

전기도금 공정으로 제조한 Bi-Te 박막의 열전특성 및 미세열전소자 형성을 위한 포토레지스트 공정

이광용 · 오태성*

홍익대학교 신소재공학과

Thermoelectric Characteristics of the Electroplated Bi-Te Films and Photoresist Process for Fabrication of Micro Thermoelectric Devices

Kwang-Yong Lee and Tae-Sung Oh*

Department of Materials Science and Engineering, Hongik University

초 록 : 미세열전박막소자에 적용을 하기 위해 전기도금으로 형성한 Bi-Te 박막의 열전특성과 포토레지스트 공정에 대하여 연구하였다. Bi₂O₃와 TeO₂를 1M HNO₃에 용해시킨 20 mM 농도의 Bi-Te 도금 용액을 사용하여 박막을 도금 후, 용액내 Te/(Bi+Te)비에 따른 Bi-Te 박막의 열전특성을 분석하였다. Te/(Bi+Te)비가 0.5에서 0.65로 증가함에 따라 Bi-Te 도금막의 전자농도의 증가로 Seebeck 계수가 -59 μ V/K에서 -48 μ V/K로 변하고 전기비저항이 1 m Ω -cm에서 0.8 m Ω -cm로 감소되었다. 조성이 Bi₂Te₃에 근접한 도금막에서 가장 높은 3.5 \times 10⁻⁴ W/K²-m의 출력인자를 얻을 수 있었다. 다층 overhang 공정을 이용하여, 직경 100 μ m이며 깊이 30 μ m 형상의 미세열전소자 형성을 위한 포토레지스트 패턴의 형성이 가능하였다.

Abstract : Thermoelectric properties of the electrodeposited Bi-Te films and photoresist process have been investigated to apply for thermoelectric thin film devices. After plating in Bi-Te solutions of 20 mM concentration, which were prepared by dissolving Bi₂O₃ and TeO₂ into 1M HNO₃, thermoelectric properties of the films were characterized with variation of the Te/(Bi+Te) ratio in a plating solution. With increasing the Te/(Bi+Te) ratio in the plating solution from 0.5 to 0.65, Seebeck coefficient of Bi-Te films changed from -59 μ V/K to -48 μ V/K and electrical resistivity was lowered from 1 m Ω -cm to 0.8 m Ω -cm due to the increase in the electron concentration. Maximum power factor of 3.5 \times 10⁻⁴ W/K²-m was obtained for the Bi-Te film with the Bi₂Te₃ stoichiometric composition. Using multilayer overhang process, the photoresist pattern to form thermoelectric legs of 30 m depth and 100m diameter was successfully fabricated for micro thermoelectric device applications.

Keywords: Thermoelectrics, Thin film, Electroplating, Bi₂Te₃, Power factor

1. 서 론

재료 양단의 온도차에 의하여 전압이 발생하는 Seebeck 효과와 재료 양단간에 전류를 통하면 한 쪽이 발열하고 다른 쪽이 흡열하는 Peltier 효과를 나타내는 열전재료는 에너지 직접변환이 가능한

재료로서 전자냉각이나 열전발전 분야에 응용하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다¹⁻⁸⁾.

열전재료의 에너지 변환효율은 Seebeck 계수 α , 전기전도도 σ 및 열전도도 κ 에 의해 결정되는 성능지수 $Z (= \alpha^2 \cdot \sigma / \kappa)$ 에 의존하며, 성능지수의 향상을 위해서는 Seebeck 계수 α 와 전기전도도 σ 의 증

*Corresponding author
E-mail: ohts@hongik.ac.kr

가와 더불어 열전도도 κ 의 감소가 요구된다. 열전 재료의 성능지수 Z 는 온도 T 의 함수로 $1/T$ 에 비례하기 때문에 열전재료의 성능지수 Z 에 절대온도 T 를 곱한 ZT 를 무차원 성능지수라고 한다. 현재까지 개발된 bulk 열전재료에서 ZT 의 최대값은 1 정도로, 에너지 변환효율이 다른 냉각방식이나 발전방식에 비해 현저히 낮다는 문제점이 있기 때문에 전자냉각이나 열전발전의 응용에 가장 큰 장애물로 작용하고 있다. 지난 수십년간 bulk 열전재료의 성능지수를 향상시키기 위한 연구가 다양하게 진행되어 왔으나, 기존 재료들보다 에너지변환효율이 크게 향상된 열전재료는 개발되지 않은 실정이다^{9,12)}.

Bulk 열전재료에서 봉착한 변환효율의 한계를 극복하며 또한 첨단전자장비들의 미세화, 정밀화에 부응하기 위해 최근 미세열전소자의 개발이 이루어지고 있다¹³⁻¹⁵⁾. 열전모듈에서 최대 발전출력은 열전소자의 형상(단면적/길이 비)에 의존하며, 출력밀도는 소자 길이에 반비례한다¹⁶⁾. 따라서 열전소자의 길이를 수십 마이크로 스케일로 감소시킬 경우 bulk 열전소자에 비해 출력밀도의 현저한 향상이 가능하게 된다. 또한 열전소자의 미세화에 의해 작은 온도차에서도 큰 출력전압의 발생이 가능하며, 반응시간이 짧은 장점이 있다¹⁵⁾. 미세열전소자 기술은 MEMS 등 미세장치의 동력원인 MPG(micro power generation)로 사용될 수 있으며¹⁵⁾, 전자냉각용으로는 광전부품이나 마이크로 센서의 정밀온도제어용 및 고효율 국부냉각용에 적용될 수 있다.

미세열전소자의 제조를 위해서는 소자 형성을 위한 전기도금 공정과 더불어 미세패턴 형성을 위한 사진식각기술이 요구된다. 본 연구에서는 미세열전소자의 성형기술을 개발하기 위한 연구로서, 전기도금법으로 Bi-Te 박막을 제조하여 Bi-Te 도금용액내 $\text{Te}/(\text{Bi}+\text{Te})$ 비에 따른 Bi-Te 도금막의 열전특성을 분석하였으며, 미세열전박막소자 형성을 위한 포토레지스트 패터닝 기술을 연구하였다.

2. 실험 방법

유리기판을 아세트, 알콜, 증류수 순으로 각각 1 시간 동안 세척한 후 스퍼터 챔버에 장입하고, 유리기관의 표면을 10분간 RF 플라즈마 처리 하였다. 유리기관에 $1 \mu\text{m}$ 두께의 Ti를 전기도금용 씨

앗층으로 스퍼터 증착하였다. Bi-Te의 전기도금 전에 Ti 씨앗층이 형성되어 있는 유리기관을 5% HF 용액으로 처리하여 Ti에 형성된 산화층을 제거하였다.

Bi-Te의 전기도금 용액을 제조하기 위해 각각 Bi_2O_3 분말과 TeO_2 분말을 20 mM의 몰비에 맞게 칭량한 후, 이들 분말들을 1M HNO_3 용액에 조금씩 첨가하면서 완전히 용해시켜 20 mM 농도의 Bi 및 Te 용액을 제조하였다. 이와 같이 제조한 20 mM 농도의 Bi 및 Te 전기도금 용액을 5:5, 4.5:5.5, 4:6, 3.5:6.5의 부피비 ($0.50 \leq \text{Te}/(\text{Bi}+\text{Te}) \leq 0.65$)로 섞은 후 400 rpm의 속도로 2시간 동안 교반시켜 Bi-Te 전기도금 용액을 제조하였다. Bi-Te 전기도금 혼합용액의 한계전류밀도와 전위를 EG&C model potentiostat 372를 사용하여 측정하였다. 이때 표준전극으로는 Ag/AgCl을 사용하였다.

이와 같이 제조한 Bi-Te 도금액을 250 ml의 도금조에 채우고, Ti 씨앗층을 형성한 유리기관을 장입 후 양극으로 백금전극을 사용하여 도금 셀을 구성하였다. Bi-Te 도금용액내 $\text{Te}/(\text{Bi}+\text{Te})$ 비를 0.5~0.65 범위에서 변화시켰으며, 도금시 농도확산층 두께의 감소를 위해 100 rpm의 속도로 도금액을 교반하며 $5 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ 의 일정 전류조건에서 $30 \mu\text{m}$ 두께의 Bi-Te 박막을 전기도금 하였다.

Bi-Te 전기도금 박막의 한쪽을 sub-heater로 가열하여 박막 양단간의 온도차를 20°C 로 유지하며 이에 의해 발생하는 전압을 측정하여 Seebeck 계수 $\alpha(= \Delta V/\Delta T)$ 를 구하였다. 이때 sub-heater의 전원으로 인한 noise를 제거하기 위해 sub-heater의 가열에 직류 전원을 사용하였다. Bi-Te 도금박막의 전하 농도, 이동도 및 전기비저항을 측정하기 위해 상온에서 0.32 Tesla의 자기장을 인가하며 Hall 측정하였다. 이때 Bi-Te 박막에 직류전류를 인가할 경우 Peltier 효과로 인해 발생하는 전압 강하를 방지하기 위해 교류전원을 사용하였다. Bi-Te 전기도금 박막의 Seebeck 계수와 비저항의 측정값을 $P = \alpha^2/\rho$ 에 대입하여 출력인자(power factor)를 구하였다.

Bi-Te 전기도금 박막의 미세구조를 주사전자현미경 (SEM)으로 관찰하고 조성을 Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)로 분석하였으며, 결정상을 X-선 회절분석 (XRD)으로 분석하였다.

미세열전모듈에서는 열전소자의 길이로 $30 \mu\text{m}$

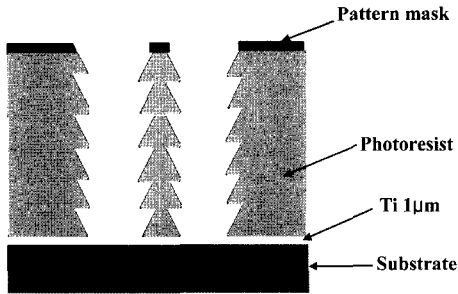


Fig. 1. Schematic illustration for multilayer overhang photoresist pattern.

정도가 요구되고 있으며¹⁵⁾, 이와 같은 길이의 소자를 형성하기 위해서는 두꺼운 포토레지스트 공정이 필수적이다. 본 연구에서는 30 μm 이상의 높은 포토레지스트 패턴을 형성하기 위한 다중적층 패터닝 공정(multilayer overhang process)을 연구하였다. Fig. 1에 나타난 것과 같이 다중적층 패터닝 공정으로 제조된 포토레지스트 패턴은 가로와 세로의 비가 높은 장점을 가지고 있어 30 μm 이상의 길이의 패턴을 형성하더라도 패턴이 벌어지는 현상을 배제할 수 있다.

다중적층 패터닝 공정에 AZ P4620 포토레지스트를 사용하였다. 포토레지스트를 기판에 스핀코팅한 후 대류식 건조로에 장입하고 95°C로 1분간 유지하여 포토레지스트의 표면만을 건조시켰다. 이렇게 건조된 포토레지스트 층의 전체 면적에 접촉식 노광기(contact aligner)를 사용하여 25초간 노광한 후 다시 포토레지스트 스핀코팅, 건조 및 전면 노광 공정을 6회 반복 수행하여 두께가 30 μm 이상인 포토레지스트 층을 형성하였다. Fig. 2에 overhang 공정 회수에 따른 포토레지스트 층의 두께 변화를 나타내었다. 다층 overhang 공정으로 원하는 두께의 포토레지스트 층을 형성한 시점에 다시 한번 포토레지스트를 스핀코팅하고 건조한 후, 양각 포토레지스트 마스크를 노광기에 장착하고 150초간 노광한 후 현상하여 원하는 포토레지스트 패턴을 형성하였다.

3. 결과 및 고찰

각기 20 mM 농도의 Bi와 Te 도금용액에서 분극곡선은 Fig. 3과 같이 서로 유사한 4×10^{-4} A/cm²과

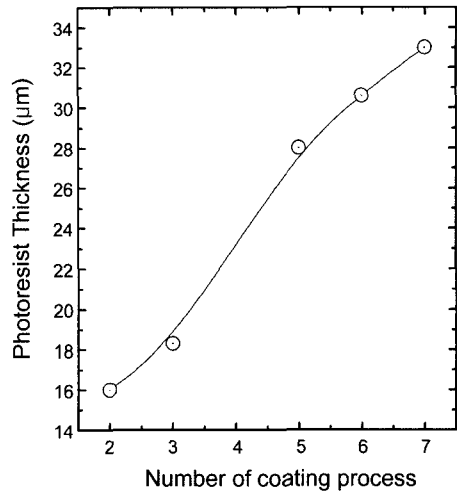


Fig. 2. Photoresist thickness as a function of the number of overhang process..

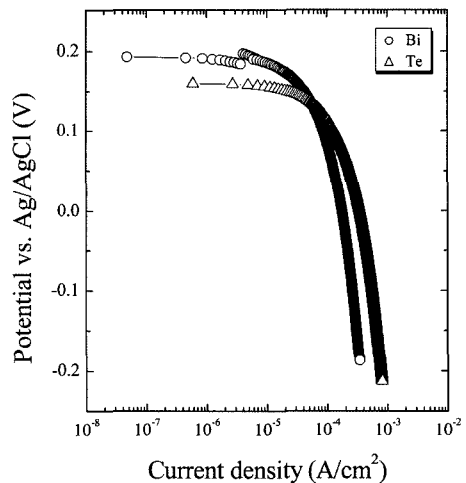


Fig. 3. Polarization curves for Bi and Te electroplating solutions of 20 mM concentration.

6×10^{-4} A/cm²의 한계전류밀도를 나타내었다. 이와 같은 한계전류밀도를 나타내는 Bi 도금용액과 Te 도금용액의 부피비를 변화시키며 혼합한 Bi-Te 도금용액에서 측정된 Te/(Bi+Te)비에 따른 분극곡선을 Fig. 4에 나타내었다. Bi-Te 도금용액 내에서 Te/(Bi+Te) 비의 증가에 따른 분극곡선의 변화는 나타나지 않았으며, 모든 조성 ($0.50 \leq \text{Te}/(\text{Bi}+\text{Te}) \leq 0.65$)에서 2×10^{-3} A/cm²의 한계전류밀도를 나타내었다. 이와 같이 도금용액내 Te 함량에 따른 한계전류밀도의 변화가 관찰되지 않은 것은 Fig. 3과

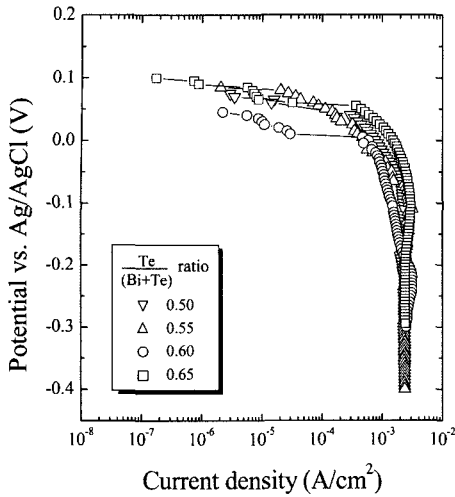


Fig. 4. Polarization curves of Bi-Te electroplating solutions of 20 mM concentration and different Te/(Bi+Te) ratios.

같이 Be와 Te 도금용액의 한계전류밀도의 차이가 크지 않으며 또한 본 실험에서 설정한 도금용액내 Te/(Bi+Te)비의 변화 범위가 크지 않기 때문인 것으로 판단된다.

20 mM 농도의 Bi-Te (0.50 ≤ Te/(Bi+Te) ≤ 0.65) 도금용액을 사용하여 5 × 10⁻⁴ A/cm²의 전류밀도로 형성한 도금막의 조성을 EDS로 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 5 × 10⁻⁴ A/cm²의 전류밀도로 Bi-Te 박막을 도금시 Te/(Bi+Te) = 0.5 조성으로 혼합한 도금용액에서 형성한 도금막의 조성이 Bi₂Te₃ 화학양론적 조성에 일치하는 결과를 나타내었다. 반면 20 mM 농도의 Bi-Te 도금용액을 사용하여 도금한 Bi-Te 박막의 조성은 도금용액의 조성과 근접한 것으로 보고되었다¹⁷⁾. 이로부터 Bi-Te의 전기 도금시 전류밀도를 증가시키에 따라 Te의 도금속

Table 1. Bi:Te mole fraction of the electroplated Bi-Te films and the electroplating solutions.

Bi:Te mole fraction (plating solution)		Bi:Te mole fraction (electroplated film)	
Bi	Te	Bi	Te
0.50	0.50	0.39	0.61
0.45	0.55	0.36	0.64
0.40	0.60	0.35	0.65
0.35	0.65	0.30	0.70

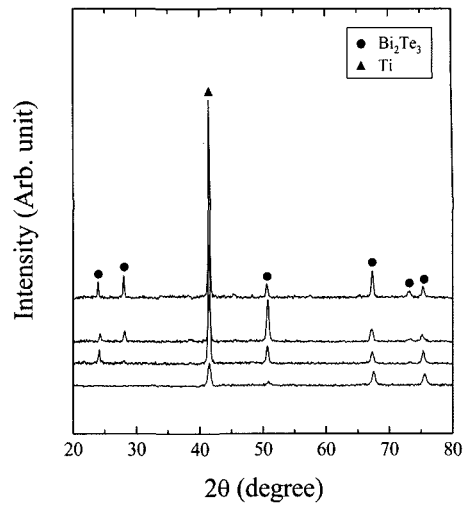


Fig. 5. XRD patterns of the Bi-Te films electroplated in the 20 mM solutions of different Te/(Bi+Te) ratios.

도가 Bi의 도금속도보다 더 빠르게 증가한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5에 20 mM 농도의 Bi-Te 도금용액 (0.50 ≤ Te/(Bi+Te) ≤ 0.65)에서 5 × 10⁻⁴ A/cm²의 전류밀도로 30 μm 두께로 도금한 Bi-Te 도금막의 XRD 결과를 나타내었다. 도금용액내 Te/(Bi+Te)비가 0.5~0.65 범위에서 도금한 Bi-Te 박막들은 조성에 무관하게 모두 Bi₂Te₃ 결정구조의 단일상으로 이루어져 있었다.

20 mM 농도의 Bi-Te 도금용액을 사용하여 5 × 10⁻⁴ A/cm²의 전류밀도로 형성한 30 μm 두께의 Bi-Te 도금막에서 도금용액내 Te/(Bi+Te)비에 따른 전자농도와 이동도의 변화거동을 각기 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다. 도금용액내 Te/(Bi+Te)비가 증가할수록 Bi-Te 도금막의 전자농도가 증가하며, 전자 이동도가 감소하는 경향을 나타내었다. Te/(Bi+Te)비 증가에 따른 Bi-Te 도금막의 전자농도의 증가는 Bi₂Te₃ 단결정에서 화학양론적 조성 부근의 Te-rich 영역에서는 Te 함량이 증가함에 따라 전자농도의 증가로 n형 Bi₂Te₃의 Seebeck 계수가 감소한다는 보고와 잘 일치한다^{18,19)}. Te/(Bi+Te)비 증가에 따른 Bi-Te 도금막에서 전자 이동도의 감소는 결정립의 크기 감소에 기인하는 것으로 판단된다¹⁷⁾.

도금용액내 Te/(Bi+Te)비에 따른 Bi-Te 도금막의

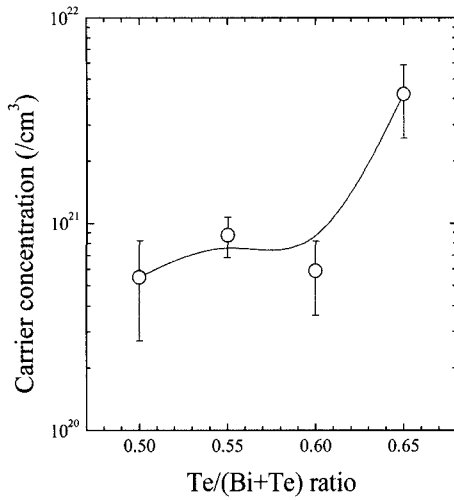


Fig. 6. Carrier concentration of the Bi-Te films as a function of the Te/(Bi+Te) ratio in the electroplating solutions.

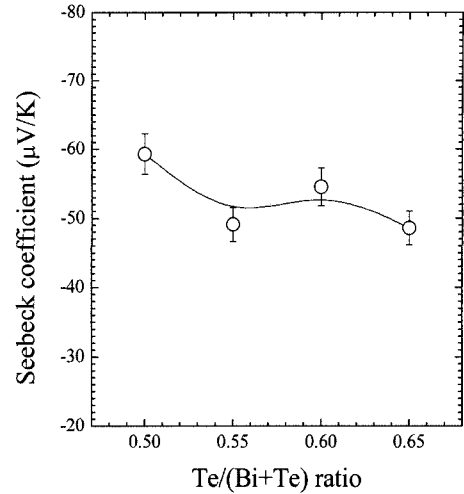


Fig. 8. Seebeck coefficient of the Bi-Te films as a function of the Te/(Bi+Te) ratio in the electroplating solutions.

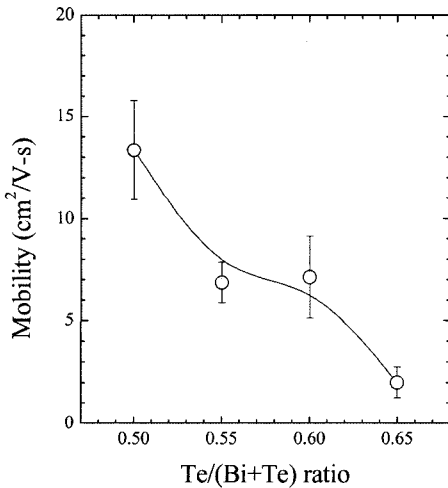


Fig. 7. Carrier mobility of the Bi-Te films as a function of the Te/(Bi+Te) ratio in the electroplating solutions.

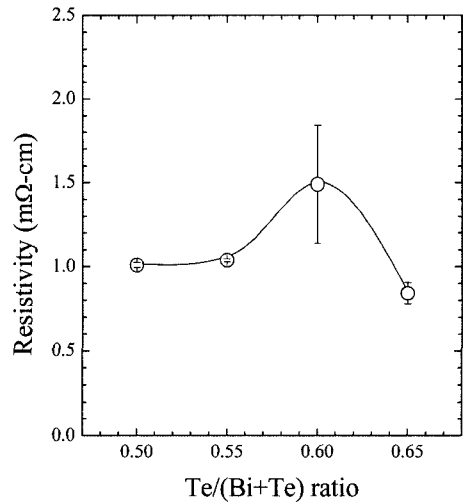


Fig. 9. Electrical resistivity of the Bi-Te films as a function of the Te/(Bi+Te) ratio in the electroplating solutions.

Seebeck 계수와 전기비저항을 각기 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 도금용액내 Te/(Bi+Te) 증가에 따른 Bi-Te 도금막의 Te 함량이 증가함에 따라 Seebeck 계수는 $-59 \mu\text{V/K}$ 에서 $-48 \mu\text{V}$ 로 변화하였으며, 전기비저항은 $1 \text{ m}\Omega\text{-cm}$ 에서 $0.8 \text{ m}\Omega\text{-cm}$ 로 감소되었다. 열전재료에서 Seebeck 계수는 식 1과 같이 나타낼 수 있다⁸⁾.

$$\alpha = \frac{k_B}{e}(\gamma + C - \ln n_c) \quad (\text{Eq. 1})$$

식 1에서 k_B 는 Boltzmann 상수, e 는 전자의 전하량, γ 는 산란인자로 격자산란의 경우에는 0의 값을 가지며, 불순물 산란의 경우에는 2의 값을 갖는다. 또한 식 1에서 n_c 는 전자농도이다. 이와 같은 관계식으로부터 Te/(Bi+Te)비에 따른 Bi-Te 도금막의 Seebeck 계수와 전기비저항의 변화는 주로 Te/(Bi+Te)비에 따른 전자농도 (Fig. 5)에 기인한다

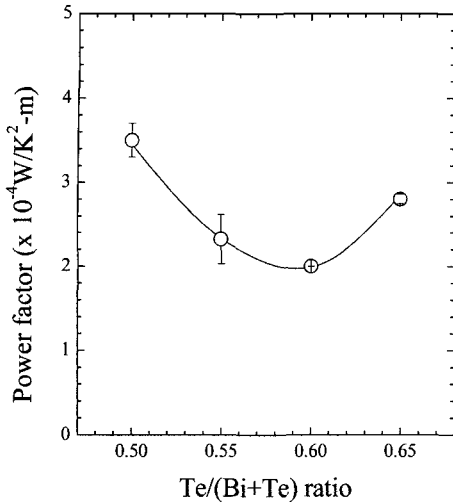


Fig. 10. Power factor of the Bi-Te films as a function of the Te/(Bi+Te) ratio in the electroplating solutions.

는 것을 알 수 있다.

Te/(Bi+Te)비에 따른 Bi-Te 도금막의 Seebeck 계수와 전기비저항을 이용하여 구한 출력인자(power factor)를 Fig. 10에 나타내었다. Bi-Te 도금용액내 Te/(Bi+Te)비가 0.5일 때, 즉 Table 1에서와 같이 Bi-Te 도금막의 조성이 Bi₂Te₃ 화학양론적 조성에 가장 근접한 도금막에서 3.5×10^{-4} W/K²-m의 최대 출력인자를 얻을 수 있었다.

Fig. 11에 다층적층 패터닝 공정으로 형성한 30 μm 두께의 미세열전소자 형성용 패턴을 나타내었다. 이중적층 패터닝 공정을 사용한 경우에는 마스크 패턴의 직경이 100 μm이라도 30 μm 두께의 포토레지스트 패턴에서는 직경이 114 μm로 벌어졌으나, Fig. 11에서와 같이 6번의 다층적층 패터닝 공정으로 형성한 30 μm 두께의 포토레지스트 패턴에서는 직경이 원하는 100 μm에 근접하며, 측면부위도 매우 깨끗하게 형성된 것을 확인할 수 있었다.

전기도금법으로 100 μm 직경의 Bi-Te 열전소자를 형성하기 위해 1 μm 두께의 Ti가 스퍼터 증착되어 있는 기판 위에 다층적층 패터닝 공정을 사용하여 포토레지스트 패턴을 형성하였다. 이와 같은 포토레지스트 패턴이 형성되어 있는 기판을 20 mM 농도의 Bi-Te 도금용액내에 장입한 후, Ti 씨앗층과 도금액의 반응 활성화를 위해 1시간 동안 유지하여 계면에서 미세하게 발생하는 기포들을

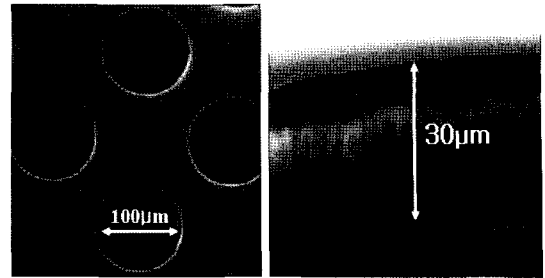


Fig. 11. Scanning electron micrograph of the photoresist pattern fabricated by multilayer overhang process.

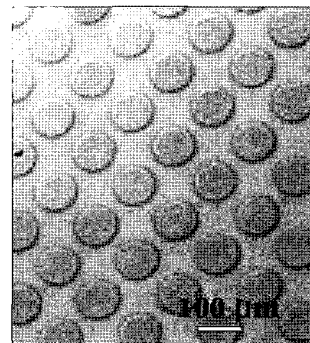


Fig. 12. Scanning electron micrograph of Bi-Te thermoelectric elements of 100 μm which were processed by electrodeposition.

제거하였다. 이후 시편에 5×10^{-4} A/cm²의 전류밀도를 인가하여 포토레지스트 패턴내에 Bi-Te 열전박막소자를 전기도금으로 형성하였다. 포토레지스트 패턴을 제거하고 주사전자현미경으로 관찰한 결과, Fig. 12와 같이 100 μm 직경의 Bi-Te 미세열전박막소자들이 균일하게 잘 형성되어 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

(1) 20 mM 농도의 Bi-Te 도금용액 내의 Te/(Bi+Te)비를 0.5~0.65 범위에서 변화시, Te/(Bi+Te)비에 따른 분극곡선의 변화는 나타나지 않았으며, 모든 조성에서 2×10^{-3} A/cm²의 동일한 한계전류밀도를 나타내었다.

(2) 전기도금법으로 형성한 Bi-Te 도금막의 X-선 회절분석 결과 0.5~0.65 범위의 도금용액내 Te/(Bi+Te)비에 무관하게 Bi₂Te₃ 결정구조의 단일상으

로 이루어져 있었다.

(3) 5×10^{-4} A/cm²의 전류밀도로 Bi-Te 박막을 도금시, 도금용액내 Te/(Bi+Te)비가 0.5일 때 Bi-Te 도금막의 조성이 Bi₂Te₃ 화학양론적 조성에 근접하였으며, 이로부터 Bi의 도금속도보다 Te의 도금속도가 더 빠르다는 것을 알 수 있다.

(4) 도금용액내 Te/(Bi+Te)비가 0.5에서 0.65로 증가함에 Bi-Te 도금막의 Seebeck 계수는 -59 μ V/K에서 -48 μ V로 변하였으며, 전기비저항은 1 m Ω -cm에서 0.8 m Ω -cm로 감소되었다. Te/(Bi+Te)비에 따른 Bi-Te 도금막의 Seebeck 계수와 전기비저항의 변화는 주로 Te/(Bi+Te)비의 증가에 따른 전자농도의 증가에 기인한다.

(5) 도금용액내 Te/(Bi+Te)비가 0.5로 도금막의 조성이 Bi₂Te₃ 화학양론적 조성에 가장 근접한 Bi-Te 도금막에서 3.5×10^{-4} W/K²-m의 최대 출력인자를 얻을 수 있었다.

(6) 다층적층 패터닝 공정을 사용함으로써 측면이 깨끗한 원하는 직경의 미세열전박막소자용 포토레지스트 패턴을 형성하는 것이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구 지원에 의해 이루어졌으며 (Project No.: R01-2004-000-10929-0), 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. A. F. Ioffe, "Semiconductor thermoelements and thermoelectric cooling", Inforsearch Ltd., London (1957).
2. H. J. Goldsmith, "Bismuth telluride and its alloys", *J. Appl. Phys.*, **32** (1961) 2198.
3. R. G. Cope and A. W. Penn, "The powder metallurgy of n-type Bi₂Te_{2.55}Se_{0.45} thermoelectric material", *J. Mater. Sci.*, **3** (1968) 103.
4. I. J. Ohsugi, T. Kojima, and I. A. Nishida, "Orientation analysis of the anisotropic galvanomagnetism of sintered Bi₂Te₃", *J. Appl. Phys.*, **68** (1990) 5692.
5. R. J. Buist, "Design and engineering of thermoelectric cooling devices", *Proc. 10th Int. Conf. on Thermoelectrics*, (1991) p.84.
6. R. Rudolf, E. Grob, U. Stohrer, and U. Birkholz, "Thermoelectric generators on the basis of (Bi,Sb)₂(Te,Se)₃", *Proc. 10th Int. Conf. on Thermoelectrics*, (1991) p.102.
7. J. C. Bass, R. J. Campana, and N. B. Elsner, "Thermoelectric generator for diesel trucks", *Proc. 10th Int. Conf. on Thermoelectrics*, (1991) p.127.
8. V. Fano, I. Ortalli, M. Battaglioli, and G. Meletti, "Dopant distribution in PbTe single crystals", *Proc. 11th Int. Conf. on Thermoelectrics*, (1992) p.33.
9. D. M. Rowe, "CRC Handbook of Thermoelectrics", Lewis Publishers, Boca Raton (1994) p.216.
10. H. J. Kim, B. Y. Jung, D. B. Hyun, and T. S. Oh, "Mechanical Alloying Process and Thermoelectric Properties of p-Type (Bi_{1-x}Sb_x)₂Te₃", *J. Korean Inst. Metals. Mater.*, **36** (1998) 41.
11. J. S. Lee, H. J. Kim, D. B. Hyun, and T. S. Oh, "Thermoelectric properties of the hot-pressed (Bi_{0.2}Sb_{0.8})₂Te₃ with addition of BN particles as phonon scattering centers", *J. Korean Inst. Metals. Mater.*, **37** (1999) 609.
12. W. M. Yim and F. D. Rosi, "Compound tellurides and their alloys for Peltier cooling-a review", *J. Solid State Electronics*, **15** (1972) 1121.
13. M. S. Dresslhaus, G. Sun, and X. Zhang, *Phys. Solid State*, "Low-dimensional thermoelectric materials", **41** (1999) 679.
14. M. A. Ryan and J. P. Fleurial, "Where there is heat, there is a way", *Interface*, **11** (2002) 30.
15. J. Fleurial, G. J. Snyder, J. Patel, and G. Chen, "Solid-state power generation and cooling micro/nanodevices for distributed system architectures", *20th Int. Conf. on Thermoelectrics*, Beijing P.R. China, June (2001).
16. K. Uemura and I. Nishida, "Thermoelectric semiconductors and their Applications", Nikkan-Kygyo Shinbun Press, Tokyo (1988) p.29.
17. Y. H. Lee, K. Y. Lee, J. S. Bae, J. H. Lee, J. Y. Byun, D. B. Hyun, and T. S. Oh, "Electrodeposition of Bi₂Te₃ for nanowire application", *Mater. Sci. Forum*, **449-452** (2004) 377-380.
18. J. P. Fleurial, L. Gailliard, R. Triboulet, H. Scherrer, and S. Scherrer, "Thermal properties of high quality single crystals of bismuth telluride- Part I: Experimental characterization", *J. Phys. Chem. Solids*, **49** (1988) 1237.
19. D. M. Rowe, "CRC Handbook of Thermoelectrics", Lewis Publishers, Boca Raton (1994) p.216.