

논문 2002-11-6-06

자외선 레이저를 이용한 고정밀 저항체 가공기술 개발 노상수*, 김동현*, 정귀상**, 김형표***, 김광호****

Development of Trimming Technology in High-fine Resistor Using U.V. Laser S. S. Noh*, D. H. Kim*, G. S. Chung**,

H. P. Kim***, K. H. Kim****

요 약

본 논문에서는 백금박막 온도센서의 0°C, 100Ω 세팅을 위해 355nm 파장을 갖는 자외선 레이저를 이용하였다. 국제적으로 온도센서의 A-class 기준오차는 0°C에서 ±0.06Ω이다. 실제적으로 이 값은 0.15°C이하에 해당하는 오차로 저항체 제작시 고정밀 가공 기술을 필요로 한다. 가공에 이용된 355nm DYP(Diode-Pumped YAG) 레이저는 power : 37mW, rep. rate 주파수 : 200Hz 그리고 bite size : 7.5μm에서 1~1.5μm 두께의 백금박막을 가장 안전하게 가공할 수 있었으며 가공선폭은 10μm 안팎임을 확인하였다. 그리고 사진식각 공정기술을 이용하여 제작된 2"×2" 기판내의 96개(4 by 24) 저항체는 상온 25°C에서 79~90Ω : 42.7%, 91~102Ω : 57.3%의 비율로 각각 제작되어졌다. 109.73Ω를 목표값으로 25°C에서 자외선 레이저를 이용하여 가공한 결과, 82.3%가 가공오차가 ±0.03Ω이하에 들어왔으며 나머지 17.7%도 국제규격 A-Class내인 ±0.06Ω내에 포함되었다.

Abstract

In this paper, we used U.V.(wavelength, 355nm) laser for adjusting Pt thin films temperature sensor to 100Ω at 0°C. Internationally, A-class tolerance of temperature sensor is ±0.06Ω at 0°C. This is under value of 0.15°C, actually, so high-fine trimming technology is essential to this process. The width of trimmed lines was about 10μm and the best trimming of Pt thin films of 1~1.5μm was carried out with power : 35mW, rep. rate frequency : 200Hz and bite size : 1.5μm. And using photolithography process, 96 resistors were fabricated in 2"×2" substrate as the proportion of 79~90Ω and 91~102Ω is 42.7% and 57.3%, respectively. As result of trimming resistors to the target value of 109.73Ω at 25°C, 82.3% of resistors had the tolerance within ±0.03Ω and the others(17.7%) were within ±0.06Ω of A-class tolerance.

1. 서 론

- * 대양전기공업(주) 부설기술연구소 (Technical Research Institute, Daeyang Electric Co., LTD)
** 동서대학교 (Division of Electronics & Mechanical Engineering, Dongseo University)
*** 상주대학교 전자전기공학과 (Division of Electronics and Electrical Engineering, Sangju National University)
**** 부산대학교 무기재료공학과 (Department of Inorganic material Engineering, Pusan National University)

<접수일자 : 2002년 5월 29일>

한정된 크기에서 다양하고 새로운 기능을 수행할 수 있는 소자의 요구가 증가함에 따라 레이저는 전통적인 마이크로 제조기술의 한계를 해결할 수 있는 도구로 그 중요성이 계속 증가하고 있다.⁽¹⁾ 특히, 기능성 막의 trimming, ablation, drilling 그리고 일명 "마이크로머시닝" 기술을 이용한 마이크로일렉트로닉스 제품들에 대한 레이저의 이용은 꾸준히 증가하고 있다. 대부분의 이러한 발전들은 ND:YAG 레이저 소스의

기본적인 파장을 이용함으로써 발전해 오고 있다. 또한, 새로운 공정기술을 개발함으로써 최근의 HIC(hybrid integrated circuits), DRAM (dynamic random access memories) 그리고 PWB(printed wiring boards) 같은 마이크로일렉트로닉스에 이용되는 레이저공정의 기술적인 진보가 이루어질 수 있었다.^[2-5] 물질을 선택적인 파장을 이용하여 원하는 형태 및 균일한 강도로 가공할 수 있는 레이저 가공기술은 제품의 질을 향상시켰을 뿐만 아니라 고신뢰성 및 고효율을 가능케 했다. 기존의 기계적 가공에 비해 아주 빠른 속도로 높은 에너지를 매우 좁고 국부적인 영역에 가할 수 있고 높은 유동성, 비접촉 특성 및 프로그램을 이용하여 원하는 형태의 가공이 쉽게 가능하기 때문에 마이크로머시닝 분야에서 레이저가 효율적으로 이용될 수 있는 이유이다.^[6-7]

본 연구에서는 국제 DIN 규격에 맞는 백금 박막 온도센서 제작에 355nm 파장을 갖는 DYP 레이저를 이용하여 박막을 가공하였다. 이에 레이저 power에 따른 백금박막의 가공특성을 조사하였으며 0℃에서 100Ω을 갖는 저항체를 제작하였으며 이에 따른 특성 및 수율을 조사하였다.

II. 실험

1. U.V. 레이저 세팅

본 연구에 이용된 레이저는 E사의 50mm 초점 렌즈를 갖는 355nm 파장의 이용하는 DYP 레이저로 주요 사양은 아래 표1과 같다.

표 1. U.V. 레이저의 주요사양.
Table 1. Main specification of U.V. laser.

Laser type	· Diode-pumped YAG
Wavelength	· 355nm
Spot size	· 10~12 μ m
R measurement	· 0 ~ 100M Ω · basic accuracy 0.02%
Matrix card	· Kelvin matrix, 24 point
Step & Repeat handler system	· 6" × 6" travel · 1 μ m resolution · automatic θ stage, +4°

자외선 레이저를 이용한 백금박막의 저항체 가공은 항온항습(25℃, RH 45%)이 유지되는 공간에서 최대한 균일한 온도가 유지되는 조건으로 이루어 졌다. 백금은 온도센서에 자주 이용되는 물질로 온도에 상당히 민감하여 레이저 가공 시 작은 온도 편차도 가공된 저항체의 오차로 존재하게 된다.

2. 백금박막의 증착 및 저항체 제작

99.99% 고순도 백금타겟을 사용하여 표2와 같이 백금박막을 증착시켰다.

표 2. 백금박막 증착조건.
Table 2. Deposition conditions of Pt thin films.

Deposited films	Pt thin films
Target	Pt(99.99%) (4" diameter)
Gas flow rate	80sccm
Base pressure	7.5 × 10 ⁻⁷ torr
Working pressure	5mtorr
Power	300W

본 연구에 이용된 DC magnetron 스퍼터는 2" × 2" 기판이 동시에 24장 장착될 수 있는 batch-type으로 양산 생산이 가능한 시스템이다. 2" × 2" 기판내 증착 박막의 평탄도(uniformity)는 ±0.5% 이내이며 기판의 cooling이 가능하고 모든 시스템의 구동이 프로그래밍되어 자동으로 동작하게 된다. 기판의 loading과 unloading을 제외한 모든 기능이 자동화 되어있고 전체 한공정을 처리하는데 대략 5시간 정도 소요되게 된다. 박막 증착에 이용되는 기판의 거칠기(roughness)는 3000Å 정도이며 소자 제작후, 쉬운 기판 커팅을 위해 4×24로 scribing된 96%의 알루미늄 기판을 이용하였다.

그림 1은 사진공정기술로 제작된 백금박막 저항체 사진을 보여주고 있다. 2" × 2" 세라믹 기판에 제작된 저항체는 4×24로 총 96개가 형성되어 있으며 레이저 가공을 통해 일정한 저항값으로(0℃, 100Ω) 맞추기 위해 link-cut과 final-cut이 가능한 구조로 설계 및 제작되어 있다. link-cut과 final-cut을 이용하여 최대

45%의 저항을 상승시킬 수 있어 박막의 증착 및 저항체 형성에서 발생할 수 있는 각종 저항편차 문제를 해결할 수 있으며 레이저 성능만 충분하다면 100%가까운 수율을 올릴 수 있도록 설계되어 있다.

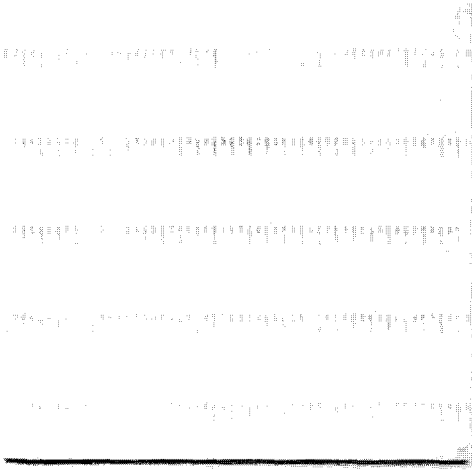


그림 1. 제작된 백금박막 저항체.
Fig. 1. The fabricated Pt Thin films resistor.

III. 실험 결과 및 고찰

1. 저항체의 저항편차

최적의 조건에서 증착된 백금박막의 면저항 분포는 4-point probe를 이용하여 분석하였으며 그림2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

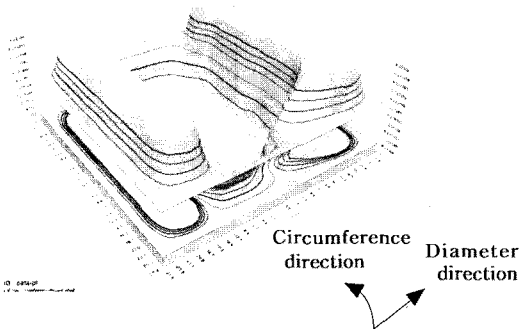


그림 2. 증착된 백금박막의 면저항 분포.
Fig. 2. Sheet resistance distribution of the deposited Pt thin films.

증착에 이용된 스퍼터 시스템이 기판을 24장 동시에 장착하여 회전하면서 증착하는 방식으로 되어있어 증착시 회전축을 중심으로 원주 방향으로는 0.2179~0.2214Ω/□ 값으로 비교적 균일한 면저항 분포가 나타났으나 지름 방향으로는 0.2079~0.2310Ω/□ 값으로 기판의 중앙에서 멀어질수록 면저항값이 상승하고 있음을 알 수 있다. 이는 24장의 기판이 공전성 회전(revolution)하면서 증착되므로 원주방향으로는 증착 두께가 균일하게 분포하고 있으나 기판 자체에 자전성 회전(rotation) 기능이 없어 지름방향으로 증착박막의 두께 편차가 비교적 심한 것으로 나타났다. 면저항을 통한 두께편차 환산결과, 회전축을 중심으로 원주방향으로는 ±0.7%이하로 나타났으나 지름방향으로는 ±5% 정도의 두께 편차 특성을 보였다.

그림 3은 증착된 박막을 이용하여 사진식각공정 및 열처리 공정을 거친 96개(4×24)의 저항체로 레이저 가공전 저항 분포를 보여주고 있다. 기판내 저항분포를 보면 그림 2에서 나타나는 면저항 및 두께편차 특성과 일치함을 알 수 있다.

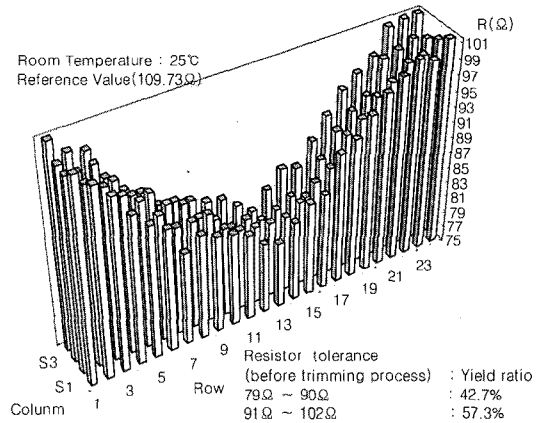


그림 3. 제작된 백금박막 저항체의 저항 분포.
Fig. 3. Resistance distribution of Pt thin films resistor fabricated.

전체 저항 편차에 따른 분포를 보면 71~90Ω과 91~102Ω이 각각 42.7%, 57.3%로 나타났다. 저항체로 제작된후, 이렇게 전체의 저항편차가 면저항 및 두께편차에 비해 커지게 되는 것은 백금박막을 이용할 경우 사진식각공정시 미소 패터닝성의 어려움과 열처리시 발생하는 오차에 인한 것으로 사료된다.

2. U.V. 레이저 가공 특성

그림 4는 355nm 파장을 갖는 U.V. 레이저의 power에 따른 1.2 μ m두께의 백금박막 가공 정도를 보여주고 있다. 일반적으로 백금은 355nm 파장대의 광학 에너지 흡수율이 47% 정도로 1050nm 파장대의 적외선 흡수율 25%에 비해 월등히 높아 가공시 발생할 수 있는 열 충격 및 미세 crack 등의 현상을 피할 수 있다. 본 실험은 각각 5~35mW로 power를 변화시키면서 레이저 bite size : 7.5 μ m, rep. rate 주파수 : 200Hz로 하여 가공하였다. 그림에서 알수 있듯이, power가 약하면 박막에 충분한 에너지가 흡수되지 못해 가공이 전혀 되지 않고 일부 흔적만을 남기다가 점진적으로 레이저 power를 상승시킴에 따라 백금박막의 가공 정도가 높아 지고 그림 4(d)에서 알 수 있듯이 레이저 power : 35mW 정도가 되면 완전히 백금이 제거되어 가공선이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

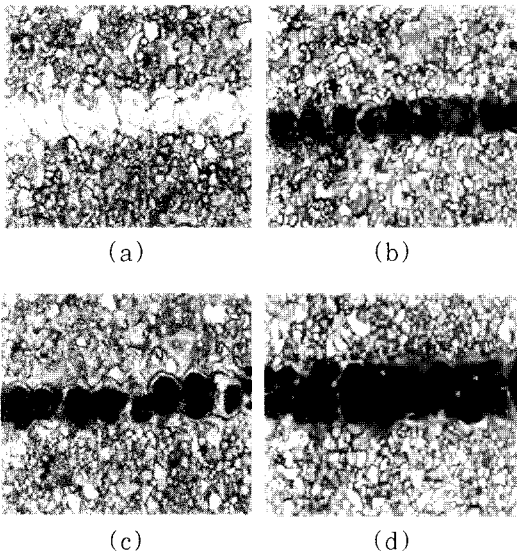


그림 4. 레이저 power에 따른 백금박막의 가공 특성.

(a)5mW, (b)15mW, (C)25mW & (d)35mW

Fig. 4. Trimming characteristics of Pt thin film with laser power.

(a)5mW, (b)15mW, (C)25mW & (d)35mW

일반적으로 막의 레이저 가공에 이용되는 trimming의 종류에는 그림 5와 같이 Plunge cut, Double cut, L-cut, Serpentine cut,

Scan cut 그리고 Multi-legs cut 등을 들 수 있다.

저항체의 정확한 가공을 위해서는 레이저가공 변수 즉, 레이저 종류 및 power, bite size 그리고 가공 주파수 등이 매우 중요한 역할을 하게 된다.⁽³⁾

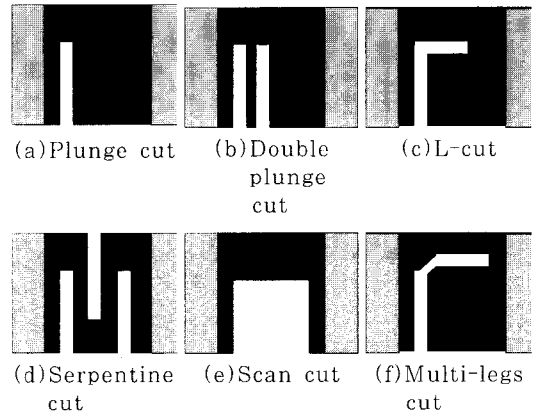


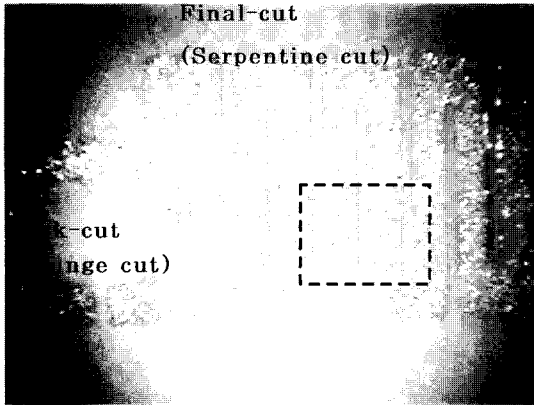
그림 5. 다양한 종류의 cut.

Fig. 5. Different types of cut.

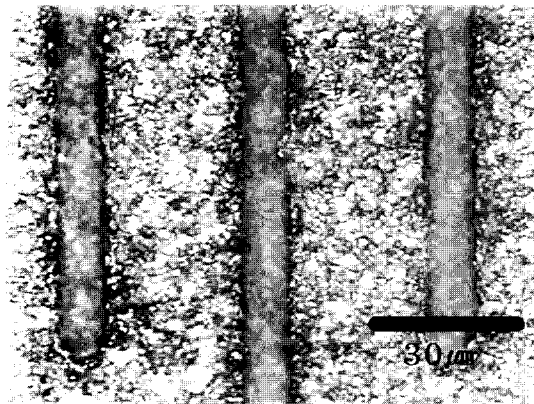
본 연구에서 주로 이용되는 cuts에는 plunge cut, double plunge cut 그리고 serpentine cut을 각각 link-cut 부분과 final-cut 부분에 이용하게 된다. 특히, final-cut 부분에 이용되는 serpentine cut은 0.02%이하의 정밀 저항 가공에 이용되는 가공기술로 정밀계측기와 50msec 이하의 실시간 통신으로 이용되게 된다.

그림 6은 저항세팅시 가공된 백금박막 저항체의 link-cut 부분과 final-cut 부분의 확대 사진을 보여주고 있다. 그림 6(a)와 같이 설계된 저항체는 link-cut이 가능하도록 모두 7개의 부분에 link-cut 부분을 설계하였으며 또한, 효과적이고 안정적인 final-cut을 위해 그림과 같이 설계·제작되어 있다. 제작된 백금박막 저항체를 rep. rate 주파수 : 200Hz 그리고 bite size : 7.5 μ m에서 power 37mW로 가공하였다. 이러한 factor들이 실제로 가공의 깊이 및 선포를 결정짓게 된다. 그림 6(a)에는 여러 cutting 기술에서 plunge cut과 serpentine cut을 이용하였으며 균일하고 깨끗하게 가공되었음을 알 수 있다. 특히, 그림 6(a)의 serpentine cut 부분의 일부분을 확대한 그림 6(b)에서 알 수 있듯이, 가공된 백금박막은 열적 충격 및 미세한 crack 없이 완전히 제거되었음을 알 수 있고,

레이저 빔 size가 10 μ m 정도의 균일한 특성을 갖고 있음을 볼 수 있다. 백금박막에 열적 충격 및 미세한 crack 없이 25 μ m이하까지 백금 pattern을 serpentine cut할 수 있음을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 6. 가공된 백금박막 저항체. (a) link-cut & final-cut, (b) 확대한 final-cut 부분

Fig. 6. Pt thin films resistor trimmed.

- (a) link-cut & final-cut
- (b) magnification of final-cut area

3. 고정밀 저항 세팅

백금박막을 이용한 RTD 센서는 온도에 상당히 민감하며 선형적인 저항온도계수(TCR : temperature coefficient resistance)를 갖는다. 현재, 국제적으로 통용되는 DIN EN 60751 규격에 의하면 RTD 온도센서의 저항 오차 규격이 아래 식과 같이 정의 되어 있다.

$$\text{Classification A} : \Delta t = +(0.15 + 0.002t)$$

$$\text{Classification B} : \Delta t = +(0.3 + 0.005t)$$

위에서 정의된 식에서 알 수 있듯이, 0 $^{\circ}$ C A-class에 해당하는 0.15 $^{\circ}$ C는 0 $^{\circ}$ C에 100 Ω 인 RTD 온도센서를 기준으로 0.06 Ω 이하에 해당하는 값이 된다. 실제적으로 이 정도의 고정밀 저항을 세팅하기 위해서는 고정밀 레이저 가공기술, 정밀한 저항체 패턴의 설계 및 제작, 저항 세팅 환경의 균일성 그리고 그 외 여러 가지 핵심적인 제반기술을 필요로 한다.

그림 7은 그림 2에서와 같이 백금박막 증착 후 제작된 저항체를 355nm 파장의 U.V. 레이저를 이용하여 rep. rate 주파수 : 200Hz 그리고 bite size : 7.5 μ m에서 power 37mW로 가공한 결과이다. 가공 목표 저항값은 맞추기 위해 실제 환경을 0 $^{\circ}$ C에 안정화시키는 것이 불가능하여 주위온도를 25 $^{\circ}$ C로 세팅시킨 후 가공하였다. 가공중에도 미세한 온도 변화에 따른 가공오차를 최소화하기 위해 100 Ω 값을 갖는 초정밀 백금박막 RTD 센서를 가공될 기판과 가능한 동일 위치에 장착하여 기준센서로 이용하였다. 초정밀 백금박막 RTD 센서의 저항값을 목표값으로하여 2" \times 2" 기판내의 96개(4 \times 24) 저항체를 가공한 결과를 그림7에 도식화하였다.

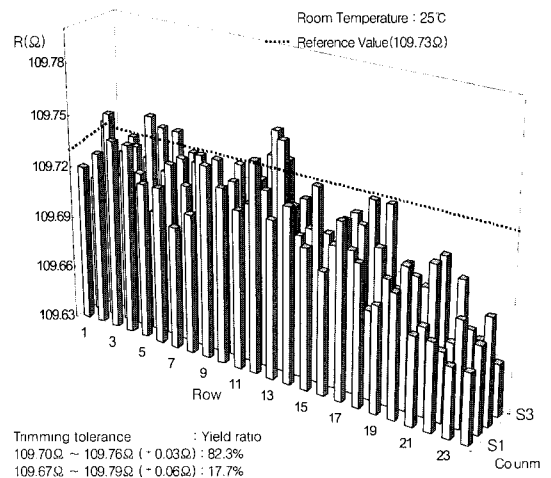


그림 7. 목표 저항치로 세팅된 저항체의 저항분포. Fig. 7. Resistance distribution of resistor set to target value.

25 $^{\circ}$ C에서 기준센서의 저항값은 109.73 Ω 을 나타내었다. 초정밀 RTD 센서를 기준센서로 하여 제작된 백금박막 저항체의 저항분포는 전체적으로 균일하게 나타남을 알 수 있다. 세팅된 백금박막 저항체는 0 $^{\circ}$ C기준 $\pm 0.7^{\circ}$ C ($\pm 0.03 \Omega$)이

내의 측정오차를 갖는 것이 82.3% 이상이었으며 나머지 17.7%도 모두 국제 DIN EN 60751 규격의 A-class 오차범위를 충분히 만족시킬 수 있었다. 그림 7을 보면 19~24열에 위치한 저항체들이 다른 부분에 위치한 저항체들에 비해 상대적으로 저항치가 작게 세팅되는 특성을 볼 수 있다. 이는 본 연구에 이용된 레이저 장비의 기관 loading 부분의 온도가 균일하지 못 한 현상으로 인해 비롯된 것으로 구조를 일부 변경함으로 쉽게 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

355nm 파장을 갖는 자외선 레이저를 이용하여 백금박막 저항체를 가공하여 0°C에 100Ω을 갖도록 세팅하였다. 가공에 이용된 355nm DYP(Diode-Pumped YAG) 레이저는 power : 37mW, rep. rate 주파수 : 200Hz 그리고 bite size : 7.5μm에서 1~1.5μm 두께의 백금박막을 가장 안전하게 가공할 수 있었다. 이러한 조건에서 가공된 백금박막은 레이저 가공시 발생할 수 있는 어떠한 열충격 흔적이나 미세한 crack 없이 10μm 안팎의 미세가공이 가능함을 확인하였다.

2"×2" 세라믹 기관상에 제작된 96개(4×24) 백금박막 저항체를 사진식각공정으로 제작하였다. 제작후 열처리를 거친 후 96개 저항체의 저항편차는 71~90Ω과 91~102Ω이 각각 42.7%, 57.3%로 나타났다. 초정밀 RTD 센서를 기준센서로 하여 제작된 백금박막 저항체들을 가공한 결과, 저항 분포는 전체적으로 균일한 특성을 나타내었다. 세팅된 백금박막 저항체는 0°C 기준 ±0.7°C(±0.03Ω)이내의 측정오차를 갖는 것이 82.3% 이상이었으며 나머지 17.7%도 모두 국제 DIN EN 60751 규격의 A-class 오차범위를 충분히 만족시킬 수 있었다.

본 연구결과 얻어진 고성능 자외선 레이저 응용기술, 정밀한 저항체 패턴의 설계 및 제작 기술, 저항 세팅 환경의 균일성 그리고 그 외 일부 기술이 개선된다면 100%에 가까운 수율은 물론 모든 가공 저항오차를 0.03% 이내로 제작이 가능함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 2001년도 기술개발용 역사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] J. J. Dubowski, "Laser technologies for manufacturing of advanced materials and devices", Appl. Phys. Lett. vol. 74(14), pp. 1948~1950, 1999.
- [2] Edward J. Swenson, "Laser Micromachining In Microelectronics Industry", Laser Beam Shaping, Proceedings of SPIE, vol. 4095, pp. 118~132, 2000.
- [3] M. Aslam and J. A. Mirza, "Thick film Technology and its application in Tele-communication System", COMSATS, vol 2, no 4, 1997.
- [4] Jialiang ZHANG, "Microstructure and Temperature Coefficient of Resistance of Platinum Films", J. Appl. Phys. Vol. 36, pp. 834~839, 1997.
- [5] Jan J. DUBOWSKI, "Laser-induced micro-structuring of photonic material : Semi-conductors", First Int. Symp. on Laser PM, Proceedings SPIE, vol. 4088, pp. 55~63, 2000.
- [6] L. F. Garfias, "Reliability Characterization of RuO₂ Thin Film Resistors", Electrochemical Society Proceeding, vol. 99-29, pp. 217~230, 2000.
- [7] M. Meunier, "A novel laser trimming technique for microelectronics", Laser applications in Microelectronic and Optoelectronic Manufacturing IV, Proceeding of SPIE, vol. 4274, pp. 385~392, 2001.

 著 者 紹 介

**노 상 수**

1992~1996 동서대학교(공학사)

1996~1998 동서대학교(공학석사)

1998~2001 부산대학교(박사 수료)

1999~현재 대양전기공업 기술연구소 근무.
주관심 분야 : 온도/유량센서, 실리콘 공정기술

김 동 현

1994~1998 부산대학교 (공학사)

1998~2000 부산대학교 (공학석사)

2001~현재 대양전기공업 기술연구소 근무,

주관심 분야 : 화학센서, 박막/후막공정

정 귀 상

1982 영남대학교 (공학사 - 전자공학)

1985 영남대학교 (공학석사 - 전자공학)

1992 도요하시기술과학대학 (공학박사 - MEMS)

1993 - 현재 동서대학교 정보시스템공학부 부교수

주관심 분야 : Si, SOI 및 SiC-M/NEMS, 압전 및 SMA 액츄에이터

김 형 표

1985~1992 경북대학교 (공학사)

1992~1994 경북대학교 (공학석사)

1994~1998 경북대학교 (공학박사)

1996~1998 보국전기공업(주) 기술연구소 근무

1998~현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수

주관심 분야 : 유속/유량 센서, MEMS

김 광 호

1976~1980 서울대학교 (공학사)

1980~1983 한국과학기술원 (공학석사)

1983~1986 한국과학기술원 (공학박사)

1989~1990 UCLA (Post-Doc.)

1985~현재 부산대학교 무기재료공학과 교수

주관심 분야 : 센서재료, 박막증착 및 분석