레이저를 이용한 나노 박막 접합
Nano Layer Bonding using a laser beam

김향태 [1], *#김주한 [1], 이제훈 [2]
H. Kim[1], *#J. Kim[1] (joohankim@snut.ac.kr), J. H. Lee[2]
[1] 서울산업대학교 기계공학과, [2] 한국기계연구원

Key words : Laser, Nano layer, Bonding

1. 서론

IT 와 BT 에서 지난 10 년간 다양한 마이크로 시스템들이 개발되었다. 패키징이나 접합 같은 마이크로 시스템의 기본요소의 제작은 일반적으로 중요한 제작 과정이 되었고, 유리나 폴리머로 만드는 바이오 칩이 주요 적용분야 중의 하나이다. 이러한 시스템을 위한 많은 접합 기술들이 현재 적용되고 있고, 그것들은 두 개의 큰 그룹으로 나뉘어진다. 접합 부분에 직접적인 에너지를 주어 용융시키는 방법과 접합 물질을 이용한 방법이 있다.

첫 번째 방법으로는 직접 접합(direct bonding)[1], 양극 접합(anodic bonding)[2], 납땜 접합(solder bonding)[3], 열 경화 접합(thermo compression bonding)[4], 직접 금속 접합(direct metal-to-metal bonding)[5], 저융점 유리 접합(low temperature melting glass bonding)[6], 초음파 접합[7], 등이 있고, 두 번째 방법으로 접착제 접합이 있다. 접착제 접합(adhesive bonding)은 접합면 사이에 접착제를 박막으로 만들어 삽입하여 접합시키는 방법이다. 이는 국부적인 접합 면, 얇은 층으로 제작이 가능하고, 재료 표면의 기하학적인 형상에 영향을 받지 않는다. CMOS (complementary metal-oxide semiconductor)에도 적용이 가능하다. 재료 표면의 과도한 클리닝이나 평탄화 같은 전처리 과정이 필요하지 않으며, 재료 표면에 미립자나 미세 구조물이 있는 경우에도 실시 할 수 있다. 또한 가스와 습기에 안정적이고, 공정이 간단하고 튼튼하며, 저렴하다[8]. 따라서 미세구조의 결함을 줄이는데 기여할 수 있으나 과도한 접합레이어 또는 접합제의 변형은 미세구조를 막아버리거나 덮어버리는 부작용이 있을 수 있다. 이러한 것을 방지하기 위해 그 접합층을 최대한 얇게 도포하는 방식이 미세 마이크로 접합에 있어서 요구되며 얇은 접합층을 기존의 미세 형상의 손상없이 국지적으로 에너지를 가하는 방식이 요구된다. 이러한 요구들은 투명한 재질에 수 나노 미터의 두께를 가진 접합층을 스핀코팅하는 방식과 이렇게 얻어진 얇은 접합층을 레이저를 이용하여 국부적으로 고형화시키는 방식을 고려할 수 있다.

본 논문에서는 적외선 레이저를 이용하여 얇게 도포된 접합 박막을 고형화하여 두개의 투명한 판을 미세 정밀 접합하는 방식을 소개하고 그 결과를 제시하며 또한 본 접합 방식에 대한 분석을 하고자 한다.

2. Experimental Details

본 연구에서 사용된 SOG(Spin on Glass)접착제는 Methylsilsesquioxane, Methylsiloxane, polymer mixture 로 Nd:YAG Laser 를 이용하여 국부적으로 경화시킬 수 있는지를 연구하였다. 사용된 SOG 접착제의 재료 특성은 Table. 1.과 같으며, 3000rpm 으로 20 초간 스핀 코팅(Fig. 1.)하여 수백 나노 미터 두께의 접합 층을 얻을 수 있다.

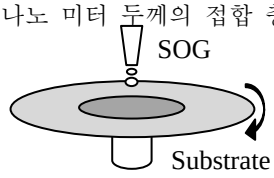


Fig .1. Formation of a nano adhesive layer by the spinning technique.

Table 1. Material properties of nano adhesive bonding layers.

Materials	Refractive index	Viscosity (25° C, cp)	Thickness (nm, 3000 rpm, 20s,)
Methylsilsesquioxane	1.37	1.70	400
Methylsiloxane	1.40	1.52	250
Novel polymer	1.62	20.0	900

SOG 접착제가 대부분의 파장을 투과시키기 때문에(Fig. 2. a.) 카본 블랙 잉크를 첨가하여 기판 위에서 레이저와 반응할 수 있도록 하였다. 1064nm 파장의 영역에서 15~20%의 흡수율을 보이며, 15%정도 첨가하여 경화 조건의 조절을 용이하게 할 수 있도록 하였다.

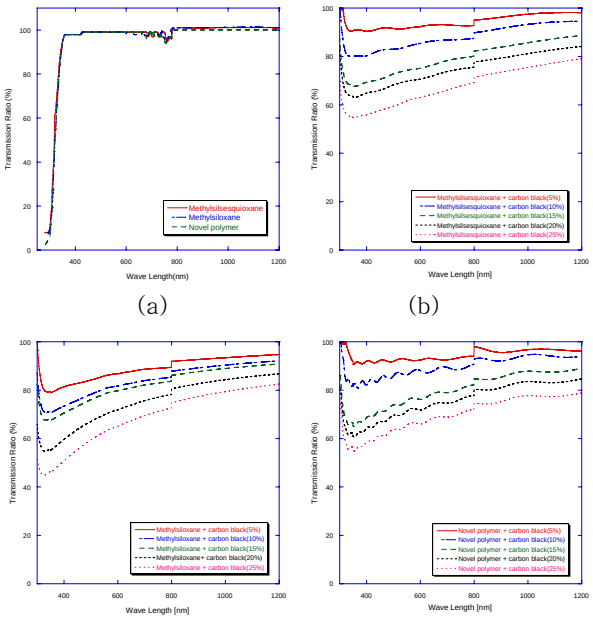


Fig. 2. Spectrums of (a) Methylsilsesquioxane, Methylsiloxane, Novel polymer. (b) Methylsilsesquioxane + carbon black (c) Methylsiloxane + carbon black (d) Novel polymer + carbon black.

SOG 접착제는 $Si(OH)_4$ 가 H_2O 를 잃는 동안 응축반응으로 형성된다. SOG 가 완전 경화될 때 강한 Si-O 공유결합을 가지며, Si-OH 와는 연결되지 않는다(Fig. 3.).

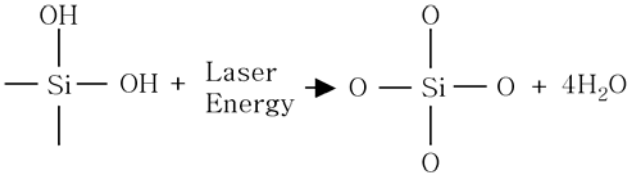


Fig. 3. SOG bonding mechanism.

본 연구에 사용된 레이저는 출력 35W, CW, 50 ㎛, TEM_{00} 모드로 에너지 분포가 가우시안 형태인 1064nm Nd:YAG Laser 를 사용하였고, 대기 중에서 실온 상태로 가공 하였으며, 측정 장비로는 FE-SEM 과 Alpha step 을 사용하였다 (Fig.4).

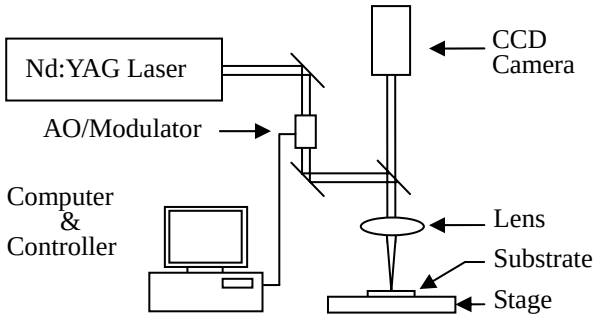
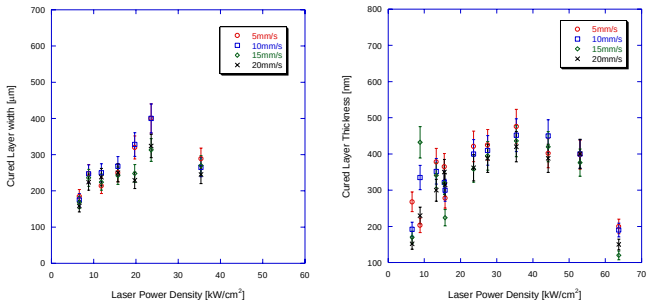


Fig. 4. Schematic of laser system.



(a) (b)

.Fig. 5. Cured (a) width and (b) height of the bonding layer (Methyl -silsesquioxane).

Fig. 5.는 자연로그 함수의 그래프 꼴로 그려지며 이를 기초로 하여 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$W = Ke^{\alpha I} \quad (1)$$

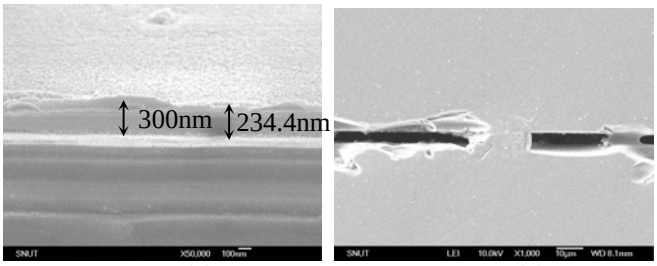
$$T = K'e^{\alpha' I} \quad (2)$$

W= 폭, T= 두께, I = Laser Power Density

Table 2.의 값을 이용하여 식(1),(2)에 대입하여 원하는 경화 폭과 두께를 어느 정도 예측 할 수 있다. 실제 레이저를 이용하여 접합된 결과가 Fig. 6 에 나타나있다.

Table 2. 상수 K, α , K′, α ′.

	Width		Thickness	
	K	α	K′	α ′
Methyl silsesquioxane	155.7	0.0025	347.1	0.021
Methylsiloxane	147	0.0025	275.5	0.008
Polymer mixture	236.5	0.00295	233.9	0.018



(a) (b)

Fig 6. SEM images of bonding layers.: (a) Solidified bonding layers (b) intersection of the bonding layer.

4. 결론

본 연구에서는 SOG (Spin on Glass) 접합제를 1064nm Nd:YAG 레이저를 이용하여 고형화시키고 이를 통해 두개의 플레이트를 미세 접합하는 새로운 미세 접합 방식을 제시하였다. 마이크로 사이즈의 레이저 빔은 국부적인 접합을 가능하게 하고, 주변부의 열 영향을 적게 미치는 장점이 있다. 하지만 접합면적이 매우 작기 때문에 큰 접합강도를 기대하기는 어려우나 micro optical device 의 접합, IC(Integrated Circuit)의 부분 coating, carbon black 을 첨가하여 마이크로급의 회로구현 등의 어플리케이션에 적용될 수 있다.

후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(나노리소그라피 개발연구)에 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Tong Q. Y., et al., " Low temperature wafer direct bonding," MEMS, **3**, pp. 29~35, 1994.
2. Kutchoukov V. G., Laugere F., Vlist W., Pakula L., Garini Y., Bossche A., " Fabrication of nanofluidic devices using glass-to-glass anodic bonding," Sensor and actuators A, pp. 521~257, 2004.
3. Humpston G., " Flip-chip solder bonding for Microsystems," GEC-Marconi material technology, 1997.
4. Margomenos A., Katehi P. B., " Fabrication and accelerated hermeticity testing of an On-wafer package for RF MEMS," Microwave theory and technique, **52**, pp. 1626~1636, 2004.
5. Ponec R., Yuzhakov G., Carbo-dorca R., " Chemical structures from the analysis of domain-averaged fermi holes: Multiple metal-metal bonding in transition metal compounds," Computational chemistry, **24**, No.15, pp. 1829~1838. 2003.
6. Sayah A., Solignac D., Cueni T., Gijs M.A.M., " Development of novel low temperature bonding technologies for microchip chemical analysis applications," Sensor and actuators, **84**, pp. 103~108, 2000.
7. Jun-hui LI, Lei Han, Jue Zhong, " Studies of microstructure characteristics and evolutions at the bond interface in bonding technology," Proceeding of HDP' 04, Changsha, China, pp. 316~321, 2004.
8. Niklaus F., Stemme G., Li J.Q., Getmann R.J., " Adhesive wafer bonding," Applied of physics, **99**, pp1~28, 2006.