

Ge계 열전센서의 출력특성

박수동, 김봉서, 오민욱

한국전기연구원 재료응용연구단

Output Property of Ge-Thermopile Sensor

Su-Dong Park, Bong-Seo Kim and Min-Wook Oh

Advanced Materials and Application Research Lab., Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract : It was well known that thermopile was quiet a competent sensor using to probe the temperature of "hot point" where the temperature can be off the temperature-limitation for normal operation of the main electrical power equipment. In the present work, we aimed for developing new Ge-thermopile materials which can be using a non-contact temperature sensors at various hot-point of the power equipment and evaluation of its output property. As a results of the present works, a new thermopile which were composed Ga-poded p-type and Sb-doped n-type in Ge-semiconductor were designed and manufactured by MBE(Molecular Beam Epitaxy) process and showed superior sensitivity at room temperature

Key Words : Thermopile, Ge-Thermopile, Thermoelectric sensor, Thermoelectric materials, Temperature monitoring

1. 서 론

각종 전기관련 시설물에서 뿐만 아니라 발전-송전-배전으로 통칭할 수 있는 전력수송분야에서는 고전압, 대전류의 특수 전력환경으로 인해 "열"에 의한 다양한 안전사고들이 발생, 보고되고 있어 이것에 대한 효율적 진단과 사전예방의 필요성이 매우 필요하다. 전기 및 전력 기기의 이상 "열"의 측정이나 진단을 위해 사용되는 센서로서는 열로부터 발생하는 IR을 센싱한 후 전기적 신호로 변환하여 온도를 측정하는 열감지형 IR센서가 가장 대표적이다^[1]. 이같은 열감지형 IR센서는 광전자 검출형 센서에 비해 상대적으로 낮은 성능이지만 냉각장치 없이 상온 측정이 가능함으로써 시스템 구성이 간단할 뿐만 아니라 감지 가능한 적외선 파장 범위도 광전자형에 비해 넓기 때문에 산업 및 민수분야의 수요가 크게 증가하고 있다. 열감지형 IR센서로서 열전현상을 이용한 Si계 서모파일이 널리 사용되고 있다. 서모파일을 구성하기 위한 재료적 측면에서의 필요조건으로는 1)큰 Seebeck 계수, (2) 낮은 열전도도, (3) 낮은 전기저항 등이 그것이다. 이것을 기준하여 Si계 서모파일의 특성을 평가하면 대표적 열전재료인 Bi-Sb 계에 비해 Seebeck계가 큼으로서 보다 고감도의 센서 특징을 나타내지만 상대적으로 높은 비저항으로 인하여 노이즈 특성이 나쁘다는 단점도 나타나게 된다. 그럼에도 Si은 도핑 공정을 통하여 물질특성들을 쉽게 조절할 수 있기 때문에 감도/노이즈의 비를 최적화 할 수 있는 도핑 양을 찾는 연구들을 통해 Si계의 제반 단점들이 극복되고 있다^{[1][2]}.

본 연구에서는 이같은 Si계 센서에서의 근원적 단점을 극복하기 위해 Ge의 열전특성에 주목하였다. 즉, Ge은 Si과 동일한 결정구조로 유사한 반도체적 특성을 나타내

며 또한 열전성능에 주 영향인자인 Seebeck계수가 Si에 비해 우수하고 비저항 역시 Si에 비해 낮기 때문에 Si계 센서에 비해 우수한 특성을 나타낼 것으로 기대할 수 있다. 본 연구에서는 Ge계 서모파일을 제조하고 이것의 센서물성을 평가하여 전력용 열감지 센서용 서모파일로의 응용 가능성을 조사하고자 하였다.

2. 실험

본 연구에서는 Ge계 신서모파일을 개발하기 위해 Ga과 As를 도핑한 p-type, n-type 열전쌍을 MBE(Molecular Beam Epitaxy)법으로 구성함으로 서모파일 소자를 제작하였다. Ge박막은 도핑농도에 따라 그 비저항과 Seebeck 계수가 크게 변화한다. Geballe^[3]등에 따르면 Ge은 intrinsic 상태에서는 n-type Seebeck 계수를 나타내며, Ga 등을 도핑 함에 따라 p-type으로 바뀌어 진다. 그러나 이렇게 제조된 p-type Ge의 경우도 온도가 올라감에 따라 띠간격을 가로질러 전자가 여기 됨에 따라 70 °C 부근에서 p-type에서 intrinsic state인 n-type으로 바뀌는 특이현상이 나타나게 됨으로 도펀트의 조절이 매우 중요하다. Johnson^[4]등에 따르면 이러한 p->n type 전이온도는 도핑농도가 증가함에 따라 증가하는데 10¹⁹개/cm³의 도핑 농도에서는 600 °C의 전이온도를 갖는 것으로 알려져 있다. 그러므로 본 연구에서는 200 °C 내외의 측정온도를 갖는 thermopile 제조를 위하여 Ga과 Sb를 고농도로 Ge에 도핑하여 p-type Ge과 N-type Ge을 제조하였다.

성장챔버(growth chamber)내에서의 진공은 1.0 × 10⁻⁹ torr 이하로 하여 초고진공(UHV) 상태를 조성하였고, 박막을 성장시키고 불순물의 영향을 최소화시키기 위해서 cryo-shroud 내부로의 액체질소 환경을 유지하였다. 이

후 Si(100) 웨이퍼 위에 SiO₂를 성장시킨 기판을 세척하여 manipulator에 장입하고 기판의 온도를 500°C로 상승시켜 확산셀(effusion cell)에 장착된 물질을 확산하였다. 그리고 SiO₂/Si(100) 웨이퍼 위에 Ga, Sb를 도핑한 Ge를 1,000 Å 성장시키고, 접촉식 마스크(contact mask)를 바꾸어서 Ga과 Sb 등을 도핑한 Ge를 1000 Å 두께로 성장시켜 박막을 제조하였다.

3. 결과 및 고찰

아래 그림 1은 제작된 서모파일의 기본 구조도이다. 서모파일의 구성방법은 우선 semi-insulating GaAs(100) 웨이퍼를 사용하고, p-타입과 n-타입이 각각 9개씩 번갈아 연결된 thermopile을 증착하고 그 위에 흡수층과의 열적 분리를 위한 단열층으로 GaAs층을 성장시켰다.

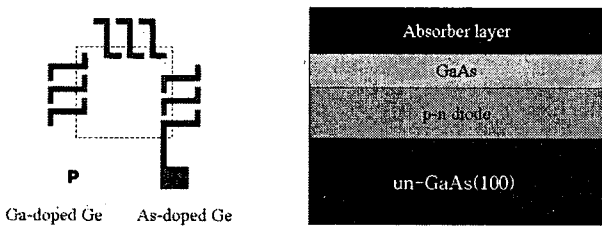


그림 1. Ge계 서모파일의 기본구조도

그림 2는 Ga과 Sb를 도펀트로 한 p-n쌍과 그 중심부에 열을 흡수하는 흑체로 구성된 서모파일의 출력(전압) 특성을 나타낸 것이다.

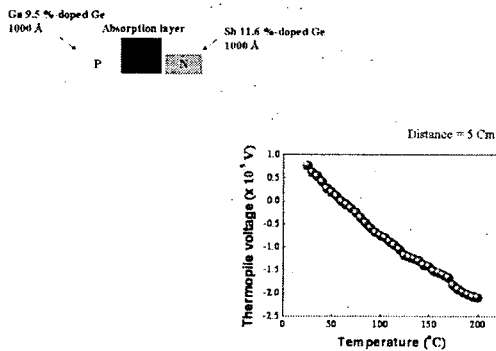


그림 2. Ge계 서모파일의 적층구성과 온도에 따른 서모파일 출력 전압변화.

측정결과 전체적 출력변화는 온도상승에 따라 positive에서 negative로 변화하였으며 200°C까지 일정한 감소기울기를 나타냈다. 또한, 한 상온에서 200°C까지의 출력변화는 큰 민감도를 보이는 특징을 나타냈다. 또한 표 1에 나타낸 바와 같이 같은 온도구간에서 열전쌍 한 개당 출력전압은 Ga13 및 Ga10 소자의 경우 30°C에서는 기존의 외산 P사 소자에 비해 우수하였다. 반면에 온도가 올라감에 따라 그 출력전압/열전쌍 개수의 비가

외국 A사의 그것에 비해 감소하는 특징을 나타냈다. 이러한 특성은 Ge의 Seebeck 계수가 온도가 증가함에 따라 감소하는 negative거동을 보이기 때문이다.

표 1. 상용화된 외국 A사 서모파일과 본 연구를 통해 제작된 Ge계 서모파일의 열전쌍 당 출력 전압

	외국 A사-A (Si계)	외국 A사-E (Si계)	Ga13 (at%)	Ga10 (at%)
30 °C	1.0345E-06	1.3793E-06	2.1167E-06	1.51667E-06
35 °C	2.3276E-06	3.1034E-06	2.1333E-06	1.51667E-06
40 °C	3.6207E-06	5.0000E-06	2.1000E-06	1.63333E-06

한편 상기표의 특성을 고려하면 외국 A사 제품에서 사용된 열전재료는 온도가 증가함에 따라 Seebeck 계수가 증가하는 금속계 재료가 사용되었을 것으로 추정할 수 있다. Ga13(첨가량 13at%)소자의 특성이 Ga10보다 좋은데 이것은 Ge소자의 특성이 아직 합금원소 농도에 대해 최적화 되지 않았음을 의미한다. 따라서 Ga의 농도를 더 증가시키거나 보다 적절한 첨가원소를 사용할 경우 기존에 비해 더욱 우수한 서모파일 특성이 얻어질 것으로 기대된다. 더욱이 이같은 상대적 측정은 본 개발품이 필터 등의 사용을 통한 집열효과의 극대화가 이루어지지 않은 상태로 측정된 것으로 이것에 대한 보다 보정된 패키징 기술이 도입될 경우 기존 제품의 성능보다 우수한 신 열전센서를 개발할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

- 1) MBE(Molecular Beam Epitaxy)를 이용하여 서모파일형 Ge계 열전박막을 제조하여 그 출력특성을 평가하였다. 설계된 서모파일의 구조는 9개의 고온 접점쌍과 그 중심에 열을 흡수하는 흑체가 된 기본패턴으로 구성되었다.
- 2) Ge계 서모파일은 Ga과 Sb가 도펀트로 첨가되어 Si0기판상에 구성된 경우가 가장 우수한 감도를 나타냈다.
- 3) 측정된 감도는 30°C까지의 상온에서는 기존 Si계 센서들에 비해 우수한 감도를 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 산자부 전력기반조성사업센터 주관 “전력산업연구개발사업”의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 2000.IMEMS : Infrared Sensors Catalog, Thermopile Technologies, Ltd. 2000.
- [2] 황학인,비냉각형 적외선센서 기술동향, 전기전자재료 학회지, vol. 1, p.574, 1998.
- [3] T. H. Geballe et al. , Phys.Rev., vol.98, p. 940, 1955.
- [4] V.A. Johnson and K. Lark-Horovitz, Phys.Rev. B, vol. 92, p 222, 1953