

모세관 현상, 핫 엠보싱 기술을 이용한 그래핀 복합재료 마이크로히터 패턴링

Graphene nanocomposite microheater patterning based on capillary filling and transfer molding

*김형우¹, #김동성¹, 박성제¹, 이봉기²

*H. W. Kim¹, #D. S. Kim(smkds@postech.ac.kr)¹, S. J. Park¹, B. K. Lee²

¹포항공과대학교 기계공학과, ²전남대학교 기계시스템공학부

Key words : Graphene composite, Capillary filling, Microheater

1. Introduction

마이크로히터는 온도 감응 액츄에이터, 실시간 중합효소 연쇄 반응 등 여러 마이크로 시스템에 적용되고 있다. 마이크로히터는 여러 단계의 포토리소그래피 또는 에칭에 이은 금속 증착 과정을 거치는 등의 여러 단계로 제작되었다. 또한 제작 과정에서 강력한 진공 환경이 필요하거나, 독성 성분이 있는 화학적 처리가 필요한 공정이 불가피했다.¹

복잡한 공정 환경을 대체하기 위해 프린팅 기반 패턴링 방법이 제안되어왔다. 폴리디메틸실록세인(PDMS) 과 금속 파티클의 혼합물을 컨택트 프린팅 또는 닥터 블레이드 방법을 이용한 패턴링 방법이 그 예이다.² 그러나 혼합물이 히터로써의 역할을 하기 위해 금속 파티클간의 연결이 요구되는데, 높은 농도의 금속 파티클(>75% w/w)이 필요하고, 높은 농도의 용액은 점성이 높아 금속 파티클의 분산이 고르지 않고, 큐어링 후에는 스티프니스가 높아 외부 충격에 약해진다.

본 연구진은 그래핀 복합재료의 뛰어난 전기전도도, 열전도도를 이용하여 연결성을 유지하면서 그래핀 혼합 용액의 농도를 낮추었고, 농도가 낮아짐에 따라 용액의 점성을 낮추었다. 이 혼합 용액을 플라스틱 기판 위에 모세관 현상을 이용하여 패턴링하고, 패턴링 된 그래핀 마이크로히터를 플라스틱 기판 위로 전사시키는 새로운 방법을 제안하고자 한다.

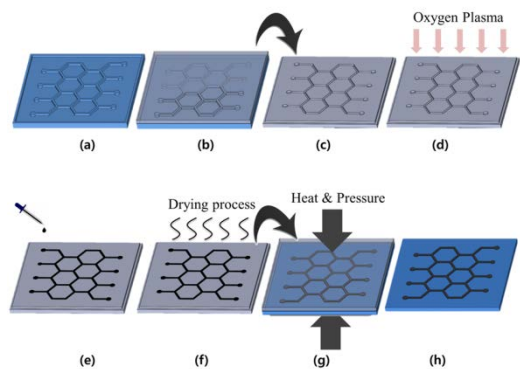


Fig. 1 Schematic diagram of the patterning process: (a) master template, (b) soft lithography, (c) PDMS stamp, (d) surface modification, (e) capillary filling of graphene solution, (f) formation of graphene nanocomposite layer, (g) transferring graphene, and (h) graphene nanocomposite pattern on PMMA substrate.

2. Experiments

감마-발레로락톤(Gamma-valerolactone;GVL, 99% Aldrich)은 대부분의 플라스틱을 녹일 수 있는 용매로, 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA, IF870S, LGMMA), 그래핀(12nm 플레이트, AO-3 그레이드)과 함께 혼합되어 그래핀 혼합 용액을 형성한다. 이 혼합 용액은 Fig. 1의 모식도를 따라 마이크로히터로 제작되게 된다.

먼저 정밀한 마이크로 머시닝을 통한

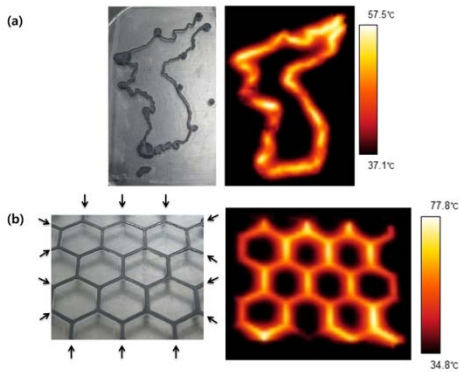


Fig. 2 Image of patterned graphene nanocomposite and its infrared snapshot: (a) micropattern of Korea map and (b) that of microhoneycomb.

PMMA 마스터 템플릿이 제작되었고 (Fig.1(a)), PDMS 리플리카 몰딩으로 마이크로 채널 구조를 가지는 PDMS 스탬프가 제작되었다. (Fig.1(b), (c)) 제작된 스탬프는 산소 플라즈마 처리 (Fig.1(d))를 거쳐, 모세관 현상으로 그래핀 혼합 용액이 패터닝되고, (Fig.1(e)), 용매인 GVL 의 증발로 그래핀 복합재료로 구성된 패턴이 PDMS 스탬프 위에 남게 된다. (Fig.1(f)) PDMS 스탬프와 PMMA 기판을 맞대고 열과 압력을 주면(Fig.1(g)), PMMA 기판 위에 그래핀 복합재료 마이크로히터 패턴이 제작된다.

3. Results

Fig.2 는 (a) 한국 지도와 (b) 벌집구조 모양으로 패터닝된 그래핀 복합재료 마이크로히터의 실제 이미지(왼)와 전압을 걸어주었을 때 발열되는 적외선 이미지(오른)이다. 패터닝된 마이크로히터는 뛰어난 연결성을 보이고, 연결된 부분은 발열 반응을 보였다.

Fig.3 은 20 %와 30 %의 그래핀 농도를 가지는 복합재료의 전압과 발열 사이의 관계를 나타낸다. 그래핀의 농도가 높아질수록 저항이 낮아져 낮은 전압에서도 더 좋은 발열특성을 보인다. 불균일한 그래핀 구배와 불균일한 패턴 넓이 때문에 순간적으로 전류가 흐르는 부분이 끊어져 그래핀 패턴의 연결이 끊어지는 현상을 확인하였다. (Fig . 3 (a))

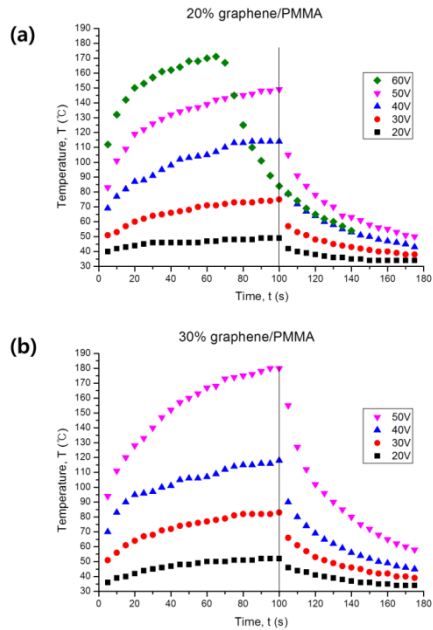


Fig. 3 Temperature variation of graphene/PMMA nanocomposite microheaters for (a) 20% v/v and (b) 30% v/v

4. 결론

본 논문에서는 모세관 현상, 핫 엠보싱 기술을 이용하여 진공 환경이 필요 없고, 독성 화학 물질이 이용되지 않는 간단한 그래핀 복합재료 마이크로히터 패터닝 기술을 제안하였다.

참고문헌

1. Tiggelaar R. M., Male van P., Berenschot J.W., Gardeniers J. G. E., Oosterbroek R. E., Croon de M. H. J. M., Schouten J. C., Berg van den A., Elwenspoek M. C., "Fabrication of a high-temperature microreactor with integrated heater and sensor patterns on an ultrathin silicon membrane", *Sens. Actuator A-Phys.*, **119**, 196-205, 2005
2. Niu X., Peng S., Liyu L, Wen W., Sheng P., "Characterizing and Patterning of PDMS-Based Conducting Composites", *Adv. Mater.*, **19**, 2682, 2007