

내장형 저항 기판의 신뢰성과 TCR 개선을 위한 후막 저항 페이스트에 관한 연구

이상명^{1,2*} · 유명재^{1,2} · 박성대¹ · 강남기¹ · 남산²

¹전자부품연구원 전자소재패키징센터

²고려대학교 신소재공학과

Thick Film Resistance Paste for Improving Reliability and TCR Properties of Embedded Resistor Board

S. M. Lee^{1,2*}, M. J. Yoo¹, S. D. Park¹, N. K. Kang¹ and S. Nam²

¹Electronic Materials Packaging Research Center, Korea Electronics Technology Institute

²Department of Materials Science and Engineering, Korea University

초 록: 전자 부품의 소형화 요구에 따라서 기존 기판의 상부에 실장 되는 저항 소자를 감소하기 위한 방안으로 후막 저항 페이스트를 인쇄하여 저항체를 형성 한 후에 내장하는 수동소자 내장기술이 활발히 연구되고 있다. 본 연구에서는 카본 블랙과 에폭시 수지를 혼합하여 0.35~4kΩ/sq으로 넓은 저항 범위를 가지는 저온 열경화형 후막 저항 페이스트를 제작하였으며, Ni-Cr alloy와 SiO₂ 분말을 첨가하여 온도에 따른 저항 변화인 TCR(Temperature Coefficient Resistivity) 값을 100ppm/°C으로 개선하였다. 최종적으로 제작된 저항 페이스트를 이용하여 내장 저항 기판을 제작하였으며, 온도에 변화에 따른 안정적인 저항 특성과 신뢰성을 확보 할 수 있었다.

Abstract: Due to the increasing need for miniaturization of electronic device, embedded resistor technology using thick film resistance paste to embed resistors currently mounted on the board thus effectively reducing board size, is being extensively researched. In this research, thick film resistor paste having 0.35~4kΩ/sq range of resistivity were fabricated using mixtures of carbon black and epoxy resin. In order to adjust the TCR (temperature coefficient resistivity), TCR modifiers such as Ni-Cr alloy, SiO₂ powder were added and were able to improve on TCR value with 100ppm/°C. Finally embedded resistor board using thick film resistance paste were fabricated. Stable resistivity value and reliability results were achieved.

Keywords: Thick Film Resistance Paste, Embedded Resistor Board, TCR

1. 서 론

전자 부품의 소형화 요구에 따라 기존의 PCB (Printed Circuit Board)에서 SMT(Surface Mount Technology) 형태로 실장 되는 수동소자의 부품수를 감소하기 위한 방안으로 수동소자 내장기술

(Embedded Passive Technology)이 활발히 연구되고 있다.¹⁻²⁾ 수동소자 내장기술은 다수의 수동소자 부품을 다층 기판 내에 내장하여 3차원적으로 구성함으로써 부품의 실장 밀도를 높일 수 있으며, 내장 기술을 활용한 내장 저항 기판(Embedded Resistor Board)은 기판의 상부에 실장 되는 저항

*Corresponding author
E-mail: sml22@korea.ac.kr

소자를 인쇄 형태로 형성하여 내장함으로서 부품 실장 비용 절감과 기생 성분, 노이즈 등을 감소하여 전기적 특성 및 신뢰성 향상의 효과를 얻을 수 있다. 또한 카본 블랙과 폴리머를 혼합한 후막 저항 페이스트를 이용함으로써 넓은 범위의 저항 값 구현 할 있으며, 저항체 형성의 용이성 및 타 공정에 비하여 저렴한 가격 등의 장점을 가지고 있다. 그러나 기존의 후막 저항 페이스트는 온도에 따른 저항 값 변화가 크며, 내장 저항 기판을 제작하기 위한 공정과 신뢰성에 관한 연구가 미진한 상태이다.³⁻⁵⁾

본 연구에서는 카본 블랙과 페놀 노블락 계열의 에폭시 수지를 사용하여 저온 열경화형 후막 저항 페이스트를 제작한 후에 저항 특성을 관찰하였으며, Ni-Cr alloy와 SiO₂ 분말을 첨가하여 온도 변화에 따른 저항 값 특성인 TCR(Temperature Coefficient Resistivity)을 개선하였다. 최종적으로 제작된 저항 페이스트를 이용하여 내장 저항 기판을 제작하고 저항 특성과 신뢰성을 평가하였다.

2. 실험

본 연구에서 후막 저항 페이스트의 조성으로 카본 블랙(particle size: 30nm, surface area: 254 m/g², DBPA: 192 cm³/100g)과 페놀 노블락 계열의 에폭

시 수지, phenolic 경화제를 사용하였다. 그리고 카본블랙의 분산성 개선을 위해서 γ -methacryloxy propyl trimethoxy silane으로 표면처리 하였으며, TCR 특성을 개선하기 위해서 Ni-Cr alloy와 SiO₂ 분말을 첨가하였다.

후막 저항 페이스트는 유기물인 수지와 경화제를 Gamma-butyrolactone 용매에 용해하여 비이클(Vehicle)로 제작 한 후에 무기물 필러들을 첨가하여 3 roll mill(Exact 50)로 혼합하였다. 그 후에 제작된 페이스트를 BT(Bismaleimide Triazine) prepreg 소재의 보드에 1 mm×2 mm 크기로 56개의 저항체 패턴이 형성된 스크린을 이용하여 저항체를 인쇄한 후 경화하였으며, 경화 후 저항체의 두께는 15 um(±2)이다. 그리고 내장 저항 기판은 Figure 1과 같이 보호막(에폭시 수지) 코팅, 커버층 (BT prepreg) 및 동박의 라미네이팅, 레이저 비아홀 드릴을 이용한 층간 연결 Via hole의 형성, 무전해 및 전해 도금을 이용한 Via와 top Cu 층과의 연결, 포토공정을 이용한 top 측정 패드 형성, 마지막으로 Ni/Au 도금을 이용한 Cu 층 커버 단계를 통하여 제작하였다. 저항 특성은 4284A LCR Meter(HP)와 CH250ES(AES)로 측정하였으며, 내장 저항 기판의 신뢰성 평가를 위해 CH250C(ACS)와 Pb pot (SUZUKO)을 이용하여 온·습도(60°C/95%RH, 168hr)와 내열성(260°C, 10sec) 테스트를 하였다.

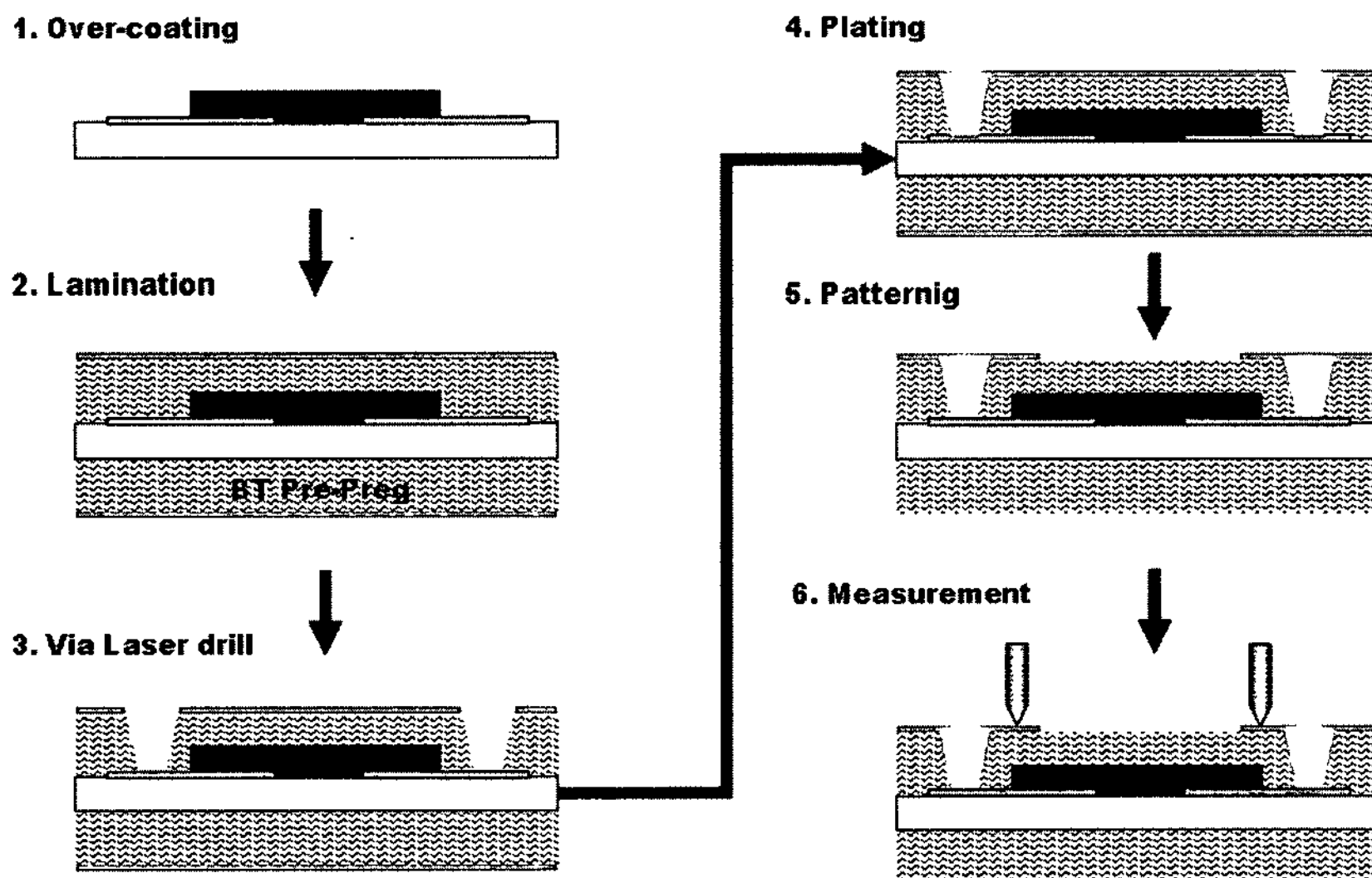


Fig. 1. Process for embedded resistor board

3. 결과 및 고찰

3.1. 저항 페이스트의 저항 특성

후막 저항 페이스트는 카본 블랙의 함량에 따라 넓은 범위의 저항 값을 가지는 저항체를 형성할 수 있으며, 낮은 카본 블랙 함량에서 미세한 저항 값 변화를 보이다가 임계 함량에서 저항 값이 급격히 낮아지는 현상을 보인다. 또한 어느 이상의 함량에서는 저항 값이 더 이상 감소하지 않는다.⁵⁻⁶⁾ Figure 2 는 제작된 저항 페이스트의 카본 블랙 함량에 따른 저항 값 변화를 보여주며, 0.35~4kΩ/sq 으로 넓은 범위의 저항체를 형성할 수 있었다. 카본 블랙의 함량이 증가함에 따라서 저항 값이 감소하는 원인은 입자 간의 간격이 보다 조밀화 되기 때문이며, 10.3wt% 에서 급격한 저항 값 감소가 시작되는 현상은 임계 함량에서 카본 블랙 입자 간의 접촉이 시작되어 전도 네트워크가 형성되기 때문이라고 판단된다. 또한 포화 상태가 되는 21.4wt% 이상의 카본 블랙 함량에서는 더 이상의 전도 네트워크를 형성하지 못하기 때문에 일정한 저항 값을 나타내었다. 그리고 경화 온도에 따른 저항 값의 영향을 관찰하기 위해서 각각의 카본블랙 함량으로 제작된 후막 저항 페이스트를 180°C와 200°C에서 경화 한 후에 저항 값을 측정하였다. 그 결과 Figure 2와 같이 180°C 보다 200°C에서 경화한 저항체의 저항 값이 감소하였으며, 이러한 현상은 높은 경화 온도에서 저항체의 수축이 증가함에 따라서 카본 블랙 입자 간의 접촉이

증가하여 저항 값이 감소한 것으로 판단된다. 또한 200°C에서 저항체를 재경화 후에 저항 값 변화를 관찰한 결과 안정적인 경화 상태로 3% 이내의 미세한 저항 변화를 나타내었다. 카본 블랙의 함량과 경화 온도를 조절하여 넓은 범위의 저항 값을 가지는 저항체를 구현할 수 있었다.

3.2. 저항 페이스트의 TCR 특성

유기물에 의해 저온에서 열경화 되는 저항체의 저항 특성 중에 온도 변화에 따른 저항 값의 변화인 TCR(Temperature Coefficient Resistivity) 특성은 매우 중요하다.⁷⁾ 이에 따라서 TCR 값의 제어를 위하여 열팽창계수(Thermal Expansion Coefficient)가 0에 가까운 SiO₂ 분말과 TCR 값이 0에 가까운 Ni-Cr alloy 분말을 각각 첨가하여 저항 페이스트를 제작하고 저항체를 구현하여 TCR 특성을 관찰하였다. Figure 3은 21.4wt%의 카본 블랙만 혼합한 저항 페이스트와 TCR 제어를 위해 추가로 Ni-Cr alloy와 SiO₂ 분말을 첨가하여 형성한 저항체의 온도에 따른 저항 값 변화를 나타내며, 카본 블랙만을 사용한 경우 TCR 값 1200ppm/°C 으로 온도 변화에 따라서 저항 값이 매우 크게 변화하였다. 반면에 TCR 제어를 위해 필러를 첨가한 경우 Ni-Cr alloy는 500ppm/°C으로 TCR 값이 50% 정도 감소하였으며, SiO₂는 100ppm/°C으로 가장 우수한 TCR 값을 얻을 수 있었다. 그리고 재료 자체의 저항 값이 온도 변화에 따라 거의 변화 없는 Ni-Cr alloy 분말 보다 열팽창계수가 우수한 SiO₂ 분말을

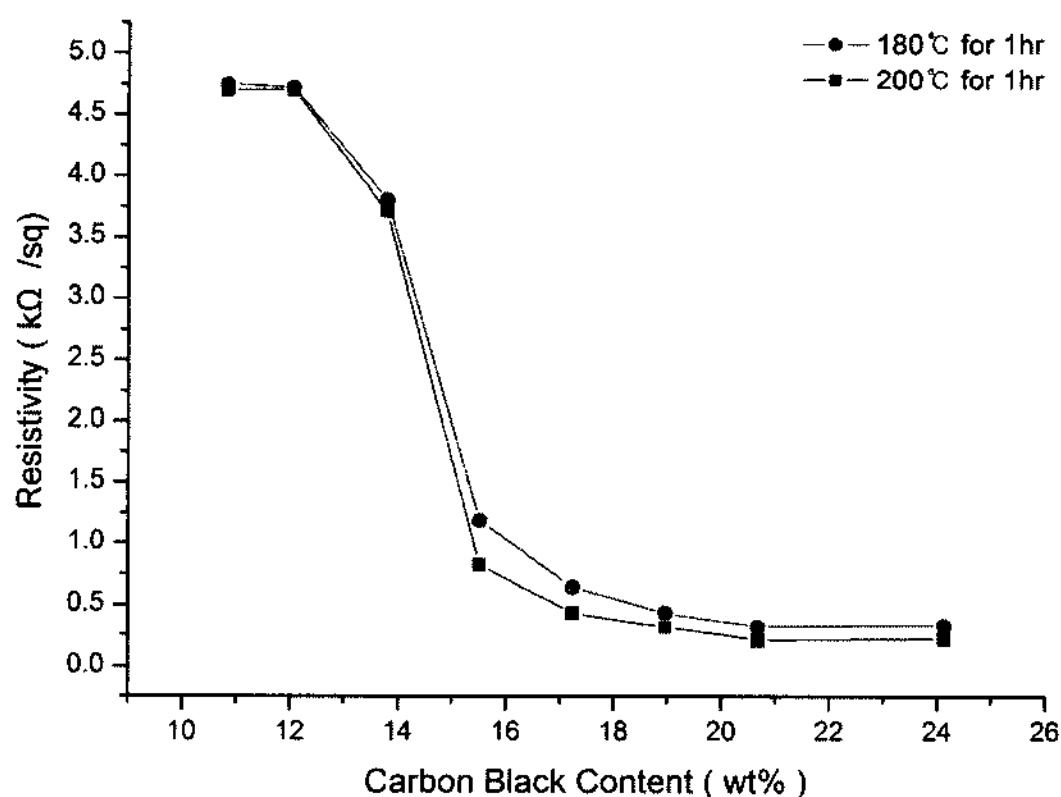


Fig. 2. Resistivity as a function of carbon black content (wt%) at room temperature

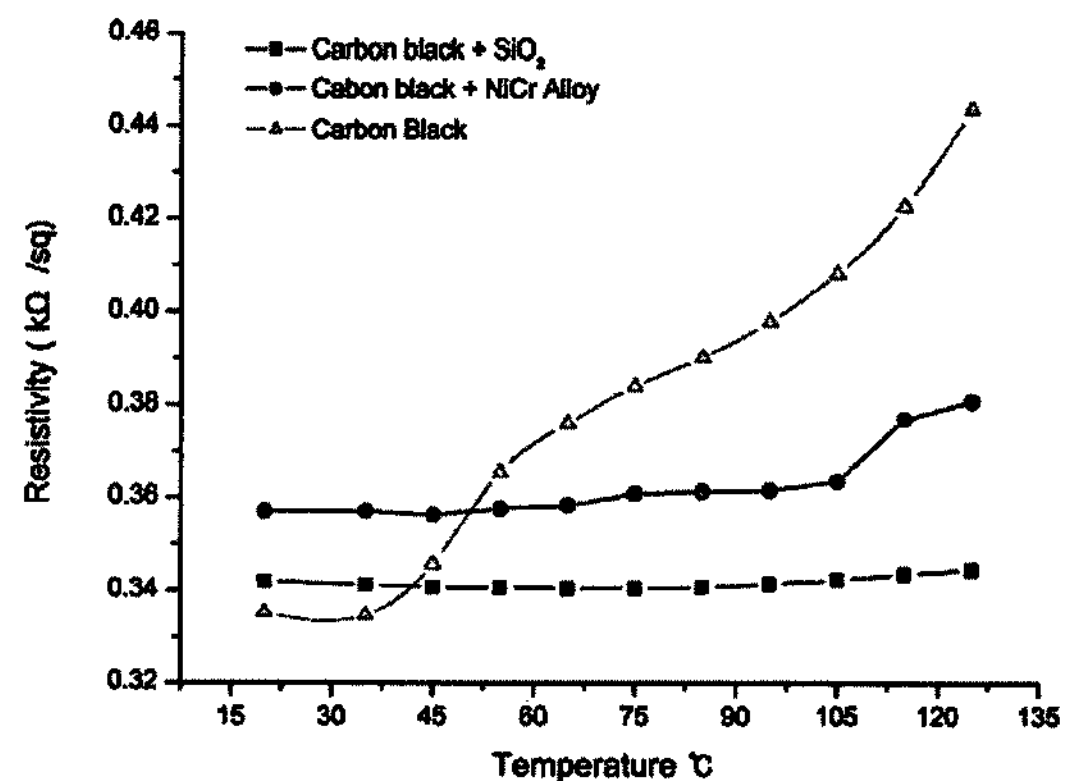


Fig. 3. The effect of addition of NiCr alloy or SiO₂ on temperature-dependent resistivity

Table 1. Resistivity properties of embedded resistor board

Carbon black Content (wt%)	Resistivity (kΩ/sq)	Resistivity tolerance (%)	After embedded Rs Variation(%)	HTCR (ppm/°C)
20.7	0.3	2.52	-2.8	69.6
15.5	1	4.75	-2.6	210

첨가하는 것이 TCR 값 제어에 더욱 효과적이었다. 이는 온도에 따른 열팽창 및 수축을 제어하는 필러가 경화된 유기물 저항체의 온도 변화에 따른 열팽창 현상을 억제하기 때문에 저항 값 변화를 감소시키는 것으로 판단된다. 결과적으로 SiO₂ 분말을 첨가하여 TCR 값을 제어함으로써 100ppm/°C으로 온도 변화에 대해서 매우 안정적인 저항 특성을 가지는 저항체를 구현 할 수 있었다.

3.3. 내장 저항 기판의 특성 평가

제작된 0.3과 1 kΩ/sq 후막 저항 페이스트를 이용하여 내장 저항 기판을 제작하였으며, 내장 구조에 따른 특성을 관찰하였다. 하나의 보드에 형성한 56개의 저항체 저항 값을 측정된 결과 table 1과 같이 5%이내의 우수한 Resistance tolerance를 나타내었으며, 안정적인 재경화 특성과 오버 코팅으로 인해 커버 층과의 hot lamination에 의한 영향이 감소하여 3% 이내의 내장 후 저항 값 변화를 얻을 수 있었다. 또한 내장 구조로 인하여 외부의 온도 변화에 따른 영향이 감소하였기 때문에 100 ppm/°C에서 69.6ppm/°C으로 TCR값이 향상되었다. 그리고 환경시험에 따른 변화를 관찰하기 위하여 내장형 저항 기판의 신뢰성 평가로 항온 항습 및 내열성 실험을 실시하였으며, 항온 항습 평가의 경우 Table 2와 같이 안정된 경화 상태로 인

Table 2. Reliability test results of embedded resistor board

Test Items	Temperature & Humidity		Thermal resistant	
	60°C/95%RH, 168hr		260°C, 10sec	
Resistivity (kΩ/sq)	0.3	1	0.3	1
Variation (%)	1.0	4.1	1.54	2.70

해 저항 값 변화율이 5% 이내로 우수한 특성을 보였다. 내열성 테스트 경우 260°C에서 10sec간 유지한 후에 외관 및 저항 값의 변화를 관찰하였다. 그 결과 커버층과 기판으로 사용한 BT소재의 열안정성으로 인하여 외관의 변화는 관찰 되지 않았으며, 3% 이내의 미세한 저항 값 변화를 나타내었다. Figure 4는 제작된 내장 저항 기판의 전면과 단면 이미지를 보여주며, 저항 특성과 신뢰성 평가 결과 모두 우수한 특성을 관찰 할 수 있었다.

4. 결 론

저항체를 형성하기 위해서 사용되는 저온 열경화형 후막 저항 페이스트를 카본 블랙과 페놀 노블락 계열의 에폭시 수지로 제작하였으며, 0.35~4kΩ/sq 으로 넓은 범위의 안정된 저항 값을 가지는 저항체를 구현 할 수 있었다. 그리고 저항 페이

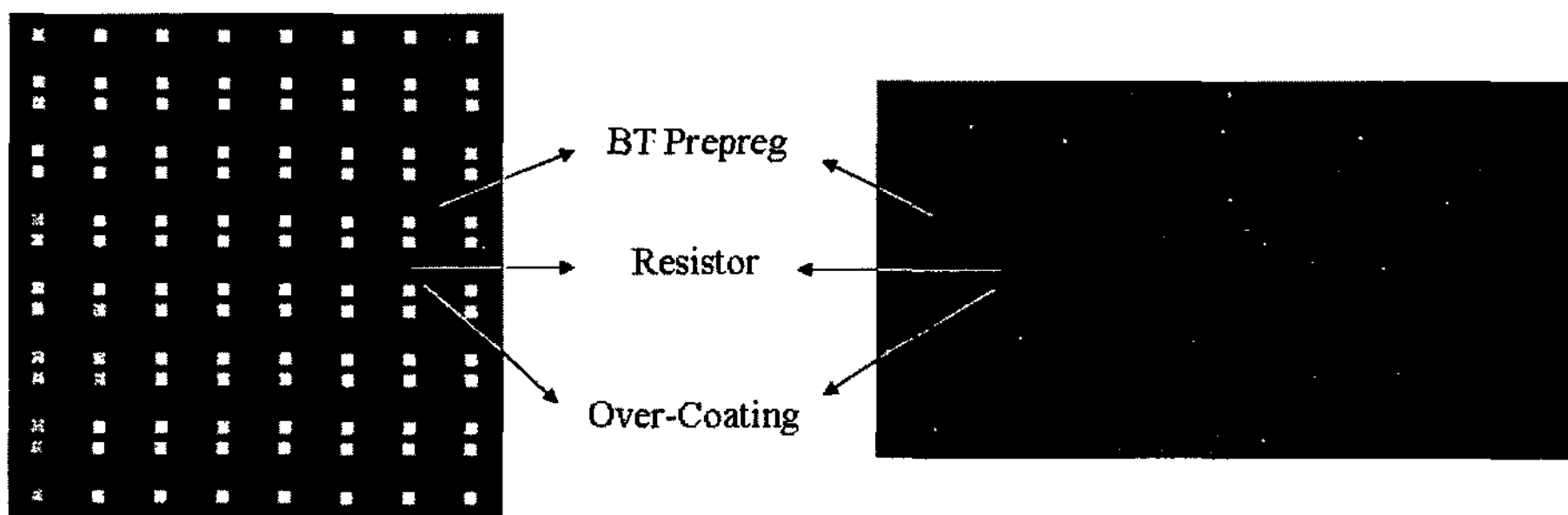


Fig. 4. Exterior(left) and cross sectional view(right) of embedded resistance board

스트에 열팽창 계수가 0에 가까운 SiO₂ 분말을 첨가하여 200°C에서 유기물에 의해 열경화 되는 저항체의 열팽창을 억제함으로써 온도에 변화에 따른 저항 값 변화인 TCR을 100ppm/°C이내로 개선하였다. 또한 제작된 최적 조성의 후막 저항 페이스트를 이용하여 BT기판에 저항체를 형성 한 후 수동소자 내장 기술을 적용하여 내장 저항 기판을 제작하였으며, 우수한 저항 특성과 신뢰성을 확보할 수 있었다. 이러한 내장 저항 기판은 향후에 모든 수동소자를 3차원 실장을 가능케 하여 부품의 실장 밀도를 획기적으로 높이는 효과가 기대된다.

참고문헌

1. Soren Norlyng, "An Overview of Integrated Component Technologies", *Advancing Microelectronics*, May/June 2003, pp.9-13 (2003)
2. RICHARD SNOGREN, "Embedded Passives: THE NEXT REVOLUTION" *PC FAB*, p.26-29, NOVEMBER 2002.
3. D. Shen and L. Fu, "Electrical characteristics of polymer thick film resistors", *IEEE Comp. Hybrids & Manufacturing tech.*, 4, 1981, p. 283-288.
4. Joseph T. Y. Su, "A material system for high precision embedded polymer resistor", 9th Int'l symposium on advanced packaging materials (2004).
5. Kimmo P., "Embedded Resistors in Printed Wiring Boards", *IEEE*, symposium on advanced packaging materials (2004).
6. J. C. Dawson and C. J. Adkins, "Conduction mechanisms in carbon loaded composites", *J. Phys. Condens. Matter*, 8, 1996, p. 8321-8338
7. Avrom I. Medalia, "Electrical Conduction in Carbon Black Composites", *Rubber Chemistry and Technology*, Vol.59, pp.432-454 (1986)
8. Gary Yonggang Min et al., "Resistor Compositions Having a Substantially Neutral Temperature Coefficient of Resistance and Methods and Compositions Relating Thereto", *US Patent Application publication 2004/0113127 A1* (2004)