Regular Paper
J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.
Vol. 32, No. 3, pp. 219-222 May 2019
DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2019.32.3.219
ISSN 1226-7945(Print), 2288-3258(Online)

낮은 TCR 특성을 가지는 플레이트 션트저항의 전기적 특성

임영택[1], 김은민[1], 이상원[2], 안정래[3], 이선우[4]

[1] 서울대학교 전력연구소
[2] 한국탄소융합기술원 원천소재연구본부
[3] 전주대학교 탄소나노신소재공학과
[4] 인하공업전문대학 전기정보과

Electrical Properties of Plate Typed Shunt Resistors with Low TCR Property

Youngtaek Lim[1], Eun-Min Kim[1], Sang-Won Lee[2], Jeong-Rae Ahn[3], and Sunwoo Lee[4]

[1] Electric Power Research Institute, Seoul National University, Seoul 08826, Korea
[2] Research Center for Carbon Convergence Materials, Korea Institute of Carbon Convergence Technology, Jeonju 54853, Korea
[3] Department of Carbon and Nano Materials Engineering, Jeonju University, Jeonju 55069, Korea
[4] Department of Electrical Information, Inha Technical College, Incheon 22212, Korea

(Received February 2, 2019; Revised February 21, 2019; Accepted February 23, 2019)

Abstract: In this study, we fabricated plate-type shunt resistors with thermal stability by parallelly connecting metal alloy plates with positive temperature coefficient of resistance (TCR) and carbon nanotube (CNT) plates with negative TCR. The metal alloy plates, which were prepared by alloying Cu and Mn with a composition of 91 wt% of Cu and 9 wt% of Mn, showed around 800 ppm/℃ of TCR, and the CNT plates prepared from the CNT solution by using the vacuum filtration method showed around −800 ppm/℃ of TCR. The shunt resistor that was fabricated by stacking metal alloy plates and CNT plates in this work showed about 46.93 ppm/℃ of TCR. Therefore, we conclude that a shunt resistor with low TCR can be realized by simply adjusting the TCR of the metal alloy only, because the TCR of the CNT plate has an identical value.

Keywords: Temperature coefficient of resistance (TCR), Metal alloy plate, Carbon nanotube (CNT) paper, Parallelly connected resistors, Thermal stability

1. 서 론

션트 저항은 회로를 통해 흐르는 전류를 측정하는데 사용할 수 있는 고정밀 저항이다. 션트 저항은 대전력 어플리케이션의 전류 검출 용도, 자동차 및 에너지 저장 장치 분야에서 폭넓게 탑재되어 사용되고 있다. 특히 자동차 분야에서는 전자화 및 전동화가 진행되면서 소형 모터 및 전자제어장치의 탑재수가 증가함에 따라 션트 저항에 대한 요구가 높아지고 있다 [1]. 이에 따라, 자동차 및 에너지 저장 장치 분야 등에 까다로운 온도 보증이 요구되는 전자 회로에도 안정적으로 사용할 수 있는 션트 저항의 성능이 요구된다 [2].

션트 저항은 일반적으로 낮은 저항과 큰 저항온도계수(temperature coefficient of resistance, TCR)를 가지는 구리(copper, Cu) 기반에 높은 저항과 작은 저항온도계수를 가지는 망간(manganese, Mn)을 혼합하여 합금으로 제작함으로써, 두 금속의 중간 정도의 특

✉ **Sunwoo Lee; swlee@inhatc.ac.kr**

Copyright ©2019 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

성을 가지게 한다. 그러나 금속의 특성상 결정결함이 전도전자들에 대한 산란의 중심으로 작용하기 때문에 결함 수의 증가는 비저항값을 높이게 된다. 이러한 금속의 특성에 의해 이론상 저항온도계수 특성이 20 ppm/℃ 정도만 가능하다. 이러한 문제점을 보완할 수 있는 재료가 반도체성 재료이며 그중 대표적인 것이 탄소나노튜브(carbon nanotube, CNT)이다.

전기응용의 다양한 분야에서 단일벽 탄소나노튜브(single walled carbon nanotube, SWCNT) 및 다중벽 탄소나노튜브(multi walled carbon nanotube, MWCNT)에 대한 관심이 높아지고 있다 [3-5]. CNT는 기계적 강도가 우수하고, 매우 큰 전류 밀도를 허용할 수 있으며, 금속이 수십 나노미터의 전자 평균 자유 경로를 갖는 반면 CNT는 마이크로미터 범위의 평균 자유 경로를 갖는다 [5]. 또한, 금속은 온도가 증가함에 따라 저항이 증가하는 양(+)의 TCR을 가지는 반면, CNT는 반도체의 성질인 음(-)의 TCR을 가진다. 따라서 두 물질을 병렬로 접속하여 TCR이 낮은 션트 저항을 제작 가능할 것이라 기대할 수 있다.

본 논문에서는, 기존 합금 션트 저항의 열적 안정성을 향상시키기 위해 MWCNT를 적용하여 하이브리드 형태의 션트 저항을 제작하였다.

2. 실험 방법

반도체의 전기적인 특성인 음의 TCR을 가지는 MWCNT paper는 MWCNT 분산 용액을 이용하여 진공 필터링법으로 제작하였다. 0.02 g의 MWCNT를 200 ml의 아세톤 용매에 넣은 후, 3시간 동안 초음파 처리를 수행하여 MWCNT의 다발을 제거하였다. 이후에 3시간 동안 probe 형태의 초음파 처리를 통해 분산된 MWCNT 용액을 제조하였다. 이후에 200 g의 분산된 MWCNT 용액과 아세톤에 용해한 에폭시 용액 200 g을 섞은 후 0.033 g의 경화제를 넣고 교반기에서 450 rpm으로 24시간 동안 교반하였다. 이와 같은 과정으로 제조된 MWCNT 분산 용액을 진공 필터링 장치에 투입하여 직경 8 inch의 MWCNT 페이퍼를 80 ㎛의 두께로 제작하였다 [6]. 이상의 MWCNT 페이퍼의 제작 조건을 표 1에 나타내었다.

Cu에 9 wt%의 Mn을 첨가한 후 진공용융로에서 용해시킨 후 잉곳 형태로 제작하였다. 제작된 Cu/Mn 합금의 벌크는 분산화 열처리와 상하부 편석 제거를 통해 농도를 조정하였다. 제작된 Cu/Mn 합금 플레이트는 압연 및 판금 과정을 통하여 그림 1과 같은 저항으로 제작되었다.

Table 1. Fabrication conditions of the MWCNT paper.

	Process	Conditions
Step 1	Bath sonication	3 h
Step 2	Probe sonication	3 h
Step 3	Stirring	450 rpm, 24 h
Step 4	Filtering	
Step 5	Oven drying	80℃, 1 h
Step 6	Curing	160℃, 1 h

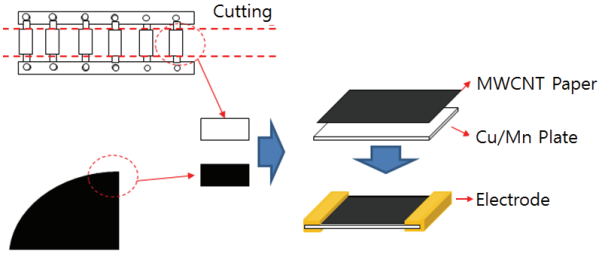

Fig. 1. Fabrication process and stack structure of the hybrid resistor.

하이브리드 형태의 Zero TCR 션트 저항을 제작하기 위해서는 음의 TCR 특성을 나타내는 MWCNT 페이퍼와 양의 TCR 특성을 나타내는 Cu/Mn 합금 플레이트를 각각 제작하여 병렬 구조로 제작하여야 한다. Cu/Mn 합금 플레이트 위에 MWCNT 페이퍼가 적층된 구조를 가지는 하이브리드 형태의 션트 저항의 제작과정과 적층구조를 그림 1에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

음의 TCR 특성을 갖는 MWCNT 페이퍼의 온도 변화에 따른 전기적 특성을 측정하기 위해 25~125℃의 온도 범위에서 저항값의 변화를 측정하였다. 측정한 결과를 표 2와 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서와 같이 온도가 증가함에 따라 저항값이 감소함을 알 수 있다. 측정된 결과의 저항값은 25℃일 때 2.19 Ω, 125℃일 때 1.99 Ω을 나타내어 음의 TCR 특성을 확인하였다. 이러한 결과는 온도 증가에 의한 열에너지에 의해 반도체 재료 내에서 생성된 자유전자가 캐리어 역할을 하여 전도도가 증가하기 때문이라고 설명할 수 있다 [7,8].

양의 TCR 특성을 갖는 Cu/Mn 합금 플레이트의 온

Table 2. Resistance and TCR data.

Cu/Mn alloy plate			MWCNT paper		
No.	R [mΩ]	TCR [ppm/℃]	No.	R [Ω]	TCR [ppm/℃]
M1	7.852	818.55	C1	2.33	-799.12
M2	7.862	819.66	C2	2.58	-763.25
M3	7.355	824.28	C3	2.15	-755.11
M4	7.356	819.56	C4	2.34	-788.85

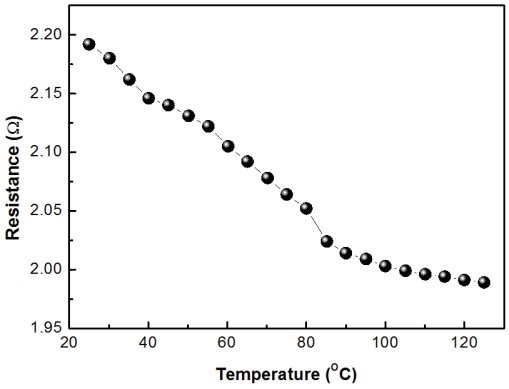

Fig. 2. Resistance with temperature change of the MWCNT paper.

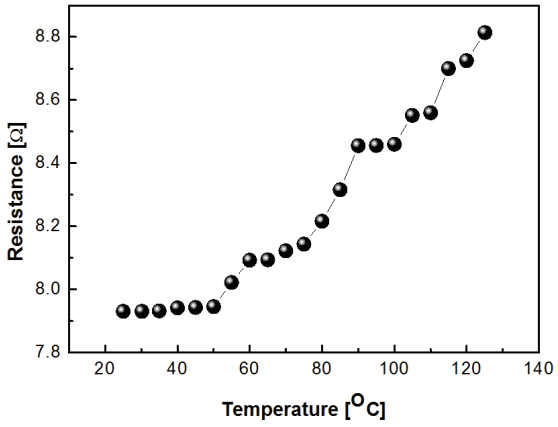

Fig. 3. Resistance with temperature change of the Cu/Mn alloy plate.

도 변화에 따른 전기적 특성을 측정한 결과를 표 2와 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서와 같이 온도가 증가함에 따라 저항값이 증가함을 알 수 있다. 측정된 결과의 값은 25℃일 때 7.00 mΩ, 125℃일 때 7.48 mΩ의 저항값을 나타내었으며, 양의 TCR 특성을 가짐을 확인하였다.

이러한 결과는 온도 증가에 의한 열에너지에 의해 금속 재료의 격자 진동이 증가하여 전자의 충돌이 증가함으로 발생하는 전도도의 감소로 설명할 수 있다 [9,10].

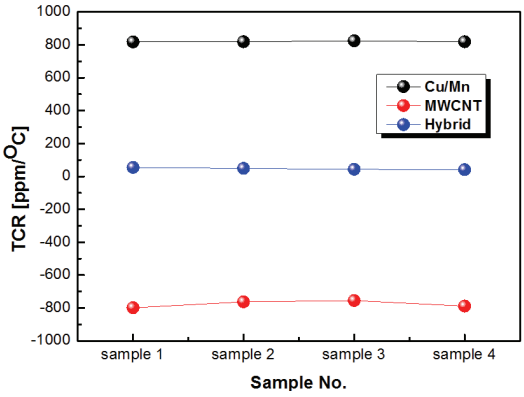

Fig. 4. TCR measured from the MWCNT paper, the Cu/Mn alloy plate, and the Hybrid resistor.

이상과 같이 MWCNT 페이퍼와 Cu/Mn 합금 플레이트에서 측정된 온도 변화에 의한 저항값으로부터 아래의 식 (1)을 사용하여 TCR을 계산하였으며, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

$$TCR = \frac{R_2 - R_1}{R_1(T_2 - T_1)} \times 10^6 \, [ppm/℃] \quad (1)$$

R_1 : 최저온도에서의 저항
R_2 : 최고온도에서의 저항
T_1 : 최저온도 (25℃)
T_2 : 최고온도 (125℃)

MWCNT 페이퍼에서는 -800 ppm/℃ 부근에서 일정하게 TCR이 측정되었으며, 이는 탄소나노튜브 고유의 물성이기 때문에 변하지 않는다. Cu/Mn 합금 플레이트에서는 800 ppm/℃ 부근에서 일정하게 TCR이 측정되었으며, 이는 음의 TCR 특성을 나타내는 MWCNT 페이퍼와의 조합을 위해 합금의 제작 과정에서부터 설계하여 도출한 결과이다.

Cu/Mn 합금 플레이트 위에 MWCNT 페이퍼가 적층된 구조의 하이브리드 션트 저항에서 TCR 값을 측정하였으며, 음의 TCR 특성을 갖는 MWCNT 페이퍼와 양의 TCR 특성을 갖는 Cu/Mn 합금 플레이트의 TCR 값과 함께 그림 4에 나타내었다. 제작된 하이브리드 형태의 션트 저항의 평균 TCR 값은 46.93 ppm/℃이었다.

션트 저항의 TCR을 영에 가까운 값을 가지도록 만들기 위해 사용된 MWCNT 페이퍼의 TCR이 -800

ppm/℃의 값을 가지기 때문에, 800 ppm/℃ 부근에서 TCR을 가지도록 설계되어 제작된 Cu/Mn 합금 플레이트를 적층하여 제작한 하이브리드 션트 저항의 TCR이 46.93 ppm/℃인 것으로부터 션트 저항의 TCR을 원하는 값으로 조절하는 것이 가능하다는 것을 알았다. 그러므로 합금을 설계하는 단계에서 MWCNT 페이퍼의 TCR을 고려하여 합금을 설계함으로써, 하이브리드 션트 저항의 TCR을 우리가 원하는 값으로 제어할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 션트 저항의 저항온도계수(TCR)를 낮추기 위한 방법으로 음의 TCR 특성을 갖는 MWCNT 페이퍼를 양의 TCR 특성을 갖는 기존의 저항 재료인 Cu/Mn 합금 플레이트에 적층하여 하이브리드 션트 저항을 제작하였다. MWCNT 페이퍼의 TCR은 -800 ppm/℃ 부근에서 일정한 값을 가지기 때문에, 800 ppm/℃ 부근에서 TCR을 가지도록 설계되어 제작된 Cu/Mn 합금 플레이트를 적층하여 제작한 하이브리드 션트 저항의 TCR은 매우 낮은 값인 46.93 ppm/℃을 나타내었다. 이상의 결과로부터, MWCNT 페이퍼를 적용하여 션트 저항의 TCR을 제어하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있다.

ORCID

Sunwoo Lee https://orcid.org/0000-0003-1847-4100

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 2016년 선정 기초연구개발 과제 연구비에 의해 지원되었음(과제번호: R17XA05-58).

REFERENCES

[1] E. M. Kim, S. H. Lee, D. K Cho, and S. H. Kim, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **63**, 1070 (2014). [DOI: https://doi.org/10.5370/kiee.2014.63.8.1070]

[2] J. H. Park and H. J. Cha, *Trans. korean Inst. Power Electron.*, **7**, 131 (2015).

[3] F. Galliana, P. P. Capra, and E. Gasparotto, *Measurement*, **46**, 1630 (2013). [DOI: https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.11.031]

[4] S. S. Park, J. S. Koo, K. Y. Youn, and C. S. Kim, *Proc. The Korean Society of Automotive Engineers Spring Conference Proceeding* (The Korean Society of Automotive Engineers, Jeju, Korea, 2002) p. 1249.

[5] S. Yarlagadda, T. T. Hartley, and I. Husain, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, **49**, 2720 (2013). [DOI: https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2264794].

[6] M. S. Huh, S. W. Choi, H. G. Chun, S. C. Kwon, G. H. Lee, and T. Y. Cho, *J. Vac. Soc.*, **6**, 77 (1997).

[7] Y. G. Ko, C. W. Lee, S. NamGung, D. H. Lee, and D. H. Sin, *Korean Soc. Technol. Plast.*, **18**, 476 (2009). [DOI: https://doi.org/10.5228/KSPP.2009.18.6.476]

[8] E. M. Kim, S. C. Kim, and S. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **29**, 365 (2016). [DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2016.29.6.365]

[9] Y. Lim and S. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **30**, 59 (2017). [DOI: https://doi.org/10.4313/JKEM.2017.30.1.59]