

폴리머 마이크로 칩에 대한 레이저 투과 마이크로 접합

Analysis of Transmission Infrared Laser Bonding for Micro Polymer Devices

김 주한*, 신 기훈*

* 서울산업대학교

ABSTRACT A precise bonding technique, transmission laser bonding using energy transfer, for polymer micro devices is presented. The irradiated IR laser beam passes through the transparent part and absorbed on the opaque part. The absorbed energy is converted to heat and bonding takes place. In order to optimize the bonding quality, the temperature profile on the interface must be obtained. Using optical measurements of the both plates, the absorbed energy can be calculated and heat transfer model was applied for obtaining the transient temperature profile. The transmission laser bonding has a potential in the local precise bonding in MEMS or Lab-on-a-chip

1. 서 론

마이크로시스템(MEMS)이나 랩온어칩(Lab-on-a-chip)과 같은 미세유체장치에서는 반도체에서 쓰이는 실리콘이 그 주된 재료로 이용되어 발전하여 왔다¹. 이는 기존의 광 리소그래피(Photo-Lithography)를 이용하여 미세패턴을 쉽게 만들 수 있고 대량생산에 용이하다는 점이 그 주된 이유로 볼 수 있다. 근래에 들어 실리콘에 비해 더 값싸고 쉽게 패턴을 만들 수 있는 대체 재료의 필요성이 경제적 관점에서 제기 되어 왔다. 폴리머는 이러한 미세 패턴 가공에 쓰일 수 있는 대체 재료로 뛰어난 성질을 가지고 있어 실리콘을 기반으로 한 마이크로시스템을 대체하는데 있어서 가장 적절한 재료로 여겨진다. 이에 근래에 많은 폴리머 마이크로시스템에 대한 연구가 수행되어 왔는데²³ 폴리머는 실리콘 보다 10배 이상 경제적이며 실리콘이 갖지 못하는 많은 다양한 성질을 가지고 있다. 대표적으로 폴리이미드(Polyimide) 또는 아크릴릭(Acrylic) 같은 폴리머의 광학적 투명성은 마이크로시스템이나 미세유체기구에 있어서 그 시스템 내부에 대한 정보를 광학적으로 직접 얻을 수 있다는 점에서 큰 장점으로 여겨진다. 이렇게 미세 가공된 폴리머는 패키징 과정을 통하여 기능을 가진 시스템으로 작동할 수 있고 이에 필요한 공정이 폴리머 접합 공정이다. 실리콘에 기반한 마이크로시스템과는 상이한 재료를 이용하고 있기에 폴리머 접합도 이에 맞게 개발될 필요가 있고 폴리머의 접합에는 크게 두가지로 그 종류를 분류할 수 있다. 첫번

째로는 접합물질을 이용하는 방법이고 두번째의 방법은 접합면에 에너지를 가하여 소성변형을 일으켜 이에 따른 접촉면의 분자간의 결합에 의해 접합을 발생시키는 방법이다. 첫번째 방법의 좋은 예로는 에폭시(Epoxy) 또는 자외선접합제(UV Curing Adhesive)를 이용하는 방법이다. 이 방법의 장점은 쉽게 접합제를 표면에 도포할 수 있으며 그 접합력이 매우 강하다는 점에 있어 폴리머층의 결합에 쉽게 이용될 수 있다. 하지만 높은 광학적 투과성을 요구하는 일부 마이크로시스템에서는 굴절율이 그 접합층에 가서 달라질 수가 있고 또한 그 접합물질이 미세 가공구조에 스며들어 그 시스템 자체를 불량으로 만들 수 있는 단점이 있다. 덧붙여 접합제에서 발생할 수 있는 기포 등은 시스템 자체에서의 불균질성을 만들어 낼 수 있기에 그 공정의 조작에 있어서 세밀한 주의가 필요하다. 두번째 공정 방법에 예로는 접합면에 열이나 초음파 등의 에너지를 가하여 접합을 하는 공정이 있는데 이는 접촉면에서의 분자간의 결합을 유도해냄으로써 접합이 되었을 시 그 결합면이 직접적으로 접합되는 장점을 가지고 있어서 실제 높은 에너지를 이용한 매크로스케일(Macro-scale)의 접합에 있어서 비교적 광범위로 쓰이고 있다. 하지만 마이크로시스템이나 미세유체장치의 접합에 경우 접합면의 미세패턴이 그 에너지로 인해 쉽게 변형이 될 수 있어 그 접합 에너지를 세밀하게 제어해 주어야 하는 공정상의 문제점을 갖고 있다.

본 연구에서 제안된 레이저 투과 마이크로 접합은 광 투과성이 높은 폴리머와 불투명한 폴리머를 레이저를 이용해 접합하는 공정으로써 폴리머로 만

들어진 마이크로시스템이나 미세유체장치들에 쓰이는 층을 미세 가공 후 투명한 폴리머 커버를 접합하는 공정에 이용되어질 수 있다. 본 공정은 매크로 스케일에 관한 공정으로 제안 및 개발이 되어 왔는데⁴ 레이저의 선택적 투과와 미세 에너지 조절 특성을 이용하면 미세 시스템의 제조공정에서 정밀한 접합이 가능하다. 본 공정의 기본 원리는 그림 1에 나타나있다.

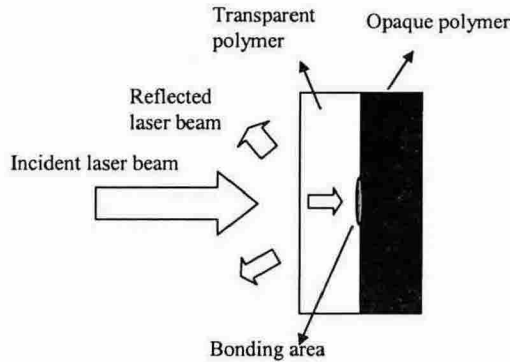


그림 1. 레이저 투과 마이크로 접합 도식도

접합이 되는 두개의 파트는 광학적으로 투명한 폴리머와 불투명한 폴리머로 구성되어 있다. 미세유체시스템 등에서 사용되는 마이크로채널 같은 스트럭처들은 두개의 파트중 한면 또는 두면 모두에 가공이 되어 있고 이것들을 패키징 과정을 통해 접합하려 할 때 본 공정이 쓰여질 수 있다. 광학적으로 투명한 파트 쪽으로 레이저가 조사되면 부분적으로 투명한 파트를 거쳐 일부는 반사 흡수 되지만 조사된 대부분의 에너지가 불투명한 파트에 흡수된다. 이때 국부적으로 그 접촉면에 열이 발생하게 되고 이를 통하여 두 파트가 접합이 될 수 있다. 본 연구에서는 미세 접합에 필요한 최적 조건을 계산하고 실제 실험을 통해 그 모델을 검증하려 한다.

2. 모델링

본 공정으로 접합된 두 폴리머의 접합 품질은 접합된 부분의 강도, 접합부분의 광학적 성질, 접합면에서의 기포 등의 존재유무 등과 같은 것으로 측정되어질 수 있고 이는 두 폴리머의 접촉면에 레이저 조사로 되었을 때 그 면의 시간에 대한 온도 변화와 밀접한 관계가 있다. 예를 들어 너무 낮은 레이저 에너지를 이용해 접합을 시도하였을 경우 실제로 접합이 발생되지 않거나 너무 높은 레이저 에

너지를 이용하는 경우 접합은 되어지나 두 면에서의 미세 스트럭처들의 변형 또는 기포가 발생되어질 수 있다. 그러므로 레이저가 조사된 면에서의 시간에 따른 온도변화가 필요하며 이는 열전도 모델과 경계조건을 통해 해석되어질 수 있다. 두 접합면이 어떤 공기층 없이 완전한 접촉을 하고 있다고 가정한다면 온도 변화는 다음과 같은 전도방정식으로 나타내어질 수 있다.

$$\rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

여기서, T 는 온도, t 는 시간, ρ 는 밀도, C_p 는 비열 (specific heat), k 는 열전도계수를 나타낸다. 레이저빔이 조사되는 면에서의 초기 조건과 경계조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-k_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial x} = -k_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial x} + q'' \quad \text{at } x=0 \quad (2a)$$

$$T_1 = T_2 \quad \text{at } x = 0 \quad (2b)$$

$$T_1 = T_0 \quad \text{at } x = d \quad (2c)$$

$$T_2 = T_0 \quad \text{at } x = d \quad (2d)$$

여기서 q'' 는 레이저빔이 그 면에 흡수될 때 발생하는 단위면적당 에너지 파워이고, T_1 과 T_2 는 두개의 폴리머의 온도를 나타내며, T_0 는 주위 온도 그리고 d 는 각 폴리머층의 두께를 나타낸다. 본 방정식을 풀기 위해서는 에너지빔이 조사되었을 때 어느 정도의 에너지가 투과되어 접합면에 도달하는가를 알고 있어야 하고 이는 본 매질들의 복소수 굴절율을 실험적으로 구함으로써 예측할 수 있다. 약 10 cm의 두개의 투명하고 불투명한 각각의 아크릴릭 폴리머층 사이에 흡수되는 레이저빔이 조사된 양의 87.5% 라는 것이 계산을 통해 얻어질 수 있었고 이것으로부터 계산된 q'' 의 값으로 열전도 방정식의 정해를 구할 수 있다. 접합면의 온도 변화를 그림 2와 같이 계산되어질 수 있다.

3. 실험결과

본 공정의 실험 장치는 레이저, 원형 마스크, 그리고 렌즈 등의 조합으로 구성되어 있다. 레이저 소스로는 9W의 화이버 적외선 레이저(SDL FL10, $\lambda=1100\text{nm}$)가 사용되었으며 200 mm의 초점거리를 가진 렌즈가 레이저빔의 에너지 밀도를 높이기 위해 사용되었다. 접합에 쓰인 폴리머는 아크릴릭을 사용하였다. 자세한 공정 조건은

표 1에 나타나있다.

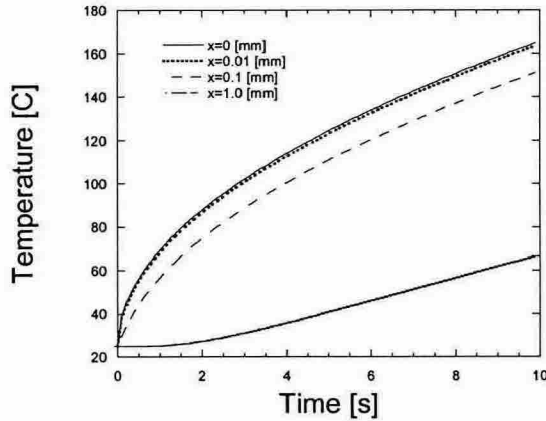


그림 2. 레이저 파워가 0.42W/mm²이었을 때의 접합면에서의 온도 변화. (10 cm 아크릴릭 폴리머)

Table 1. 레이저 접합에 쓰이는 공정 조건

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| Power | 29.5 mW |
| Focused laser beam diameter | 0.3 mm |
| Power intensity | 0.42 W/mm ² |
| Aperture diameter | up to 4 mm |
| Focal length of the lens | 200 mm |
| Target position from the lens | 240 mm |
| Exposure time | 1 – 60 s |

그림 3(a)는 3.2초간의 레이저 조사에 의해 만들어진 접합점이며 높은 품질의 접합이 얻어 졌음을 광학현미경의 통해 확인할 수 있다. 아크릴릭의 소성변형의 온도가 105°C 임을 감안할 때 그림 2에서 계산된 온도는 약 100°C 정도로 그 접합이 일어날 때의 온도가 소성 변형의 온도와 매우 근접해 있음을 알 수 있고 이는 실험적 결과와 일치한다. 결론적으로 적절한 접합을 얻기 위해서는 소성변형이 일어나는 온도로 레이저 에너지를 정확히 조절을 해야 함을 알 수 있다. 접합점의 크기는 레이저빔 초점의 크기, 레이저 빔 노출시간, 레이저빔의 에너지 밀도 등에 의해 결정이 되어짐을 또한 유추할 수 있다.

본 레이저 접합이 이송 스테이지와 함께 쓰인다면 다양한 종류의 미세 접합을 만들어 낼 수 있는데 그림 3(b)에서는 원형 이송 스테이지를 사용해서 만들어낸 원형 레이저 투과 접합의 결과물을 보여주고 있다.

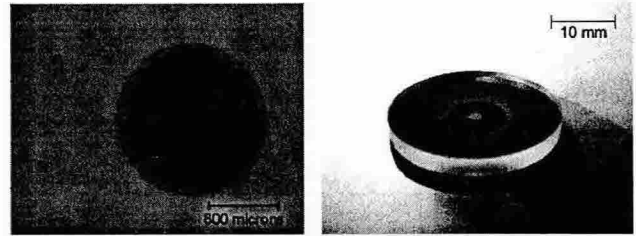


그림 3. (a) 레이저 접합으로 만들어진 접점 (b) 원형 레이저 접합.

4. 결 론

본 연구는 폴리머 마이크로 칩에 쓰일 수 있는 레이저 투과 마이크로 접합에 공정에 대하여 소개하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 본 레이저 투과 마이크로 접합은 미세 폴리머를 선택적으로 접합하는데 쓰일 수 있다.
- 2) 여러 레이저관련 패러미터를 조절함으로써 접합의 품질을 결정할 수 있고 고 품질의 미세 접합을 얻을 수 있다.

참고문헌

- ¹ Talary, M. S., Burt, J. P. H., Rizvi, N. H., Rumsby, P. T., and Pethig, R., Proc. SPIE, Vol. 3680, 1999, 572 – 580.
- ² Becker H. and Locascio, L. E., Talanta, Vol. 56, 2002, 267 – 287.
- ³ Becker, H. and Heim, U., Sensor. Actuat. A, 2000, Vol. 83, pp. 130 – 135.
- ⁴ Potente, H., Korte, J., and Becker, F., J. Reinf. Plast. Comp., Vol. 18, 1999, 914 – 920.