

# 마이크로컬럼 어레이에 적용 가능한 웨이퍼단위의 수직 배선 방법

한창호\*, 김현철\*\*, 강문구\*\*\*, 전국진\*\*\*\*  
서울대학교 공과대학 전기, 컴퓨터 공학부

## Wafer level vertical interconnection method for microcolumn array

Changho Han\*, Hyeon Cheol Kim\*\*, Moonkoo Kang\*\*\*, Kukjin Chun\*\*\*\*  
School of Electrical Engineering and Computer Science  
Seoul National University  
E-mail : \*id@mintlab.snu.ac.kr, \*\*hckim@mintlab.snu.ac.kr,  
\*\*\*moonkang@ee.snu.ac.kr, \*\*\*\*kchun@mintlab.snu.ac.kr

### Abstract

In this paper, we propose a method which can improve uniformity of a miniaturized electron beam array for inspection of very small pattern with high speed using vertical interconnection. This method enables the individual control of columns so that it can reduce the deviation of beam current, beam size, scan range and so on. The test device that used vertical interconnection method was fabricated by multiple wafer bonding and metal reflow. Two silicon and one glass wafers were bonded and metal interconnection by melting of electroplated AuSn was performed. The contact resistance was under 10Ω.

### I. 서론

반도체 소자의 패턴 크기가 수십 나노미터 이하로 작아지면서 수 나노 크기의 미립자에 의한 contact 패턴의 손상여부를 검사하기 위한 장비의 개발을 필요로 하고 있다. 기존의 광학장비는 그 분해능 한계로 인해 초 미세 패턴에 적용 가능한 새로운 접근을 필요로 하게 되었고 그 해결방법으로 전자빔을 이용하여 전기적으로 확인할 수 있는 장비의 개발이 다수의 장비회사에서 진행중이다. 그러나 전자빔을 이용한 검사는 그 속도가

광학검사에 비해 매우 느리기 때문에 양산에 적용하기는 힘든 점이 있다. 따라서 다수의 전자빔을 이용하여 검사 속도를 높이려는 방법이 연구되고 있다. 현재까지 진행된 연구결과를 살펴보면 전자빔 어레이의 제작방법은 크게 두 가지로 나뉘는데, 첫번째는 각 개개의 컬럼을 따로 제작하여 조립하는 방법이고 두 번째는 어레이 전체를 하나의 기판에 제작하는 것이다. 본 논문에서는 두번째 방법을 택하였는데 그 이유는 후자의 장점으로 컬럼 위치의 정확성과 더불어 배선영역을 줄임으로써 전체적인 크기를 줄일 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 기존에 개발된 실리콘을 전극으로 사용하고 유리를 이용해 적층해가는 방식을 이용하면서 유리안쪽으로 금속을 연결하여 수직으로 배선하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 개념도는 그림 1 과 같다.

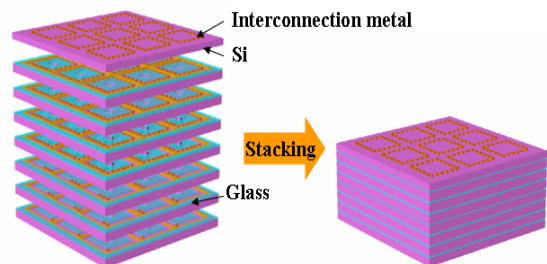


그림 1 수직배선을 이용한 마이크로컬럼 어레이의 개념도

본 논문은 과학기술부 테라급 나노소자 개발사업의 지원하에 이루어졌음

그림 1 에서 보는 것처럼 모든 배선을 수직으로 위로 뽑은 후 제어회로를 연결하여 전압을 조절하여서 균일한 빔 특성을 얻고자 하는 것이다.

## II. 필요 기술

본 논문에서 제시한 방법은 크게 두 가지 기술이 필요하다. 그 기술은 다수의 웨이퍼의 접합과 금속녹임을 이용한 전기적 연결이다. 이 두 가지 방법을 이용하여 웨이퍼 단위의 수직 배선방법을 구현할 수 있고 전체 공정도는 그림 2 와 같다.

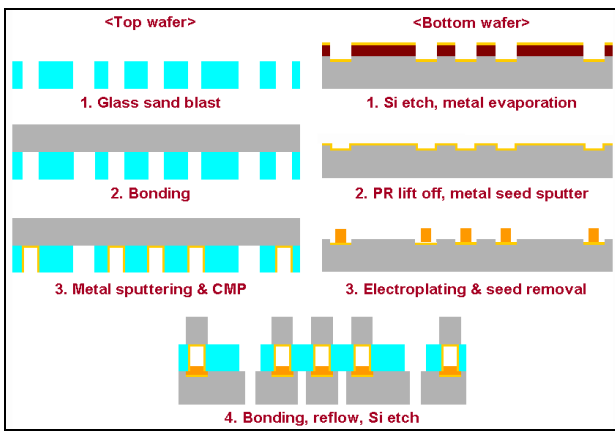


그림 2 제작 공정도

그림 2 에서 보는 것처럼 위쪽 실리콘 웨이퍼는 유리와의 접합 후 금속스퍼터링과 CMP 평탄화를 통해 벽면의 금속과 연결되어 있고 아래의 웨이퍼에는 금속이 도금되어 있다. 아래의 웨이퍼를 다시 유리부분과 양극접합을 이용해서 붙인 후 도금된 금속이 녹을 수 있도록 온도를 높여주면 위쪽의 실리콘 웨이퍼와 아래쪽의 실리콘 웨이퍼가 전기적으로 연결이 되는 공정이다. 이 방법을 이용하여 위쪽으로 도금된 실리콘 웨이퍼와 유리를 양극접합을 통해 붙여 나가면 수직으로 배선이 되어있는 마이크로컬럼 어레이를 제작할 수 있다.

### 2.1 다수 웨이퍼 접합

본 논문에서는 기존에 개발된 실리콘 웨이퍼를 가공하여 전극으로 이용하고 유리와의 양극접합을 이용하여 전극을 쌓아가는 방법을 적용하였다. 양극접합의 장점은 실리콘과 유리의 열팽창계수가 유사하여 스트레스가 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나 실제의 경우 접합 온도에 따라 웨이퍼휨의 정도가 웨이퍼 두께 이상으

로 나타날 경우가 있고 이로 인해 웨이퍼 깨짐이 발생할 수 있다. 따라서 웨이퍼깨짐의 문제를 해결하기 위해 온도에 따른 열팽창계수로 인한 웨이퍼 휨 정도를 계산할 수 있는 식을 제안하였다. 실제 접합에서는 웨이퍼가 휘어있기 때문에 초기 곡률반경을 포함하는 식이 필요하다. 제안된 식은 다음과 같다.

$$W = \begin{cases} \sqrt{R^2 - (L/2)^2} - R, & (R > 0) \\ \sqrt{R^2 - (L/2)^2} + R, & (R < 0) \end{cases}$$

$$R = \frac{(E_1 h_1 + E_2 h_2)(E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3) + 3E_1 E_2 h_1 h_2 (h_1 + h_2)^2}{6h_1 h_2 E_1 E_2 (h_1 + h_2) \int_{R.T.}^{B.T.} (\alpha_1 - \alpha_2) dT + (E_1 h_1 + E_2 h_2) \left( \frac{E_1 h_1^3}{R_1} + \frac{E_2 h_2^3}{R_2} \right)}$$

W: 웨이퍼의 휨 크기

R: 곡률반경

L: 웨이퍼 지름

E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>: 각 웨이퍼의 탄성계수

h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>: 각 웨이퍼의 두께

α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>: 각 웨이퍼의 열 팽창계수

B.T., R.T: 접합 온도, 실내 온도

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>: 각 웨이퍼의 초기 곡률반경

위 식을 검증하기 위해 먼저 ANSYS 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 웨이퍼의 초기 곡률반경을 무한대, 즉 초기에 평평한 웨이퍼의 접합이라고 가정하면 접합 후 곡률반경은 아래의 식과 같게 되고 이를 시뮬레이션과 비교하였다. 그래프에서 접합된 웨이퍼의 휨(warpage)은 접합된 웨이퍼의 윗면이 유리일때의 크기이다.

$$R = \frac{(E_1 h_1 + E_2 h_2)(E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3) + 3E_1 E_2 h_1 h_2 (h_1 + h_2)^2}{6h_1 h_2 E_1 E_2 (h_1 + h_2) \int_{R.T.}^{B.T.} (\alpha_1 - \alpha_2) dT}$$

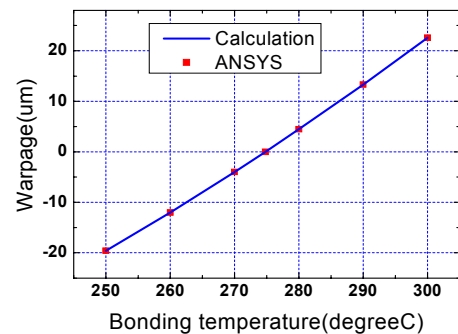


그림 3 ANSYS simulation

그림에서 보는 것처럼 시뮬레이션 결과와 계산결과가 일치하였다. 그러나 앞서 설명한대로 실제 접합에서는 웨이퍼가 초기에 휘어있는데 이는 시뮬레이션이 불가능하기 때문에 실험을 통해 계산값과 비교하였다. 결과는 III 절에서 설명할 것이다.

### 2.2 금속녹임을 이용한 전기적 연결

두번째 기술로 금속녹임을 이용한 전기적 연결이다. 그림 2의 공정도에서 보듯이 웨이퍼 접합시에는 위아래의 금속이 연결되지 않아야 한다. 따라서 녹는점이 400도 이상인 금속의 도금 공정이 필요하다. 또한 유리의 변형온도보다 낮은 온도에서 공정이 진행되어야 하기 때문에 녹는점이 400도에서 500도로 제한된다. 이를 위해 솔더(solder)로 사용되는 여러가지 금속중에서 AuSn, CuSn, Zn 등이 적합한 금속이었다. 그리고 아래쪽 실리콘 웨이퍼의 도금된 금속이 옆으로 퍼지면서 위쪽 유리웨이퍼의 벽면의 금속과 닿아야 하기 때문에 퍼지는 면적만큼의 wetting layer 가 필요한데 이를 위해서는 솔더와 혼합이 되지 않는 니켈을 이용하였다.

## III. 결과

### 3.1 다수 웨이퍼 접합

앞에서 제안된 식의 신뢰성을 확인하기 위해 실리콘, 유리, 실리콘 세장의 웨이퍼를 접합하여 실험과 계산값을 비교하였다. 먼저 실리콘, 유리 두장에 대해 실험을 진행하였다. 계산식에 필요한 실리콘의 물성값은 기존의 연구결과에서 얻은 값을 이용하였고 유리의 물성값은 제작회사로부터 얻었다. 그런데 유리의 열팽창계수가  $3.2 \times 10^{-6} \sim 3.4 \times 10^{-6}$ 의 범위를 갖기 때문에 계산식도 마찬가지로 범위를 갖는다. 계산값과 실험값의 비교 결과는 그림과 같다.

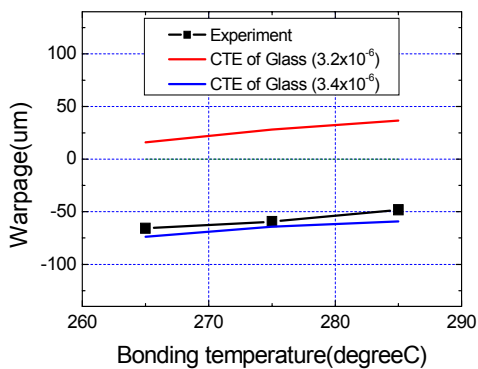


그림 4 온도에 따른 실리콘, 유리 접합의 휨

그래프에서 보는 것처럼 실험값이 모두 계산범위 내에 있는 것을 확인할 수 있다. 이 때 실험에 쓰인 각 유리의 열팽창계수를 역으로 환산하여 세장의 웨이퍼 접합에 적용하였다. 세장의 웨이퍼 접합의 결과는 그림 5와 같다.

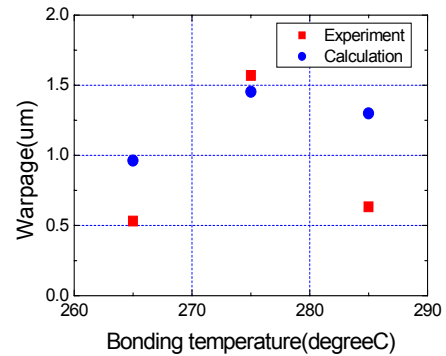


그림 5 온도에 따른 실리콘, 유리, 실리콘 접합의 휨

이를 통해 2.1에서 구한 웨이퍼 접합에서의 휨크기를 구할 수 있는 식의 신뢰성을 검증하였다.

### 3.2 금속녹임을 이용한 전기적 연결

AuSn, CuSn, Zn 등이 본 논문에서 제안된 방법에 적합한 금속이었고 본 논문에서는 AuSn을 이용하여 실험을 진행하였다. 앞서 설명한대로 접합온도이상에서 전기적 분리가 되고 유리변형온도이하에서 녹는지 확인하기 위해 실험을 진행하였고 결과는 그림과 같다.

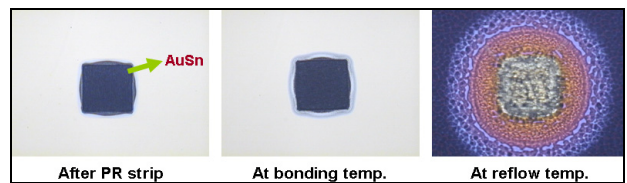


그림 6 온도에 따른 AuSn의 녹는 정도

위 그림처럼 보는 것처럼 접합온도에서는 도금된 금속의 두께를 유지하면서 형태가 변하지 않았고 500도에서는 도금된 금속이 전면으로 퍼지면서 도금을 위한 seed layer가 드러난 것을 볼 수 있다.

### 3.3 테스트 소자 제작

앞에서 설명한 공정을 이용하여 실리콘, 유리, 실리콘으로 이루어진 편향기 구조를 갖는 테스트 소자를 제작하였다. 4인치 웨이퍼로 제작되었으며, 각 컬럼의 크

기는 5mm 부터 8mm 까지였다. 그림 7 은 접합과 금속 녹임으로 제작된 편향기이다.

## 참고문헌

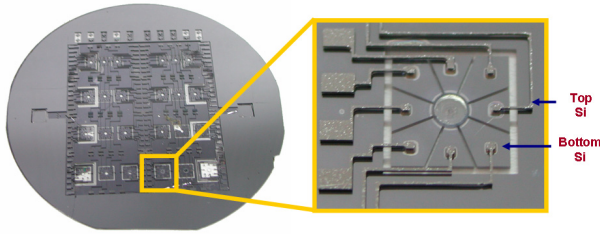


그림 7 금속배선을 포함한 실리콘, 유리, 실리콘 접합으로 제작된 편향기

그림에서 보는 것처럼 위쪽 실리콘과 아래쪽 실리콘은 유리에 접합되어있고 안쪽의 금속부분은 그림 8 에서 보는 것처럼 니켈위에 AuSn 이 타원형태로 녹아 있었다.

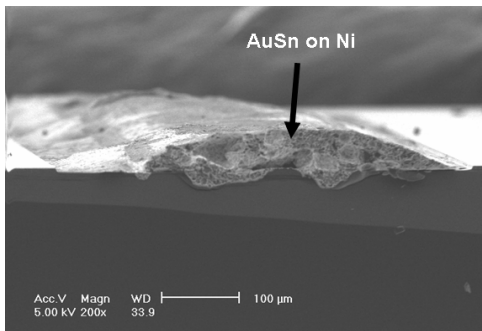


그림 8 AuSn 의 이차전자현미경 사진

- [1] T.H.P Chang, D.P.Kern and L.P.Murray, “Arrayed miniature electron beam columns for high throughput sub-100nm lithography”, J. Vac, Sci, Technol., 1992.
- [2] Changho Han, Hak Kim, Junghun Cha, Hyeon Cheol Kim and Kukjin Chun, “New Interference Reduction Method Using the Vertical Ground Shield for Monolithic Microcolumn Array”, The 49<sup>th</sup> International Conference on Electron, Ion and Photon Beam Technology & Nanofabrication, June 2005.
- [3] Y.Okada and Y. Tokumaru, “Precise determination of lattice parameter and thermal expansion coefficient of silicon between 300 and 1500K, J. Appl. Phys., 1984.

## V. 결론

본 논문에서는 마이크로컬럼 어레이의 균일한 출력을 위한 수직배선방법을 제안하였다. 제안 방법을 구현하기 위해 다수 웨이퍼의 접합과 금속 녹임을 이용한 전기적 연결을 가능하게 하는 공정을 개발하였다. 또한 다수의 웨이퍼 접합에서 생길 수 있는 문제점인 웨이퍼 휨정도를 예측하기 위한 식을 유도하였다. 이를 이용하여 실리콘, 유리, 실리콘의 세층으로 이루어진 웨이퍼 단위의 전자빔 편향기를 제작 하였고 배선여부를 확인하기 위해 접촉 저항을 측정하였다. 접촉저항은 10Ω 이하였으며 이차전자현미경을 통해 고온에서 녹아서 접촉되는 금속의 형태를 확인하였다. 제안된 방법을 구현함으로써 마이크로 컬럼 어레이의 균일한 빔 특성을 갖도록 하는 시스템의 제작 가능성을 확인할 수 있었다.