

## 박막과 압전 재료 결합에 관한 연구

### Study on the Bonding Process between Thin Film and Piezoelectric Materials

정우석<sup>1</sup>, 김기범<sup>2</sup>, 홍철운<sup>2,a</sup>

(Woo-Suk Chong<sup>1</sup>, Gi-Beum Kim<sup>2</sup>, and Chul-Un Hong<sup>2,a</sup>)

#### Abstract

The purpose of this study is to obtain strong bond strength at the interface between piezoelectric substrates and semiconductor thin films to be applied for the manufacture of high-performance acoustic wave semiconductor coupled device. For this purpose, we have compared and examined the effects of different surface treatment methods on hydrophilic properties at the surface of the piezoelectric substrates. Moreover, we have observed the effect of microwave and laser on the elimination of water molecules at the interface. As for the piezoelectric substrates, dry method for surface treatment was found to be superior in the control of hydrophilicity of the surface compared to wet method. On the other hand, both microwave and laser were found to be effective in the elimination of water molecules in the interface.

**Key Words** : Epitaxial lift-off, LiNbO<sub>3</sub>, Surface treatment, Bonding, Piezoelectric surface

#### 1. 서론

반도체와 압전체를 이용하여 집적회로의 구조를 구현 한다면, 탄성 표면과와 반도체 중에 있는 운반체와의 상호 작용을 이용하여 고성능 복합 기능소자를 만들 수 있고, 이는 광통신, 이동 통신 시스템 중에서 핵심 디바이스로 활용 할 수 있을 것이다[1]. 지금까지의 연구에서는 Epitaxial Lift-off (ELO) 박막 결합 기술을 이용하여 GaAs, AlGaAs 계의 화합반도체 박막을 LiNbO<sub>3</sub> 기판 위에 접착시켜 다양한 탄성과 · 반도체 결합 기능소자를 제작하였다[2]. 기능소자의 신뢰성과 생산성을 더욱 높이기 위해서는, 압전체와 반도체의 계면사이에는 매우 강한 접착력이 요구되는데, 두 표면사이에서 작용하는 물리화학적인 힘으로는 Van der Waals 힘과 액체의 모세관 힘 등이 있다. 이와 같은 힘은

효율적으로 작용시키기 위한 필수 요인으로는 각 재료의 표면의 평탄화, 청결화, 친수화를 들 수 있다[3]. 또한 계면에 미량의 증류수 분자가 남아 있으면 박막과 압전체 재료의 결합력이 떨어지기 때문에 공정 중에 막이 파괴되는 원인이 된다[4,5]. 따라서 서로 다른 종류의 재료를 결합하는 경우, 접착력은 표면의 친수성, 평탄성 그리고 계면에서의 증류수의 반응 상태 등에 매우 강한 의존성을 갖는다[6,7].

본 연구에서는 좀 더 다양하고, 복잡한 구조를 가지고 있는 탄성과 · 반도체 결합 기능소자를 만들어 내기 위하여 서로 다른 종류의 재료의 결합 접착력을 높이고자 하였다. 또한 기판 또는 박막재료의 표면 처리방법에 의하여 표면 상태의 차이 또는 마이크로파, 레이저 가열에 의한 결합 계면에 대한 증류수의 방출 방법에 대하여 검토 하였다.

1. 전북대학교 의용생체공학과

2. 전북대학교 생체정보공학과

(전북 전주시 덕진구 덕진동1가)

a. Corresponding Author : cuhong@chonbuk.ac.kr

접수일자 : 2005. 7. 27

1차 심사 : 2005. 8. 10

심사완료 : 2005. 9. 14

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 표면 처리

습식(wet)처리의 용액으로는 암모니아계(NH<sub>4</sub>OH : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : 5H<sub>2</sub>O, 1 : 1 : 5), 과산화수소계(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 2 : 1) 등을 사용하였고 건식(dry)처리에서는

산소 플라즈마를 사용하였다. 실험에서 사용한 기판 재료는  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , GaAs 그리고 Si 등을 사용하였다.

표면 처리후의 평가 방법으로서 접촉 각도와 원자간 현미경(atomic force microscope, AFM)에 의하여 표면의 조도를 검토하였다. 접촉 각도는 표면 처리 후 기판 위에 마이크로 주사기를 사용하여 5  $\mu\text{l}$ 의 초순수 증류수를 떨어뜨려 CCD카메라를 이용하여 증류수의 모양을 컴퓨터에 입력시켜 그 접촉각을 측정하였다. 이 각도의 크기에 의하여 기판 표면이 친수성 또는 소수성인가를 알 수 있다.

## 2.2 가열처리

그림 1에 나타난 바와 같이 압전기판과 박막사이의 결합방법으로 마이크로파와 레이저를 이용한 가열처리 방법을 사용하였다. 그림 1(a)에서 샘플에 조사한 2.45 GHz의 마이크로파에너지는 파워와 시간으로 제어 할 수 있다. 그림 1(b)에서 레이저빔은 광 섬유계와 집속 렌즈에 의하여 수십  $\mu\text{m}$  정도로 집중되어 샘플 면에 조사한다. 샘플 스테이지는 컴퓨터 제어로 X-Y방향으로 자유롭게 이동 할 수 있다.

두 개의 다른 재료를 결합한 후의 평가 방법으로서 뒷면을 연마한 투명 압전 기판 위에 반도체막을 결합한 샘플의 밑에서 적외선을 조사하고 위에서 계면의 양상을 관찰하였다. 또한 결합시킨 샘플의 부착력의 크기를 평가하기 위하여 인장실험을 하고 결합 강도도 정량적으로 측정하였으며, 디바이스 가공 공정을 실시하여 표면 상태의 변화와 전기적 특성을 평가하였다.

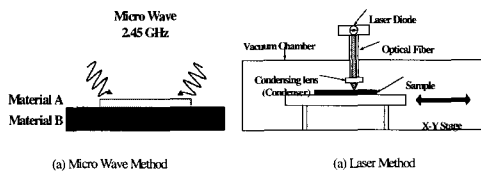


그림 1. 물리적 처리 방법의 모식도.  
Fig. 1. Schematic diagram of physical treatment methods.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 표면 처리 후의 친수성

표면처리를 하는 이유는 각 재료간의 접촉면적을 넓게 하고, 거리를 짧게 하여 Van der Waals

의 힘을 가장 크게 할 수 있기 때문이다. 또한 친수화된 표면은 수산화(OH)기로 활성화된다는 것을 의미하며, 계면에서의 접착력을 가장 강하게 한다. 표면 처리 하기 위한 방법으로는 습식 처리와 건식 처리가 있는데 본 실험에서는 습식과 건식방법을 다 사용하여 최적의 조건을 추출 하였다. 기판 표면에 초순수를 떨어뜨려 그 접촉각으로 친수성을 평가하였다. 그림 2는 표면 처리 후에 초순수 증류수를 Si 기판 위에 떨어뜨려 CCD카메라로 찍은 사진이다. 각각 표면 처리 용액에 대하여 접촉각이 다르다는 것을 알 수 있었다. 이 각도의 측정으로부터 암모니아계로 표면처리를 한 것이 친수화되기 쉬운 결과를 얻었다.

그림 3은 표면 처리 방법에 대하여 기판 재료 각각의 표면 친수성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 습식 처리의 경우 과산화수소 처리, 암모니아계, 플로우로화수소계와 황산계를 사용하였으며 건식 처리의 경우 간단히 처리 할 수 있는 산소 플라즈마 조사에 의하여 처리를 하였다. 그 결과 습식 처리의 경우 모든 기판 재료에 대하여 암모니아 계에서 처리한 경우가 가장 접촉 각도가 작아져 표면의 친수성이 좋아지는 결과가 얻어졌다. 그러나  $\text{LiNbO}_3$ 의 경우 산소 플라즈마의 처리와 습식 처리의 암모니아에서 둘 다 접촉 각도가 작아져 친수화가 촉진되는 상태의 결과를 얻었다. 이와 같은 결과에 의하여 압전 재료에 대해서는 산소 플라즈마에서 처리하고 반도체 재료에 대해서는 암모니아 계에 의하여 표면처리를 해야 한다는 것을 알 수 있었다. 그러나 GaAs와 같은 화합증류수 반도체에 대해서는 암모니아와 과산화수소수의 혼합액은 에칭용액으로도 사용되고 있기 때문에 용액의 혼합비에 따라서 표면이 거칠어지거나 소수성을 띠게 된다. 이와 같은 이유 때문에 Si에서 사용되고 있는 것과 같은 용액의 혼합비를 이용하지 않고 가능한 수산화기가 표면에 흡착하도록 용액의 혼합비를 조절할 필요가 있다. 따라서 본 실험에서 가장 적절한 압전체 기판의 표면개질 방법으로는 건식 산소 플라즈마 법이라고 판단된다.

또한 암모니아계의 처리에 있어서 GaAs와 Si에 대하여 친수화의 처리 시간 의존성에 대하여 조사하였다. 그 결과를 그림 4에 나타내었다. GaAs와 Si의 경우 30초까지 처리 한 결과 접촉각이 작아져 친수성이 좋아지는 경향을 확인할 수 있었다. 특히 Si의 경우 120초까지는 현저하게 친수성이 좋아지지만 그 이상은 포화되는 것을 알 수 있었다. 이것으로부터 표면의 친수화를 얻기 위해서는 적어도 120초간의 처리 시간이 필요하다는 것을 알았다.

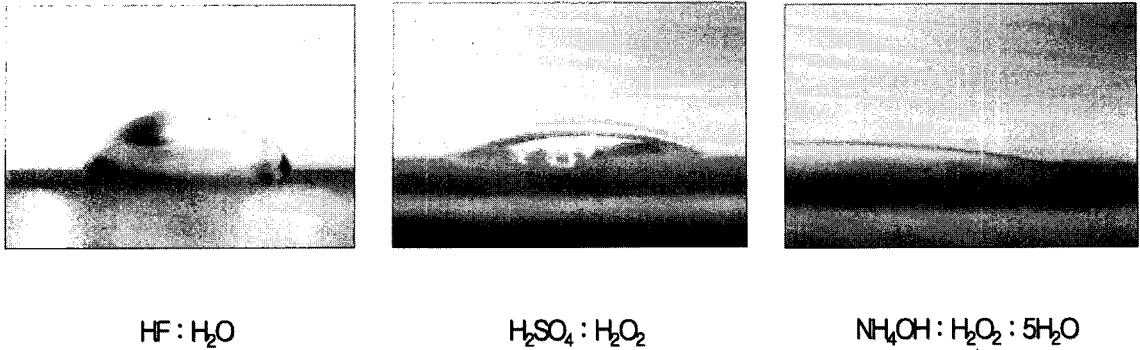


그림 2. 표면 처리 후에 초순수 증류수를 Si 기판 위에 떨어뜨려 CCD카메라로 찍은 사진.  
 Fig. 2. The charge coupled device (CCD) images of the water drop on the LiNbO<sub>3</sub> substrate surface cleaned by various cleaning solutions.

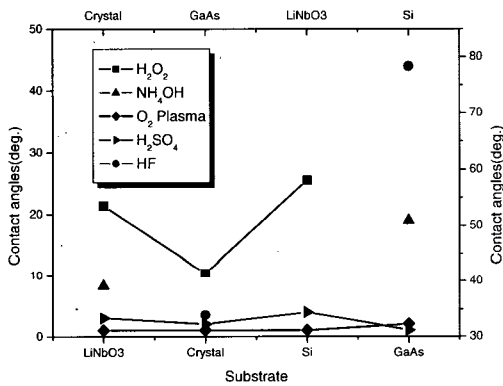


그림 3. 표면처리 용액에 다른 증류수와 기판 표면의 접촉각의 변화.

Fig. 3. Contact angles between distilled water and substrate surface which was cleaned by various cleaning solutions.

### 3.2 표면 처리 후의 원자간 현미경(AFM) 관찰

서로 다른 재료의 결합에 있어서 열팽창률의 차이나 격자 상수의 차이가 있기 때문에 같은 종류의 재료의 결합과 같이 기판 전체를 가열처리 하고 접합 계면에서의 고상(solid phase) 반응을 일으키는 것은 어려우며, 계면에 있는 미량의 증류수 분자가 남아 있다면 박막과 압전체 재료의 결합력이 떨어지기 때문에 공정 중에 막이 파괴되는 원인이 된다. 이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 마이크로파와 레이저를 이용한 가열처리 방법

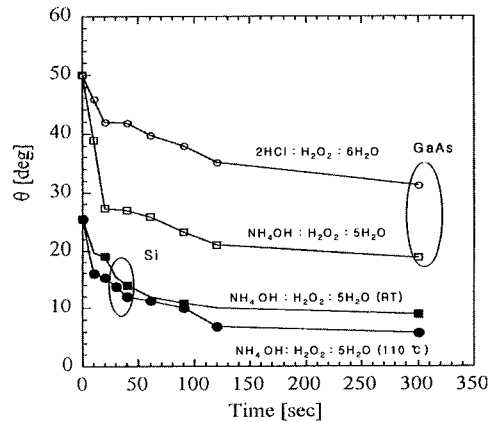


그림 4. 시간의 변화에 따른 접촉각의 변화.  
 Fig. 4. The changes of contact angle with time.

을 실험하였다. 마이크로파의 경우 마이크로파 에너지에 의하여 중간층에 존재하는 증류수만을 가열하여 분자 운동을 촉진시켜 여분의 증류수 분자를 방출할 수 있을 것이라 판단되며, 또한 레이저의 경우도 레이저빔을 집중하여 기판의 국소적인 부분에 가열할 수 있기 때문에 열팽창 계수의 차이에 의한 영향이 적을 것이라 사료된다. 표면 처리를 한 기판에 대하여 AFM를 사용하여 표면의 조도를 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다. 측정 결과 표면처리에 대하여 거의 표면 조도의 차이가 없는 것으로부터 어떤 처리에 의해서도 기판의 평탄성이 유지되고 있다고 판단된다.

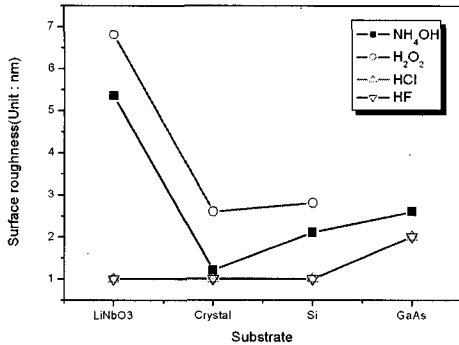


그림 5. 표면처리 용액에 따른 기판의 조도측정 결과.

Fig. 5. The surface roughness which was treated by various solutions.

3.3 표면에서 수분의 방출과 결합 강도

압전 기판 위에 반도체를 결합한 후 마이크로파와 레이저를 이용한 가열 처리 방법에 의하여 계면에 있는 수분을 제거하였다. 수분을 제거한 후 결합 강도를 측정한 결과를 표 1과 2에 나타내었다. 측정 결과 수정 위에 Si를 결합하였을 때 마이크로파의 파워가 큰 경우 인장 강도는 강하게 나타나는 결과를 얻을 수 있었다. 파워가 높을 때 인장 강도가 크게 된 이유는 수분의 방출이 잘 되어 부착력이 향상되었기 때문이라고 판단된다.

3.4 기능 소자 제작 과정에 의한 평가

앞에서의 실험 결과를 기초로 GaAs 박막과 LiNbO<sub>3</sub> 기판을 결합 한 샘플을 이용하여 디바이스 제작 공정을 수행 하였다. ELO 기술을 이용하여 박막 결합시키는 과정에서 반도체의 표면처리를 암모니아계로 LiNbO<sub>3</sub>의 표면을 산소 플라즈마 처리로 하였으며, 레이저를 사용하여 가열처리를 하였다. 기능 소자는 multi strip couple 구조를 하고 있는 convolver 이다. 이 구조에서는 폭 5 μm, 길이 수십 μm의 수백 개 다이오드의 저항(ohmic) 전극이 필요하다. 저항 전극으로서는 Ge/Au/Ni을 증착하고 380 °C로 가열하였다. 그림 6은 제작된 convolver 의 구조와 출력 신호이다.

실험 결과 이와 같은 공정은 반도체 박막에 손상을 주지 않았으며 계면의 결합력이 레이저 가열에 의하여 강화되었다는 것을 확인할 수 있었다. Ohmic 공정 후, Schottky, IDT 등 5~6회 공정 과정을 거쳐 convolver 샘플을 완성하였으며 전기 특성의 측정에 의하여 고효율의 디바이스가 얻을 수 있었다.

표 1. 마이크로파 열처리 방법에 의한 결합강도. Table 1. The bond strength which was treated by micro wave heating treatment method.

Substrate	Power	Time	Strength
Si/Crystal	200 mW	15 min.	320 g/cm <sup>2</sup>
	500 mW	15 min.	850 g/cm <sup>2</sup>
Si/LiNbO <sub>3</sub>	500 mW	5 min.	310 g/cm <sup>2</sup>
	500 mW	10 min.	600 g/cm <sup>2</sup>
GaAs/LiNbO <sub>3</sub>	500 mW	5 min.	600 g/cm <sup>2</sup>
	500 mW	10 min.	150 g/cm <sup>2</sup>

표 2. 레이저 열처리 방법에 의한 결합강도. Table 2. The bond strength which was treated by laser heating treatment method.

Substrate	Power	Strength
Si/Crystal	200 mW	700 g/cm <sup>2</sup>
	700 mW	650 g/cm <sup>2</sup>
Si/LiNbO <sub>3</sub>	100 mW	500 g/cm <sup>2</sup>
	300 mW	150 g/cm <sup>2</sup>
	500 mW	1100 g/cm <sup>2</sup>
GaAs/LiNbO <sub>3</sub>	100 mW	500 g/cm <sup>2</sup>
	300 mW	-
	500 mW	-

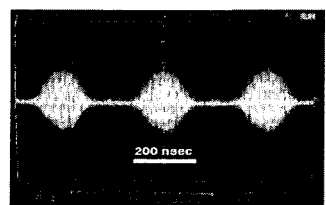
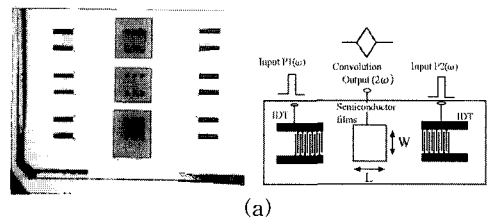


그림 6. 제작된 convolver 의 구조와 출력 신호. Fig. 6. Photographic and structure of convolution for SAW-semiconductor devices. (a) Structure of devices(Electrode finger pairs: 25, Wavelength: 20 μm, W=500 μm, L=1 mm). (b) convolution output wave form.

#### 4. 결 론

반도체와 압전 재료 결합의 계면에 있어서 접착력을 강화하기 위하여 전 처리 방법과 조건에 의하여 결합 표면의 차이와 마이크로파 또는 레이저에 의하여 계면에 있는 증류수분자의 제거 효과를 검토하였다. 압전 재료에 대해서 습식 처리보다 건식 처리를 하였을 때 표면의 친수성이 우수하였다. 또한 계면에 있는 증류수 분자의 제거에 대하여 마이크로파와 레이저의 조사 방법 모두가 효과가 있다는 것을 알았다. 이것으로부터 반도체와 압전체의 계면 접착력이 강하게 되어 높은 신뢰성을 가진 탄성파·반도체 복합 기능 소자를 개발할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 보건 복지부 주관 신개념바이오/피지오 센서기술연구센터 지원(과제번호 : 02-PJ3-PG6-EV05-0001)에 의해 이루어진 것임.

#### 참고 문헌

- [1] C. Hong, K. KOH, C. Kanneshiro, Y. Aoki, and K. Hohkawa, "Fabrication of surface acoustic wave-semiconductor coupled dices using epitaxial lift-off technology", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, p. 3666, 2000.
- [2] K. Koh, K. Miyadai, Y. Aoki, C. Hong, S. Noge, C. Kaneshiro, and K. Hohkawa, "Bonding technology of semiconductor film on piezoelectric substrate using epitaxial lift-off technology", Jpn. J. Appl., Vol. 40, p. 3734, 2001.
- [3] Kaneshiro C., Suda T., Aoki Y., Hong C., Koh K., and Hohkawa K., "Photoresponse on surface acoustic wave devices with compound semiconductor and LiNbO<sub>3</sub> structures", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, p. 3004, 2000.
- [4] Tong Q.-Y. and Gsele U., "Semiconductor wafer bonding", Science and technology, John Wiley Sons, New York, 1999.
- [5] Hong C., Koh K., Kaneshiro C., Aoki Y., and Hohkawa K., "Fabrication of surface acoustic wave-semiconductor coupled devices using epitaxial lift-off technology", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39, p. 3666, 2000.
- [6] Hohkawa K., Araki N., Komine K., Hara M., and Ueno H., "Study on surface acoustic wave devices for a pulse position modulated direct sequence spread spectrum communication system", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, p. 2683, 1995.
- [7] Rotterl M., Kalameitsev A. V., Govorov A. O., Ruile W., and Wixforth A., "Charge conveyance and nonlinear acoustoelectric phenomena for intense surface acoustic waves on a semiconductor quantum well", Phys. Rev. Lett., Vol. 82, p. 2171, 1999.