

유리액을 이용한 레이저 선택 접합

김주한^{1*}, 이제훈², 김향태¹

¹서울산업대학교 기계공학과, ²한국기계연구원

Laser bonding using liquid glass

Joohan Kim¹, Jae-Hoon Lee², Hyangtae Kim¹

¹Seoul National University of Technology, Mechanical Engineering

²Korea Institute of Machinery and Materials

*Corresponding author: joo Hankim@snut.ac.kr

ABSTRACT

A selective laser micro bonding process using liquid glass (methylsilsequioxane) was developed and the results are analysed. The liquid glass can be solidified with Nd:YAG laser irradiation and it can be applied for joining two glass substrates. A bonding thickness of a few micrometers can be achieved. The appropriate laser power density for this process is around 40-60 kW/cm² and its bonding force is 1000-1200 gf/mm². This process can be applied for bonding micro devices such as micro bio-sensors or display products. Its advantages and limitations are presented and discussed.

Key Words: methylsilsequioxane, Liquid glass, Nd:YAG laser, Micro-joining, Micro-packaging

1. 서 론

바이오 공학과 디스플레이 산업 등의 발달에 따라 각종 광학 마이크로 장치의 개발에 대한 연구가 많이 수행되어 왔다. 이러한 바이오 센서 등과 같은 마이크로 장치의 제작에 있어 미세 패턴 제작과 더불어 만들어진 패턴들의 패키징 공정이 필요하며 이러한 미세 패키징을 위한 미세 접합 공정이 중요한 연구 주제로 부각되어 왔다. 유리 모재는 앞에서 기술된 기술 분야에 있어서 중요한 소재중의 하나이고 이를 접합하기 위한 다양한 공정들이 제안되었다. 예를 들어 저온 유리 접합[1]이나 접합제 접합[2] 등이 일반적으로 사용되는 공정이다. 이러한 공정들은 기본적으로 접합부의 신뢰성을 확보할 수 있으나 마이크로 장치와 같은 미세 부품의 접합에 있어서는 미세 부품자체의 손상 등을 야기할 수 있다. 또한 미세 부품 또는 형상에 있어 선택적 접합이 필요한 경우 즉 모재 전체의 접합 대신 미세 형상을 제

위한 나머지 형상에서의 접합같은 경우 선택적 접합이 필요하며 위의 기술된 공정으로는 이러한 것을 달성하기가 어렵다. 이러한 미세 부품의 선택적 정밀 접합을 위해 본 연구에서는 유리액을 레이저를 통해 고형화시켜 유리모재를 이용하는 미세 부품의 접합이 가능한 공정을 제시한다. 반도체 공정에서 평탄화공정(planarization) [3]을 위한 methylsilsequioxane은 상온에서는 액상을 유지하나 열에 의해 탈수 현상이 일어나고 이에 따라 유리로 고형화되는 성질을 갖고 있다. 레이저는 광학계를 이용하여 에너지를 집속할 수 있는 장점이 있으며 집속된 레이저 스폿으로 다양한 열처리 및 미세 가공을 가능하게 한다. 본 연구에서는 최초로 유리액인 methylsilsequioxane을 레이저를 통해 선택적 고형화시켜 두 모재를 접합하는 공정을 제시하고자 한다. 또한 레이저로 고형화된 유리액의 미세 구조를 분석하고 레이저 파워에 따른 영향을 알아보며 이를 통해 실제적으로 두 개의 유리모재를 미세 접합하여 본다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 유리액은 methylsilsesquioxane으로 스피코팅을 통해 보통 수백 나노미터에서 수 마이크로의 박막 형태로 유리모재위에 도포가 되며 열처리를 통해 고형화된다. 본 소재의 경우 굴절율이 1.37정도로 일반적인 유리모재와 비슷하다. 이는 본 소재를 이용해 접합했을 때 굴절율의 상이로부터 오는 형상의 변형 또는 왜곡을 방지할 수 있다. 또한 methylsilsesquioxane은 점성이 1.7 cP로 스피코팅을 이용하면 나노두께의 박막을 모체에 도포할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에 있어서는 1000-4000 rpm으로 스피코팅을 함으로써 수백 나노미터로부터 수 마이크로의 박막을 도포하여 사용하였다. 본 유리액의 경우 열에 의해 Si(OH)₄가 응축현상을 일으키고 탈수에 의해 Si-O의 네트워크를 만들게 된다(Fig. 1). 이렇게 고형화된 Si-O는 모체에 강한 접착력을 갖게 된다.

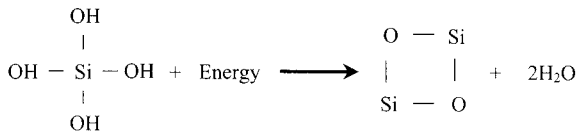


Fig. 1 Solidification of methylsilsesquioxane.

레이저 빔은 국부적으로 조사하여 소재를 선택적으로 고형화시킬 수 있는 특징을 가지고 있으며 본 실험에서는 CW Nd:YAG 레이저(파장 : 1064nm)를 이용하였다. 레이저 최대 출력은 30W이고 초점거리 100 mm의 집속대물렌즈(Mitutoyo, NIR)를 이용하여 시편에 레이저 스폿을 형성하였다. 시편은 이송스테이지에 설치되어 라인 등의 다양한 패턴을 만들 수 있다. 출력밀도는 30-85 kW/cm²를 사용하였고 이송스테이지의 이송속도는 5-20 mm/s의 범위를 이용하여 접합을 수행하였다. 레이저 파워 밀도의 조절은 스폿을 디포커싱함으로 얻어질 수 있다. 실험은 두 부분으로 나눌 수 있는데 유리액을 아래 모체에 도포한 후 커버 유리 모재 없이 레이저로 고형화시킨 경우와 커버 유리모재를 덮은 후 실제 두 모재를 접합시키는 경우로 나뉘어 수행되었다. 첫 번째 실험을 통해 유리액의 고형화된 형상을 분석할 수 있으며 두 번째 실험에서는 실제 접합된 재료의 강도 등의 품질을 알아볼 수 있다.

3. 결과 및 고찰

레이저로 소결된 유리액의 SEM사진이 Fig. 2에 나타나있다. 소결된 유리액의 폭과 두께는 대략 30 μm와 600-900 nm 이다. 소결된 부분은 레이저 스폿의 크기와 대략적으로 일치한다. 그러므로 같은 레이저 출력 밀도를 적용한다면 다양한 레이저 스폿의 크기를 통하여 그 접착라인의 폭을 조절할 수 있다. 본 실험에 사용된 Nd:YAG 레이저의 최소 스폿의 크기는 집속 대물렌즈(Mitutoyo, NIR)를 사용할 때 대략 10 μm이다. 이는 본 타입의 레이저 사용에 있어 일반적인 접합 폭이 10 μm정도 임을 의미한다. 이러한 접합 폭은 스테이지의 이송속도 등에 의해 감소될 수 있으나 접합력 등을 고려했을 때 이보다 작은 스폿은 적절하지 못하다. 유리액의 소결에서 일어나는 중요한 변화는 앞에서 설명되었듯이 유리액의 탈수과정이다. 이는 초기에 유리액에 첨가되었던 H₂O가 레이저 에너지를 통해 제거되어 유리액의 폴리머화가 일어나며 이에 따른 Si-O의 단단한 결합이 만들어지게 된다. 이러한 탈수과정은 실제 고형화된 유리액의 형태를 결정하게 하는 중요한 요소이다. 고형화된 유리액은 Fig. 2와 같이 많은 작은 덩어리형태로 뭉쳐있게 되고 또한 이러한 뭉침으로 인하여 표면장력의 불균형을 만들어내어 실제 내부의 가공 라인에서 많은 빈공간들을 만들게 한다. 이는 레이저를 통한 순간적 고형화에 따른 급격한 온도상승이 이와 같은 미세구조를 만든 원인이라 생각되어진다. 또한 본 샘플의 단면프로파일을 측정하여 보았을 때 가운데 부분의 미세 고형물의 높이가 높고 양쪽 가장자리로 갈수록 낮아지는 형태를 보여주고 있다. 이것은 레이저의 에너지 분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 여겨지는데 실제 사용된 레이저가 가우시안 분포를 대략적으로 가지고 있으므로 가운데 부분의 레이저 에너지 밀도가 가장자리보다 클 수밖에 없으며 이러한 차이가 이와 같은 미세 고형물의 프로파일을 결정해주는 역할을 하고 있는 것으로 보인다. 두 개의 모재를 접합하는 공정에 있어서 윗판의 표면장력 및 압력을 다시 고려해야 하므로 실제 이렇게 가운데부분의 빈공간 및 구슬 같은 고형화는 많이 감소할 것으로 여겨진다. 이러한 고형 형태는 두 개의 판의 접합 강도에 있어서도 다소 부정적인 측면을 가

지고 있으나 고형화된 부분의 접합강도가 매우 높아 실제 미세 접합에 있어서 그다지 큰 문제를 야기하지는 않을 것으로 생각된다. 접합부의 광학적 특성도 본 공정에 있어 중요한 부분인데 윗판 유리모재가 없는 경우 그 광학적 투과 특성이 좋게 얻어지지 못하였다. 이는 공기중에 노출된 유리액이 고형화될때 표면 장력에 의해 구슬형상이 만들어지는 것에 기인한다고 할 수 있다. 이러한 효과는 윗판 유리 모재를 덧붙임으로써 어느 정도 감소시킬 수 있으며 이에 따라 그 광학적 투과 특성도 좋아질 수 있음을 의미한다. 실용적인 측면에서 광학적으로 균질한 접합 부분을 만들어내는 것이 중요하다고 사료되며 이를 위해 공정 최적화 등을 통한 추가 연구가 필요하다. 본 공정을 통해 두개의 유리모재가 접합되었고 그 결과가 Fig. 3에서와 같이 얻어졌다. 두 모재 사이의 접합두께는 수 마이크로이며 이는 낮은 스핀코팅 속도를 적용하여 얻어졌다.

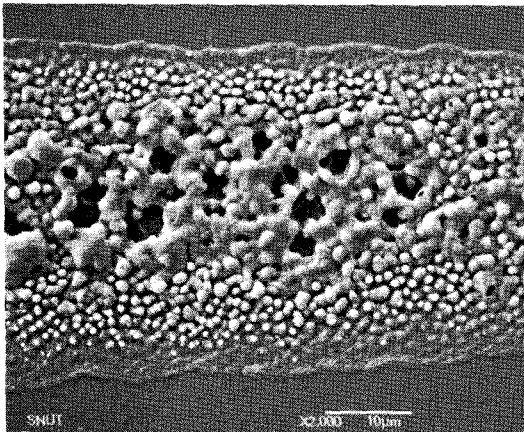


Fig. 2 Laser-solidified liquid glass.

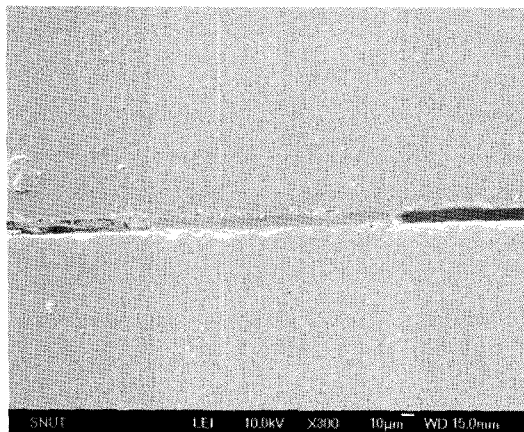


Fig. 3 A cross section of the bonding layer.

이와 같이 얻어진 접합물의 강도를 Fig. 4와 같은 방법(0.05 mm × 10 mm × 2 path)으로 측정하였으며 Fig. 5에서와 같은 접합강도를 측정결과를 얻었다. 30 kW/cm²이하의 레이저 파워 밀도에서는 고형화가 충분이 일어나지 않아 접합강도 측정을 할 수 없었고 80 kW/cm²이상에서는 유리액의 어블레이션이 일어나는 것으로 관측되었다. 실제적으로 알맞은 접합강도를 얻기 위해서는 45-65 kW/cm² 정도의 레이저 파워 밀도가 적당하게 나타났다. 이러한 범위에서 접합강도는 1000-1200 gf/mm²정도로 얻어졌고 이는 실제 마이크로 접합에 있어 적절한 강도로 여겨진다.

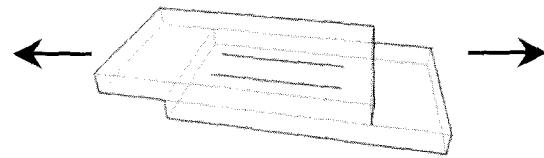


Fig. 4 Schematic of bonding test.

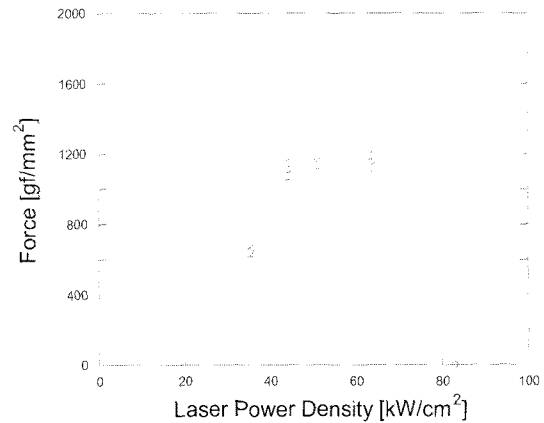


Fig. 5 Bonding strength with laser power density.

4. 결론

본 연구에서 레이저를 이용한 유리소재 선택 접합 공정이 제시되었다. 두 개의 모재사이의 유리액을 Nd:YAG레이저를 통해 선택적으로 고형화시킴에 따라 미세 접합을 실현할 수 있으며 그 접합 라인은 수 마이크로미터의 두께와 수십 마이크로미터의 넓이를 실현할 수 있다. 실험을 통해 얻어진 접합강도는 대략 1000-1200 gf/mm²정도이며 이것은 마이크로 형상의 접합에 있어서 적절한

강도를 제공한다. 레이저 접합 공정에 있어 레이저 파워 밀도는 실제 유리액의 고형화에 있어서 중요한 역할을 한다. 낮은 레이저 파워 밀도에서 유리액은 충분히 고형화되지 않으므로 접합에 있어 유리하지 않으며 또한 너무 높은 레이저 파워 밀도에서는 소재의 어블레이션 등으로 인해 접합력이 감소하는 효과를 나타낸다. 공정을 통해 얻어진 적절한 파워 밀도는 대략 $45\text{-}65 \text{ kW/cm}^2$ 내외인 것으로 나타났다. 본 유리소재를 이용한 레이저 선택 접합 공정은 미세한 형상의 선택적 접합에 있어 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 생각되며 특히 미세 광학 부품 접합 및 바이오 미세 센서 패키징 공정 등이 그 응용분야로 여겨진다.

후 기

본 연구는 서울산업대학교의 서울시 기술기반 구축 사업인 “3D Microsystem packaging을 위한 접합공정 및 장비개발”의 지원을 받았다.

참고문헌

- 1) Wang H. Y., Foote R. S., Jacobson S. C., Schneibel J. H. and Ramsey J. M., “Low temperature bonding for microfabrication of chemical analysis devices,” *Sensors and Actuators B*, Vol. 45, Issue 3, pp. 199-207, 1997.
- 2) Niklaus F., Stemme G., Lu J.-Q. and Gutmann R. J., “Adhesive wafer bonding,” *J. Appl. Phys.*, Vol. 99 (031101), pp. 1-28, 2006.
- 3) Yamada A., Kawasaki T. and Kawashima M., “SOI by wafer bonding with spin-on glass as Adhesive,” *Electron. Lett.*, Vol. 23, pp. 39-40, 1987.