멤스기술을 이용한 가상밸브가 있는 새로운 잉크젯 헤드 개발

배기덕† · 백석순 · 신종우 · 임형택 · 신수호 · 오용수

Development of a new thermal inkjet head with the virtual valve fabricated by MEMS technology

Ki Deok Bae, Seog Soon Baek, Jong-Woo Shin, Hyung-Taek Lim, Su Ho Shin and Yongsoo Oh

Key Words : Inkjet(잉크젯), Printhead(프린트헤드), MEMS(멤스), Virtual valve(가상밸브).

Abstract

A new thermal inkjet printer head on SOI wafer with virtual valve was proposed. It was composed of two rectangular heaters with same size. So we could call it T-jet(Twin jet). T-jet has a lot of merits. It has the advantage of being fabricated with one wafer and is easy to change the size of chamber, nozzle, restrictor and so on. However, above all, It is the best point that T-jet has a virtual valve. And it was manufactured on SOI wafer. The chamber was formed in its upper silicon whose thickness was 40um. The chamber's bottom layer was silicon dioxide of SOI wafer and two heaters were located underneath the chamber's ceiling. And the restirctor was made beside the chamber. Nozzle was molded by process of Ni plating. Ni was 30um thick. Nozzle ejection test was performed by printer head having 56 nozzles in 2 columns with 600NPI(nozzle per inch) and black ink. It measured a drop velocity of 12m/s, a drop volume of 30pl, and a maximum firing frequency of 12KHz for single nozzle ejection. Throwing out the ink drop in whole nozzles at the same time, it was observed that the uniformity of the drop velocity and volume was less than 4%.

1. 서 론

최근의 멤스 제작기술은 다양한 소자 제작에 이용되고 있다. 멤스 기술은 반도체 기술을 이용하기 때문에 작은 구동체 및 구조체를 다수 제작하기에 용이하기 때문이다. 현재 잉크젯 헤드 분야, 디스플레이 분야, 각종 센서분야, 바이오 분야, 광픽업 분야 등 여러 분야에서 널리 이용되는 제조방법이다. 그 중에 잉크젯 헤드 분야는 현재 제작 및 판매되고 있는 분야인데 앞으로도 다양한 방면으로 성장이 가능한 분야이다.

잉크젯 헤드는 잉크젯 프린터에서 가장 핵심이 되는 소자로서 잉크 유체를 노즐에서 미소방울로 토출을 시켜야 하는 역할을 하고 있다. 잉크를 토출시키는 가장 일반적인 방법은 히터를 이용하여 버블을 발생시켜 그 힘으로 토출하는 방법이 있다. 그 외에 압전물질에 전압을 가했을 때 발생하는 힘에 의하여 잉크를 토출하는 방법도 있다.

가장 널리 알려진 히터를 사용한 열구동 방식에서는 버블의 발생방향과 토출방향이 같은 루프슈팅(Roof shooting), 토출방향이 발생방향의 옆인 사이드 슈팅(Side shooting), 토출방향과 발생방향이 반대인 백슈팅(Back shooting)이 있다.

히터를 이용한 열구동 방식의 헤드는 다음과 같은 구조를 갖게 된다. 잉크가 밖으로 토출되는 통로인 노즐(Nozzle), 히터에 의해 버블을 발생시키는 챔버(Chamber), 챔버로 잉크를 공급하는 리스트릭터(Restrictor), 카트리지에서 잉크를 리스트릭터로 공급하는 매니폴드(Manifold)가 있다. 물론 여러가지 인자가 헤드 성능에 영향을 미치지만, 성능을 특성짓는 주요인자를 살펴보면 히터

† 삼성종합기술원 MEMS LAB
E-mail : kdbae@samsung.com
TEL : (031)200-9242 FAX : (031)200-3785

의 열에너지, 노즐의 유동저항, 리스트릭터의 유동저항이라고 할 수 있다.

잉크 토출 메커니즘을 보면 다음과 같은 사이클을 그리게 된다. 먼저 히터에서 열을 발생시키면 버블이 만들어 지게 된다. 이 버블의 힘에 의해 챔버 안에 있는 잉크는 노즐을 통해 밖으로 토출되게 된다. 버블이 소멸되면 카트리지 안에 있는 잉크는 챔버 안으로 리스트릭터를 통해 들어오게 된다. 이 과정에서 버블이 발생될 때에 잉크는 리스트릭터로 역류하는 현상이 발생하게 되고, 버블이 소멸될 때에는 잉크가 리스트릭터를 통하여 정상적인 방향으로 흐르게 된다. 따라서 리스트릭터의 유동저항은 버블 발생시에는 크고 버블 소멸시에는 작은 게 좋다. 하지만 이러한 리스트릭터를 제작할 수는 없다.

따라서 본 논문에서는 발생된 버블을 가상밸브로 이용하여 리스트릭터의 유동저항을 한 사이클 내에서 조절하는 구조를 제작하고 측정하여 보았다. 본 헤드는 MEMS 제작기술을 이용하여 SOI (Silicon On Insulator) 웨이퍼를 갖고 제작하였다. 토출모습은 CCD 카메라를 이용하여 각 주파수별로 토출 모습을 같은 시간의 간격을 두고 연속촬영하였다. 이를 통하여 토출 액적의 속도 및 최대 주파수를 측정하였다. 그리고 저울을 이용하여 토출 액적의 질량을 측정하였다.

2. 잉크젯 헤드의 설계

2.1 구조설계

잉크젯 헤드를 제작하기 위해서는 잉크 챔버와 버블을 생성하는 히터, 잉크가 토출되는 출구인 노즐, 잉크가 챔버 안으로 보충되는 통로인 리스트릭터가 있어야 한다. 제안된 T-jet 의 구조는 Fig. 1 에 나타낸 바와 같이 SOI 웨이퍼의 위쪽 실리콘에 챔버를 형성하게 되고 실리콘산화막을 챔버의 아래면으로 사용하게 된다. 그리고 챔버의 벽면에 리스트릭터를 형성하여 잉크를 공급할 통로를 만들게 된다.

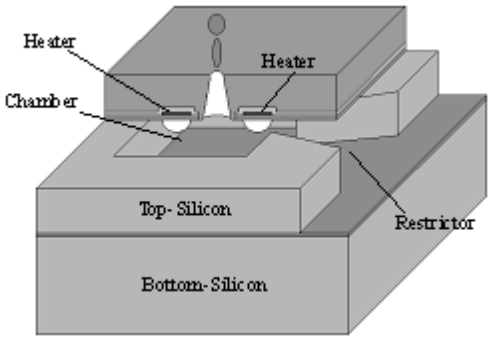


Fig. 1 Schematic of the proposed print head.

챔버의 윗면에는 TaAl 을 이용하여 히터를 형성하게 하게 된다. 히터는 2 개의 같은 크기의 사각형 히터를 사용하였다. 이 중에 리스트릭터와 가까운 쪽의 히터는 토출 사이클 중에 가상밸브의 역할을 하게 된다. 히터 주위에는 히터를 보호하며 열효율을 높일 수 있도록 보호막을 구성한다. 이 때 토출시 발생된 열이 잘 방출될 수 있도록 방열 통로 (thermal dissipation)를 구성하게 된다. 그리고 챔버 중앙 위쪽으로 노즐을 구성하게 되는데 노즐의 모양은 테이퍼 (taper) 모양으로 만든다. 이렇게 설계를 한 이유는 잉크 유동저항을 통해 잉크 토출시 속도를 증가시키기 위함이다.

2.2 작동원리

Fig. 2 와 같이 잉크는 매니폴드(manifold)에서 리스트릭터를 통하여 챔버로 들어오고 들어온 잉크는 히터가 발열하여 버블을 만들 때 노즐을 통하여 나가게 된다. 히터가 발열하여 버블을 생성할 때 잉크에 압력이 가해지게 되는데 이 힘으로 인하여 잉크의 일부는 리스트릭터를 통하여 역류하게 되고 대부분의 잉크는 노즐을 통하여 토출 된다. 따라서 리스트릭터의 저항이 크면 그만큼 토출되는 액적이 많아지게 되고, 반대로 리스트릭터의 저항이 작아지면 그만큼 토출되는 액적이 적어지게 된다. 또한 리스트릭터는 주파수에도 영향을 주게 되는데 저항이 크면 잉크의 보충되는 속도가 늦게 되고 이에 따라 최대 토출 주파수가 작아지게 된다. 즉, 노즐 및 리스트릭터의 저항비를 조절 하여 속도와 보충주파수(refill frequency) 등의 성능을 최적화하게 된다.

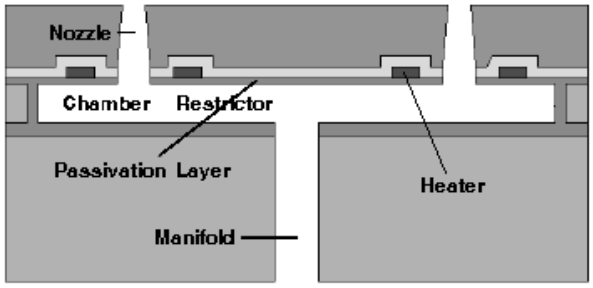


Fig. 2 Schematic of the vertical view.

2.3 가상밸브의 역할

본 잉크젯 헤드의 구조의 특이한 것 중 하나인 가상밸브를 사용한다는 것은 다음과 같은 장점을 갖게 된다. 보통의 잉크젯 헤드에서는 버블을 발생하여 챔버 안의 압력을 높이게 되면 대부분의 잉크는 노즐을 통하여 토출 되지만 한편으로는 리스트릭터를 통하여 역류하게 되기도 한다.

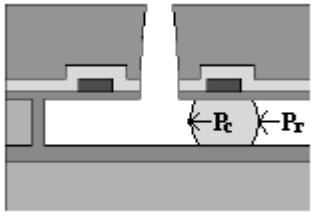


Fig. 3 Schematic of the virtual valve.

이를 막기 위하여 리스트릭터의 저항을 높이게 되면 잉크 리필이 잘 되지 않게 된다. 이 때문에 헤드의 성능이 나빠지게 된다. 이를 극복하기 위하여 본 헤드는 가상밸브를 사용하여 성능을 극대화 하도록 하였다.

가상밸브를 구성하는 방법은 한 개의 히터 위치를 잉크를 공급받는 리스트릭터 쪽에 배치하도록 하는 방법을 사용하였다. 이 위치에 두는 이유는 히터 발열시 버블이 생성되는데, 이 버블을 이용하여 유동저항을 늘이고자 함이다. 표면저항(surface tension)을 γ, 챔버의 높이와 폭을 각각 d와 w, 카트리지내 잉크 저장소(Reservoir)의 압력을 Pr이라 하고, 버블이 역류하지 못하도록 잉크에 가하는 압력을 Pc라 하고 비압축성 유동이라고 하면, $Pc=2\gamma(1/w+1/d)+Pr$ 가 된다. 즉, 가상밸브 때문에 $2\gamma(1/w+1/d)$ 만큼 유동저항을 늘려주게 된다.

잉크가 토출된 후에는 버블이 사라지게 되고 이로써 유동저항은 커지게 된다. 따라서 원활히 잉크가 챔버 안으로 보충되게 된다.

3. 소자제작

본 소자를 제작하는 데 있어서 재료는 SOI 웨이퍼를 사용하였고, 제작방법은 MEMS 기술을 이용하여 가공하였다. Fig. 4(a)에서와 같이 웨이퍼에 Si DRIE 공정을 통하여 트렌치 (trench) 를 가공하였다. 그 후 Fig. 4(b)에서와 같이 옥시데이션 (oxidation) 공정을 통하여 트렌치를 메꿨다.

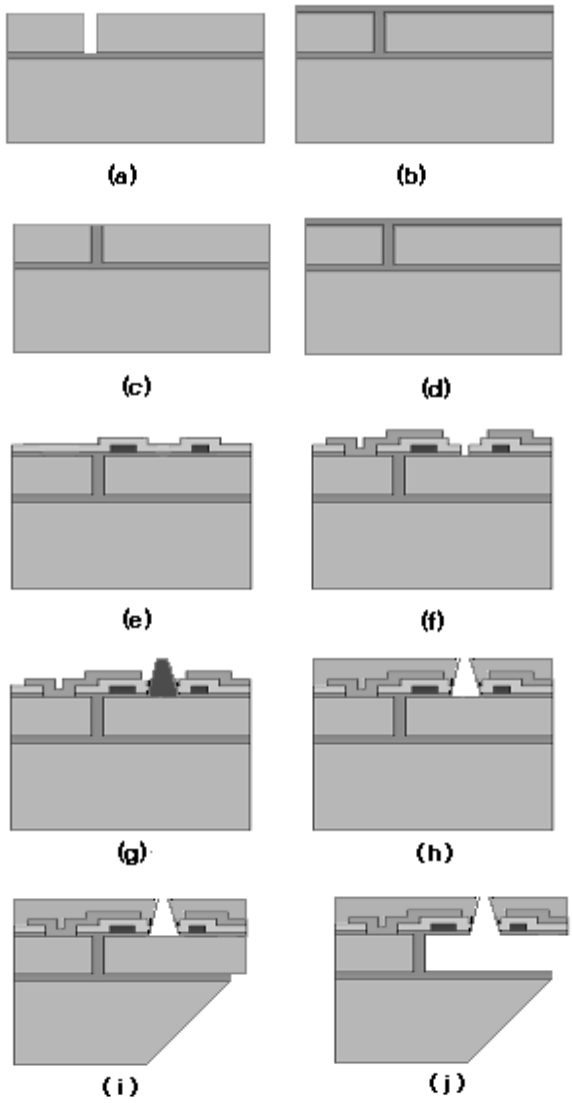


Fig. 4 Process sequences for the fabrication of the T-jet (a) trench etching using DRIE (Deep Reactive Ion Etching), (b) oxidation, (c) CMP, (d) passivation layer deposition, (e) heater pattern and passivation layer depositon, (f) membrane open and thermal plug open, (g) mold formation, (h) nozzle plating, (i) manifold etching with TMAH, (j) sacrificial layer etching with XeF2

다음에 Fig. 4(c)와 같이 CMP(Chemical Mechanical Polishing)를 통하여 평탄화 하였다. 이러한 공정은 챔버와 리스트릭터의 벽을 형상화 하는 단계로서 챔버의 형성은 공정 마지막에 이뤄지게 된다.

이렇게 옆 벽을 형상화 한 후에 Fig. 4(d)와 같이 LPCVD 를 사용하여 실리콘나이트라이드(SiNx)와 실리콘옥사이드 (SiO_2)를 증착한다. 이 작업은 챔버와 리스트릭터의 윗면을 제작하는 단계이다. 다음에 그 위에 Fig. 4(e)와 같이 히터와 전극을 증착한 후 패터닝(patterning) 하게 된다. 다음에 Fig. 4(f)와 같이 열을 방출하기 위한 방열통로를 만들기 위해 Al 을 증착한 후 패터닝 한다. 다음에는 노즐을 만들기 위하여 Fig. 4(g)와 같이 PR 을 이용하여 도금 몰드(mold)를 형성한다. 이 때 시드(seed)로 Cu 를 사용한다. 몰드 형성 후 Fig. 4(h)와 같이 Ni 도금을 한 후 몰드를 제거한다. 이렇게 앞쪽 공정을 끝낸 후 Fig. 4(i)와 같이 뒷면에 매니폴드를 Si 등방성 식각에 의해 제작한다.

마지막으로 챔버를 형성하기 위하여 페릴린(Parylene)을 챔버 안쪽까지 코팅한 후 Fig. 4(j)와 같이 XeF_2 에 의한 Si 에칭(etching)으로 챔버를 형성한다. 이후에 산소플라즈마를 사용하여 남은 페릴린을 에싱(Ashing) 하였다.

T-jet 헤드 제작시 SOI 웨이퍼를 사용하는 이유는 챔버의 형상을 실리콘 다이옥사이드를 통해 미리 정의 할 수 있기 때문이다. 원하는 크기와 위치에 트렌치를 파서 그 안에 옥사이드를 채워 넣은 후 나중에 제논에 의한 등방성 식각으로 챔버를 형성하게 된다.

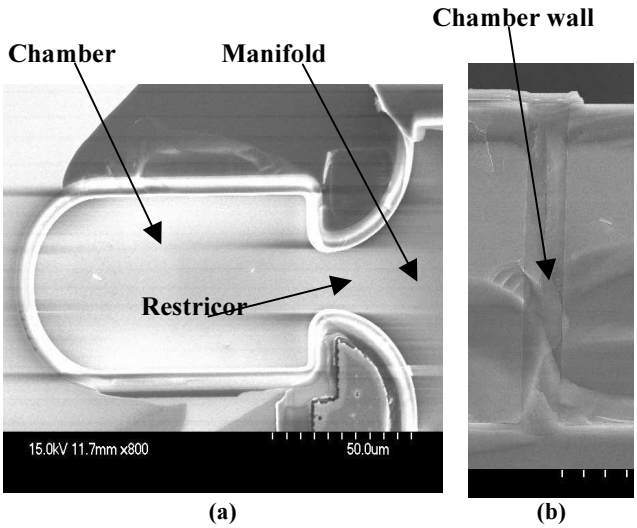
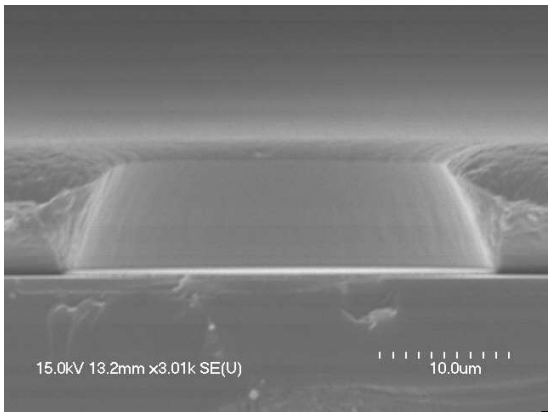


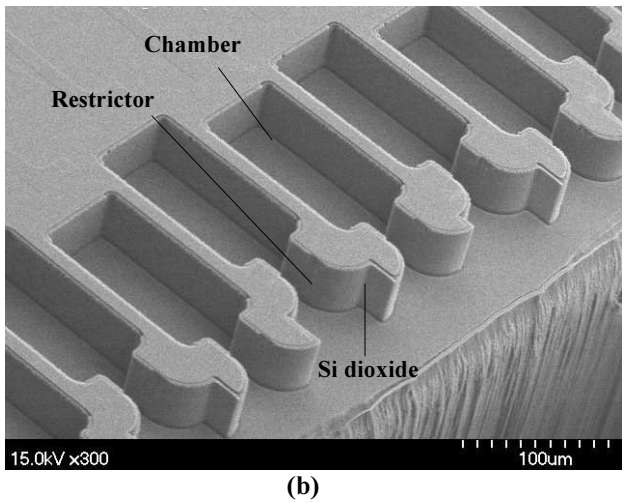
Fig. 5 SEM image of the silicon trench filled with silicon dioxide (a) the view of the top, (b) the vertical view

이러한 방법이 하나의 웨이퍼로 일체형의 헤드를 제작할 수 있도록 도와준다. Fig. 5(a)는 이러한 방법으로 제작된 헤드의 벽면을 보여준다. 챔버, 리스트릭터, 매니폴드가 잘 형성되어 있다. Fig. 5(b)는 이러한 벽면을 수직으로 자른 모습을 보여준다. 그림에서와 같이 옥사이드로 잘 메꿔진 것을 알 수 있다.

Fig.6(a)은 제작된 헤드의 노즐부분 SEM 사진이다. 몰드는 포토리지스트를 이용하여 제작하였고 노즐은 니켈 전해도금을 통해 형성하였다. 잉크 토출시 속도를 증가시키기 위하여 노즐은 테이퍼 형태로 제작하였다. Fig. 6(b)는 이렇게 제작된 헤드에서 노즐을 제거한 후 찍은 SEM 사진이다. 각각의 셀(Cell)의 챔버와 리스트릭터가 잘 만들어졌음을 관찰할 수 있다. 챔버 벽면의 실리콘 다이옥사이드도 관찰되어지고 있다. 제작된 시편은 56 노즐을 갖고 있으며 600NPI(nozzle per inch)의 해상도를 갖고 있는 헤드이다.



(a)



(b)

Fig.6 SEM images of the fabricated head (a) the Ni nozzle, (b) the head after removal of nozzle plate

4. 헤드의 실험적 특성

제작된 헤드의 성능을 측정하기 위하여 본 헤드를 카트리지에 본딩을 하는 방식으로 패키징을 하였다. 카트리지에는 검은색 잉크를 충전하였다. 토출주파수 설정은 카메라의 토출양태를 확인하여 최대 토출주파수를 결정하였다. 최대 토출주파수를 결정할 때에는 낮은 주파수에서부터 토출시켜서 잉크 방울의 모양이 또렷한 원이 되면 주파수를 올리는 방법을 사용하였다. 주파수가 올라감에 따라 잉크 방울의 모양이 하나의 또렷한 원 모양에서 여러 개의 방울로 나뉘던지 (2dorp 토출) 아니면 창 모양의 모습을 띄게 된다 (spear 토출). 이러한 모습이 나타나게 되면 그보다 하나 낮은 단계의 주파수를 최대 토출주파수로 결정하였다. Fig.7 은 이런 방법으로 주파수별로 토출되는 잉크 방울의 모습을 보여준다.

(a) (b) (c) (d)

Fig. 7. Photograph images of the ejected droplet from the nozzle (a) at 3KHz, (b) at 6KHz, (c) at 9KHz, (d) at 12KHz.

이렇게 결정된 최대 토출주파수에서 토출을 하여 각각의 성능을 측정하였다. 헤드의 속도측정은 CCD 카메라를 이용하여 잉크 토출을 찍어 거리와 시간을 측정하여 계산하였다. 잉크 방울의 부피는 저울을 이용하여 질량을 측정한 후 이를 밀도로 나누었다. 질량은 수 분 동안 토출 한 후 저울로 측정하였고 이를 토출 횟수로 나누어 한 번의 토출에 대한 질량으로 계산하였다. 이 때 토출된 잉크의 증발을 막기 위하여 별도의 챔버 내에서 측정하였다. 측정결과 최대 토출주파수는 12KHz 였고 이 주파수에서 속도는 12m/s, 부피는 30.9pl 였다. Fig. 8 은 각각의 주파수에서 측정된 잉크 방울의 속도와 질량을 나타낸다.

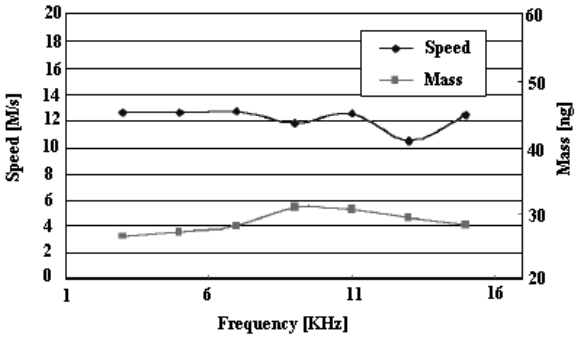


Fig. 8 Frequency-speed-mass plots of the ejected droplet from the nozzle.

실제 인쇄상태와 유사한 환경을 관찰하기 위하여 10 개의 인접노즐 동시토출을 실시한 결과 Fig. 9 와 같이 안정된 모습을 보였다. 이 때 헤드의 Uniformity 는 4% 이내로 측정되었다.

또, 구동 주파수 10KHz 에서 수명 테스트를 해본 결과 Table 1 과 같이 최소수명 10^7 사이클에서 평균수명 10^8 사이클까지로 측정되었다. 따라서 본 수명 실험 결과는 제작된 헤드가 잉크 카트리지에서 잉크를 다 사용해도 헤드는 정상적으로 작동한다는 것을 보여주고 있다.

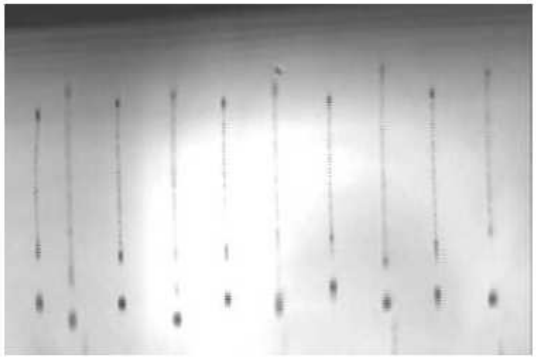


Figure 9. Image of simultaneously ejected ink drops.

	Energy (uJ)	평균수명 **(Cycle)**	최소수명 **(Cycle)**
1	1.7	1.0×10^8	9.0×10^7
2	1.8	1.4×10^8	8.5×10^7
3	4.2	6.2×10^7	4.4×10^7

Table 1 Lifecycle of the head at the various driving energy.

5. 결 론

잉크젯 프린트에서 핵심부품인 프린터 헤드를 설계하고 제작하였다. 제작된 헤드는 열구동 방식의 백슈팅 헤드이며 MEMS 제작기술을 이용하여 제작하였다. 본 헤드는 가상밸브를 두어 잉크 토

출시 잉크가 역류하는 것을 막도록 하였다. 이러한 방법은 MEMS 를 이용한 유체설계에서 아주 유용한 방법이라는 생각이 들고 실제 이를 제작에 적용하여 구현하였다. 본 헤드는 SOI 웨이퍼를 이용하여 일체형으로 제작되었다. 성능측정 결과 600NPI 의 해상도를 갖는 56 노즐의 헤드에서 최대토출주파수 12KHz, 잉크 토출속도 12m/s 와 토출 부피 30.9pl, Uniformity 4%내의 성능을 보여주었다. 또 최소수명 10^7 사이클, 평균수명 10^8 사이클을 보여주었다. 또 10 개의 인접노즐 동시토출에서 안정된 토출모습을 보여주었다. 본 논문의 프린트 헤드는 향후 열구동 방식의 헤드를 개발하는데 있어서 큰 역할을 할 수 있으리라 생각이 들며, 본 헤드에서 적용된 버블을 이용한 가상밸브 설계는 Fluidics MEMS 분야에서 새로운 아이디어를 제공할 수 있으리라 생각이 든다.

참고문헌

(1) J.-K. Chen and K. D. wise, June 1995, “A high resolution silicon monolithic nozzle array for inkjet printing”, Tech. Dig. 8th Int. Conf. Solid-state sensors and actuators, Stockholm, Sweden, pp.321-324

(2) D. westberg and G. I. Anderson, June 1997, “A novel CMOS-compatible inkjet head”, Tech.. Dig. 1997 Int. Conf. Solid-state sensors and actuators, Chicago, USA, pp.813-816

(3) J.-D. Lee, J.–B. Yoon, J.–K. Kim, H.-J. Chung, C.–S. Lee, H.-D. Lee, H.-J. Lee, C.-K. Kim, and C.-H. Han, Sep. 1999 , “a thermal inkjet printhead with monolithically fabricated nozzle plate and self-aligned ink feed hole”, IEEE J.MEMS, vol. 8, no. 3, pp.229-236

(4) B. J. Keefe, M. F. Ho, K. J. Courian, S. W. Steinfield, W. D. Childers, E. R. Tappon, K. E. Trueba, T. I. Chapman, W. R. Knight, J. G. Moritz III, and HP Com., 1997, “Ink channel structure for inkjet printhead”, US Patent 5,594,481

(5) P.Krause, E. Obermeier and W. Wehl, 1995, “Backshooter – A new smart micromachined single-chip inkjet printhead”, Dig. of Tech. Papers of The 8th Int. Conf. on Solid-state Sensors and Actuators, Vol. 2, Stockholm, Sweden, pp.325-328

(6) S. Lee, H. Kim, K. Kun and Y. Oh, Jan. 2001, “A monolithic inkjet printhead : DomeJet”, Tech. Dig. of 14th IEEE Int. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems, Interlaken, Switzerland, pp.515-518

(7) F. Tseng, CJ Kim, and C. Ho, January, 1998, “A novel microinjector with virtual chamber neck”, Proceeding of IEEE , the 11th annual int. workshop on MEMS, Heidelberg, Germany, pp.57-62

(8) C. S. Lee, K. Na, D. Maeng, K. Kun, and Y. Oh, June, 2001, “A micromachined monolithic inkjet printhead with dome shape chamber”, The 11th Int. Conf. on Solid-state Sensors and Actuators, Munich, Germany, pp.902-905

(9) E. V. Bhaskar and M. A. Leban, 1989, “integrated thermal inkjet printhead and method of manufacture”, US Patent 4,847,630

(10) U.Sridhar, C. H. Lau, Y. B. Miao, K. S. Tan, P. D. Foo, and L. J. Liu, June, 1999, “Single crystal silicon microstructures using trench silicon isolation”, The 10th Int. Conf. on solid-state sensors and actuators, Sendai, Japan, pp.258-261

(11) D. Maeng, K. Kuk, C. S. Lee, K. Na, and Y. Oh, June, 2001, “Performance Improvement in DomeJet Inkjet Print Head by Measuring Temperature of Heater”, The 11th Int. Conf. on Solid-State Sensors and Actuators, Munich, Germany, pp.910-913