

Stereolithography 기술을 이용한 마이크로 펌프 제작

이 영태*, 서 희돈**

Fabrication of the Micro-pump using Stereolithography Technology

Young-Tae Lee*, Hee-Don Seo**

요 약

본 논문에서는 stereolithography 기술을 이용하여 마이크로 펌프를 제작했다. 펌프는 구동에 PZT를 사용하고, diffuser/nozzle 개념의 non-movable 밸브를 사용하여 제작했다. 펌프의 크기는 챔버 14mm ϕ , diffuser/nozzle의 크기는 좁은 쪽의 구멍은 0.5mm ϕ , 넓은 쪽의 구멍은 1mm ϕ 로 제작하고, 챔버의 깊이는 1.2mm이다. 펌프는 주파수 100Hz, 인가 전압 90 ~ 250Vp-p 사이에서 구동시켜, 그 동작을 확인했다. 측정 결과, 펌핑 용액이 에탄올 일 때, 인가 전압 200V, 100Hz로 구동했을 때, 53mm의 수두차를 나타냈다.

Abstract

We fabricated micro-pump using stereolithography technology. The pump was fabricated using PZT for its drive and used non-movable valve of diffuser/nozzle concept. Size of the pump chamber is 14mm ϕ , narrow hole of diffuser/nozzle is 0.5mm ϕ and wide hole 1mm ϕ and chamber depth is 1.2mm, respectively. We confirmed its operation at frequency 100Hz, supply voltage 90 ~ 250Vp-p. As the result of the pump working measurement, when ethanol is used, the pressure head difference between inlet and outlet of the pump is about 53mm in the frequency of 100Hz, 200V of Vp-p.

1. 서 론

MEMS 기술이 반도체 공정 중심으로 비약적인 발전을 하고 있다. 하지만 반도체 공정 기술을 중심으로 하는 MEMS 기술은 점차 복잡해지고 있는 구조물의 제작 공정을 충족시키지 못하고 있다. 이런 문제점의 해결 방안으로 LIGA 공정^[1]

등 다양한 기술들이 개발되고 있으나, 이러한 기술들 역시 완전한 3차원 구조를 제작하기 힘들기 때문에 근본적인 문제 해결 방안은 아니다. MEMS 제작에 pre-assemble과 3차원 가공이 가능한 공정법을 확보한다면, 그 응용 분야는 더욱 넓어 질 것이다. 뿐만 아니라, 구조물 중에 단면이 원형인 채널 등 복잡하고, 대칭적인 형상을 제작할 수 있기 때문에 디바이스의 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 MEMS를 위한 효과적인 3차원 구조 공정 기술을 확보하기 위하여, 기계 분야에서 사용되고 있는 stereolithography 기술을 이용하여 마이크로 펌프를 제작한다^[2,3]. 본 기술이 MEMS 제작 기술로 정착된다면, 재료가 수지인 다양한 3차원 구조물 제작이 가능하게 되므로 광

* 안동대학교 전자공학교육과(Dept. of Electronics Eng. Education, Andong National Univ.)

** 영남대학교 전기전자공학부(School of Elec. & Electron. Eng., Yeungnam Univ.)
<접수일자 : 2000년 11월 24일>

범위한 응용이 가능하게 될 것이다. 특히 마이크로 채널, 마이크로 펌프 및 마이크로 밸브 등의 료용 미세 구조 제작에 효과적인 사용이 기대된다. 본 기술은 pre-assemble이 가능한 가공 기술로, 반도체 기술, LIGA 기술 등의 다른 기술들과 비교하여, 공정이 간단하고, 공정 시간이 짧아서, 낮은 개발비용으로 효과적인 MEMS 제작이 가능하다. 또한, 설비도 다른 공정에 비해 간단하며, 저가이기 때문에 디바이스의 상품화를 고려할 때 효과적이다.

본 논문에서는 펌프의 구조 및 제작 공정을 가능한 간소화하여, 마이크로 펌프의 상품화 가능성을 모색한다. 펌프의 구조를 간단화 하기 위하여, 펌프 구동에는 PZT를 이용한 압전(piezoelectric) 효과를 사용하고, check valve가 없는 diffuser/nozzle 개념을 사용하였다^[4,5].

II. 펌프 제작

1. Stereolithography 기술

MEMS의 구조가 복잡해지면서, 보다 고도의 가공 기술이 요구되고 있다. 그 해결책의 하나로 stereolithography가 제안되고 있다. 현재 stereolithography를 실현하기 위한 기술이 다수 발표되어 있지만, 실용화하기 위해서는 다소 문제가 있다. 본 논문에서는 비교적 간단한 공정으로 3차원 가공이 가능한 RP(Rapid-prototyping) 기술을 마이크로 펌프 제작에 응용하여, MEMS 제작에 대한 응용의 가능성을 평가한다^[2,3]. RP 기술은 기계 분야에서 새로운 제품 개발 시에 시제품 또는 몰드를 제작하기 위하여 사용되고 있다. RP를 이용한 stereolithography의 원리를 그림 1에 나타냈다. 제작하고자 하는 입체의 CAD 데이터를 z축에 대하여 등 간격(slice size)이 되도록 xy 평면의 단면 데이터를 가공한다. 가공된 단면 데이터를 기초로 하여, 광경화 수지(liquid photo polymer) 용액 표면에 자외선 빔을 x, y축 방향으로 조사하여 경화시키고, z축 방향으로 액면을 약간 상승(slice size 만큼) 또는 중합 반응에 의해 경화된 구조물을 약간 하강시킨 후에, 다시 자외선 빔을 조사하여 경화시키는 것을 반복하여 복잡한 3차원 구조물을 만드는 기술이다.

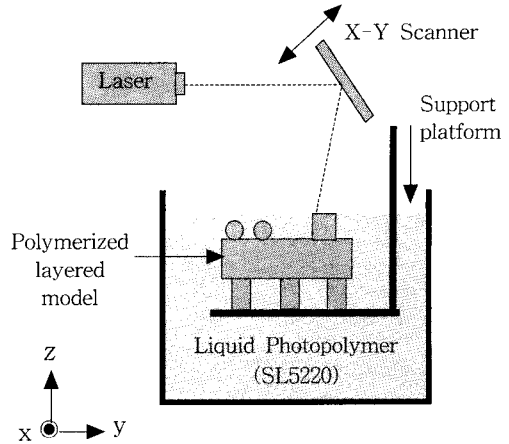


그림 1. Stereolithography 원리도

Fig. 1. Principle of a stereolithography

2. 펌프의 구조

그림 2에 펌프 구조도를 나타냈다. 펌프는 stereolithography 기술에 의해 만들어진 펌프 본체와 PZT가 접착된 diaphragm으로 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 펌프의 동작 원리는 diaphragm 위에 있는 PZT의 진동에 의해, 펌프 챔버 내로 용액을 주입하는 동작(suction mode)과 밖으로 뿜어내는 동작(pump mode)을 반복하면서 펌프 작용을 한다. 본 펌프에는 check valve가 없는 diffuser/nozzle 개념의 non-movable 밸브를 사용하였다^[4,5]. 이 형식은 그림 2(a)와 같이, 액체의 이동 양이 $-x$ 축 방향보다 x 축 방향이 상대적으로 많아서 결과적으로 x 축 방향으로 펌핑하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 이 형식은 양쪽 방향으로 액체가 이동한다는 문제점이 있으나, check valve의 피로에 의한 오동작이나 파괴의 가능성을 줄일 수 있다. 또한, 펌프 구조 및 제작 공정이 간단하다는 장점도 있다. 진동판으로 사용될 diaphragm의 재료로는 유리를 사용했다. diaphragm과 펌프 본체와의 접착에는 에폭시를 사용했고, PZT와 diaphragm과의 접착은 도전성 에폭시를 사용하였다. 펌프의 크기는, 펌프 챔버 $14\text{mm}\phi$ 및 $10\text{mm}\phi$, diffuser/nozzle의 크기는 좁은 쪽의 구멍은 $0.5\text{mm}\phi$, 넓은 쪽의 구멍은 $1\text{mm}\phi$ 로 제작하고, 챔버의 깊이는 1.2mm 로 제작했다. 펌프 측정용으로 펌프 양쪽에 용액을 저장하기 위하여, $10\times 10\times 1.5\text{ mm}^2$ 크기의 챔버를

제작했다. 측정용 챔버를 제외한 펌프 크기는 22 × 20 mm²이다.

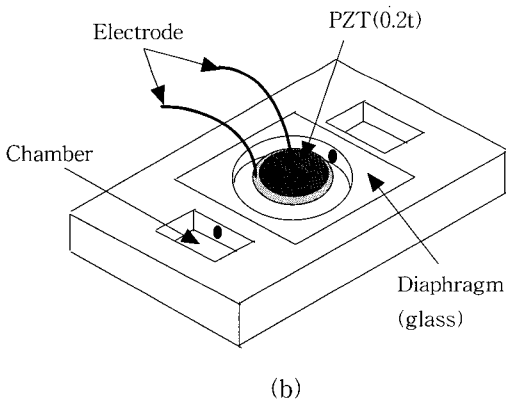
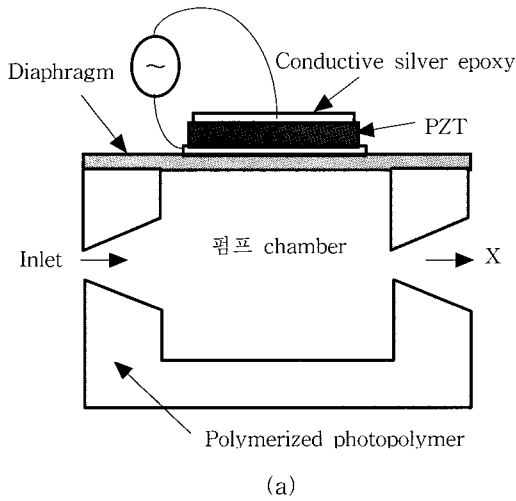


그림 2. 펌프 구조, (a) 단면도, (b) 입체도
 Fig. 2. Structure of the micropump, (a) cross sectional view, (b) perspective view

3. 펌프 제작 공정

그림 3에 제작 공정도를 나타냈다. 제작 공정의 특징은, 펌프 본체를 stereolithography 기술에 의해 pre-assemble로 제작할 수 있기 때문에 공정이 간단하며, 원형 및 정방형 채널(diffuser/nozzle)과 같은 3차원 구조물을 펌프 본체 중앙부에 제작할 수 있는 것이다. 각 단계 별 공정은 다

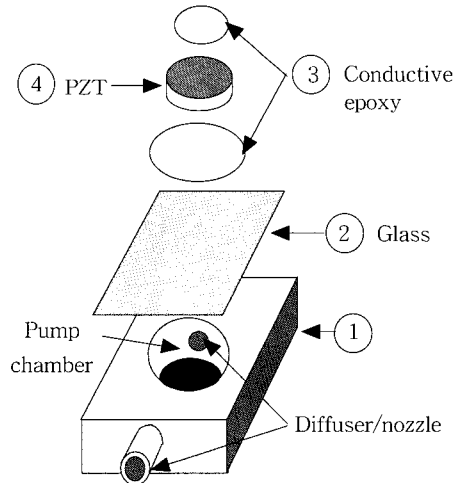


그림 3. 펌프 조립도
 Fig. 3. Exploded view of the pump structure

① 펌프 본체

펌프 본체는 stereolithography 기술을 이용하여 제작한다. 펌프의 구조 모델링은 범용 CAD tool을 사용했고, 제작 공정에는 RP 장비인 SLA-350을 사용했다. 제작 시에 슬라이스 크기는 100μm이다. 1회의 공정에 약 20개의 소자를 제작할 수 있다. 제작된 펌프 본체 사진을 그림 4에 나타냈다. 그림 5에 제작 diffuser/nozzle의 입구 및 출구 사진을 나타냈다. 그림 5로부터 100 μm 크기의 슬라이스 라인을 확인할 수 있다.

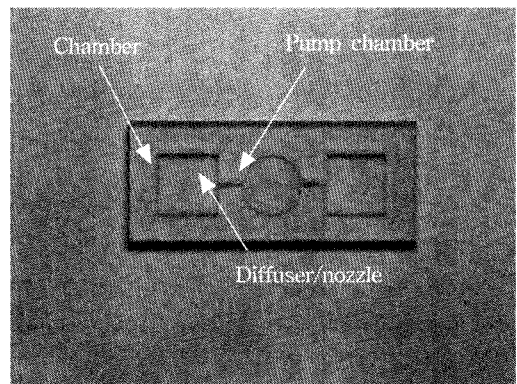
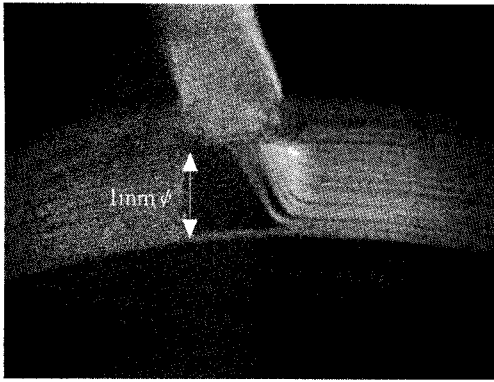
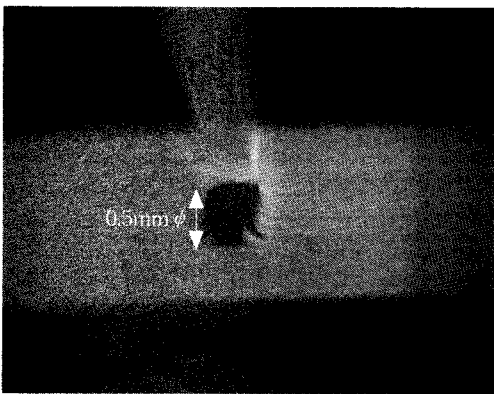


그림 4. Stereolithography를 이용하여 제작한 펌프 본체
 Fig. 4. Fabricated base plate of the pump using stereolithography



(a)



(b)

그림 5. Diffuser/nozzle 사진

Fig. 5. Photograph of the diffuser/nozzle

② Diaphragm 접착

Diaphragm은 두께 0.16mm의 유리를 사용하였다. Diaphragm과 펌프 본체의 접착은 에폭시(Araldite의 Rapid epoxy)를 사용했다.

③ 전극 형성

PZT의 접착 및 전극 형성에는 도전성 에폭시(conductive silver epoxy: Fujikura의 D-723S)를 사용하였다. 전극 형성에 사용된 도전성 에폭시의 비저항(resistivity)은 $500 \mu\Omega cm$ 정도의 것을 사용했다.

④ 압전 소자

압전 소자는 PZT를 사용했다. PZT는 지름 10mm, 두께 0.2mm의 원형을 사용했다. 그림 6에 제작된 펌프의 사진을 나타냈다. 펌프의 PZT는 대량생산을 고려하여 궁극적으로 졸/겔 법, 진공 증착 또는 sputtering 등에 의한 형성을 고

려하고 있지만, 본 논문에서는 PZT 디스크를 사용하였다.

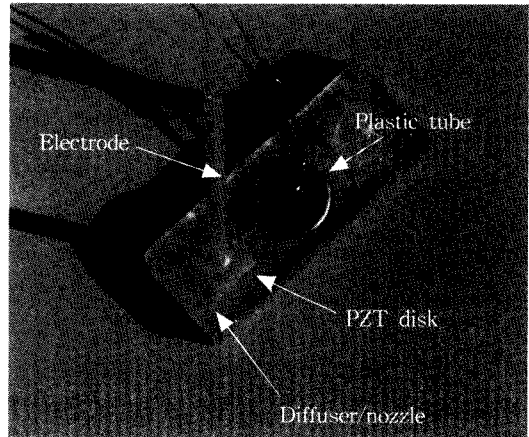


그림 6. 제작된 펌프 사진

Fig. 6. Photographs of the pump

III. 결과 및 고찰

제작된 펌프의 동작 특성을 분석하기 위하여 PZT의 양쪽 전극에 전원 및 오실로스코프를 연결하여 PZT에 전압을 모니터링 하면서 공급하였다. 전원은 V_{p-p} 가 약 250V까지 변화시킬 수 있도록 하였고, 주파수는 수 kHz까지 공급할 수 있는 전원을 사용하였다. 측정은 펌프 양쪽에 있는 측정용 챔버 양쪽 모두에 각각 0.1ml의 물(H_2O)을 채우고, 펌핑을 시작하여, 한쪽 챔버가 완전히 비워질 때까지의 시간을 측정하여 유량을 계산하였다. 그림 7에 펌프 구동 시의 사진을 나타냈다. 그림 7로부터 펌핑 동작에 의한 용액의 유동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 펌핑 동작 시에 인가 전압이 클 경우에는 다량의 기포가 발생하는 것을 확인하였다. 인가 전압에 대한 유량의 측정 결과를 그림 8에 나타냈다. PZT의 구동 주파수는 100Hz 이었다. 펌핑력은 인가 전압에 비례하여 증가하나, 인가 전압이 90V보다 적게 인가할 경우 측정용 챔버에 저장된 약 0.1ml의 용액을 완전히 펌핑하는 것이 불가능했다. 이것은 측정용 챔버에 있는 용액의 중량 및 대기압에 대한 구동력 부족으로 인한 결과라 생각된다. 주파수 100Hz, 인가 전압(V_{p-p})이 250V일 경우에 약 3초 정도에 0.1ml의 용액을 다른 쪽 챔버로 대부분

펌핑이 가능하여, 2ml/min 정도의 유량을 나타냈다. 그림 9는 에탄올을 사용하였을 경우, 펌프 입구와 출구의 수두차를 나타낸 사진이다. 주파수 100Hz, Vp-p 200V인 전압을 인가하였을 경우에 약 53mm의 수두차를 나타냈다. 그림 10은 PZT 구동 주파수를 변화시키면서 수두차를 측정한 결과이다. 제작된 펌프에 따라서 최대 수두차를 나타내는 주파수는 다소의 오차가 있어서, 100Hz에서 160Hz 사이에서 최대 값을 나타냈다. 오차가 발생하는 이유는, PZT의 특성차, 펌프 본체, 유리 및 PZT 간의 접착의 불균일성 및 강도차 등에 의한 것으로 예상된다.

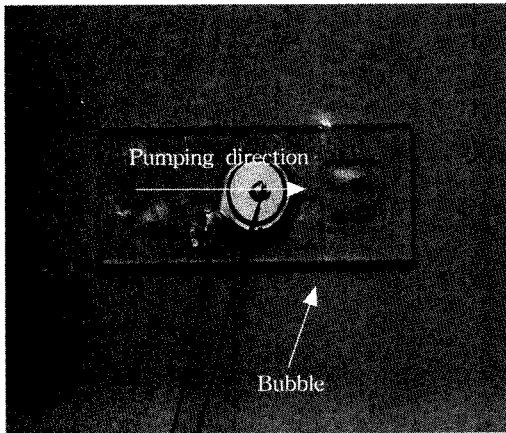


그림 7. 펌프 동작 사진
Fig. 7. Photography of the pump operation

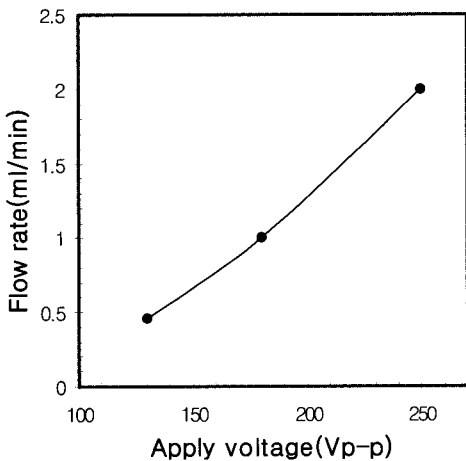
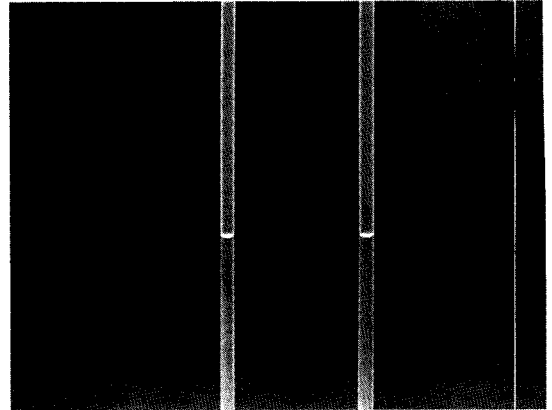
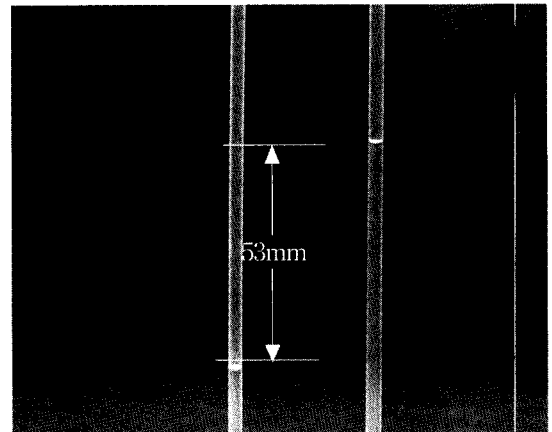


그림 8. 측정 결과
Fig. 8. Experimental result of the pump



(a)



(b)

그림 9. 펌프의 수두차 측정 사진, 인가 전압
(a) 0Vp-p, (b) 200Vp-p

Fig. 9. Pressure head difference of the fabricated pump, applied voltage (a) 0Vp-p, (b) 200Vp-p

본 연구에서는 stereolithography를 위하여 기계 분야에서 사용하는 RP 장비를 MEMS 제작을 위한 아무런 조정과정 없이 사용하였기 때문에 정밀도에 대한 문제점이 있었다. 본 연구에 사용된 장비는 슬라이스 사이즈 100 μ m, 구조물 제작 오차 200 μ m 정도의 것으로, 이 보다 더 작은 크기의 구조물을 제작하는 것이 불가능했다. 따라서 그림 5의 diffuser/nozzle의 사진과 같이, 출구의 단면이 완전한 원형이 아닌 형태로 제작되는 문제점이 있었다. 그러나 stereo-lithography 기술의 제작 정밀도는 장비의 정밀도를 향상시킴으로서 극적으로

로 높일 수 있을 것이며, 현재의 lithography 기술의 수준을 고려한다면 획기적인 진전을 기대할 수 있을 것이다.

이상의 결과로부터 stereolithography 기술의 MEMS 분야에의 응용은 매우 효과적임을 알 수 있었다. 특히 복잡한 3차원 구조물을 preassemble로 제작이 가능하기 때문에, 제작 공정이 간단해지고, 따라서 디바이스의 재현성 및 신뢰성을 한층 높일 수 있을 뿐 아니라 경제적인 효과도 기대된다.

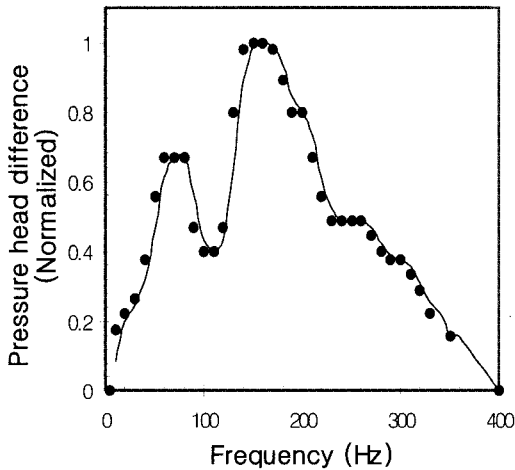


그림 10. 펌프의 주파수 특성

Fig. 10. Frequency response of the fabricated pump

IV. 결 론

본 논문에서는 stereolithography 기술을 이용하여 마이크로 펌프를 제작, 평가했다. 펌프는 구동에 PZT를 사용했고, check 밸브가 없는 diffuser/nozzle 개념의 non-movable 밸브를 사용하여 제작했다. 제작된 펌프는 주파수 약 100Hz, 인가 전압(Vp-p) 90~250V사이에서 구동시켜, 그 동작을 확인하였다. 에타놀을 사용하였을 경우에 인가 전압 200V에서 53mm의 수두 차를 나타냈다. 펌프 제작 및 평가 결과, stereolithography 기술의 MEMS 분야에의 응용이 매우 효과적임을 알 수 있었다. 특히, pre-

assemble로 3차원 구조물을 제작 가능하기 때문에, MEMS 제작 공정을 간단화시킬 수 있어서, 디바이스 제작의 재현성 및 신뢰성 등을 높일 수 있고, 그에 따른 경제적 효과도 기대할 수 있을 것이다.

본 연구는 산업자원부와 과학기술부에서 시행한 선도기술개발사업의 지원에 의한 기술개발 결과이다.

참고 문헌

- [1] W. Menz, "LIGA and related technologies for industrial application", Transducers '95, pp138-C3, 1995.
- [2] Koji Ikuta, Tadahiro Hashegawa, Takao Adachi and Shoji Maruo, "Fluid drive chip containing multiple pump and switching valves for biochemical IC family", MEMS 2000, pp.739-744, 2000.
- [3] Yoshiaki Mizukami, Daniel Rajniak and Masatoshi Nishimura, "An integrated micro-electrophoretic chip fabricated using a new stereolithographic process", MEMS 2000, pp751-756, 2000.
- [4] Ron L. Bardell, Nigel R. Sharma, Fred K. Forster, Martin A. Afromowitz and Robert J. Penney, "Design high-performance micro-pumps based on no-moving-parts valves", Microelectromechanical Systems(MEMS) ASME 1997, pp. 45-53, 1997.
- [5] Anders Olsson, Goran Stemme and Erik Stemme, "A valve-less planar fluid pump with two pump chamber", Sensors and Actuators, A 46-47, pp.549-556, 1995.

 著 者 紹 介

이 영 태

1961년 12월 29일생.

1989년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사).

1991년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학석사).

1995년 일본 토요하시 기술과학대학 졸업(공학박사).

1995년~1996년 일본 동북대학교 문부교관조수.

1996년~현재 안동대학교 전기전자공학교육과 조교수.

주관심 분야 : Microstereolithography, 유체소자, MEMS 공정, 반도체 센서.

서 희 돈

1946년 9월 25일생.

1973년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사).

1987년 일본 동북대학교 졸업(공학박사).

1973년~1980년 삼성전자.

1987년~1992년 영남대학교 부교수.

1992년~1994년 일본 토요하시 기술과학대학 부교수.

1994년~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수.
주관심 분야 : 집적화 가속도센서, 압력센서, 복수 기계량 센서의 집적화, 의공학(DNA칩, Bio-MEMS), 식각기술.