

크롬질화박막형 스트레인 게이지의 특성

논문
12-7-8

The Characteristics of Chromium Nitride Thin-Film Strain Gauges

정귀상*, 서정환*, 박진성*

(Gwiy-Sang Chung*, Jeong-Hwan Seo*, Chin-Sung Park*)

Abstract

This paper presents characteristics of CrN thin-film strain gauges, which were deposited on glass by DC reactive magnetron sputtering in an argon-nitrogen atmosphere(Ar-(5~25%)N₂). The physical and electrical characteristics of these films investigated with the thickness range 3500Å of CrN thin-films, annealing temperature(100~300℃) and annealing time(24~72hr). The optimized condition of CrN thin-film strain gauges were thickness range of 3500Å and annealing condition(300℃, 48hr) in Ar-10%N₂ deposition atmosphere. Under optimum conditions, the CrN thin-films for strain gauge is obtained a high resistivity, $\rho=1147.65\mu\Omega\text{cm}$, a low temperature coefficient of resistance, TCR=-186ppm/℃ and a high temporal stability with a good longitudinal, 11.17. And change in resistance after annealing for the CrN thin-films were quite linear and stable

Key Words(중요용어) : CrN thin-film strain gauge, Sputtering, TCR(Temperature Coefficient of Resistance), Gauge factor, Hysterisis, Aging effect, I/V/T curve

1. 서 론

최근 압력센서는 가전제품을 비롯하여 자동차, 의료기기, 환경 관련 설비와 산업체의 대규모 시스템 제어에 이르기까지 그 응용분야가 광범위하다. 한편, 고온, 고압, 습도, 진동 등의 환경에서도 사용할 수 있는 소형, 경량, 저가격의 압력센서가 요구된다.

압력 혹은 하중측정용 금속 박막형 스트레인 게이지는 종래의 박 게이지(foil gauge)와는 달리 접착제를 필요로 하지 않기 때문에 크리프 현상이 적고 안정성이 우수하다. 또한, 박막기술에 의한 고수율과 저가격화가 가능하며 열적 보상이 용이하여 고온에서도 사용가능하다^{[1]-[2]}. 금속 박막형 스트레인 게이지의 재료로는 Au-Ni합금^[3], Mn^[4], NiCr합금^[5], Bi-

Sb^[6], Cu-Ni계 합금^[7] 등이 사용되고 있으나, 낮은 게이지율과 비저항을 가지므로 센서의 감도가 작고, 소형화가 어렵다. 그리고, 전형적인 반도체 스트레인인 게이지들은 높은 게이지율과 비저항값을 가지나, 150℃이상에서는 사용할 수 없다. SiC와 폴리실리콘과 같은 다른 반도체 물질들은 고온에서 사용될 수 있는 스트레인인 게이지로서 연구개발되고 있지만, 재현성이 나쁘다

금속에 비해 각종 세라믹들은 비교적 큰 전기저항값과 높은 응력감도와 게이지율을 가지며, 고온에 사용가능하기 때문에 박막 스트레인인 게이지의 재료로서 유용하다^[8].

본 연구에서는 CrN 박막형 압력 혹은 하중센서를 개발하기 위한 선행연구로써 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법에 의한 질소분압에 따른 CrN 박막의 증착 및 열처리 조건에 따르는 CrN 박막형 스트레인인 게이지의 전기적 물리적, 기계적 특성을 분석·평가하였다. 또한, 최적의 증착 및 열처리 조건하에서 제작된 CrN 박막형 스트레인인 게이지의 전류/전압/온도 특성, 온도 및 저항변화에 따른 hysteresis 특성, aging effect 등을 분석·평가하여 금속박막형 압력센서에 응용하고자 한다.

* : 동서대학교 정보통신공학부
(부산시 사상구 주례동 산 69-1, Tel : 051-320-1569, Fax : 051-320-1592 E-mail : gschung@kowon.dongseo.ac.kr)
1999년 5월 18일 접수, 1999년 7월 6일 심사완료

2. 실험

본 연구에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 corning glass 기판위에 N₂ 분압(5~25%)에 따른 CrN 박막을 증착하였다. 연구에 사용된 타겟은 순도 99.9%의 직경 2"인 크롬을, 기판은 길이 76mm, 폭 26mm, 두께 1mm인 corning glass 기판을 사용하였다. 표 1은 증착조건을 나타내었다.

표 1. CrN 박막의 증착조건
Table 1. Deposition conditions of CrN thin-films

증착조건	범위
Target	Cr 2 diameter
DC Power	7 W/cm ²
Substrate	corning glass
Target-substrate distance	5 cm
Working gas	Ar 60~76 sccm N ₂ 4~20 sccm
기판온도	Room Temp.(27℃)
진공도	9mTorr
열처리 시간	24~72hr
열처리 온도	100~300℃

CrN 박막 스트레인 게이지는 lift-off 방법으로 제작하여 증착 및 열처리 조건에 따른 박막의 전기적 특성은 면저항 및 두께를 각각 4점 탐침기와 α -step으로 측정하여 분석하였다. 또한 박막의 물리적 특성은 주사전자현미경(SEM)과 X선 회절분석(XRD)을 이용하여 CrN 박막의 미세표면구조 및 결정성을 각각 분석하였으며, 조성분석기(EDS)로 CrN 박막의 조성비를 분석·평가하였다.

CrN 박막형 스트레인 게이지의 TCR(temperature coefficient of resistance)값과 long-term stability는 25~150℃의 온도범위에서 측정하였으며, CrN 박막의 전도 메커니즘을 해석하기 위해 전류/전압/온도 특성은 사용하였다. 그리고, 종방향 및 횡방향 게이지 율은 cantilever method를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 질소가스 flow rate가 4~16sccm일 때 열처리 조건(온도 : 100~300℃, 시간 : 24~72hr)에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 열처리 전에는 CrN 박막의 비저항은 질소분압이 증가할수록 증가하였으며, 질소분압 20sccm에서는 크롬이 질화되어 완전한 절연특성을 나타내었다. 이것은 질소분압이 낮을 때는 거의 질화하지 않고 금속상으로 스퍼터링되던 크롬이 질소분압이 증가함에 따라 질화가 진행되어 저항율이 매우 높은 CrN 특성이 박막의 성질을 지배하기 때문이라고 사료된다^[9]. 열처리 온도가 증가할수록 질소분압이 8sccm이하에서는 비저항값의 변화가 적었으나 12sccm이상에서는 비저항값이 증가하였다. 특히, 질소분압 16sccm, 열처리 조건 300℃, 48hr에서 매우 큰 비저항 변화를 나타내었다. 이것은 질화된 CrN 박막의 열처리에 의한 산화현상으로 사료된다.

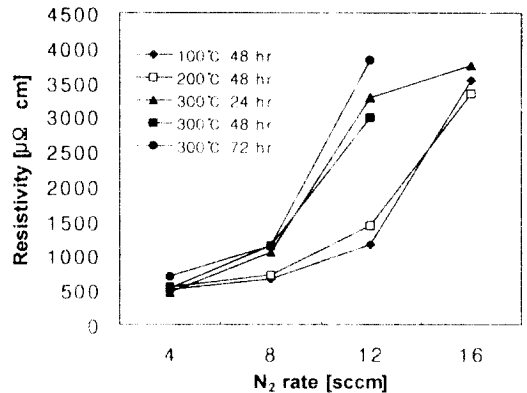


그림 1. CrN 박막의 열처리 조건에 따른 비저항값 변화(온도 : 100~300℃, 시간 : 24~72hr).

Fig. 1. Variations of resistivity according to annealing conditions of CrN thin-films(temperature : 100~300℃, times : 24~72hr).

그림 2는 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압에 대한 열처리 조건에 따른 TCR값 변화를 나타낸 것이다. 열처리 온도가 증가할수록 TCR값은 감소하였으며, 질소분압이 4~8sccm일 때 그 변화폭이 가장 크게 나타났다. 즉, 4~8sccm에서 열처리 온도 300℃, 48hr일 때 가장 낮은 TCR값을 얻었다. 그리고, 질소분압이 16sccm이상일 경우 300℃이상의

열처리로 인해 그 저항률이 매우 증가하여 측정의 의미를 가질 수 없었다. 따라서, 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300℃, 48hr에서 비교적 큰 비저항값과 -186ppm/℃ 낮은 TCR값을 얻었다.

그림 3은 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300℃, 48hr일 때, 25~150℃의 온도범위에서 온도에 따른 저항변화율의

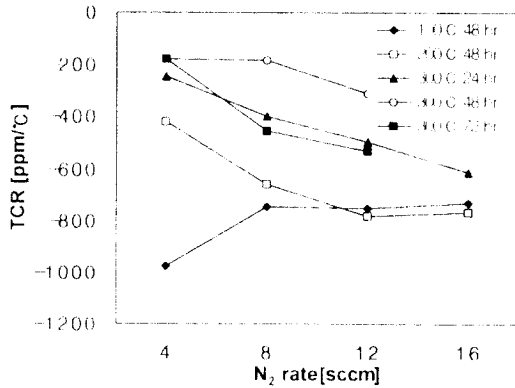


그림 2. CrN 박막형 스트레인 게이지의 열처리 조건에 따른 TCR값(온도 : 100~300℃, 시간 : 24~72hr).

Fig. 2. TCR values according to annealing condition of CrN thin-film strain gauges(temperature : 100~300℃, times : 24~72hr).

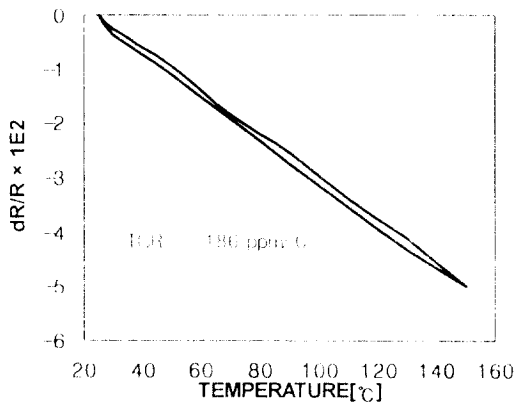


그림 3. CrN 박막형 스트레인 게이지의 온도에 따른 저항변화율(질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300℃, 48hr).

Fig. 3. Variation rate of resistance according to temperature of CrN thin-film strain gauges(N_2 rate : 8sccm, annealing condition : 300℃, 48hr).

hysteresis특성을 나타낸 것이다. 온도에 따른 저항 변화율이 매우 선형적이며, 열처리에 의해 더욱 안정된 특성을 얻은 것으로 사료된다.

그림 4는 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300℃, 48hr일 때, CrN 박막형 스트레인 게이지의 150℃에서 시간에 따른 long-term stability를 나타낸 것으로서 오랜 시간동안 일정한 저항변화율을 나타내었

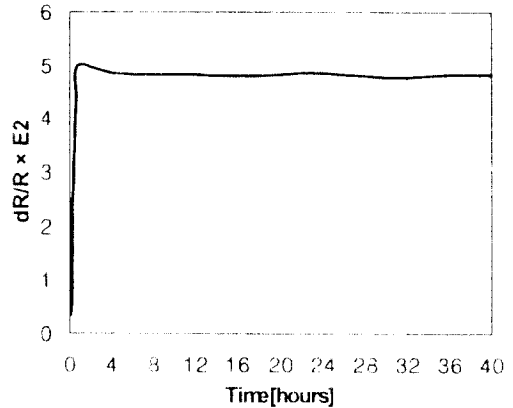


그림 4. CrN 박막형 스트레인 게이지의 aging effect(질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300℃, 48hr).

Fig. 4. Aging effect of CrN thin-film strain gauges(N_2 rate : 8sccm, annealing condition : 300℃, 48hr).

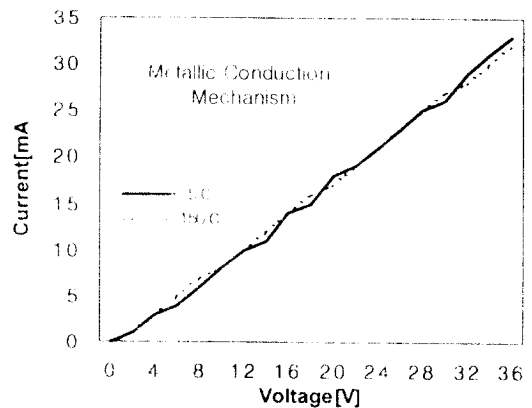


그림 5. CrN 박막의 전류/전압/온도 특성(질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300℃, 48hr).

Fig. 5. I/V/T Characteristics of CrN thin-films(N_2 rate : 8sccm, annealing condition : 300℃, 48hr).

다.

그림 5는 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300℃, 48hr일 때, 전류/전압/온도 특성을 나타낸 것이다. 저항은 측정동안 일정하게 유지하였으며, 이 현상은 금속 전도 메커니즘과 일치한다. CrN 박막의 높은 비저항값과 negative TCR값은 전도전자의 평균자유행정이 매우 작기 때문이다^[6].

그림 6은 질소분압이 8sccm일 때 열처리 온도 (100~300℃)에 따른 CrN 박막의 미세표면구조를 나타낸 SEM사진이다. 100~200℃에서는 큰 변화가 나타나지 않았으며, 300℃에서는 열처리를 온도가 증가됨으로서 결정립이 형성되어 입자들의 경계가 현저하고, 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 그러므로, CrN 박막의 비저항 및 TCR값 또한 안정됨 값을 얻었으며, 열처리를 함으로써 물리적·전기적으로 박막

이 개선됨을 알 수 있다.

그림 7은 질소분압이 8sccm, 열처리 온도 300℃ 일 때 시간에 따른 CrN 박막의 미세표면구조를 나타낸 SEM사진이다.

열처리 시간이 증가할수록 결정립이 형성되어 입자들의 경계가 더욱 현저하고, 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 그리고, 결정립이 더욱 더 성장되어 뭉쳐짐을 볼 수 있으며 300℃, 72hr에서도 island는 형성되지 않았다.

그림 8은 질소분압이 8sccm일 때 열처리 조건에 따른 CrN 박막의 결정의 변화를 알아보기 위해 XRD 회절패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 피크치는 크롬의 결정을 나타낸 것이며, 질화에 의해 큰 피크치를 얻을 수 없었다. 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 피크치는 큰 변화가 없는 것을 볼 수 있는데 이것은 크롬금속상이 작아지고 질화를

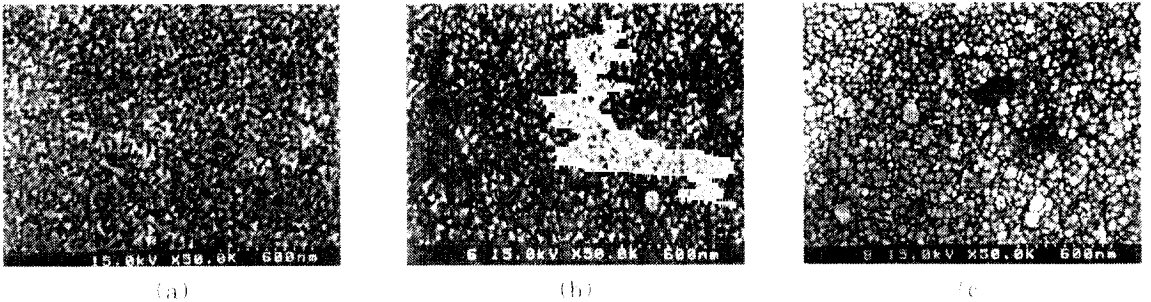


그림 6. CrN 박막의 열처리 온도 (a) 100℃ (b) 200℃ (c) 300℃ 일 때 SEM사진(질소분압 : 8sccm, 열처리 시간 : 48hr).

Fig. 6. SEM micrographs of CrN thin-films in annealing temperature (a) 100℃ (b) 200℃ (c) 300℃ (N₂ rate : 8sccm, annealing time : 48hr).

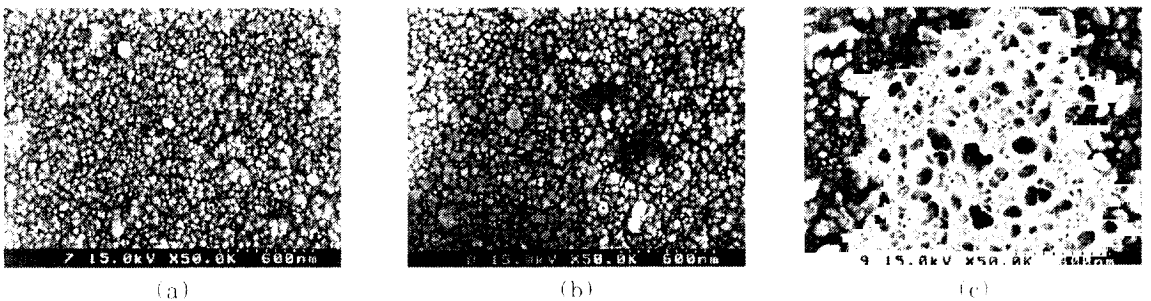


그림 7. CrN 박막의 열처리 시간 (a) 24hr (b) 48hr (c) 72hr 일 때 SEM사진(질소분압 : 8sccm, 열처리 온도 : 300℃).

Fig. 7. SEM micrographs of CrN thin-films in annealing time (a) 100℃ (b) 200℃ (c) 300℃ (N₂ rate : 8sccm, annealing temperature : 300℃).

을 형성하여 금속상과 혼재한 아몰퍼스상이 여전히 비정질 구조를 유지함을 보여주는 것이라 사료된다.

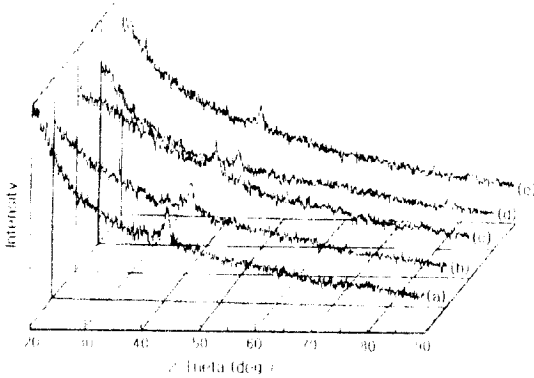


그림 8. CrN 박막의 열처리 조건 (a) 100°C, 48hr (b) 200°C, 48hr (c) 300°C, 24hr (d) 300°C, 48hr (e) 300°C, 72hr 일 때 XRD 회절패턴.

Fig. 8. XRD patterns of CrN thin-films in annealing condition (a) 100°C, 48hr (b) 200°C, 48hr (c) 300°C, 24hr (d) 300°C, 48hr (e) 300°C, 72hr

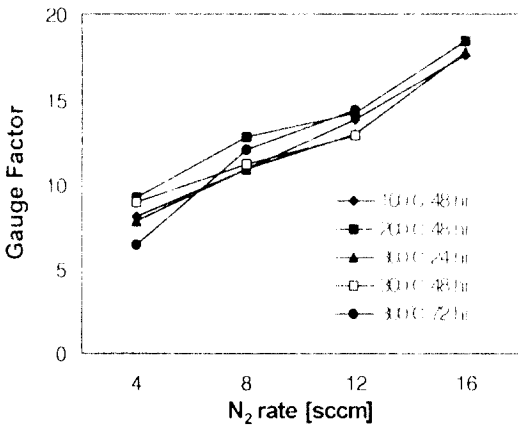


그림 9. CrN 박막형 스트레인 게이지의 열처리 조건에 따른 게이지율 변화(온도 : 100~300°C, 시간 : 24~72hr).

Fig. 9. Variations of gauge factor according to annealing condition of CrN thin-film strain gauges(temperature : 100~300°C, times : 24~72hr).

그림 9는 CrN 박막형 스트레인 게이지의 종방향

게이지율을 열처리 조건에 따라 나타낸 것이다. 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 게이지율은 큰 변화 없이 일정하였다. CrN 박막형 스트레인 게이지의 게이지율은 질소분압이 증가할수록 증가하였으며, 열처리에 의해 스트레인 게이지의 감도에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

그림 10은 CrN 박막형 스트레인 게이지의 질소분압 8sccm, 열처리 조건이 300°C, 48hr일 때 응력에 따른 종방향 응답특성을 나타낸 것이다.

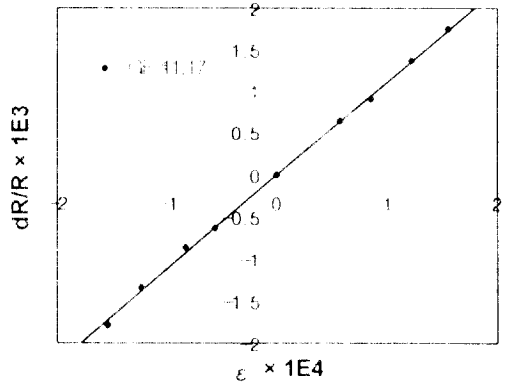


그림 10. CrN 박막형 스트레인 게이지의 응력에 따른 종방향 응답특성(질소분압 : 8sccm, 열처리 조건 : 300°C, 48hr).

Fig. 10. Response characteristics of longitudinal according to stress of CrN thin-film strain gauges(N₂ rate : 8sccm, annealing condition : 300°C, 48hr).

최적의 증착 및 열처리 조건하에서 제작된 CrN 박막형 스트레인 게이지는 외부인가 응력에 따라 저항 변화율이 거의 선형적으로 변하는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 DC 반응성 마그네트론 스퍼터링법으로 질소분압에 따라 증착된 CrN 박막을 이용하여 제작된 박막형 스트레인 게이지의 열처리 조건에 따른 특성을 분석·평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 질소분압이 증가할수록 CrN 박막의 비저항이 증가하였으며, 20sccm 이상에서 완전한 절연

막을 형성하였다.

- ② 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 비저항값은 4~8sccm의 낮은 질소분압에서는 감소하였으나, 질소분압이 커지면서 열처리에 의한 산화현상으로 비저항값이 매우 증가하였다.
- ③ 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 TCR값은 4~8sccm의 낮은 질소분압에서는 많이 감소하여 안정된 특성을 나타내었으며 질소분압이 커지면서 TCR값은 개선되지 않았다.
- ④ 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 CrN 박막은 결정립이 형성되어 입자간의 경계가 현저하고, 전기적으로 불안한 상태나 구조적으로 갈라진 틈 사이가 밀착됨을 알 수 있다. 그러므로, CrN 박막의 비저항 및 TCR값 또한 안정된 값을 얻었으며, 열처리를 함으로써 전기적, 물리적으로 박막이 개선됨을 알 수 있었다.
- ⑤ CrN 박막은 열처리에 의해서도 계속 비정질구조를 유지하였다.
- ⑥ 열처리 온도 및 시간이 증가함에 따라 게이지율은 큰 변화 없이 거의 일정하였다.

이상의 결과에서, CrN 박막형 스트레인 게이지의 최적조건은 두께 3500Å, 열처리 조건이 300℃, 48hr, 질소분압 8sccm에서 비저항 1147.65 $\mu\Omega$ cm, TCR -186ppm/℃, 종방향 게이지율 11.17의 양호한 값을 얻었다. 이러한 CrN 박막형 스트레인 게이지는 금속박막형 압력센서에 유용하게 응용할 수 있는 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. I. Obieta and F. J. Gracia, "Sputtered Silicon Thin-Film for Piezoresistive Pressure Microsensors", Sensors & Actuators, II, pp. 521~688, 1994.

2. I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, F. J. Gracia, "Characterization of Tantalum Oxynitride Thin-Films as High-temperature Strain Gauges", Sensors and Actuators A, 46, pp. 218~221, 1995.

3. K. Rajanna, S. Mohan, M. M. Nayak, N. Gunasekaran and A. E. Muthunayagam, "Pressure Transducer with Au-Ni Thin-Film Strain Gauges", IEEE Trans. Electron Devices, 40, pp. 521~524, 1993.

4. K. Rajanna, S. Mohan, "Thin-Film Pressure Transducer with Manganese Film as The Strain Gauge", Sensors and Actuators A Vol. 24, pp. 35-39, 1990.

5. W. Hongye, L. Kun, A. Zhichou, W. Xu and H. Xun, "Ion-beam Sputtered Thin-Film Strain Gauge Pressure Transducers", Sensors and Actuators, Vol. 35, pp. 265-268, 1993.

6. S. Sampath and K. V. Ramanaiah, "Behaviour of Bi-Sb Alloy Thin Film as Strain Gauges." Thin Solid Films, vol. 137, pp. 199-205, 1986.

7. H. Konishi, T. Suzuki and M. Utsunomiya, "Constantan Thin-Film Strain Gauge Load cell", Tech. Digest of the 9th sensor symposium, pp. 149-152, 1990.

8. I. Ayerdi, E. Castano, A. Gracia, F. J. Gracia, "Ceramic Pressure Sensor Based on Tantalum Thin-Film", Sensors and Actuators A, 41-42, pp. 435-438, 1994.

9. Y. Tanaka, T. Ikeda, M. Kelly, "Structure and Properties of (Ti_{1-x}Al_x)N Films Prepared by Reactive Sputtering", Thin Solid Film, Vol. 240, pp. 238-241, 1991.