 마이크로렌즈의 단면과 어레이 형태.

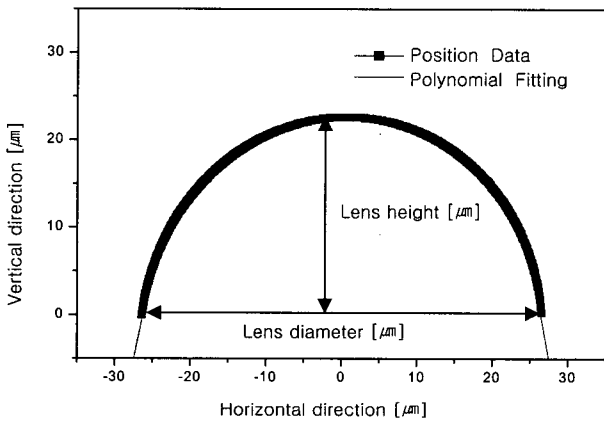


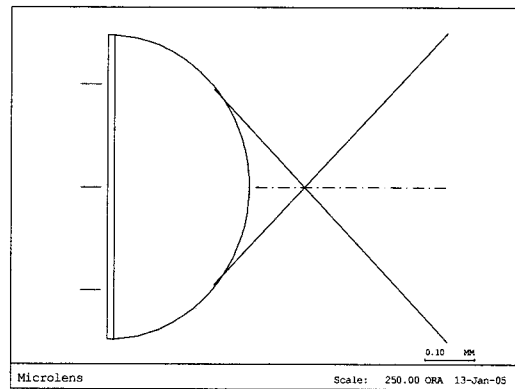
그림 4. 마이크로렌즈 단면의 경계 추출과 렌즈 곡선 방정식을 맞춤(fitting)한 결과.

를 좌표화한 것이다. 이 결과를 사용하여 렌즈단면의 방정식을 고차다항식 맞춤 (polynomial curve fitting)으로 구하였으며 그 결과는 식(1) 및 표-1과 같다.

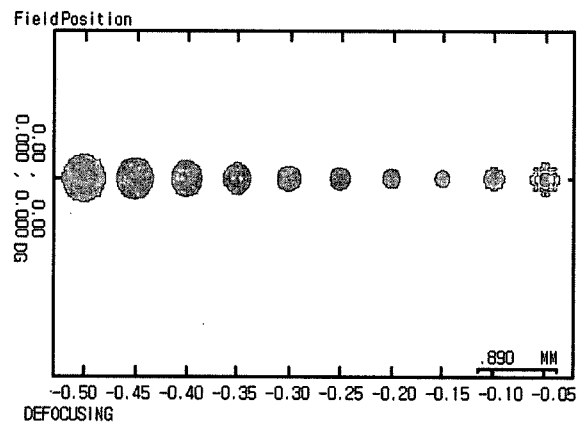
$$y = 28.4 + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + B_4X^4 \quad (1)$$

제작된 마이크로렌즈의 경우 식 (1)에서 렌즈의 곡률반경을 계산한 결과 28.4 μm이었다.

그림 5에서 (a)는 입사광의 동공(aperture)을 렌즈와 공기 계면의 임계각 범위로 설정하여 계산하였으며, 이 때 계산에 사용된 광파장은 1310 nm이다. 제작된 마이크로렌즈의 경우



(a) 설계된 렌즈의 형상과 광선도



(b) 변초점(defocus)에 따른 점(spot)의 분포

그림 5. 설계된 마이크로렌즈의 형상과 변초점(defocus)에 따른 점(spot)의 분포.

표 1. 마이크로렌즈의 단면 곡선 $y = 28.4 + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + B_4X^4$ 의 고차다항식 맞춤기 계수값단위 ; (μm)

| B_0 | B_1 | B_2 | B_3 | B_4 |
|-------|----------|----------|----------|-----------|
| 28.4 | 2.443E-3 | -1.42E-4 | 6.743E-8 | -4.172E-9 |

단면의 곡선 방정식과 BSPG 막의 굴절률 값을 이용하여 초점거리를 계산한 결과 62.2 μm이었다. (b)는 경계 추출과 고차다항식 맞춤으로 결정된 곡률반경이 28.4 μm인 마이크로렌즈에 대하여 ORA사의 CODE V를 이용하여 결상면의 위

치에 따른 점(spot)의 분포를 계산한 결과이다. 렌즈 면을 격자 그리드로 나누어 각 그리드에서부터 광이 입사될 때 그 결상을 나타내었다. 여기서, 렌즈의 초점은 결상 면을 통과하는 좌표들의 RMS(Root Mean Square)을 구하여 그 편차가 최소가 되는 점으로 정의하였다.^[12]

그림 6은 광학 설계된 마이크로렌즈의 점(spot)의 분포를 분석하기 위해 파장 1310 nm인 근적외선 영역의 평행광을 제작된 마이크로렌즈 어레이에 입사시켜 그 초점을 IR CCD (Infrared Charge Coupled Devices)와 현미경으로 자체 제작한 적외선 영상계측 시스템으로 사진 촬영한 결과이며 양호한 결상능력을 확인할 수 있었다.^[13]

사각형의 유리막을 가열 용융하여 렌즈를 제작할 때에 렌즈면을 형성하는 구동력으로서 표면 에너지는 렌즈 표면에 비례하며, 점성 유동시 물질의 이동은 물질의 부피와 온도에 따른 유체의 점성계수에 크게 의존한다. 따라서 렌즈의 크기가 작거나 유리막의 두께가 렌즈의 폭에 비하여 적정 비율로 클 경우에는 그림 2에서 보는 바와 같이 유리의 표면에 너지로 인하여 렌즈의 전면에 대해 구면을 잘 형성한다. 그러나 렌즈의 크기가 크거나 유리막의 두께가 렌즈 폭에 비하여 작은 경우에는 사각형의 모서리와 꼭지점 부분은 구면이 왜곡될 수 있으며 그 정도는 렌즈의 크기와 렌즈 폭에 대한 유리막 두께의 비 및 용융온도와 용융조건에 따라 달라진다. 본 연구의 모델링(modeling)에서는 렌즈 꼭면을 회전대칭으로 가정하여 계산하였다. 정사각형의 마이크로렌즈 어레이에서는 유효 렌즈부를 정사각형의 내접원으로 가정한 경우에 그림 2와 같이 유효 렌즈 면적비(fill-factor)는 78%이며 내접원 내에 임계각이 존재할 경우 유효 렌즈면적은 더 작을 것 같다.

III. 결 론

본 연구에서는 수 μm 에서 수 mm까지 다양한 크기의 마이크로렌즈 어레이를 제작하기 위하여 일반적으로 사용되는 사



그림 6. 마이크로렌즈 어레이 초점들.

진식각 공정을 배제하고, Ge이 첨가된 BPSG 막을 표면절단 공정과 가열용융 방법을 사용하였다. 먼저, 각 단위 마이크로렌즈 셀을 절단톱을 이용한 표면절단 공정으로 셀 간격이 70 μm 이고, 표면적이 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 크기의 셀을 얻었다. 그리고 1200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 20분 동안 가열용융을 통하여 직경이 53.4 μm 와 두께가 28.4 μm 인 마이크로렌즈 어레이를 제작하였다.

제작된 마이크로렌즈 어레이에 파장 1310 nm인 근적외선 영역의 평행광을 렌즈에 입사시켜 그 초점을 IR CCD와 현미경으로 자체 제작한 적외선 영상계측 시스템으로 사진 촬영한 결과 양호한 결상능력을 확인할 수 있었다. 이와 같이 우수한 표면 형태를 갖는 보다 정교한 마이크로렌즈를 제작하기 위해서는 우선적으로 유리막 두께와 용융온도에 따른 렌즈면의 형성과정을 점성유체의 열거동 해석법을 사용하여 해석할 필요가 있다. 또한, 이 같은 해석으로 렌즈면 형성을 예측하고 제작된 렌즈면의 왜곡을 정밀 측정함으로써 렌즈면 수차의 보정이 이루어져야 할 필요가 있다.

본 제작방법은 기판 표면상에 수십 μm 크기의 미세 절단이라는 간단한 방법으로 다양한 형태의 마이크로렌즈 어레이가 가능하기 때문에 기존의 포토레지스트 등의 재료를 이용하여 기판 표면에 렌즈를 제작하고 이를 기판 유리층에 전사시키는 기존의 방법들에 비하여 저가격화, 고부가가치의 마이크로렌즈 어레이를 대량 생산할 수 있다. 또한, 마이크로렌즈 셀을 가열 용융하는 방식으로 제작함으로써 마이크로렌즈의 표면이 매끄럽게 처리되어 고품질을 갖는 마이크로렌즈 어레이를 얻을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 광주·전남 테크노파크가 지원하고 있는 5차년도 연구 개발 사업 중 신기술 연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] S. Sinzinger and J. Jahns, *Microoptics*(Wiley-VCH, Weinheim, 1999).
- [2] M. G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief," *J. de Phys.* .Vol. 7, pp. 821-825, 1908.
- [3] S. Chen, X. Yi, M. He, and X. Zhang, "Research on hybrid device of Si microlens arrays with long focus and IR detector arrays," *25th Infrared and Millimeter Waves Conference Digest*, pp. 147-148, 2000.
- [4] 김철세, 김재도, 윤경구, "엑사이머 레이저를 이용한 마이크로렌즈 제작," *한국정밀공학회지*, Vol. 20, No. 2, pp. 33-39, 2003.
- [5] M. He, X.-C. Yuan, N.Q. Ngo, J. Bu, and S.H. Tao, "Low-cost and efficient coupling technique using reflowed sol-gel microlens," *Opt. Express*, Vol. 11, No. 14, pp. 1621-1627, 2003.

- [6] C. P. Lin, H. Yang, and C. K. Chao, "Hexagonal microlens array modeling and fabrication using a thermal reflow process," *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 13, pp. 775-781, 2003.
- [7] 조재걸, 송정환, 정선태, 오윤경, "FHD를 이용한 구형 마이크로 렌즈 제작," *한국광학회 제13회 광자기술 학술회의 논문집*, FP23, 2004.
- [8] 박광범, 김인희, 정석원, 김건년, 문현찬, 박효덕, 신상모, "Thermal Reflow법에 의한 마이크로렌즈의 제작 및 그 특성," *한국광학회 동계학술발표회 논문집*, FC-II14, 2000.
- [9] 김용권, "Optical MEMS 연구동향," *서울대학교 반도체 공동연구소 소식지*, 제32호, 2001.
- [10] M. Kawachi, "Silica waveguides on silicon and their application to integrated-optic components," *Opt. Quantum Electron.*, Vol. 22, pp. 391-416, 1990.
- [11] M. N. Rahaman, *Ceramic Processing and Sintering*(Marcel Dekker, Inc., N. Y. 1995).
- [12] Daniel Malacara and Zacarias Maracara, *Handbook of Lens Design*(Marcel Dekker, Inc., N. Y. 1994), Chapter 10.
- [13] 성승훈, 조두진, "그레이스케일 마스크를 이용한 미소 렌즈 배열의 제작," *한국광학회지*, Vol. 13, No. 2, pp. 117-121, 2002.

Ge-doped Boro-Phospho-Silicate Glass Micro-lens Array Produced by Thermal Reflow

Jin-ho Jeong[†] · Jin-Gyeong O · Jun-Seok Choi · Gi-Seon Choi and Hyeong-Jong Lee
Chonnam National University, Department Of Physics, 500-757, 300, Yongbong-dong, Buk-gu, Gwangju, Korea

Byeong-Seong Bae

Kyung Hee University, Department Of Information Display, 130-701, 1, Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul, Korea

[†]E-mail: jh-poel@chonnam.ac.kr

(Received February 2, 2005, Revised manuscript July 20, 2005)

Microlens cells of Ge-doped BPSG (Boro-Phospho-Silicate Glass) are fabricated by dicing the film produced by FHD (Flame Hydrolysis Deposition). Microlens arrays of 53.4 μm square unit are produced by the thermal reflow of the diced unit cells at 1200 $^{\circ}\text{C}$. The gap between the microlenses was about 70 μm and the thickness of the produced lens was about 28.4 μm . We analyzed the reflowed shape of the microlens cell by an image-process technique, and the focal length was about 62.2 μm .

This method of fabricating a microlens is simple and inexpensive compared to the conventional method using the photolithographic process. Also, the control of the radius of curvature of the microlens is easier and a more precise microlens array of various types can be fabricated using this method.

OCIS Codes : 080.0080, 080.3620, 080.3630, 350.0350, 350.3950.