

# Replication 공정을 이용한 Polymer Heat Exchanger 제작

정순호\*, 김영철\*\*, 서화일\*

\*한국기술교육대학교 전기전자공학과, \*\*한국기술교육대학교 신소재공학과

## 초 록

집적회로에서 발생하는 열은 회로의 불안정한 동작을 야기하여 시스템의 기능을 저하시키므로 동작중인 집적회로를 일정온도 이하로 유지 할 수 있는 장치가 요구된다. 현재 사용되는 방열 시스템은 대부분이 크기가 큰 공냉식이며 Heat sink의 크기로 인해 수냉식의 방열 시스템 역시 그 크기가 칩의 크기보다 매우 크다. 본 논문에서는 드라이 필름 레지스터를 사용하여 짧은 제작 기간과 적은 비용으로 Master를 제작하였다. 이 Master를 사용한 Replication 공정을 이용하여 칩의 패키지내에 삽입될 수 있는 Polymer Heat Exchanger를 제작하였다.

## 1. 서론

반도체 제조 기술은 포토리소그래피(Photolithography)기술 등 생산 관련 기술들의 발전에 힘입어 지난 수 십년간 꾸준히 발달하여 현재 DRAM공정에서는 90nm의 양산 공정이 적용되고 있으며 70nm급 제품이 선을 보이고 있고 머지않은 시일에 50nm공정이 적용된 제품이 출시될 것이다.[1] 이러한 추세는 미래의 제품에 요구되는 소형화, 다기능화, 경량화를 만족시키기 위해 앞으로 계속 진행될 것이 예상된다. 그러나 집적도와 동작속도의 증가로 인해 회로에서 발생하는 열의 양이 증가하게 되었다. 열은 집적회로의 동작을 불안정하게 만들고 수명을 단축시켜 결국 시스템의 수명을 줄이게 되는 원인이 된다.[2] 따라서 집적회로에서 발생하는 열에 대한 처리가 매우 중요한 문제로 자리잡게 되었다.

현재 열에 대한 처리는 대부분 공냉식이 사용되고 있으며, 열 처리 능력을 높이기 위해서는 Heat sink의 크기가 칩의 사이즈보다 커질수 밖에 없어 제품의 소형화, 경량화 추세를 따라가기에는 한계가 있어, 크기가 작으면서 열처리 능력은 뛰어난 방식이 요구된다. 이 문제는 MEMS(micro electromechanical systems)기술을 사용하여 크기가 작은 수냉식 장치를 개발함으로써 해결이 가능하다. 다양한 MEMS응용분야중 Micro-Fluidic Chip 제작과 같은 방식으로 Micro채널을 형성하고, 이 채널을 통해 물을 흘려보내 칩에서 발생하는 열을 처리할 수 있는 칩 사이즈의 수냉식 Heat Exchanger를 제작할 수 있다.

Micro 채널을 형성하는 방법은 공정이 간단하고 비용이 적게드는 Replication 공정이 널리 사용된다. Replication 공정은 패턴 정보를 간직하고 있는 Master가 중요하다. 그러나 하나의 Master를 제작하는 데는 상당한 비용이 들어가게 된다. 본 논문은 적은 비용으로 Master를 손쉽게 빠르게 제작할수 있는 방법과 이 Master를 사용한 Replication 공정으로 Polymer Heat Exchanger를 제작하는 방법을 소개한다.

## 2. 실험 방법

Replication공정을 이용한 Polymer Heat Exchanger의 제작은 Master의 제작으로부터 시작한다. CAD 프로그램을 사용하여 Heat exchanger의 패턴을 디자인하고 이를 Ink-jet 프린터를 사용하여 OHP 필름에 출력한다. 출력된 OHP 필름은 Mask로 사용하게 된다. 구리판이나 실리콘 웨이퍼 위에 드라이 필름 레지스터를 흡착시킨 다음 출력된 OHP필름을 드라이 필름 레지스터가 코팅된 판위에 위치시킨 뒤 UV 광원 아래에서 노광한다. 노광을 마친 후 패터닝된 Master를 Hard Bake 처리한다. 이상의 과정에서 클린룸을 이용하지 않았으며 고가의 반도체 제조 장비없이 PCB artwork을 위한 장비들만을 사용하여 Master를 제작하였다. 새로운 Master제작방식은 감광물질로 기존의 액상 Photo resister를 사용하지 않고 드라이 필름 레지스터를 사용함으로써 가능하였다. 드라이 필름 레지스터는 일반 포토레지스터와는 달리 고형의 필름 형태로 제공되어 취급이 용이하며 균일한 두께의 코팅막을 얻을 수 있다. 반면 Resolution이 일반 포토레지스터에 비해 떨어져 대략 30~50 $\mu\text{m}$ 정도이다. 그러나 50 $\mu\text{m}$  이상의 패턴에서는 무리없이 사용가능하며 또한 고가의 Quartz Mask를 사용하지 않고 PC와 프린터만을 가지고 출력하여 사용가능한 OHP 필름을 마스크로 사용하더라도 100 $\mu\text{m}$ 급의 패턴 공정에는 무리없이 사용가능 하였다. 본 실험에 사용된 드라이 필름 레지스터는 Kolon 사의 KP-2150 이다.

위의 방법으로 제작된 Master위에 PDMS를 부어준 다음 드라이 오븐에서의 경화과정을 거친 후 PDMS를 조심스럽게 떼어내면 Master의 패턴이 전이된 PDMS를 얻을 수 있다. 이를 실리콘 칩 뒷면에 부착시키고 물을 흘려주고 빼주는 관을 연결하면 Polymer Heat Exchanger가 완성된다. PDMS를 실리콘에 접촉시키기 위해 접착제( $\alpha$ -cyanoacrylate)를 사용하였다.

실험에 사용된 패턴의 모양은 그림 1에 나타나있다. 채널은 모두 5개이며 각 채널의 폭은 3000 $\mu\text{m}$ , 채널 간격은 250 $\mu\text{m}$ , 그리고 깊이는 150 $\mu\text{m}$ 가 되도록 작업하였다. 그림 1(b)와 (c)는 위 과정을 거쳐 제작된 드라이 필름 레지스터를 사용한 마스터와 패턴이 전이된 PDMS를 보여준다.

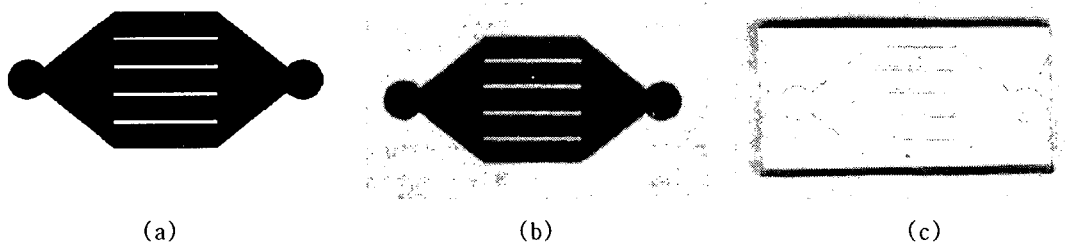


그림 1. 디자인된 패턴(a)과 패터닝된 Master(b), 그리고 패턴이 전이된 PDMS(c)

그림 2는 이번 실험에 사용된 장치의 구성을 나타내고 있다. 실험에 사용된 실리콘 기판은 2.5 $\times$ 6 $\text{cm}^2$ 의 실리콘 웨이퍼를 사용하여 열원으로부터 70~80 $^{\circ}\text{C}$ 범위에 위치하도록 조절된 위치에서 공냉식의 방열판만을 사용했을 때, 방열판과 팬을 사용했을 때, 그리고 Polymer Heat Exchanger를 사용했을 때의, 시간에 따른 온도 변화를 관찰하는 방식으로 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 방열판은 팬티엄급 PC에 사용되는 방열판을 사용하였고 팬은 12Vdc의 BLDC모터를 사용하였다. 또한 Polymer Heat Exchanger에는 정량이송펌프를 사용하여 시간당 일정량의 18 $^{\circ}\text{C}$ 의 물을 공급하여 주었다.

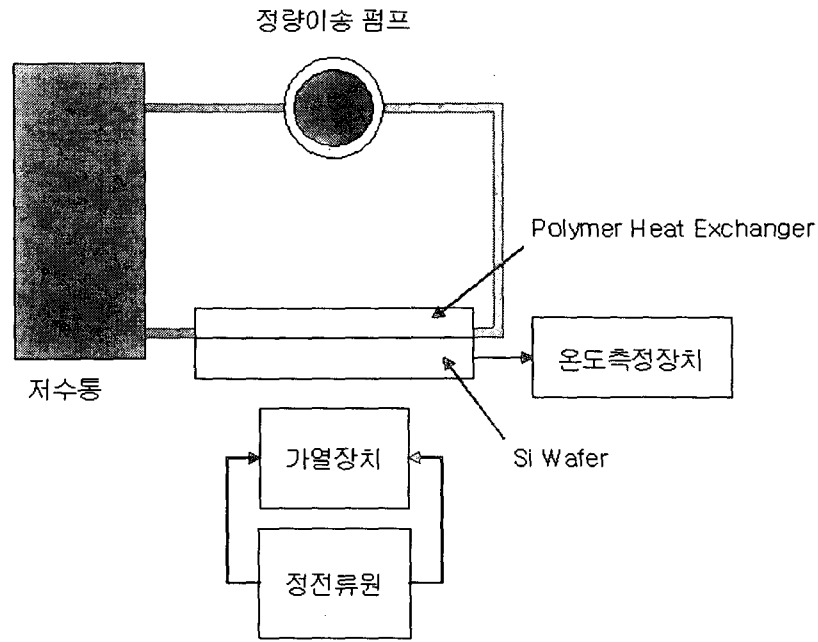


그림 2. 실험 장치 개략도

#### 4. 실험결과 및 토의

실험 결과는 그림3에 나타내었다. 물은 정량이송펌프를 통해 32ml/min을 공급하였다. 이 결과를 통해 Polymer Heat Exchanger의 열 처리능력이 여타의 다른 방식들에 비해 앞서는 것을 확인할 수 있다. 또한 공냉식 방식은 주변의 온도가 상승하였을 때 영향을 받는 반면에 Polymer Heat Exchanger는 열을 식혀주는 매체가 물이기 때문에 주변온도의 영향을 적게 받는다는 장점이 있다.

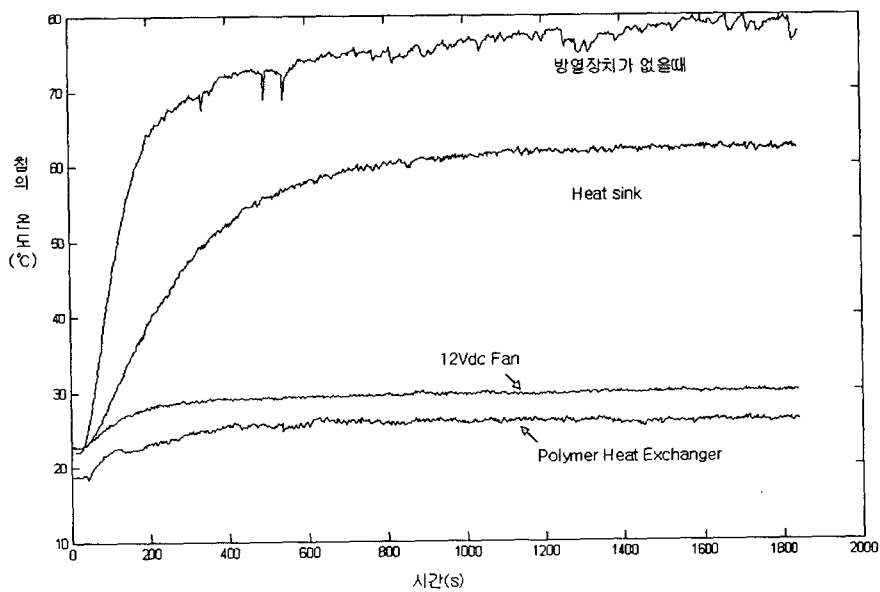


그림 3. 방열 장치에 따른 칩의 표면 온도 변화

그림 4은 flow rate에 따른 칩의 온도 변화를 관찰한 결과이다. 이 그래프에서 데이터는 6ml/min의 유량으로 물을 흘려보냈을때 열을 가한지 10분이 지난 시점의 칩의 온도를 1로 하고 다른 유량의 경우와 비교하여 이를 상대값으로 표시한것이다. 이 결과에서 flow rate이 증가할수록 칩에서 발생하는 열을 효율적으로 처리할 수 있음을 확인하였다. 다만 flow rate를 너무 증가시키게 되면 Heat Exchanger의 배수량에 비해 주입되는 물이 많아 내부의 압력이 증가하게 되어 주입구에서 물이 새어나오게 되므로 적절한 flow rate을 선택해야 한다.

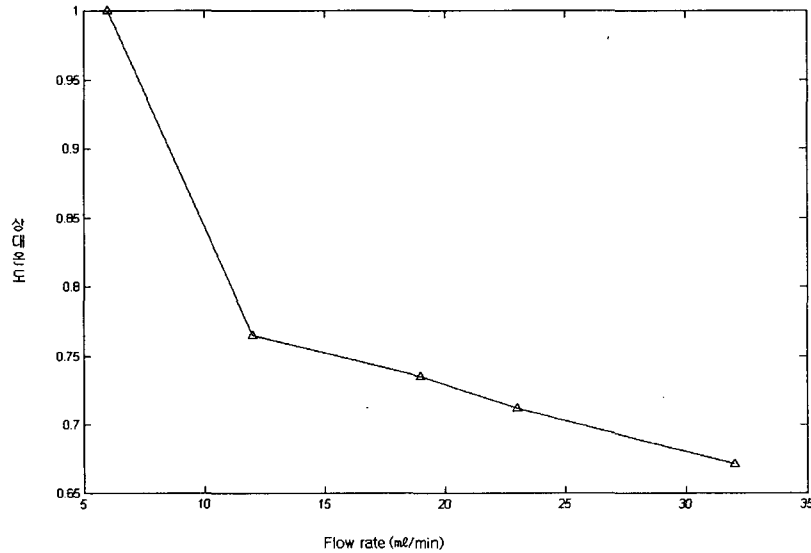


그림 4. Flow rate에 따른 열 처리능력 비교

이와 같이 공냉식의 열처리 장치에 비해 우수한 성능을 발휘하는 Polymer Heat Exchanger는 기존의 장치들에 비해 얇고 그 크기가 칩사이즈에 대응시켜 제작이 가능하여 패키지내에 삽입될 수 있어 칩에서 발생하는 열을 처리할 것으로 기대할 수 있다. 아래의 그림5는 이와 같은 응용의 사례를 예상하여 그 구조를 간단하게 도시하여 보았다. 이와 같은 패키지 형태는 외부에 커다란 Heat sink나 팬등의 장치들을 부착하지 않아 시스템의 소형화와 경량화를 실현할 수 있을 것으로 기대된다. 더욱이 여러 칩을 하나의 패키지에 담게 되는 MCP(Multi-Chip Package)와 같은 경우 발열량이 더욱 증가하게 되는데 이 열을 처리하기 위한 방식으로 Polymer heat Exchanger의 경우가 가장 적합하다.[3] 다만 이 방식을 실현하는데는 몇가지 문제가 있다. 우선, 물이 이송되는 배관의 온도와 주변온도와의 차이로 인해 배관에 물방울이 맺힐수 있는 가능성이 있다. 또한 영하의 날씨에 물이 얼게되면 배관을 파괴하거나 패키지에 손상을 입힐수 있는 가능성이 있다. 이러한 문제는 물을 다른 물질로 대체시키거나 물에 첨가물을 섞어 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

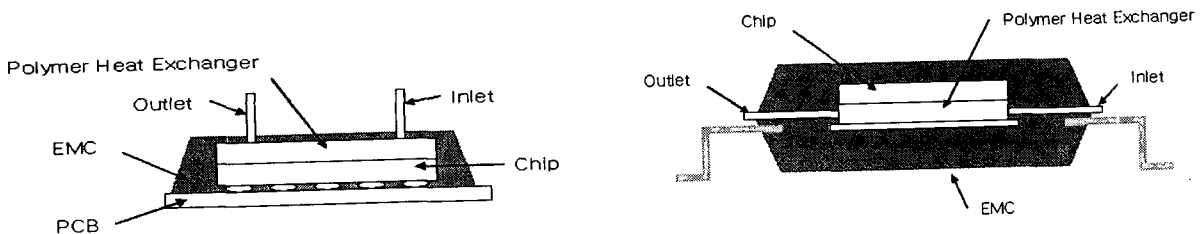


그림 5. 패키지내에 삽입되는 Polymer Heat Exchanger의 응용

### 3. 결론

본 연구를 통해 드라이 필름 레지스터를 사용한 저비용의 제작 공정으로 마스터를 제작하였고 이를 사용하여 Replication 공정으로 Polymer Heat Exchanger를 제작하였다. 드라이 필름 레지스터를 이용한 공정이 비록 한계점을 지니고는 있지만 빠른 시간내에 적은 비용으로 손쉽게 50 $\mu$ m 이상의 패턴을 제작 할 수 있는 공정이다. 앞으로 드라이 필름 레지스터의 Resolution이 더욱 작아진다면 다양한 분야에 널리 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

Polymer Heat Exchanger는 칩에서 발생하는 열을 현재 사용되고 있는 공냉식의 장치들에 비해 효과적으로 처리할수 있는 능력을 지녔으며 그 크기 또한 칩 사이즈로 제작될 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 특징으로 인해 Polymer Heat Exchanger는 패키지 내에 삽입되어 사용될 수 있을 것으로 기대되는데 이는 제품의 경량화와 박막화를 실현하기에 가장 적합한 형태가 될 것이다.

### 참고문헌

- [1] Semiconductor Industry Association, " International Technology Roadmap for Semiconductors" , 2002.
- [2] Integrated Circuit Engineering Corporation, "Roadmap of Packaging Technology", 2000.
- [3] Haehyung Lee, Yongwon Jeong and Joonghan Shin, " Package Embedded Heat Exchanger for Stacked Multi-Chip Module" , Proceedings of Korea-Japan Joint Workshop on Advanced semiconductor Process and Equipments, 89-94,2003.