

박막저항기 특성에 미치는 제조 공정 인자의 영향

박현식* · 유운섭

국립 한양대학교 전자공학과, 정보제어공학과, 전자기술종합연구소

Effect of Manufacturing Parameters on Characteristic of Thin Film Resistor

Hyun-Sik Park* and Yun-Seop Yu

Dept. of Electronic Eng., Dept. of Information and Control Eng., Hankyong National University, Ansong, Kyonggi-Do, 456-749, Korea

초 록: 저항 값을 맞추기 위한 트리밍 공정이 낮은 저항온도계수와 높은 정밀성을 요구하는 박막저항기 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 수행되었다. 스퍼터링 방법으로 제조된 박막 저항기의 트리밍 속도에 따른 저항기의 특성 변화와 온도계수의 변화가 관찰되었다. 트리밍 속도의 증가에 따라서 박막 저항기 특성은 저하되었으며, 열처리로 저항 값의 평균 편차 0.26% 및 저항온도계수 52.77[ppm/K]의 개선 효과가 있었다. 1k Ω 와 10k Ω 저항기가 100k Ω 박막 저항기 보다는 특성이 양호하였으며, 트리밍 속도의 최적 조건으로는 20mm/sec와 특성 개선을 할 수 있는 최적 열처리 온도는 593K였으며, 최적 조건에서 제작된 저항기의 저항 값의 평균 편차는 0.31% 및 저항온도계수 10[ppm/K] 미만이었다.

Abstract: The effect of trimming process to adjust accurate resistance of a thin-film resistor was studied with respect to low temperature coefficient of resistance(TCR) and high precision. The characteristics of a thin-film resistor fabricated by sputtering were investigated depending on trimming condition and annealing temperature. Measured results showed that the characteristic of a thin-film resistor was degraded with increased trimming speed. However, an average resistance deviation and a TCR were improved to 0.26% and 52.77[ppm/K], respectively, through annealing treatment. Also, thin-film resistors with 1k Ω and 10k Ω showed better performance compared to a resistor with 100k Ω . The Optimal trimming speed and annealing temperature were 20mm/sec and 539K, respectively, and under this optimal condition, a thin-film resistor with an average resistance deviation of 0.31% and a TCR of below 10[ppm/K] was obtained.

Keywords: thin film resistor, manufacturing parameters, temperature coefficient of resistance

1. 서 론

전자부품은 소형화와 더불어 정밀 특성이 요구되고 있는 추세에 있다. 특히 산업용 고정 저항기(fixed resistor)는 온도에 따른 저항 값의 특성 변화인 저항 온도 계수 TCR (temperature coefficient of resistance)이 우수하면서 정밀한 저항 값의 특

성이 요구⁽¹⁻⁷⁾되고 있다.

고정 저항기는 저항체 막의 두께, 구성 소재, 형상 및 공정에 따라서 분류되며, 크게 후막(thick film) 고정 저항기와 박막(thin film) 고정 저항기로 분류될 수 있다. 이중 박막 저항기는 온도에 따른 저항 값의 특성 변화인 온도 계수가 우수하여 정밀 특성이 요구되는 산업용 저항기로 확대되고 있

*Corresponding author
E-mail: hspark@hknu.ac.kr

으며, 특히 우수한 온도 특성을 보이고 있는 박막 저항기는 니켈계 저항 박막 저항기가 유력하게 사용¹⁻⁷⁾ 되고 있다. 박막 저항기의 제조 과정은 저항 박막이 저항체 세라믹 코어(core)에 증착되고, 전극 단자 처리과정 이후 쏘잉(sawing) 혹은 레이저에 의한 트리밍(trimming) 공정으로 목표로 하는 저항 값을 맞추게 된다. 정밀성이 요구되는 박막 저항기는 온도계수의 변화나 저항 값 변화는 큰 문제점으로서, 지금까지 박막 저항기의 저항온도계수에 영향을 미치는 인자로는 박막 성장 조건, 조성 및 두께 등으로 보고^{8,9)} 되고 있다. 그런데 실제로 양산 생산 과정에서는 균일 저항체 막을 제조하더라도 목표 저항 값을 맞추는 트리밍 공정에서 저항 값의 평균 편차가 크게 발생하며 저항온도계수의 변화를 가져온다.

따라서 본 연구에서는 박막 저항기의 생산 제조 과정에서 트리밍 공정에서 발생하는 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수의 특성 변화와 이를 개선하기 위한 열처리에 관한 연구가 수행되었다. 이를 위해서 저항기용 원통형 세라믹 코어 위에 스퍼터링(sputtering) 공정으로 균일한 저항체 막을 형성하고, 목표 저항 값을 달성하기 위한 쏘잉에 의한 트리밍 공정에 있어 트리밍 조건에 따른 저항 값의 평균 편차와 온도계수 변화를 관찰하고, 열처리로 박막 저항기의 특성 개선을 할 수 있는 방안이 시도되었다.

2. 실험방법

Fig. 1은 본 연구의 실험방법으로서, 저항기용 세라믹 코어는 정격용량 250mW용으로 원통형상의 직경1.7, 길이 5.2 mm의 알루미나 90%가 함유되고 평균 표면조도 0.40 μm 이하 인 것을 사용하였다. 세라믹 코어는 가열 열처리와 전처리 과정을 거쳐 이물질을 제거된 후 스퍼터링 방법으로 저항체 막을 형성하였다.

스퍼터링 타겟은 일본 고순도화학의 니켈계 타겟이 사용되었으며 고순도 아르곤 가스를 주입하면서 저항기 코어를 회전하면서 ERC RF 스퍼터링 장비를 이용하였다. 세라믹 코어 위에 증착된 저항 막의 평균 두께는 2.48 μm 였으며, 저항률은 0.265 Ωmm 로 구성되었다. 본 연구에서는 목표 저항값은 1k Ω , 10k Ω , 100k Ω 으로 설정하였고, 이에

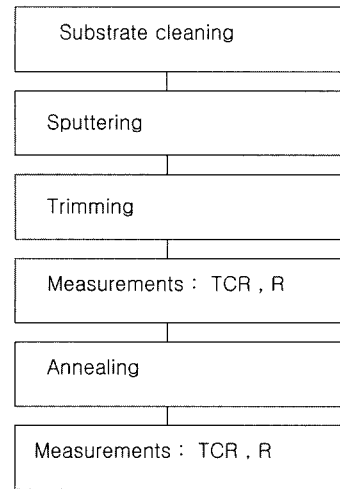


Fig. 1. Experimental procedure.

따라서 쏘잉 방법으로 나선(spiral) 형상의 트리밍이 실시되어 Fig. 2와 같은 구조의 저항기를 제작하였으며, 이때 트리밍 속도의 변화를 변수로 목표 저항 값을 맞추었다. 트리밍 속도 변화는 30, 35 및 50 mm/sec으로 3수준으로 실시하였으며 트리밍 된 홈의 폭은 $170 \pm 10 \mu\text{m}$ 으로 하였다.

트리밍에 따른 저항 값의 변화는 HP 4339B 저항미터와 HP 16339A 지그로 측정하여 목표 저항 값을 기준으로 저항 편차를 백 분율(%)로 나타내었고, 저항온도계수는 상온(T_0)에서 423K(T)까지 가열하면서, 다음 식으로부터 온도 1도 당 저항 값 변화를 측정하였다.

$$\text{TCR} [\text{ppm/K}] = \frac{R - R_0}{R_0} \frac{1}{T - T_0} \times 10^6$$

R : 온도 T에서의 저항값, R_0 : 온도 T_0 에서의 저항값

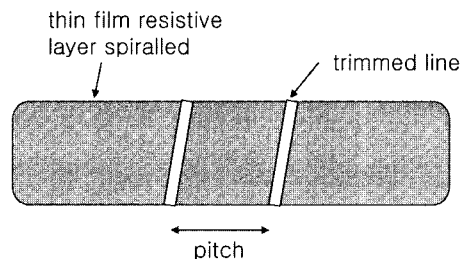


Fig. 2. Schematic diagram of the thin film resistor after trimming.

트리밍 된 형상은 입체현미경과 PZT 구동 방식을 이용한 광학식 비접촉 형상측정기로 트리밍 끝 및 주변 형상을 관찰하였으며 주파수 특성은 HP 4284A LCR 미터로 1MHz 까지 측정 비교하였다. 트리밍 된 저항기는 열처리가 수행되었으며 열처리 조건은 563, 593, 623K에서 10시간 균일 진공 열처리가 수행되었고, 본 연구에서는 열처리 온도에 따른 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수의 변화를 비교 분석하여 최적의 박막 저항기 제조 공정 조건을 확보하도록 시도 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 박막 저항기 제작 및 트리밍 조건 설정

저항기 제작은 $R=\rho l/wt$ (ρ : 저항률, l : 저항체 길이, w : 저항체 폭, t : 저항체 두께)의 관계식에 따라서 제작된다. 이때 저항체 길이(l)은 전자가 이동하는 경로로서 트리밍 되는 길이에 해당하고, 저항체 폭(w)은 트리밍 된 골과 골 사이의 피치 간격에 해당한다. 본 연구에서는 저항률이 $0.27\Omega\text{mm}$ 로 일정하고 저항체 막 두께가 균일한 $2.48\mu\text{m}$ 으로서 목표 저항 값은 박막 저항체 표면에 트리밍 된 홈의 길이(l)에 비례하고 저항체 폭에 해당하는 저항체 골과 골 사이 피치 간격(w)에 반비례하여 목표 저항 값이 결정되었다.

저항체 표면에 홈을 형성하면서 저항체 길이와 폭을 제어하면서 목표 저항 값의 저항기를 제작할 수 있었으며, Fig. 3은 목표 저항 값에 따른 저항체 길이로서 $1\text{k}\Omega$ 저항기를 제작하기 위하여 필요한

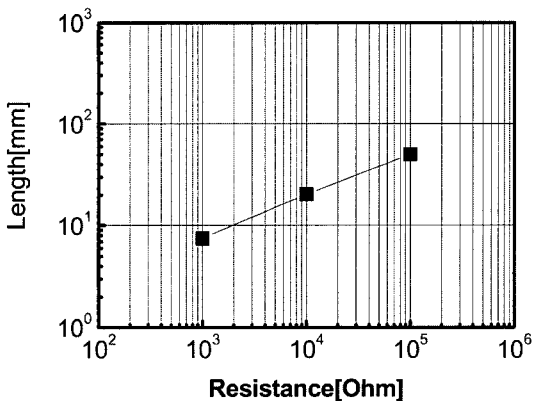


Fig. 3. Trimmed length for thin film resistor.

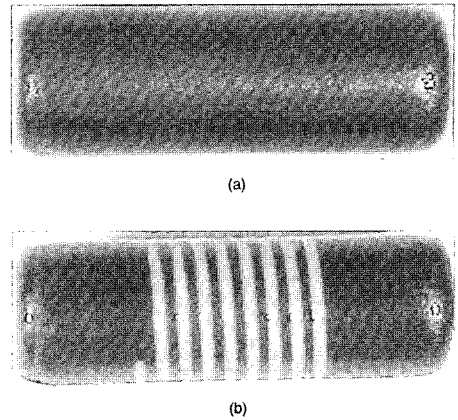


Fig. 4. Thin film resistor ($\Phi 1.7$, length 5.2 mm) (a) before trimming (b) after trimming

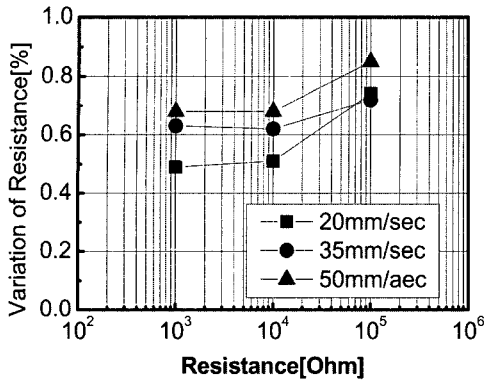
트리밍 된 길이는 7.47mm , $10\text{k}\Omega$ 저항기의 경우 20.30mm , $100\text{k}\Omega$ 저항기의 경우 50.20mm 으로 하였다. 상기 조건에 의거하여 제작된 박막 저항기는 Fig. 4와 같으며, Fig. 4의 (a)는 제작된 박막 저항체이며, (b)는 트리밍 된 후의 $100\text{k}\Omega$ 저항기이다.

3.2 박막 저항기의 특성 분석 결과

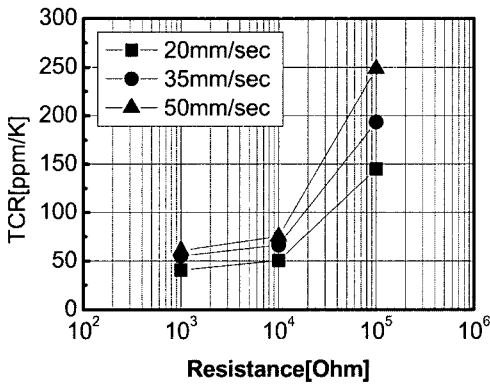
3.2.1 트리밍 된 박막 저항기의 특성 변화

트리밍은 세라믹 코어 위에 형성된 박막 저항체를 목표 저항 값에 도달하도록 가공하는 것으로서, 본 연구에서는 목표 저항 값 $1\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$ 및 $100\text{k}\Omega$ 에 대하여 트리밍 속도의 변화에 따른 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수를 측정하였다. $1\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$ 및 $100\text{k}\Omega$ 의 목표 저항 값에 맞추어 트리밍 속도를 20, 35, 50 mm/sec 로 달리하면서 트리밍 하였다.

Fig. 5는 트리밍 된 박막 저항기의 목표 저항 값을 기준으로 저항 값의 평균 편차(%)와 저항온도계수를 분석한 결과이다. Fig. 5의 (a)는 각 목표 저항 값에 대한 트리밍 속도의 증가에 따라서 저항 값의 평균 편차를 나타낸 것으로서 $1\text{k}\Omega$ 의 경우 트리밍 속도에 따라서 0.49~0.68%, $10\text{k}\Omega$ 의 경우 0.51~0.68% 그리고 $100\text{k}\Omega$ 의 경우에는 0.74~0.85% 범위로 측정되어, 트리밍 속도의 증가와 목표 저항 값이 높아 질 수록 저항 값의 평균 편차가 증가되고 있음을 알 수 있다. Fig. 5의 (b)는 각 목표 저항 값에 대한 트리밍 속도에 따른 저항온도



(a)

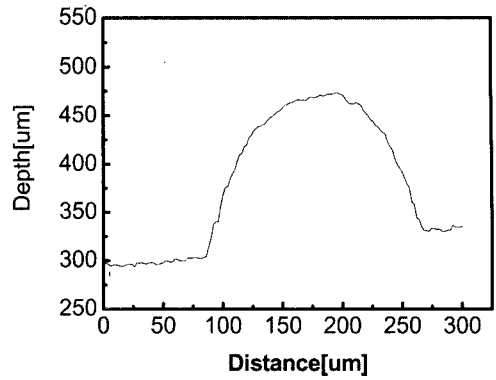


(b)

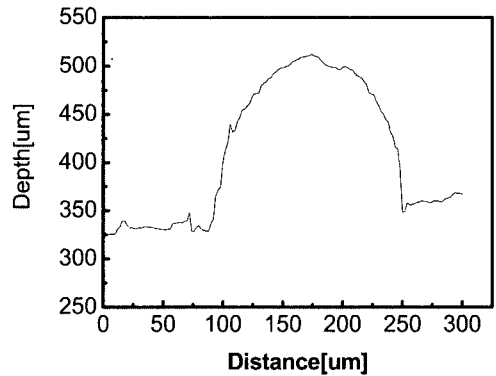
Fig. 5. Variation of characteristics of thin film resistor with trimming speed (a) variation of resistance (b) TCR.

계수의 변화로서, 1kΩ의 경우 트리밍 속도에 따라서 저항온도계수는 40.62~60.75[ppm/K], 10kΩ의 경우 50.46~75.3 [ppm/K] 그리고 100kΩ의 경우 145.2~248.6[ppm/K] 범위로 측정되어, 트리밍 속도의 증가와 목표 저항 값이 높아질 수록 저항온도계수가 증가되고 있음을 알 수 있다. 즉 Fig. 5의 결과로부터 트리밍 속도의 증가와 목표 저항 값이 높아질수록 저항 값의 편차와 저항온도계수가 모두 증가됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 비접촉 방법으로 박막 저항기의 트리밍된 홈의 거칠기를 관찰한 결과로서, 20mm/sec로 트리밍 된 홈 (a)의 거칠기가 50 mm/sec로 트리밍 된 홈(b)의 거칠기에 비해서 트리밍 된 홈의 거칠기 변화가 적게 관찰되었다. 빠른 속도로 트리밍 될 수록 박막 저항체의 표면 상태가 거칠게 관찰되어 상대적인 응력 발생이 많이 발생될 것으로 사료되었고, 이는 빠른 속도로 트리밍 되는 경우



(a)



(b)

Fig. 6. Profile of trimmed groove with trimming speed (a) 20 mm/sec (b) 50 mm/sec.

저항 값의 평균 편차와 저항온도계수의 증가를 가져오는 원인으로 작용하였다.

따라서 목표 저항기 값을 맞추기 위한 트리밍 공정에 있어 트리밍 속도의 증가는 박막 저항기의 주요 특성인 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수의 증가를 가져왔다. 즉 박막 저항기의 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수는 트리밍 속도에 의존하며, 트리밍 속도가 빠를수록 저항기 특성은 저하하였고, 또한 목표 저항 값이 증가할수록 특성 저하가 크게 나타났다.

3.2.2 트리밍 된 박막 저항기 특성 변화에 미치는 열처리 영향

트리밍 속도가 20 mm/sec 조건에서 적은 저항값의 평균 편차와 낮은 저항온도계수 변화가 관찰됨에 따라서 트리밍 속도는 20 mm/sec의 일정한 조건으로 트리밍하고 열처리 온도에 대한 효과를 분

석하였다. 열처리 온도는 563K, 593K 및 623K 으로 설정하고 10 시간 동안 열처리하였다.

Fig. 7은 트리밍 된 박막 저항기를 의 목표 저항 값을 기준으로 저항 값의 평균 편차(%)와 저항 온도계수를 분석한 결과이다. Fig. 7의 (a)는 20mm/sec로 트리밍 된 박막 저항기의 열처리 온도에 따른 저항 값 변화를 측정된 결과이다. 각 목표 저항 값에 대한 트리밍 속도의 증가에 따라서 저항 값의 평균 편차를 나타낸 것으로서 1kΩ의 경우 트리밍 속도에 따라서 0.32, 0.31 및 0.39%, 10kΩ의 경우 0.35, 0.31 및 0.34%, 그리고 100kΩ의 경우에는 0.35, 0.32 및 0.45%로 측정되었다. 열처리 온도에 따라서 저항 값의 평균 편차는 감소되었고, 열처리 온도 593K에서 낮은 저항 값의 변화를 관찰할 수 있었다.

Fig. 7의 (b)는 20mm/sec로 트리밍 된 박막 저항기의 열처리 온도에 따른 저항 온도계수를 측정된 결과이다. 1kΩ의 경우 각 열처리 온도에 따라서 20.17, 9.02 및 14.02[ppm/K], 10kΩ의 경우 30.97, 8.37 및 18.10[ppm/K] 및 100kΩ의 경우에는 89.01, 60.60, 84.20[ppm/K]로 측정되었다. 열처리 온도에 따라서 저항 온도계수의 감소가 있었으며 593K으로 열처리 조건에서 낮은 저항 온도계수를 얻을 수 있었다. 따라서 열처리 온도에 따라서 저항 값의 평균 편차와 저항 온도 계수가 변화되었으며, 593K에서 저항 값의 평균 편차 0.31%와 저항 온도 계수 10[ppm/K] 미만을 확보할 수 있었다. 이와 같이 열처리에 따라서 저항 값의 평균 편차와 저항 온도계수가 저하되는 것은 열처리가 트리밍 과정 중 발생한 응력 완화 작용을 한 것으로 판단된다.

3.3 고찰

박막 저항기의 저항 값의 평균 편차와 저항 온도 계수는 트리밍 속도에 의존하며, 트리밍 속도가 빠를 수록 저항기의 특성 값은 저하하고, 목표 저항 값이 클수록 특성 저하가 크게 나타났으며, 트리밍 된 후 열처리로 저항 값의 평균 편차와 저항 온도계수 감소의 효과가 있었다. 트리밍 후 열처리 효과를 고찰하기 위하여 Fig. 8과 같이 비교 분석하였다. Fig. 8은 트리밍 속도 20mm/sec로 제작된 목표 저항 값 1kΩ, 10kΩ 및 100kΩ 박막 저항기의 열처리 온도 593K으로 열처리 전과 후의 저항 값의 평균 편차를 Fig. 8의(a)에 나타냈고, 저항 온도계수 변화를 Fig. 8의 (b)로 나타내었다. 열처리로 1kΩ, 10kΩ 및 100kΩ 박막 저항기의 저항 값 평균 편차를 각각 0.18, 0.20 및 0.39% 만큼 감소시켜 평균 0.26%의 저항 값의 평균 편차를 개선함으로써 특히 1kΩ 및 10kΩ 박막저항기의 저항 값 평균 편차는 각각 0.31%으로서 낮은 수준의 평균 편차를 확보할 수 있었다. 저항 온도계수는 31.60, 42.10 및 84.60[ppm/K] 만큼 열처리로 감소되어 평균 52.77[ppm/K]의 저항 온도계수를 개선함으로써 특히 1kΩ 및 10kΩ 박막 저항기의 저항 온도계수는 각각 9.02 및 8.37[ppm/K] 으로서 10[ppm/K] 미만의 낮은 수준의 저항 온도계수를 확보할 수 있었다. 따라서 열처리 효과로 저항 값 평균 편차와 저항 온도계수를 크게 낮출 수 있음을 알 수 있고 특히 1kΩ나 10kΩ 보다 100kΩ의 경우가 열처리 효

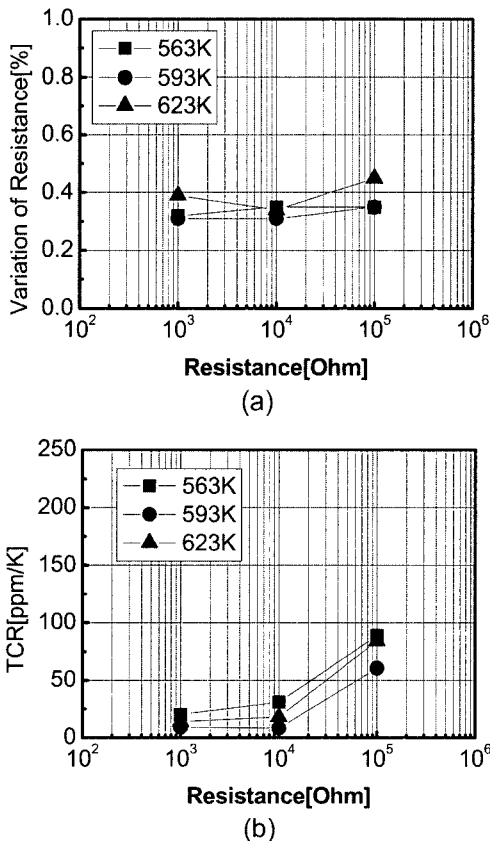


Fig. 7. Variation of characteristics of thin film resistor with annealing temperature. (a) variation of resistance (b) TCR.

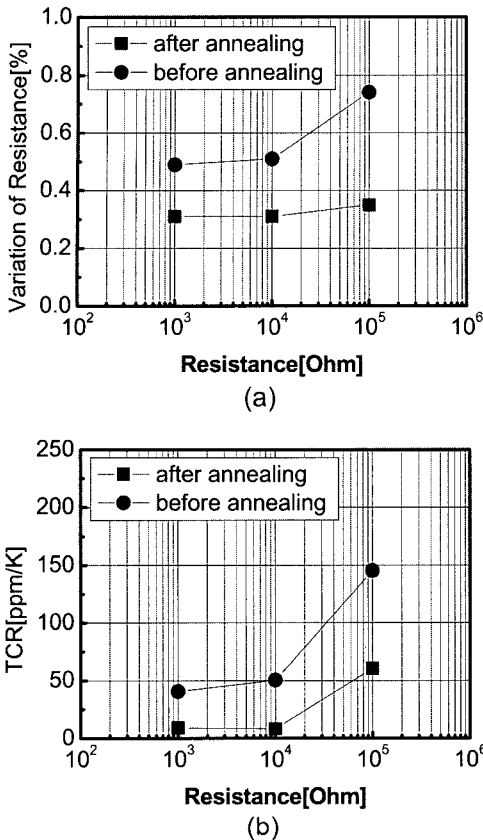


Fig. 8. Effect of annealing on the characteristics of thin film resistor (a) variation of resistance (b) TCR.

과가 더 크게 나타났다. 이는 $1k\Omega$ 나 $10k\Omega$ 보다 많은 길이로 트리밍 되는 $100k\Omega$ 의 경우 트리밍 과정에서 응력 발생의 효과가 컸기 때문에 열처리로 저항 값 평균 편차와 저항온도계수의 개선 효과가 크게 나타난 것으로 사료되었다. 아울러 그림 5에서와 같이 목표 저항 값이 클수록 저항 값 평균 편차와 저항온도계수가 증가한 경우도 트리밍 과정에서 발생하는 응력 발생으로 사료되었다. 즉 트리밍 과정에서 발생하는 응력은 저항 값 평균 편차와 저항 온도계수의 증가를 가져왔다고 판단되었다. 따라서 $1k\Omega$ 와 $10k\Omega$ 저항기가 $100k\Omega$ 박막 저항기 보다는 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수가 양호한 특성을 나타냈으며, 트리밍 된 후 열처리 온도는 $593K$ 으로 특성 개선을 가져올 수 있었고, 이상의 최적 조건으로 제작된 $1k\Omega$ 와 $10k\Omega$ 박막 저항기의 저항 값 평균 편차는 0.31% 및 저항온도계수 $10[ppm/K]$ 미만의 제조 공정 조

건을 확보하였다.

4. 결 론

목표 저항 값 $1k\Omega$, $10k\Omega$ 및 $100k\Omega$ 의 박막 저항기를 제작하고 트리밍 속도에 따른 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수를 측정하고 열처리 효과를 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 박막 저항기의 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수는 트리밍 속도에 의존하며, 트리밍 속도가 빠를수록 저항기의 특성 값은 저하하였고, 목표 저항 값이 클수록 특성 저하가 크게 나타났다.

2. 트리밍 된 박막 저항기를 열처리 함으로서 저항 값 평균 편차 0.26% 및 저항온도계수 $52.77 [ppm/K]$ 만큼의 개선효과가 있었다. 이것은 열처리가 트리밍 과정에서 발생한 응력을 완화하여 특성 개선이 된 것으로 사료되었다.

3. 목표 저항 값이 큰 저항기일 수록 특성 저하가 현저하여, $1k\Omega$ 와 $10k\Omega$ 저항기가 $100k\Omega$ 박막 저항기 보다는 저항 값의 평균 편차와 저항온도계수 특성이 양호하였으며, 트리밍 된 후 열처리 온도는 $593K$ 으로 최적의 특성 개선을 가져올 수 있었고, 최적 조건에서 제작된 $1k\Omega$ 과 $10k\Omega$ 박막 저항기의 저항 값 평균 편차는 0.31% 및 저항온도계수 $10[ppm/K]$ 미만이었다.

참고문헌

1. Braudaway D.W., "Precision Resistors," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 48(5), 878(1999).
2. Ahern J.,heid K., "Stability of Nickel-Chromium Thin Film resistors," IEEE Transactions on Parts, Hybrids and packaging, 8(2), 10(1974).
3. Bos, L., "Performance of thin film chip resistors," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 17(3) 359 (1994).
4. Tomas J. Faith, "High Power Density Thin Film Resistors," IEEE Transactions on Parts, Hybrids and packaging, 11(4) 273 (1975).
5. W. R. Lasko and H. A. Roth, "The Effect of Surface Morphology of Substrates upon Electrical Stability of Nichrome Thin Film Resistors," IRE Transactions on Component Parts, 160.

6. David A. Glocker, "Handbook of Thin film process Technology," Institute of Physics publishing, A3.0:1 (1995).
7. Hayakawa, Washa, "薄膜化技術", 日本 共立出版社, 116(1988).
8. Thiel R. and Maurer E., "TCR control of Ni/Cr Resistors," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2(4) 467 (1979).
9. M.Ishikawa, H.Enomoto, N.Mikamoto, T.Nakamura, M.Matsuoka, C.Iwakura, "Preparation of thin film resistors with low resistivity and low TCR by heat treatment of multilayered /Ni deposits," Surface and Coating Technology 110, 121 (1998).