

# 열전박막을 이용한 마이크로 냉각소자 제작

한승우<sup>†</sup>·최현주\*·김병일\*\*·김병민\*\*·김동호\*\*\*·김옥중\*\*\*

## Fabrication of a Micro Cooler using Thermoelectric Thin Film

S. W. Han, H. J. Choi, B. I. Kim, B. M. Kim, D. H. Kim, O. J. Kim

**Key Words:** Micro thermoelectric cooler(마이크로열전냉각기), Thin Film(박막), Co-Sputtering(코스퍼터링)

### Abstract

In general a thermoelectric cooler (TEC) consists of a series of P type and N type thermoelectric materials sandwiched between two wafers. When a DC current passes through these materials, three different effects take place; Peltier effect, Joule heating effect and heat transfer by conduction due to temperature difference between hot and cold plates. In this study we have developed a micro TEC using  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  (N type) and  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  (P type) thin films. In order to improve that performance of a micro TEC, we made 10 um height TE legs using special PR only for lift-off. We measured COP (coefficient of performance) and temperature difference between hot and cold connectors with current.

### 1. 서 론

이종의 금속선으로 회로를 구성하여 회로의 양단에 온도차를 가하면 n형 반도체의 경우에는 고온부에서의 전자의 에너지 준위가 평균적으로 페르미 준위(Fermi level)보다 높은 상태가 되어 전자가 에너지를 낮추기 위해 저온 측으로 확산하므로 저온부는 -로 대전되고 고온부는 +로 대전된다. p형 반도체의 경우 반대로 저온부가 +, 고온부가 -로 대전되어 전계가 형성되는데 이 현상을 Seebeck 효과라고 하며, 이는 열전발전의 원리가 된다.

이종 금속 회로에 직류전류를 가해주면 전류의 크기에 비례하여 한쪽의 접합부에서는 흡열, 다

른 한쪽에서는 발열이 일어난다. 이를 Peltier 효과라고 부르며, 열전냉각의 원리가 된다.

이러한 열전 현상을 이용하면 열에너지와 전기 에너지를 직접적으로 상호 변환시킬 수 있는 Fig. 1과 같은 열전 소자(thermoelectric devices)를 제조할 수 있으며, 이는 에너지 변환부에 기존의 화학발전이나 냉, 난방기와 같은 기계적 구동요소가 없으므로 소음, 진동이 없는 발전 혹은 냉각, 가열이 가능하다. 최근에는 국부적인 영역의 세밀한 온도 제어가 요구되는 광통신 소자와 DNA 분석 장치 등과 같은 바이오 분야 및 첨단 정밀 산업 분야에서 열전 소자를 이용한 냉각 장치 개발이 활발히 진행되고 있다[1].

마이크로프로세서를 비롯한 고집적회로의 처리 속도가 비약적으로 향상되고 선풍이 감소함에 따라 첨단전자제품의 발열량이 커지고 이를 효율적으로 제거하는 기술이 요구되고 있다. 그러나 기존의 벌크제조기법으로 만들어지는 열전냉각소자는 고집적회로에 적용하기 어려우며, 열전냉각효

<sup>†</sup> 한국기계연구원 나노공정장비연구센터

E-mail : swhan@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7426 FAX : (042)868-7884

\* 한국기계연구원 나노공정장비연구센터

\*\* 나노랩센터 바이오멤스팀

\*\*\* 한국기계연구원 표면제어연구센터

\*\*\*\* 한국기계연구원 열유체에너지연구센터

율이 떨어지는 문제점을 가짐에 따라 열전냉각소자의 박막화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[2, 3].

본 연구에서는 상온에서 우수한 열전특성을 가진 것으로 알려진 Bi-Te 박막과 Bi-Sb-Te 박막을 co-sputtering에 의해 개발하고, 이들 열전박막에 대한 전기적 특성, 열전 특성 등을 평가하였다. 그리고 이들 열전박막을 각각 N type과 P type으로 하는 마이크로 냉각 소자를 제조하기 위한 MEMS 공정을 개발하였다.

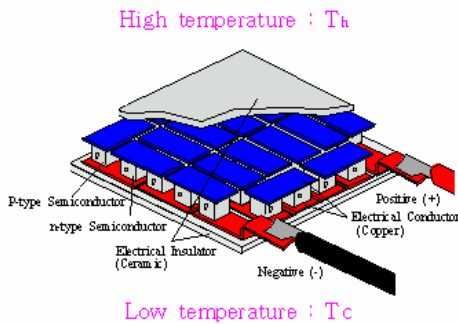


Fig. 1 Scheme of a thermoelectric device

## 2. 열전박막 공정 및 특성평가

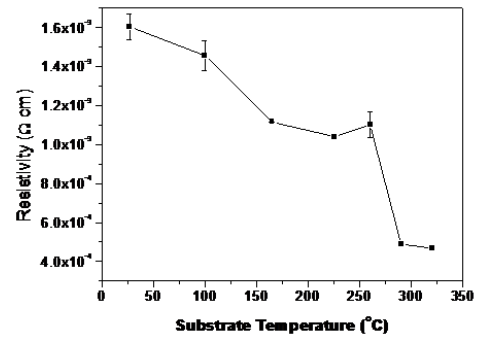
열전박막의 제조는 인가되는 RF Power를 조절함으로써 두 물질의 조성비를 제어할 수 있는 co-sputtering공정을 사용하여 수행하였다. N type인 Bi-Te 박막은 순수 Bi와 Te 타겟을 사용하였으며, P type인 Bi-Sb-Te 박막은 Bi-Sb alloy와 Te 타겟을 사용하였다. 기판으로는 산화막을 300 nm 성장시킨 Si[100] Wafer를 사용하였으며, 공정기체로는 Ar가스를 사용하고 증착 공정압력은 약 0.6 mtorr로 하였다. 기판 온도를 상온에서 약 300°C까지 변화시키면서 증착된 박막의 특성변화를 관찰한다.

박막의 캐리어 농도 및 이동도, 전기저항은 van der Pauw법을 이용한 홀 계수 측정법을 통해 얻었다. 공정온도에 따른 열전박막의 전기저항은 Fig. 2에 보여준다. Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 박막의 경우 기판온도가 증가할수록 전기저항은 감소하며, 290 °C 이상에서는 매우 낮은 전기저항을 보였다. Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub> 박막의 경우 100 °C에서 가장 큰 전기저항을 나타내고 그 이후 온도가 증가할수록 전기저항이 감소되는 경향을 보였다.

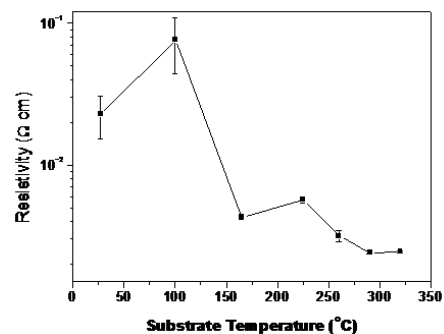
열전 효과에 대한 성능지수는  $Z=S^2\sigma/\kappa$  (여기서, S는 Seebeck계수,  $\sigma$ 와  $\kappa$ 는 전기전도도와 열전도도를 나타낸다)로 표현되는데, 전기저항이 작을수록 열전 에너지변환 효율 측면에서 유리하다.

박막의 열전 특성은 온도구배방법(temperature gradient method)을 이용한 Seebeck계수를 측정하여 평가하였다. 상온에서 시편의 양단에 1 °C 이하의 작은 온도 차이를 주고 그에 따라 발생하는 전압차를 측정하여 그 기울기( $\Delta V/\Delta T$ )로부터 Seebeck계수(S)를 결정하였다. 증착온도에 따른 Seebeck계수의 변화를 Fig. 3에 나타냈다. Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 박막의 경우 모든 온도에서 Seebeck계수는 음의 값을 보였으며, 이는 제조된 박막이 N type의 열전재료라는 사실을 말해준다. 반면 Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub> 박막의 경우 모든 온도에서 Seebeck계수는 양의 값을 가지며, P type 열전재료임을 나타내었다.

Seebeck계수의 절대값은 Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 박막의 경우 약 225 °C에서 최대값 55  $\mu$ V/K를 가지며, Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub> 박막의 경우 100 °C에서 최대값 130  $\mu$ V/K를 가진다.

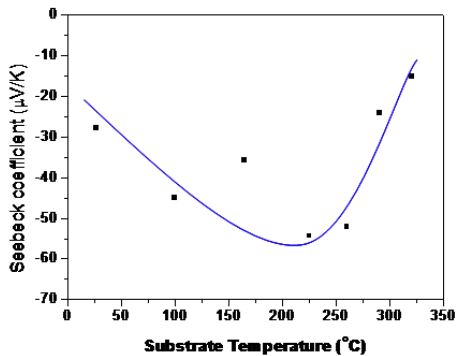


(a) Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> thin film

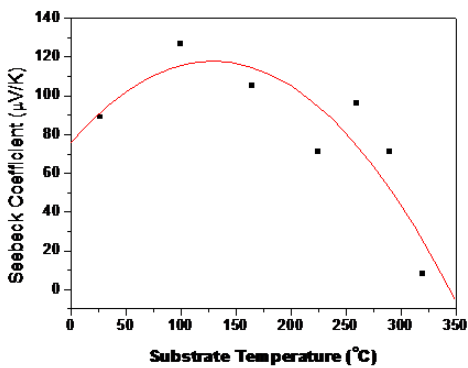


(b) Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub> thin film

Fig. 2 Electrical properties



(a) Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> thin film



(b) Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub> thin film

Fig. 3 Seebeck coefficients

### 3. 마이크로 냉각소자 공정 및 평가

열전박막을 이용한 수직 형 마이크로 열전 냉각소자를 MEMS 공정을 이용하여 제작하였다. 마이크로 열전냉각 소자는 크게 방열부(Hot connector), P type 열전요소(leg), N type 열전요소, 냉각부(Cold connector)의 4가지로 구분된다. Fig. 4는 공정 모식도로써 산화막이 증착되어 있는 웨이퍼 위에 Cr/Au/Ti/Pt의 방열부를 만들고, 앞서 언급한 N Type(Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>) 및 P type(Bi<sub>0.5</sub>Sb<sub>1.5</sub>Te<sub>3</sub>)의 열전박막을 사용하여 열전요소를 만든 후 이 두 열전요소를 Au를 사용한 냉각부로 이어주는 제작 공정을 나타내고 있다. 본 연구에서 마이크로 열전 냉각 모듈의 선행 해석 결과[4]에 의하면 열전요소의 높이가 높을수록 열전냉각 소자의 성능이 향상되는 것으로 나타났다. 따라서 본 공정에서는 열전요소의 높이를 기존 논문[3] 결과인 4µm보다 더 높은 10µm로 쌓아 열전 성능을 높일 수 있도록 공정을 설계하였으며, 이를 위하여 lift-off 전용 PR(Photo resistor)을 사용하여 공정을 수행하였다. 두 개의 열전요소 제작을 위한

co-sputtering 공정 시 고온의 영향으로 인한 열전 요소 패턴 PR이 파손되는 것을 방지하기 위하여 공정 온도를 100~130°C로 설정하고 박막을 증착한 후 열처리 공정을 통하여 열전 특성을 높이는 공정을 개발하였다. 각 소자별로 열전요소의 한 변의 길이는 25, 35, 50µm 로 3 종류이며, 전체 면적은 5 × 5 mm<sup>2</sup>, 2 × 2 mm<sup>2</sup>, 1 × 1 mm<sup>2</sup> 의 3 가지 크기로 제작하였다. Fig. 5에는 크기가 1 × 1 mm<sup>2</sup>, 5 × 5 mm<sup>2</sup> 인 마이크로 열전냉각 소자를 보여준다.

제작된 마이크로 열전냉각 소자의 통전시험을 Fig. 6과 같이 수행하였다. 열전냉각 소자에 전압을 -5V ~ 5V 인가하였을 때 전류의 변화를 측정하여 소자 전체의 전기저항을 계산하였다. 5 × 5 mm<sup>2</sup> 크기의 열전냉각 소자의 전기저항은 1,846Ω으로 1 × 1 mm<sup>2</sup> 크기의 열전냉각 소자의 전기저항인 89Ω 보다 약 20배 정도로 크게 측정되었다.

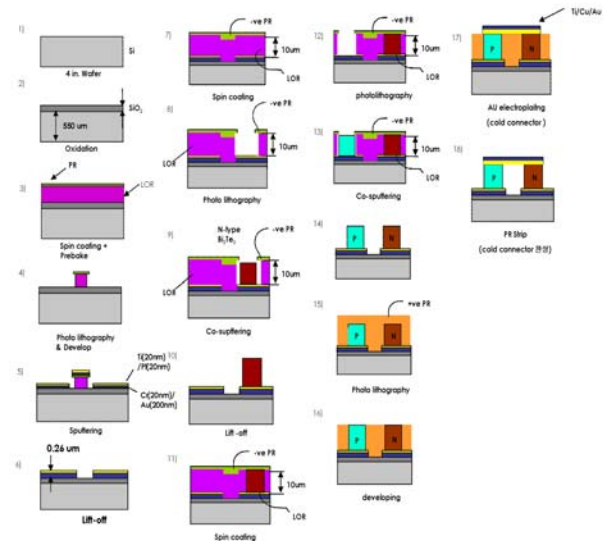
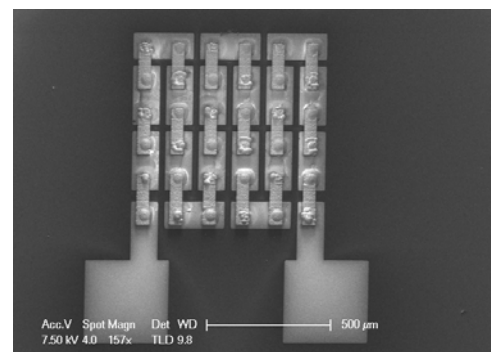
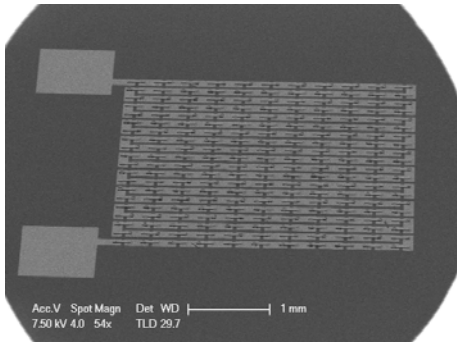


Fig. 4 Fabrication processes of a micro cooler



(a) 1 × 1 mm<sup>2</sup>



(a) 5 x 5 mm<sup>2</sup>

Fig. 5 Micro thermoelectric coolers

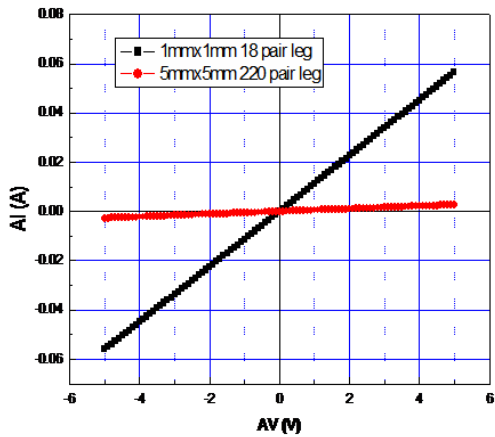


Fig. 6 Supply current test

#### 4. 결론

N type 의  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  열전박막과 P type의  $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$  열전박막을 co-Sputtering 공정을 이용하여 제조하였으며, 이들 열전박막의 전기적 특성과 열전특성을 측정하였다. 개발된 두 열전박막을 이용하여  $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ,  $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ,  $1 \times 1 \text{ mm}^2$  크기의 마이크로 열전냉각 소자의 MEMS 공정을 개발하고 제작하였으며, 소자의 전기적 특성을 평가하였다. 개발된 마이크로 열전냉각 소자는 전자부품의 Hot spot cooling 등에 적용 가능하며, 냉각뿐만 아니라 발전이나 가스센서로도 활용이 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 국무총리산하 산업기술연구회가 지

원하는 협동연구사업인 “차세대 냉각시스템 기술 개발”의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) S. W. Han, MD. A. Hasan, et al., International Journal of Modern Physics B, Vols. 321-323 (2006) pp 1353-1356
- (2) D. H. Kim, G. H. Lee, 2004, “New Technology of Thermoelectric Cooling Device,” Machinery and Materials, Vol. 39, p95
- (3) Luciana W.da Silva, Massuod Kaviany, International Journal of Heat and mass Transport, Vol.47, pp. 2417-2435, 2004
- (4) Kong Hoon Lee and Ook Joong Kim, ASME Summer Heat Transfer Conference, 2005