

Micromachining 기술을 이용한  
micro mass flow sensor의 제작

○\* 焦 秀 海 (영남공업전문대학 전자과)  
\*\* 崔 世 崑 ( 영남대학교 공과대학 )

The fabricatin of micro mass flow  
sensor by Micro-machining Technology

\*Soo - Hae Eoh (Yeungnam Junior College of Technology)  
\*\*Se - Gon Choi(Yeungnam University)

( Abstract )

The fabrication of a micro mass flow sensor on a silicon chip by means of micro-machining technology is described on this paper.  
The operation of micro mass flow sensor is based on the heat transfer from a heated chip to a fluid.  
The temperature differences on the chip is a measure for the flow velocity in a plane parallel with the chip surface.  
An anisotropic etching technigue was used for the formation of the V-type groove in this fabrication.  
The micro mass flow sensor is made up of two main parts ; A thin glass plate embodying the connecting parts and mass flow sensor parts in silicon chip.  
This sensor have a very small size and a negligible dead space.  
Micro mass flow sensor can fabricate on silicon chip by micro machining technology too.

1. 서론

반도체에서 사용된 微細加工 기술을 이용하여 주로 Si 기판상에 센서나 액츄에타( actuator ) 등을 제작하는 것을 마이크로 미시닝이라 부른다. Micro machining 기술을 이용하여 처음으로 實用化 한 사람은 stanford 大學의 S.C. Terry <sup>(1)</sup> 씨이며 K.E. Peterson <sup>(2)</sup> 씨의 ink-jet nozzles, Samaun <sup>(3)</sup> 씨의 壓力센서 등이 본 기술로 제작된 것이다. 본 연구에서는 Si-Wafer상에 micro mass flow sensor 를 마이크로 미시닝 기술로 제작한 것이다.

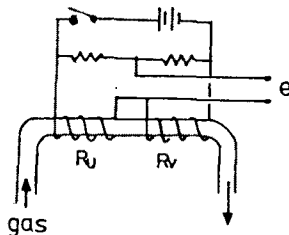


Fig.1. Schematic diagram of conventional mass flow sensor.

종래의 mass flow sensor 는 그림 1과 같은 구성을 하고 있으며 부피가 크고 精度 및 応答速度 가 나쁘고, 배관 내벽의 脫gas 가 있고, 가격이 고가 인 결점을 갖고있다.<sup>(4)</sup>

Si-Wafer상에 만들어진 micro mass flow sensor 는 Monolithic IC 化 할수 있으며 대량생산에 의하여 저렴한 가격으로 공급이 가능하고, 精度 및 応答速度가 개선되고 gas 의 소모는 극히 적게된다. Mass flow 를 감지 할수있는 원리는 流體의 유량 및 유속에 의하여 Si-Wafer의 온도가 변화 되는 것을 이용하는 것인데 이온도 변화에 비례하여 열변환이 일어남을 기초로 하여 식(1)로 표시 할수 있다.

$$H = ( a + b \sqrt{v} ) ( T - T_a ) \quad \text{---(1) (king's Law)}$$

H : Heater로부터 流體에 전달되는 熱量 [W·m<sup>2</sup>·k<sup>2</sup>]

V : 流體의 flow 속도 [m / sec]

T : heater 의 온도

T<sub>a</sub> : 流體의 온도

a, b:係數로써 매체의 성질( 점도, 밀도, 열전도도), 試料의 형상 및 크기에 의해 결정.

Gas 흐름 제작은 異方性 etching 법, Si-Wafer와 Pyrex glass의 特別한 mounting 은 anodic bonding 법, pyrex glass 가공은 化學 etching 법을 각각 사용 하였다.

논문의 구성은 서론 sensor의 제작, 측정 및 결과 그리고 결론으로 구성 하였다.

## 2. 센서의 제작

Micro mass flow sensor 제작을 위한 공정순서 와 구조는 그림2, 그림3, 그림4 와 같다.

본 실험에서 사용한 기판과 유리재료는 2인치 직경의 Si-wafer( N-type, (100), 280 $\mu$ m) 와 pyrex-glass ( 7744 ) 이다.

Si-wafer는 표준세척 공정에 따라 세척한후 wet 산화법( 1100 $^{\circ}$ C) 으로 5500 $\text{\AA}$ 의 산화막을 Si-wafer 위에 성장시켰는데 이 산화막은 Si-wafer의 7 $\mu$ m etching 을 위한 mask 용이다.

Photolithography 공정에 사용한 resist액은 OMR-83 (negative) 이다.

산화막 etching 은  $\text{HF}(9\text{cc}) + \text{NH}_4\text{F}(40\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (60\text{cc})$  용액이며 35 $^{\circ}$ C 정도에서 행하였고, Si etching은 異方性( anisotropy) etching 종류중 35% KOH( 80 $^{\circ}$ C) 를 사용 하였다.

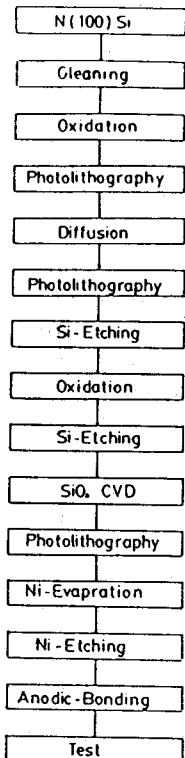


Fig.2. Flow chart of fabrication procedure.

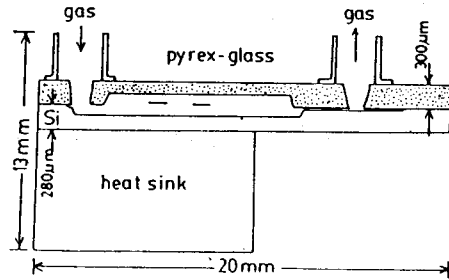


Fig.3. Structure of Micro Flow Sensor.

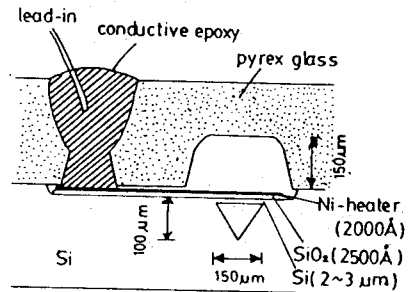


Fig.4. Cross Section of Micro Flow Sensor

이러한 조건들일때 etching rate가 크고 etching 된 Si-wafer 표면상태가 양호 하였다.

열CVD 법에 의한  $\text{SiO}_2$  成長은 3%  $\text{SiH}_4$ , 10 CCM,  $\text{CO}_2$  2LM,  $\text{H}_2$  8LM, 온도 900 $^{\circ}$ C 에서 행하였다.

Ni의 진공증착은 전자 beam 증착법에 의해 증착 하였다.

Ni膜을  $\text{SiO}_2$ 에 증착시킬경우 Si-wafer온도를 200 $^{\circ}$ C 이상에서 행하였으며 Ni膜의 부착 강도를 높이기 위하여 진공도를 10 $^{-7}$  torr이하 에서 실시하였다.

전자beam을 위한 전압 전류값은 4000 V, 200 mA 에 설정하고 Ni膜 두께 제어는 수정진동자의 발전 주파수에 의해 제어 하였다.

Ni etching은  $\text{FeCl}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 15$ 의 용액을 사용하여 실시하였다.

이 etching 용액이 resist pattern 을 손상시키지 않으며 etching rate는 약 1400 $\text{\AA}/\text{min}$  정도가 된다. 그림3, 그림4 와 같이 제작한 micro mass flow sensor 구조는 Si-wafer에 폭150 $\mu$ m, 길이 100 $\mu$ m의 V 홈을 만들고 이홈에 bridge형의 heater를 형성 하였다.

heater의 재료는 지지층인  $\text{SiO}_2$  膜과의 접착성 기계적 강도 화학적 열적 안정성을 고려하여 Ni를 使用하였다.

Ni-heater 膜은 두께 2000 $\text{\AA}$ , 폭 30 $\mu$ m, 길이 1.4mm 이다.

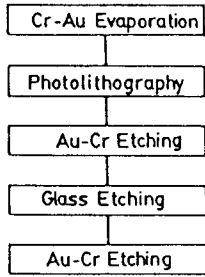


Fig.5. Flow chart of glass processing.

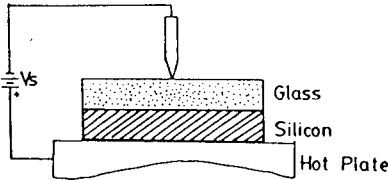


Fig.6. The schematic set-up for anodic bonding of Si to glass.

지지층 SiO<sub>2</sub>膜 두께는 2500 Å, 폭 40 μm 이다. 두께 2-3 μm 의 P+Si 층은 SiO<sub>2</sub>膜의 지지를 형성하기 위해서 B(붕소)를 확산한 층이다. 붕소의 농도가 5x10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup> 이상일때 etching rate 가 거의 0<sup>(n)</sup>이므로 etching 에 의해 얇은 膜을 형성시킬수 있다.

Pyrex-glass 가공공정도는 그림5 와 같다. 유리의 etching 은 50% HF 원액으로 하였다. Cr-Au 증착시 두께조정 및 측정은 수정발진자로 하였다. Si-wafer와 가공한 pyrex-glass 의 접착은 그림6 과 같이 anodic bonding을 하였다.<sup>(7)</sup>

접착시의 溫度는 400 - 450°C 정도이고 電極의 연결은 Si-wafer쪽에 (+), pyrex-glass 쪽에(-)를 연결하여 1000 V 정도의 전압을 인가한후 10 - 20분 경과시키면 Si-wafer와 pyrex-glass 가 접착된다. 이때의 접착력 및 leakage 량은 각각 25 kg(F)/cm<sup>2</sup> 5x10<sup>-10</sup>cm<sup>3</sup> He/s 로써 우수한 접착성을 나타내고 있다.

Gas 流出入을 위한 入出口의 stainless pipe 연결은 epox(Amelvak, k torr seal)을 사용하였다. Lead선 연결은 도전성 접착제 epo-tek(H-20E)를 사용하였다.

3. 측정 및 결과  
그림7 은 제작된 micro mass flow sensor의 Ni-pattern 사진이며 그림8 은 이평면도를 보인 것이다. 이는 2 - 3 μm 의 얇은 P+ Si-wafer 상에 SiO<sub>2</sub> 지지층, Ni膜 형성이 습식 etching 법에 의하여 pattern을 형성 할수 있음을 입증하였다.

그림9 는 Ni膜의 저항 - 온도 특성도 이다. 저항 - 온도 측정시 bias 전압은 0 V 에서 측정하였다.

증착에 의해 만들어진 Ni의 온도 계수는 이론치

0.69 % / °C 보다 작은 0.51 % / °C 정도 이다.

그리고  $\rho = \frac{W \cdot t}{L}$  --- (2) 에서

W : pattern 폭 (30 μm) t : pattern 두께 (2000 Å)  
l : pattern 두께 (1.4 mm) R : 저항값 (53Ω)  
저항을 Ni bulk 의 경우 6.84 x 10<sup>-6</sup> (Ω·cm) 와 비교 할때 22.7 x 10<sup>-6</sup> (Ω·cm) 로 크게 나타났다. 이는 증착시 결정구조의 변화, 불순물의 거동 등에 기인한다고 볼 수 있다.

제작한 sensor부의 發熱量과 온도상승 특성 측정을 그림 10 의 회로로 하였다.

정전류에 의한 전류 I[A], sensor 인가전압 V[V]라 하면 발열량 W [W], sensor 부 온도 T [C]는 각각 (3), (4) 식에 의해 얻었다.

$$W = I \cdot V \quad [W] \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$T = \frac{(V - I \cdot R_0)}{k R_0} \quad \text{-----} \quad (4)$$

R<sub>0</sub> : 기준저항

k : 온도계수

(3), (4) 식에 의해 얻어진 발열량 - 상승온도 특성은 그림 11 과 같다. 동작시의 설정 전류, 전압값을 각각 25mA, 1.4V 하였다.

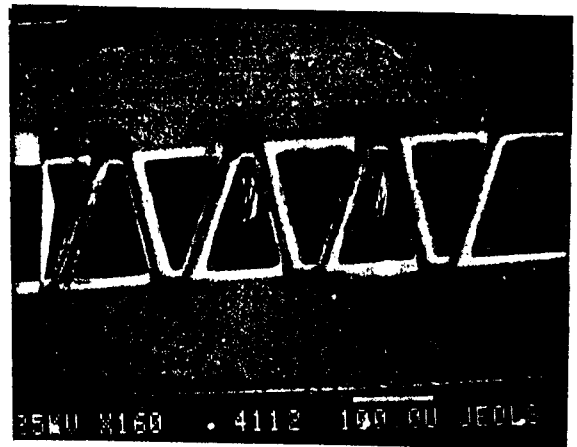


Fig.7. Photomicrograph of part of micro flow sensor pattern.

Sensor부 저항은 28°C 에서 약 50Ω 이며 이때의 온도계수는 4.6 \* 10<sup>3</sup>/°C 이다. 이 저항의 온도계수는 6.34 \* 10<sup>3</sup>/°C 의 72% 에 해당된다.

그림 11 로 micro-machining 기술에 의해 flow sensor를 제작할 수 있음을 확인할 수 있었다. Flow량 및 유속등의 변화에 따라 sensor부의 온도가 변화하여 sensor부의 발열량 변화 요인이 되어 flow량 및 流速등의 검출이 가능함을 확인할 수 있다. 또 Si chip化하여도 측정량들의

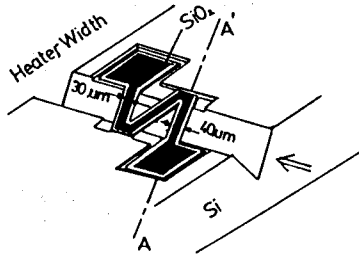


Fig.8. A planview of part of the micro flow sensor pattern.

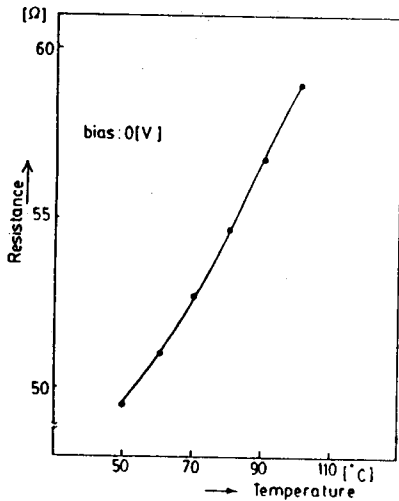


Fig. 9. Resistance vs temperature characteristics of Ni-film

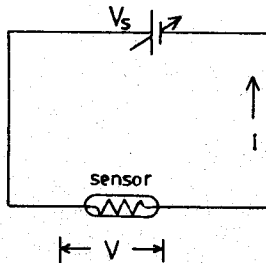


Fig.10. I-V measuring circuit of sensor.

검출이 가능함을 입증한 것이다.

그림 12는 流量, 流速에 의한 sensor의 出力電圧特性 측정회로이다.

측정을 위한 flow meter는 STE 社의 STE 4000 을 이용하였다. 측정시 sensor를 shielding하여 外部의 열, 빛, 환경등의 영향을 제거한후 측정하였다. 그림 13은 micro mass flow sensor의 출력특성도이다. 그림 1과 같이 제작한 mass flow sensor를 Si chip化한 mass flow sensor를 만들어 검지할 수 있다.

출력특성의 안정에는 200 msec 정도가 필요하였다.

4. 결론

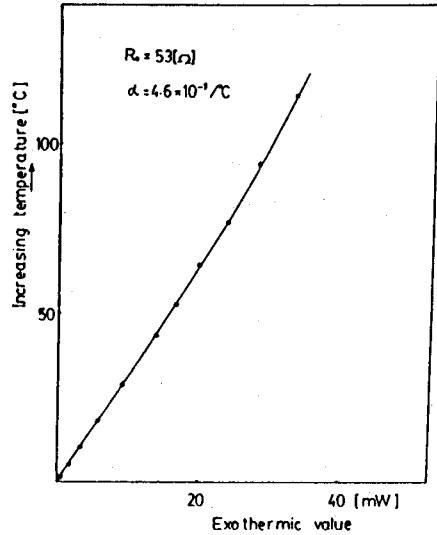


Fig.11. The characteristics of exothermic value vs increasing temperature.

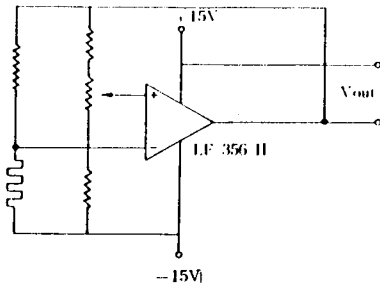


Fig.12. Measuring circuit for output voltage of micro mass flow sensor.

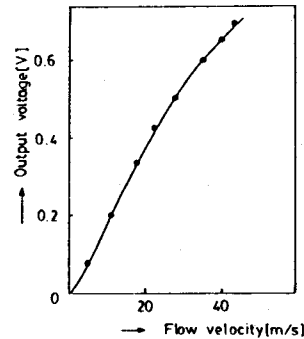


Fig.13. The flow velocity vs output voltage characteristics of a mass flow sensor.

Micromachining 기술에 의해 micro mass flow sensor를 제작하여 그특성에 관해 고찰한 결과 (1) dead space가 적으며 (2) gas 소모량이 극히 미량이고 (3) 열변환에 민감하게 감지된다는 사실이 입증되었다. 그러나, 본 실험에서는 stainless-pipe를 회화 bonding 방법에 의해 접착 시켰는데 이접착도 anodic bonding 방법으로 하도록 연구 되어져야 하겠다.

참고문헌

1. Terry, Stephen Clark  
"A gas chromatography system fabricated on a silicon wafer using integrated circuit technology"  
Stanford university Ph.D. 1975
2. Kurt.E. Peterson  
"Fabrication of an integrated planar silicon ink-jet structure IEEE,electron devices vol.ED-26 NO.12, Dec. 1979 pp1918 - 1920
3. Samaun  
"An integrated circuit piezoresistive pressure sensor for biomedical instrumentation"  
stanford university Ph.D 1971.
4. 江刺正喜, 魚秀海, 松尾正之, 崔世崑  
"集積化マスフローコントローラの試作"  
電子通信學會 SSD86 - 56, P59 ~ 66, 1986
5. Van Riet R.W.M and Huijsing L.J.H  
"Integrated direction sensitive flow-meter"  
electronics letters vol.12 no.24 pp647 - 648  
NOV 1976
6. Don.L.Kendall and G.R de Grel.  
"Orientations of the third kind micromachining and micro packaging of transducers  
Elsevier pp 107 - 124 1985.
7. Kurt.E. Peterson  
"silicon as a mechanical material"  
proceedings of the IEEE. vol.70, NO.5,  
pp 420 - 457, may 1982
8. George Wallis and John Darsey  
"Field Assisted seals of glass to Fe-Ni-Co Alloy"  
Ceramic bulletin vol.50, NO.12 . 1971