論文 한국공작기계기술학회지 제 6 권 제 4 호 1997. 12.
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

表面活性化法에 의한 실리콘웨이퍼의 低溫接合에 關한 硏究

崔 秉 起*

A Study on Low Temperature Bonding of Si-wafer by Surface Activated Method

Byung-Ky Choi*

Abstract

This paper presents a joining method by using the silicon wafer in order to apply to joint to the 3-dimensional structures of semiconductor device, high-speed, high integration, micro machine, silicon integrated sensor, and actuator.

In this study, the high atomic beam, stabilized by the oxidation film and organic materials at the material surface, is investigated, and the purified is obtained by removing the oxidation film and pollution layer at the materials.

And the unstable surface is obtained, which can be easily joined.

In order to use the low temperatures for the joint method, the main subjects are obtained as follows:

1) In the case of the silicon wafer and the silicon wafer of alumina sputter film, the specimens can be jointed at 20℃, and the joining strength is 5Mpa.
2) The specimens can not always be joined at the room temperatures in the case of the silicon wafer and the silicon wafer of alumina sputter film.

At the range of 120℃, the specimens can be jointed.

Keywords : 반도체 디바이스(semiconductor device), 산화막(oxidation film), 실리콘 웨이퍼(silicon wafer), 알루미나 스퍼터막(alumina sputter film)

* 조선대학교 기계공학과

1. 서 론

반도체 디바이스의 고속 고집적화, 마이크로머신, 실리콘 집적화 센서나 액츄에이터등의 3차원 구조물을 실현시키는데 실리콘웨이퍼의 접합이 요구되어지고 있다.

실리콘웨이퍼의 접합기술은 두장의 실리콘웨이퍼를 접착제를 사용하지 않고 접합하는 기술로서 1961년에 中村[1]등에 의해 처음으로 시도되었다. 그들은 1.5인치 구경의 산화막이 있는 웨이퍼를 산화막이 없는 웨이퍼와 접합시켜 웨이퍼의 전면이 1/2 내지 2/3정도를 접합시켰다. Kenny[2]는 보다 완전한 접합계면을 형성하기 위해 접합시에 140kgf/cm^2 의 압력을 가해 접합후 1225℃에서 어닐링을 했다.

Wallris[3] 등은 글라스 기판과 실리콘웨이퍼의 사이에 직류전압을 가해서 접합강도를 높이고, 접합후 850℃ ~ 950℃에서 어닐링을 하는 방법으로 접합기술을 보고하고 있다.

그러나 웨이퍼표면의 청정화 기술이나 연마 기술이 필요하게되어 널리 보급되어지지 못하였으나 1980년대 후반에 이르러서야 실리콘 표면상태 즉, 표면 거칠기가 수십 Å정도로 향상되어 SOI (Silicon on insulator)기술로서 활발한 연구가 이루어지고 있다.

R.Stengl[4] 등은 1989년 OH기와 물분자 사이의 수소결합으로 접합하는 기술을 보고하고 있다.

한편, 이들의 접합기술 등은 가열이 필요하게되어 가열에 의한 Al배선, 디바이스의 내열성의 문제가 제기되어지고 있다.

즉, 접합에 있어서 신뢰성을 향상시키는 것은 접합의 저온화를 실현시키는 것이라고 생각되며 접합의 저온화를 실현하기 위해서는 표1에 나타낸 것들이 요구되리라 생각된다.

본 연구에서는 재료의 표면에 산화막이나 유기물질에 의해 안정화 되어있는 표면을 고속 원자빔을 조사(照射)하여[5][6][7][8] 산화막이나 오염층을 제거하여 청정한 표면 즉, 접합하기 쉬운 불안정한 표면을 얻어 접합시키는 방법으로 저온화를 실현하고자 하였다.

2. 실험방법

Fig 1의 실험장치의 개략도에서 나타낸바와 같이 접합장치는 2개의 준비실, 운반실, AES분석실, 접합실의 5개의 초진공실로 되어있으며 분석실과 접합실은 터보분자펌프, 이온펌프, 티탄서브리메션펌프에 의해 10^{-9}Pa까지 배기가 가능하도록 되어있으며 준비실은 고속 원자빔을 시료면에 45℃의 각도로 조사할 수 있도록 되어있다.

실험재료는 실리콘웨이퍼와 실리콘 위에 알루미나 스퍼터 (Al sputter)막을 갖는 웨이퍼로 Fig 2와 같은 크기로 가공하여 실험을 행하였다. 준비한 시료는 아세톤과 알

Table 1 Method for low temperature bonding

구 분	내 용	방 법	비 고
표 면 청정화	산화피막 및 오염층의 제거	이온충격, 구로방전, 초고진공중가열,레이저가공, 화학세정	
표 면 평활화	표면의 요철을 최소화	기계연마, 전해연마, 마이크로캐미칼폴리싱	
표 면 밀착화	표면 밀착	금속의 소성유동, 정전력, 표면장력, 친수화력 등을 이용	

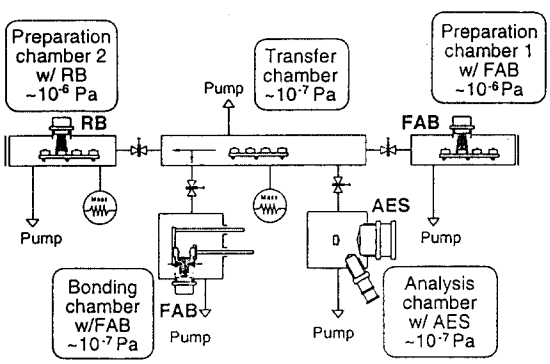
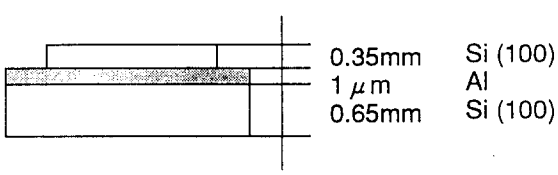
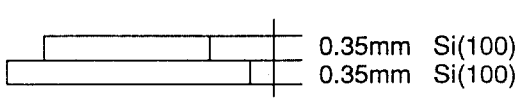


Fig.1 Diagram of experiment equipment



a) Si-wafer and Si-wafer with sputter film



b) Si-wafer and Si-wafer

Fig.2. Sample and dimension

1. 서 론

반도체 디바이스의 고속 고집적화, 마이크로머신, 실리콘 집적화 센서나 액츄에이터등의 3차원 구조물을 실현시키는데 실리콘웨이퍼의 접합이 요구되어지고 있다.

실리콘웨이퍼의 접합기술은 두장의 실리콘웨이퍼를 접착제를 사용하지 않고 접합하는 기술로서 1961년에 中村[1]등에 의해 처음으로 시도되었다. 그들은 1.5인치 구경의 산화막이 있는 웨이퍼를 산화막이 없는 웨이퍼와 접합시켜 웨이퍼의 전면이 1/2 내지 2/3정도를 접합시켰다. Kenny[2]는 보다 완전한 접합계면을 형성하기 위해 접합시에 140kgf/cm^2 의 압력을 가해 접합후 1225℃에서 어닐링을 했다.

Wallris[3] 등은 글라스 기판과 실리콘웨이퍼의 사이에 직류전압을 가해서 접합강도를 높이고, 접합후 850℃ ~ 950℃에서 어닐링을 하는 방법으로 접합기술을 보고하고 있다.

그러나 웨이퍼표면의 청정화 기술이나 연마 기술이 필요하게되어 널리 보급되어지지 못하였으나 1980년대 후반에 이르러서야 실리콘 표면상태 즉, 표면 거칠기가 수십 Å정도로 향상되어 SOI (Silicon on insulator)기술로서 활발한 연구가 이루어지고 있다.

R.Stengl[4] 등은 1989년 OH기와 물분자 사이의 수소결합으로 접합하는 기술을 보고하고 있다.

한편, 이들의 접합기술 등은 가열이 필요하게되어 가열에 의한 Al배선, 디바이스의 내열성의 문제가 제기되어지고 있다.

즉, 접합에 있어서 신뢰성을 향상시키는 것은 접합의 저온화를 실현시키는 것이라고 생각되며 접합의 저온화를 실현하기 위해서는 표1에 나타낸 것들이 요구되리라 생각된다.

본 연구에서는 재료의 표면에 산화막이나 유기물질에 의해 안정화 되어있는 표면을 고속 원자빔을 조사(照射)하여[5][6][7][8] 산화막이나 오염층을 제거하여 청정한 표면 즉, 접합하기 쉬운 불안정한 표면을 얻어 접합시키는 방법으로 저온화를 실현하고자 하였다.

2. 실험방법

Fig 1의 실험장치의 개략도에서 나타낸바와 같이 접합장치는 2개의 준비실, 운반실, AES분석실, 접합실의 5개의 초진공실로 되어있으며 분석실과 접합실은 터보분자펌프, 이온펌프, 티탄서브리메션펌프에 의해 10^{-9}Pa까지 배기가 가능하도록 되어있으며 준비실은 고속 원자빔을 시료면에 45℃의 각도로 조사할 수 있도록 되어있다.

실험재료는 실리콘웨이퍼와 실리콘 위에 알루미나 스퍼터 (Al sputter)막을 갖는 웨이퍼로 Fig 2와 같은 크기로 가공하여 실험을 행하였다. 준비한 시료는 아세톤과 알

Table 1 Method for low temperature bonding

구 분	내 용	방 법	비 고
표 면 청정화	산화피막 및 오염층의 제거	이온충격, 구로방전, 초고진공중가열,레이저가공, 화학세정	
표 면 평활화	표면의 요철을 최소화	기계연마, 전해연마, 마이크로캐미칼폴리싱	
표 면 밀착화	표면 밀착	금속의 소성유동, 정전력, 표면장력, 친수화력 등을 이용	

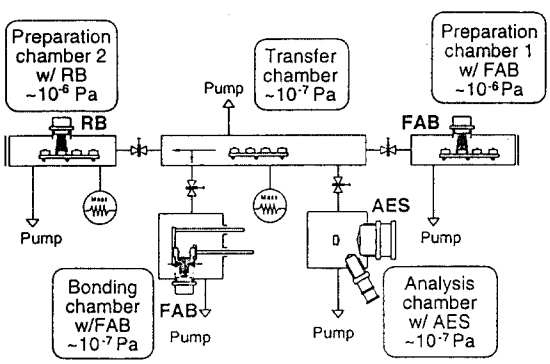
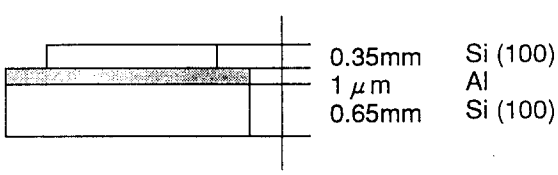
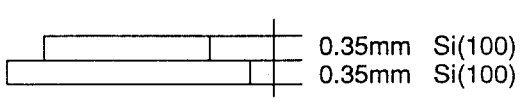


Fig.1 Diagram of experiment equipment



a) Si-wafer and Si-wafer with sputter film



b) Si-wafer and Si-wafer

Fig.2. Sample and dimension

콜로 각각 30분 정도의 초음파세척을 행하고 준비실에서 10^{-1}Pa의 진공도에서 가속전압 약1.5KV, 가속전류 15mA의 조건하에서 고속 원자빔을 5분정도 조사하였다.

고속 원자빔에 의해 표면조건을 충족시킨 시료는 운반실을 통해 압접실에 운반되어 1N~90N의 범위에서 하중을 가하였으며 접합시의 온도는 20℃~120℃의 범위에서 실험을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 AES분석결과

실리콘웨이퍼와 알루미나 스퍼터막을 형성한 웨이퍼에 고속 원자빔을 조사한 후 표면을 분석한 결과를 Fig 3 및 Fig 4에 나타내었다.

조사하기 전의 표면분석 결과는 산화막이나 오염층의

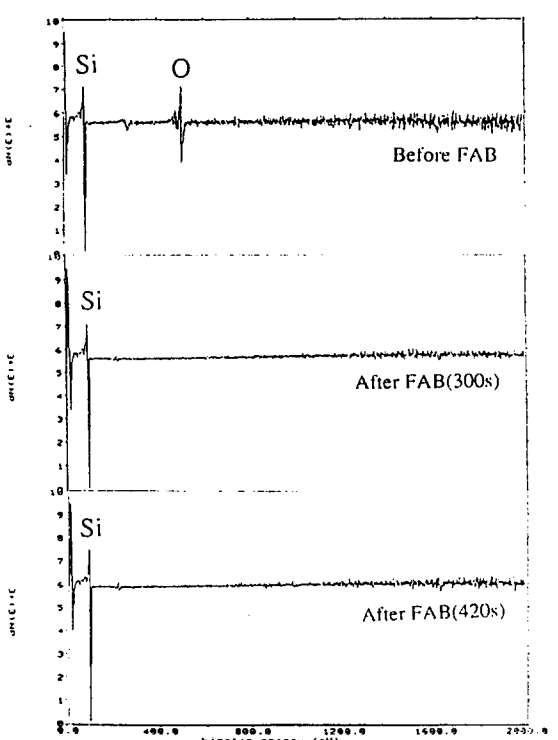


Fig.3. Result of surface analysis by fast atomic beam (Si)

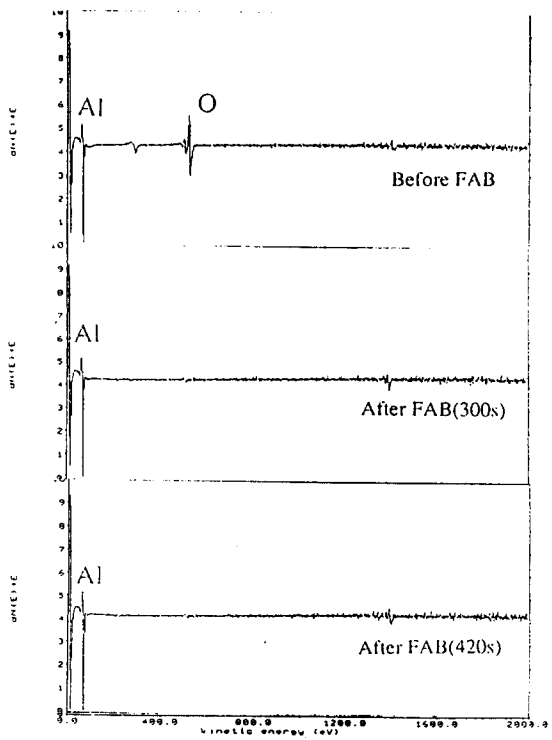


Fig.4. Result of surface analysis by fast atomic beam (Al)

존재로 인하여 산소나 탄소등의 피크가 보여지고 있으나 고속 원자빔을 조사한 후에는 이들이 제거되어져 있음을 알 수 있다.

재료에 따라 조금씩은 다르리라고 생각되어지나 본 실험에 사용된 시료의 경우에는 5분 정도의 고속 원자빔의 조사로 산화막이나 오염층의 제거가 충분하리라 생각되어진다.

3.2 접합성의 평가

접합의 밀착성은 초음파 현미경 (MO:OLYMPUS-UH-100)을 사용하였으며 이때의 초음파 프로브는 50㎒를 사용하였다. Photo 1은 알루미나 스퍼터막이 있는 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 초음파 현미경 상이며 초음파 반사강도와 시간과의 관계를 파형으로 나타낸 것이다.

a의 부분은 초음파 반사강도가 약하게 나타나고 있음으

로 보아 접합의 밀착성이 강하리라고 생각되어지며 그 밖의 부분은 초음파 반사강도의 차가 있으나 박리(剝離)되

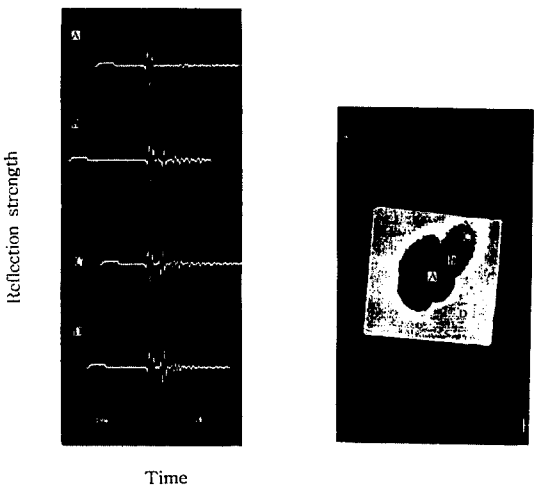


Photo.1. Image of ultrasonic reflection strength of silicon wafer and silicon wafer with alumina sputter film (FAB:420s, Load:50N, Bonding temperature:296 °K)

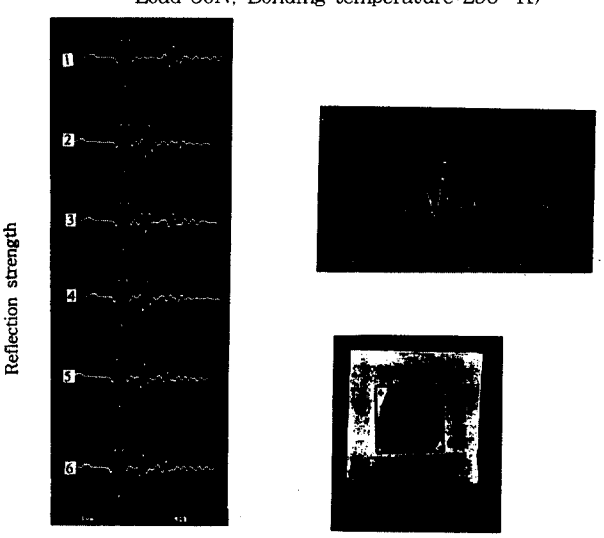


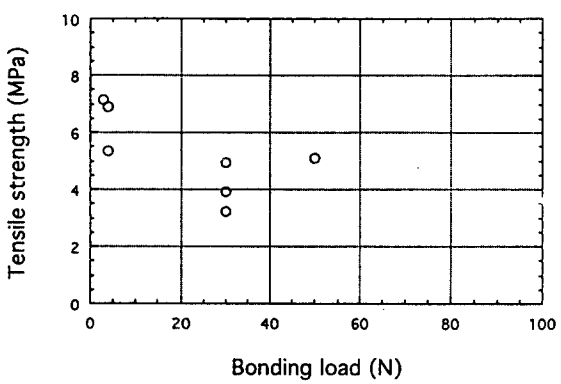
Photo.2. Image of ultrasonic reflection strength of silicon wafer and silicon wafer (FAB:300s, Load:35N, Bonding temperature : 393 °K)

어져 있지 않을까 생각된다. Photo 2는 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 초음파 반사강도의 상이며 Photo 1과 마찬가지로 a부분은 접합의 밀착성이 강하게 타나나고 있음을 알 수 있으며 그 밖의 부분은 박리 되어져 있으리라 생각되어진다. 알루미나 스퍼터막이 있는 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼는 20℃에서 접합이 가능함을 알 수 있다.

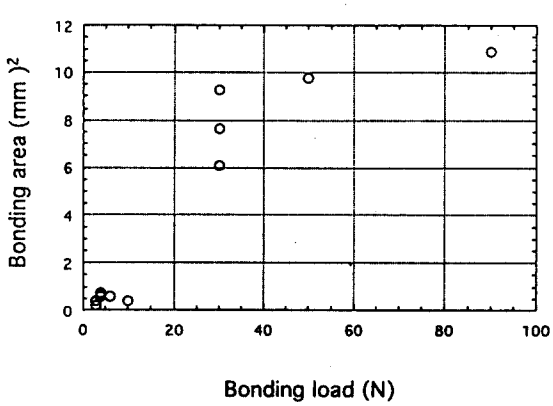
이는 금속측의 소성유동에 의한 밀착성의 증가에 기인한 것이 아닌가 생각되어진다.

실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 접합에 있어서는 상온에서의 접합이 아직은 가능하지 않으나 온도를 120℃정도로 높임으로서 접합이 가능함을 알 수 있다.

이는 고속 원자빔에 의한 표면활성화와 준비실로부터 압접실로 운반하는 도중의 노출의 영향, 잔류가스의 영향,



a) Tensile test



b) Relation bonding area and load

Fig.5 Evaluation of bonding strength

표면층에 존재하는 수 나노미터(Nanomenter)의 아모르파스(Amorphous)상의 영향이 크게 지배하고 있지 않을까 생각되어진다.

3.3 접합강도의 평가

접합강도는 인장시험에 의한 것이며 Fig 5와 같이 시료의 뒷면에 접착제를 이용하여 지그에 부착시켜 인장시험을 행하였다.

인장강도는 3MPa~7MPa 정도임을 알 수 있었다.

알루미나 스퍼터막이 있는 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 경우는 실리콘웨이퍼측에서 파괴됨을 알 수 있었으며 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 경우에는 완전한 접합계면에서 파괴의 양상을 보이고 있음을 알 수 있었다.

이는 친수화력(親水和力)에 의해 접합하여 아르곤 분위기의 진공중에서 열처리를 통하여 접합강도를 높이는 수소결합 웨이퍼의 접합의 경우와 같은 접합강도를 보이고 있음을 알 수 있다[9]

4. 결 론

본 논문은 접합의 저온화를 목적으로 진공 분위기 중에서 고속 원자빔을 조사하여 표면을 청정화 한 후 압력을 가하여 압접하는 방법으로 접합의 가능성을 검토한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1) 알루미나 스퍼터막이 있는 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 경우에는 20℃에서 접합이 가능하였으며 그 접합강도는 5MPa 정도였다.
2) 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 경우는 아직은 상온에서 접합이 가능한 것은 아니지만 120℃정도의 온도영역에서는 접합이 가능함을 알 수 있었다.
3) 실리콘웨이퍼와 실리콘웨이퍼의 접합강도는 친수화력에 의한 웨이퍼결합과 같은 접합강도인 5MPa정도임을 알 수 있었다.

이 논문은 1995년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 中村哲郎, "複合シリコン半導體裝置の 製造方法", 特許公報昭39 - 178679号, 1961.
Tetsuro Nakamura, "Semiconductor Device", U.S.P. 3288656, 1966. Tetsuro Nakamura, "Method of Making a Semiconductor", U.S.P. 3239908, 1966.
2. D.M.Kenny, "Making Method of Semiconductor Device", U.S.Patent.3332137, 1967.
3. G.Wallis and D.I.Pomerautz, "Field Assisted Glass-Metal Sealing", J.Appl.Phys. Vol.40, No.10, pp.3946-3949, 1969.
4. R.Stengl, T.Tan, and U.Gosele, "A Model for Silicon Wafer Bonding Process", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.28, No.10, pp.1735-1741, 1989.
5. T. Suga, K.Miyazawa, Y.Yamagata, "Direct Bonding of Ceramics and Metals by Means of a Surface Activation Method in Ultrahigh Vacuum", MRS Int'l Mtg. on Advanced Materials ed. by S.Iwamoto, T.Suga, Material Research Society, No.8, pp.257-262, 1989.
6. T.Suga, K.Miyazawa, H.Takagi, "TEM Observation of the Al and Cu Interface Bonded at Room Temperature by Means of the Surface Activated Method", J.Japan Inst. Metals, No.54, pp713-719, 1990.
7. T.Suga, Y.Takahashi, E.Hosomi, "Surface Activated Bonding a New Approach to the Microbonding at Room Temperature", IMC 1992. Proc., Yokohama, June, pp.104-109, 1992.
8. 須賀唯知, "常溫接合の 可能性", 日本溶學會誌, 第61卷, pp.28-36, 1992.
9. T.Abe, M.Nakano and T.Itoh, "Silicon on Insulator Technology and Devices", D.N.Schmit, Electrochem Soc.Dennington, pp. 61-63, 1991.