

## 잉크젯 프린터용 발열체의 제작과 특성연구

장호정 · 노영규

단국대학교 전자·컴퓨터학부, 전자공학과

### Preparation and Characterization of Heating Elements for Inkjet Printer

Ho Jung Chang and Young Kyu Noh

Department of Electronics Engineering, Dankook University, Cheonan-shi 330-714, Korea

**초 록:** 잉크젯 헤드의 발열체에 적용하기 위해 poly-Si/SiO<sub>2</sub>/Si 다층기판 위에 결정화된 안정한 코발트 실리사이드(CoSi<sub>2</sub>) 박막을 형성하여 오메가 형태의 발열체를 제작하고 발열체의 구조적 형상과 온도저항 계수 등 전기적 특성을 조사, 연구하였다. CoSi<sub>2</sub> 박막의 형성은 금속 Co 박막을 금속 열처리장치를 이용하여 800°C에서 20초 동안 질소 분위기에서 열처리하여 실리사이드 박막을 형성하였다. 발열체의 온도 저항계수 값은 약 0.0014/°C 값을 얻을 수 있었다. 인가전압 10 V, 주파수 10 kHz 및 펄스폭 1 μs 인가 시 발열체의 순간전력은 최대 2 W를 나타내었다. 반복된 전압인가에 따른 발열체의 피로특성을 조사한 결과 15 V 이하의 전압인가 시 10<sup>8</sup> 펄스 cycle 까지 저항변화가 거의 없었으나 17 V 인가전압에서는 10<sup>6</sup> cycle 에서 발열체의 저항이 급격히 증가하였다.

**Abstracts:** The crystallized stable cobalt silicide (CoSi<sub>2</sub>) films were prepared on poly-Si/SiO<sub>2</sub>/Si substrates for the application of inkjet printing head as a heating element with omega shape. The structural images and temperature resistance coefficient were investigated. The value of temperature resistance coefficient of the heating element was found to be about 0.0014/°C. The maximum power of the heating element was 2 W at the applied voltage of 2 V, 10 kHz in frequency and 1 μs in pulse width. From the investigation of fatigue property according to the repeated applied voltages, there was no drastic changes in the resistances of heating element under the condition of 10<sup>8</sup> pulsed cycles at below 15 V biased voltage. In contrast, the resistance of heating element was greatly increased at 10<sup>6</sup> pulsed cycles when the heating element was operated at 17 V.

**Keywords:** 잉크젯 히터, 코발트실리사이드, 온도저항계수, 발열체, 피로특성

### 1. 서 론

잉크젯프린터는 작성된 문서의 출력은 물론 사진 인쇄 등 고해상도의 매체 출력에 주로 사용되고 있다. 잉크젯프린터 시스템의 기본 동작원리는 프린터 헤드속의 챔버에 잉크를 채운 뒤 전기신호를 인가함으로써 짧은 시간에 챔버를 가열, 팽창시켜 작은 폭발을 일으킴으로써 가느다란 관으로 된 노즐을 통해 잉크방울을 고속 분사하는 원리이

다. 현재 널리 사용되고 있는 잉크젯 프린트 기술은 “drop-on-demand” 방식이다. 즉, 필요할 때마다 잉크 방울을 토출시켜 매질에 인쇄하는 방법이며 컴퓨터에 연결된 잉크젯 프린터는 컴퓨터가 신호를 보낼 때마다 헤드를 이동시킨 뒤 잉크를 뽑아야 할 노즐로 신호를 보낸다. 잉크젯 프린터는 크게 압전 (piezoelectric) 방식과 가열 (thermal) 방식으로 구분할 수 있다.<sup>1)</sup> 압전방식은 압전물질을 액츄에이터로서 노즐이 있는 챔버위에 부착하여

진동운동을 이용하여 압축, 팽창작용으로 잉크를 분사하는 원리이다. 가열방식의 잉크젯 프린터는 일반적으로 저항을 갖는 박막히터에 전기를 인가하여 순간적으로 생성되는 기포 (bubble)가 액체에 이터로서 작용하여 잉크를 분사한다. 이러한 잉크젯 프린터 헤드는 크게 노즐판, 박막히터 및 잉크로 구성되어 있다.

잉크젯프린터 헤드에서의 잉크 분사원리는 실리콘 기판 위에 보호막과 접촉하는 박막히터에 전류가 흐르면 전기저항 때문에 순간적으로 약 500°C 온도의 열이 발생한다. 발생된 열은 헤드의 보호덮개 안에 있는 잉크에 열이 전달되어 발생된 기포의 압력에 의한 구동력으로 잉크를 분사할 수 있다. 잉크가 분사된 후 전류는 더 이상 흐르지 않기 때문에 기포는 점차 소멸하게 되며 소멸되는 과정에서 잉크는 모세관 현상 및 잉크챔버와 대기압의 압력차이로 인해 다시 챔버에 채워진다. 특히 가열방식 잉크젯프린터<sup>2-5)</sup>는 다른 방식에 비해 낮은 가격과 우수한 품질을 가지고 있으며 열기포 (thermal bubble)를 생성하기 위한 박막 발열체로서 TaAl 등 여러 금속화합물들을 쓰고 있다. 최근 프린트물의 고해상도에 따라 잉크젯 헤드의 노즐 수 증가에 의해 박막 발열체의 소형화와 더불어 작은 면저항과 고온에서 열적 안정성이 필요한 발열체가 요구되고 있다<sup>6-10)</sup>. 이러한 관점에서 발열체로서 열적인 안정성 뿐만 아니라 작은 저항을 가지며 동시에 박막형성이 용이하고 공정처리가 간단한 발열체 재료를 사용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 지금까지 코발트실리사이드 박막을 잉크젯 프린터 발열체에 적용하여 특성 평가를 수행한 연구는 매우 드물다.

코발트 실리사이드 물질을 발열체로 사용하기 위해서는 면저항의 크기, 온도 안정성, 실리사이드 형성후의 공정 진행시의 안정성 및 동작시 전기신호 횡수에 대한 내구성 등이 중요하다.

본 논문에서는 잉크젯 히터의 발열체에 적용하기 위해 poly-Si/SiO<sub>2</sub>/Si 구조의 다층기판 위에 안정한 코발트 실리사이드(CoSi<sub>2</sub>) 박막을 형성하여 오메가 형태의 발열체를 제작하고 발열체의 구조적 형상과 온도저항계수 등 전기적 특성을 조사, 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 실리사이드 형성

양면이 연마된 4인치 n-type Si(100) 웨이퍼( $\rho = 10\sim 20 \Omega\text{cm}$ )를 기판으로 사용하였다. Si(100)웨이퍼위에 습식 산화법으로 SiO<sub>2</sub> 산화막을 약 5000 Å 두께로 형성한 후 다시 그 위에 약 3000 Å 두께의 poly-Si 박막을 저압 화학기상증착(low pressure chemical vapor deposition)법에 의해 증착하였다. Co 금속의 증착을 위해 기판을 10% 불화수소 (hydrogen fluoride) 용액에 약 10초 동안 담근후 증류수로 세정한후 바로 e-beam 진공 증착장치에 장착하였다. E-beam 증착장비의 챔버압력은 약  $5 \times 10^{-7}$  Torr의 진공도를 유지시켰다.

실리사이드화 (silicidation)를 위해 금속 열처리 장치(rapid thermal annealing system)를 이용하여 800°C에서 20초 동안 질소 분위기에서 후속 열처리하여 안정한 CoSi<sub>2</sub> 실리사이드 박막을 형성하였다.

### 2.2. 프린터용 발열체의 제작

형성된 코발트실리사이드를 사용하여 오메가 형태의 잉크젯 프린터용 발열체를 제작하였다. 먼저 CoSi<sub>2</sub>/poly-Si/SiO<sub>2</sub>/Si 구조의 웨이퍼를 발열체 형상으로 패터닝 (patterning) 하기 위해 이온밀링 (ion milling) 방법으로 CoSi<sub>2</sub> 실리사이드 박막과 poly-Si 층을 건식 에칭하였다. 이온 밀링시 식각 조건은 빔전류 (beam current) 100 mA, 공정 압력  $2.5 \times 10^{-4}$  Torr에서 약 35분간 식각하였다. 패터닝 한 기판은 전극형성을 위해 PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition) 방법으로 약 5000 Å 두께의 SiO<sub>2</sub> 산화막층을 형성한후 반응성 이온에칭 (reactive ion etching, RIE)법을 사용하여 실리사이드 박막위에 접촉 창구를 개방하였다. 개방된 접촉 창구 부위를 세정한 후 열진공 증착법으로 Al 금속을 증착하여 전극을 형성하였다. 히터를 발열시킬 때 히터와 Al 금속사이의 접촉면에서의 산화를 막기 위해 다시 PECVD로 3000 Å의 산화막을 형성하였다. 마지막 단계로 전극을 노출시키기 위하여 Al 전극 끝 부분 위의 산화막을 RIE 법을 사용하여 에칭하였다.

제작된 실리사이드 박막 발열체의 결정구조는 X-ray diffractor 으로 측정하였다. 또한 Fig. 1에서

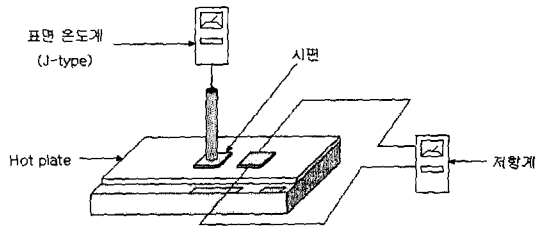


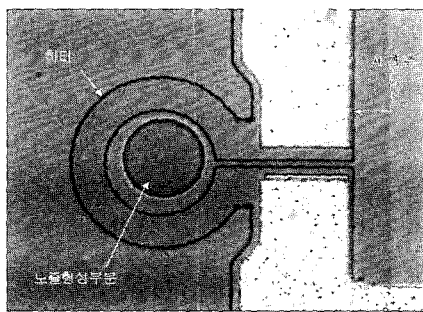
Fig. 1. Schematic drawing of the temperature resistance coefficient measurement system.

보여주는 실험장치를 통해 온도저항계수를 측정하였다. 시편은 flexible printed circuit로 연결되어 있고 300°C 까지의 온도범위에서 측정하였다. 온도저항계수의 측정은 시편이 놓여 있는 열판 (hot plate)에 전압을 인가하여 시편에 접촉하고 있는 표면 온도계의 온도변화에 따른 저항의 변화를 연속적으로 측정하는 장치를 이용하여 수행하였다. 그리고 완성된 발열체를 광학현미경과 field emission 주사전자현미경 (FE-SEM)으로 단면과 평면 형상을 각각 관찰하였다.

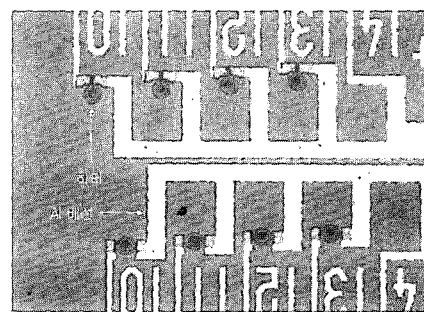
### 3. 결과 및 고찰

Fig. 2의 (a)와 (b)는 제작된 잉크젯 프린터헤드 발열체의 형상과 발열체에 연결된 배선의 형상을 현미경으로 관찰한 사진을 보여주고 있다. 그리고, Fig. 3은 passivation 하기전의 발열체 부분을 FE-SEM으로 관찰한 사진이다.

그림 2의 (a) 히터형상을 현미경으로 관찰한 결과 노즐형성 부분에서 발열체인 히터의 위치가 약



(a) Heating element image



(b) Interconnection lines

Fig. 2. The optical images of the heating elements and interconnection lines of the inkjet printing head.

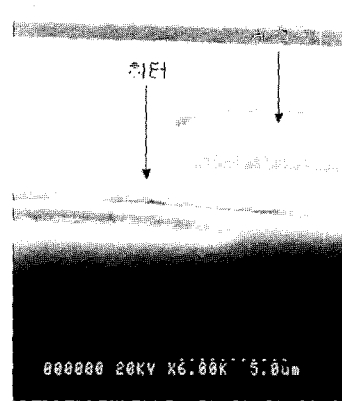


Fig. 3. FE-SEM micrograph of the heating element of inkjet printing head.

간 치우쳐 있는 상태이었으나 본 실험에서의 특성 측정에는 큰 문제가 없었다. 본 연구에서 제작한 잉크젯 프린터헤드 시편은 네 개의 bank로 이루어져 있고 오메가 형상을 가지는 발열체로 이루어져 있다.

FE-SEM 표면사진으로부터 코발트실리사이드를 이용하여 제작한 발열체의 직경과 두께는 각각 약 50 μm, 약 1 μm임을 확인할 수 있었으며 노즐 (nozzle) 형상부분의 직경은 약 20 μm임을 알 수 있었다.

Fig. 4의 발열체 구조의 FE-SEM 단면사진으로부터 PE-Oxide/CoSi<sub>2</sub>/poly-Si/SiO<sub>2</sub> 다층구조의 층별 두께가 각각 약 5300Å/1200Å/1800Å/4100Å임을 확인할 수 있었다.

잉크젯프린터의 발열체로서 사용되기 위해서는 발열체에서 열을 발생시켰을 경우에도 저항의 변

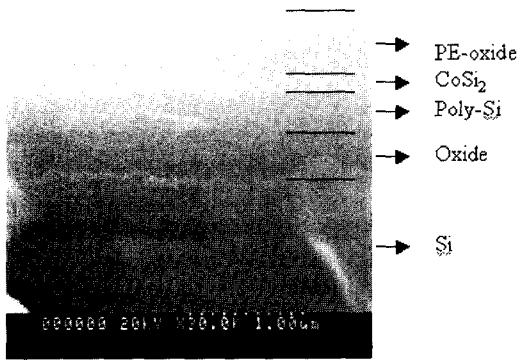


Fig. 4. Cross-sectional FE-SEM micrograph of the inkjet heating element.

화를 가능한한 억제하도록 발열체 재료와 구조를 설계하여야 한다.

일반적으로 금속재료의 경우 재료내부의 온도가 증가할 경우 전자들의 산란현상으로 인한 이동도 (mobility)의 감소로 저항이 증가하게 된다<sup>12)</sup>. 즉 온도저항계수가 plus (+) 값을 나타낸다. Fig. 5에서는 온도에 대한 저항의 변화를 측정한 그림을 보여주고 있으며 온도저항계수 관계식을 이용하면<sup>11,12)</sup> 온도저항계수인  $\alpha$ 값은 약  $0.0014/^{\circ}\text{C}$  값을 얻을 수 있었다.  $\alpha$ 값을 얻기 위한 관계식은 다음과 같이 표현할 수 있다. 즉,

$$\alpha = \frac{(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1)}{R_1} (^{\circ}\text{C})$$

여기서  $R_1$ 은 온도  $T_1$  일때의 기준 저항이고  $R_2$ 는 온도  $T_2$  일때의 저항값을 각각 나타낸다. 얻어진 온도저항계수 값은 발열체가 실리콘이므로 온도저항계수의 부호가 양인 금속과 부호가 음인 실리콘의 중간형태의 특성으로 발열체로 사용하기에 충족할만한 온도변화에 따른 저항특성을 나타내었다.

발열체의 전기적인 특성을 알아보기 위해 인가 전압 10 V, 주파수 10 kHz 및 펄스간격 1  $\mu\text{s}$ 를 인가하고 4단자 전압-전류 측정장치를 사용하여 발열체에 흐르는 전류를 측정하여 이로부터 저항값의 변화를 알아 보았다. 또한 측정된 저항변화와 온도저항계수를 사용하여 발열체의 온도를 예측

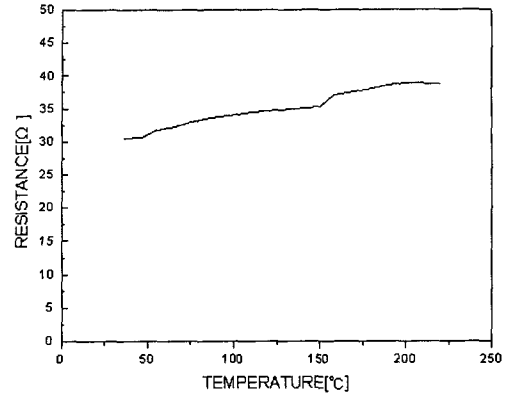


Fig. 5. Resistances of the heating element as a function of the temperature.

하였다.

Fig. 6의 (a), (b), (c), (d)는 전압인가시 발열체의 전기적인 특성을 나타낸 그래프이다. 전압인가 시간동안 저항은 약  $38\ \Omega$ 에서  $69\ \Omega$ 까지 상승하였으며 순간전력은 최대 2 W를 보였으며 사용된 에너지는 약 1.06  $\mu\text{J}$ 을 소비하였다. 또한 그림 (c)의 펄스시간에 따른 저항변화 측정 그래프에서 0.1  $\mu\text{s}$  이하와 0.9  $\mu\text{s}$  이상에서 저항값이  $140\ \Omega$  이상으로 y축 범위를 크게 벗어난 결과는 전압 인가 초기 및 말기에 발생할 수 있는 불안정한 펄스전압에 기인한 노이즈 (noise)로 판단된다. 그리고 발열체의 초기 표면온도가  $35^{\circ}\text{C}$ 이었으며 온도저항계수를 이용하여 발열체에 전압인가시 예상되는 온도를 계산해 본 결과  $69\ \Omega$ 의 최대저항에서 약  $620^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하였다.

Fig. 7은 코발트실리사이드로 제작된 잉크젯헤드의 발열체에 주파수 10 kHz와 펄스간격 1  $\mu\text{s}$  조건에서 인가전압에 따른 발열체의 저항값을 측정한 그래프이다. 잉크젯프린터 헤드의 발열체로 사용되기 위해서는 발열체의 저항값의 변화가 작아야 한다. 즉, 안정된 저항을 나타내는 전압범위에서 동작하여야만 수명이 오래갈 수 있다. 코발트실리사이드 발열체의 저항은 그림에서 보여주듯이 인가전압이 2 V에서 10 V로 증가할 경우 저항은 약  $48\ \Omega$ 에서  $35\ \Omega$ 으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 이후 18 V 인가전압까지는 거의 일정한 저항값을 보여 주었다. 그러나 약 18.5 V의 인가전압에서 저항이 급격히 증가하여 파괴전압을 나

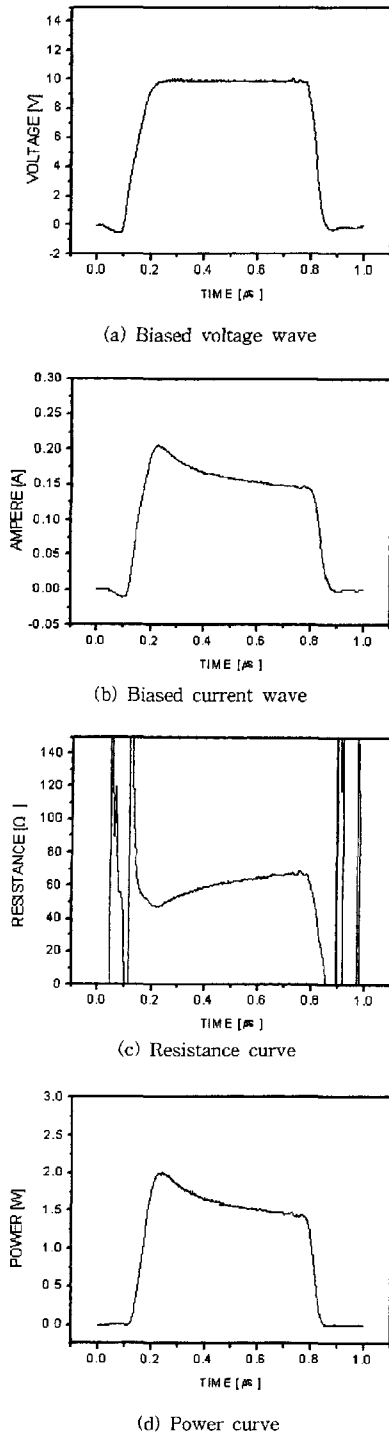


Fig. 6. Electrical properties of the heating element : (a) Biased voltage wave (b) Biased current wave (c) Resistance curve and (d) Power curve.

타내었다. 본 실험결과 2 V에서 10 V까지 인가전압에서 저항의 감소는 전압인가시 발열체의 온도 증가로 인한 내부저항의 증가와 반대되는 결과를 나타내었다. 이러한 현상에 대해 발열체에 처음으로 전압 인가시에는 두가지 현상이 동시에 발열체에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 즉 발열체의 초기 온도상승으로 인한 재료내부의 저항증가와 동시에 발열체와 AI 전극간의 어닐링 (annealing) 효과로 인해 측정시 접촉저항이 감소될 수 있다. 따라서 인가전압에 따른 저항의 변화를 최대한 줄이기 위해서는 제작된 발열체에 처음 동작전압을 인가하기 전에 발열체와 AI 전극간의 접촉저항을 줄이기 위해 예비 열처리가 필요할 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위해 전압인가에 따른 발열체의 저항변화를 측정하기 전에 발열체에 약 250°C에서 예비 열처리를 실시한 경우 동일한 조건에서 전압인가에 따른 저항의 감소현상을 발견할 수 없었다.

Fig. 8에서는 저항이 안정하게 유지되는 전압구간에서 주파수 10 kHz, 주파수 간격 1 μs를 적용하여 입력펄스 cycle의 증가에 따른 발열체의 저항변화를 조사하였다. 인가전압은 각각 11 V, 15 V 및 17 V에서 동작시켰으며, 펄스 cycle은 10<sup>5</sup>에서 10<sup>8</sup>의 범위로 변화시켰다. 일반적으로 잉크젯프린터 헤드의 발열체는 잉크를 오랜 시간 동안 토출하기 때문에 구동시 열적, 전기적인 스트레스로 인해 저항이 변화될 수 있다. 따라서 발열체의 내구성 기준으로 인정되는 10<sup>8</sup> cycle 까지 전압을 반복인가하여 저항 변화를 관찰하였다. 측정결과 15 V의 반복 전압인가시에는 저항변화를 발견할 수

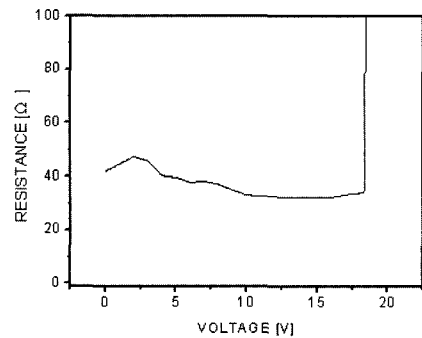


Fig. 7. Resistances of the heating element as a function of the applied voltages.

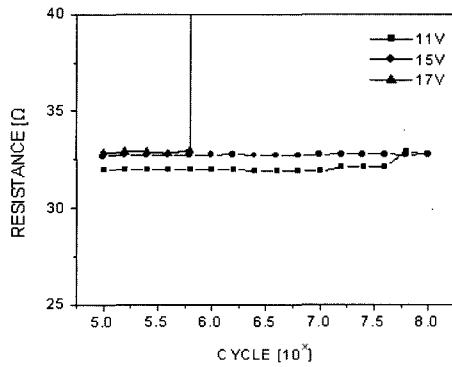


Fig. 8. Resistances of the heating element as a function of the applied pulse cycles at the various input voltages.

없었으나 17 V로 구동하였을 때에는  $10^6$  cycle에서 저항이 급격히 증가하는 것을 알 수 있었다. 17 V의 높은 구동전압에서 반복 cycle 횟수가 작아지는 것은 높은 전압의 경우 발열체에 열적인 스트레스가 더욱 크게 작용하기 때문으로 사료된다. 또한 11 V 인가전압의 경우  $10^{7.5}$  cycle 이상에서 약간의 저항증가를 보여주었으며 이러한 저항증가는 측정오차에 기인한 것으로 사료된다. 결국 본 실험에서는 코발트실리사이드로 제작된 발열체의 경우 인가전압은 17 V 이하에서 동작하여야 함을 알 수 있었으며 17 V 이상의 과도한 전압이 인가될 경우에는 발열체의 수명이 짧아질 수 있음을 제시하고 있다.

## 5. 결 론

Poly-Si/SiO<sub>2</sub>/Si의 기판 위에 Co금속을 e-beam evaporation 방식으로 증착하고 급속열처리 방식(RTA)을 통해 안정한 CoSi<sub>2</sub> 코발트실리사이드를 형성하였다. 형성된 코발트 실리사이드를 소형박막 잉크젯프린터 헤드의 발열체로 제작하여 형상 및 전기적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 급속 Co 박막을 급속 열처리장치를 이용하여 800°C에서 20초 동안 질소 분위기에서 후속 열처리하여 발열체 재료로서 안정한 CoSi<sub>2</sub> 실리사이드 박막을 형성하였다.

2) 발열체의 온도저항계수  $\alpha$ 값은 약 0.0014/°C 값을 얻을 수 있었다.

3) 반복된 전압인가에 따른 발열체의 피로특성을 조사한 결과 11 V와 15 V 전압인가시  $10^8$  cycle까지 저항변화를 발견할 수 없었으나, 17 V의 구동전압에서는  $10^6$  cycle에서 저항이 급격히 증가하였다.

4) 본 연구에서 코발트실리사이드를 이용한 잉크젯프린터헤드의 발열체 형성은 실리사이드 박막의 우수한 안정성과 내구성으로 인해 잉크젯프린터헤드의 발열체로 적용할 수 있음을 확인하였다.

## 감사의 글

이 연구는 2003학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

## 참고문헌

- Gregory T. A. Kovacs, *Micromachined Transducers Sourcebook*, McGraw-Hill, pp. 855 (1997).
- S. P. Murarka, *Silicide for VLSI Applications*, Academic Press, Orlando, (1983).
- A. Asai, S. Hirasawa, I. Endo, Bubble generation mechanism in the bubble jet recording process, *J. Imaging Technology*, 14, pp. 120-124 (1989).
- A. Asai, Application of the nucleation theory to the design of bubble jet printers, *Jpn. J. Appl. Phys.* 28, pp. 909-915 (1989).
- M. Usui, Development of the New MACH, *Proc. Of the 12th International Congress on Advances in Non-Impact Printing*, pp. 50-53 (1996).
- S. Kamisuki, M. Fujii, T. Takekoshi, C. Tezuka and M. Atobe, "High Resolution, Electrostatically-Driven Commercial Inkjet Head", *Proc. of IEEE, The 13th Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems*, pp. 793-798 (2000).
- F. Tseng, C. J kim, and C. Ho, "A Novel Micro-injector with Virtual Chamber Neck", *Proc. of IEEE, The 11th Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical System*, pp. 57-62 (1998).
- K. E. Petersen, "Fabrication of an integrated planar silicon ink-jet structure", *IEEE Trans. Electron Devices*, Ed-26, pp. 1918-1920 (1979).
- J. P. Baker, D. A. Johnson, V. Joshi and S. J. Nigro, "Design and development of a color thermal inkjet print cartridge", *Hewlett-Packard J.* 39(4), pp. 6 (1988).
- R. Beeson, "Desktop Inkjet-Redefining the Competi-

- tive Landscape”, Proc. of the 9<sup>th</sup> Annual Ink Jet Printing Conference, Scottsdale, pp. 165 (2000).
11. 장호정, 노영규, J. Microelectronics & Packaging Soc., 9(2), pp. 49-54 (2002).
  12. S. O. Kasap, Principles of Electronic Materials and Devices, Mc Graw Hill, 2nd Ed, pp. 118-121 (2002).