

**폴리머 마이크로머시닝 기술에 의한 폴리이미드 촉각 센서 모듈**

김건년<sup>\*,\*\*</sup>, 이강열<sup>\*</sup>, 금창욱<sup>\*,\*\*\*</sup> 박정호<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>전자부품연구원, 나노메카트로닉스연구센터

<sup>\*\*</sup>고려대학교, 전기공학과

<sup>\*\*\*</sup>한국항공대학교, 항공재료공학과

**Polyimide-based Tactile Sensor Module by Polymer Micromachining Technology**

Kunyun Kim<sup>\*,\*\*</sup>, Kang Ryeol Lee<sup>\*</sup>, Chang Wook Geum<sup>\*,\*\*\*</sup> and James Jungho Pak<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Nano-Mechatronics Research Center, KETI

<sup>\*\*</sup>Department of Electrical Engineering, Korea University

<sup>\*\*\*</sup>Department of Aerospace Materials Engineering, Korea Aerospace University

**Abstract** - A flexible tactile sensor module based on polyimide matrix integrated with sensing elements and pluggable terminals connector was fabricated by polymer micromachining technology for robotic applications. The tactile sensor arrays are composed of 4×4, 8×8 and 16×16 sensing elements connected with pluggable terminals connector, respectively. Especially, both the tactile sensor array and the pluggable terminals are formed in the sensor module during the fabrication process. The fabricated tactile sensor module is measured continuously in the normal force range of 0~1N with tactile sensor auto-evaluation system. The value of resistance is relatively increased linearly with normal force in the overall range. The variation rate of resistance is about 2.0%/N in the range of 0~0.6N and 1.5%/N in the range of 0.6~1N. Also, the flexibility of the sensing module is adequate to be placed on any curved surface as cylinder because the matrix consists of polymer and metal thin film.

NiCr 박막 스트레인 게이지의 센싱 엘리먼트와 신호 처리를 위한 삽입형 단자 커넥터로 구성되어 있다. 촉각 센서 어레이는 삽입형 단자 커넥터와 연결된 4×4, 8×8 및 16×16의 센싱 엘리먼트로 구성되어 있다. 어레이의 단위 셀 크기는 1mm×1mm 이며, 전체적인 크기는 각각 1cm×1.5 cm, 1.5cm×2.5cm, 2.5cm×3.5cm 이다.

그림 1은 폴리머 기반 유연성 촉각 센싱 모듈의 제조에 대한 공정도를 나타낸 것이다. 촉각센서에서 폴리이미드층은 멤브레인의 두께로 정의 된다. Engel 등의 보고에 의하면, 제조된 촉각 센서의 멤브레인과 하중 블록은 각각 8μm 두께와 8μm 높이로 구성되어 있다[5]. 그러나 본 연구에서는 유연한 촉각 센서 제조에 있어서 멤브레인을 실리콘 기판 위에 80μm 이상의 두께로 제조할 수 있었으며 거울과 같은 면을 보였다. 스핀 코팅 공정으로 폴리이미드 층의 두께를 재료 사양에서 제시한 두께 보다 두껍게 코팅하는 것은 매우 어렵다. 리프트 오프를 위해 포토 리소그라피를 이용하여 패터닝을 한후, 금속 스트레인 게이지 및 첫번째 전극으로 NiCr 합금과 Au를 E-beam과 열 증착 시스템을 이용하여 폴리이미드 필름 위에 각각 300Å과 3000Å의 두께로 증착한다.

**1. 서 론**

촉각 센서는 물체의 주어진 특성과 물체와 센서간의 물리적 접촉을 통한 저항, 정전용량, 전압, 주파수 등의 물리적 신호를 측정하는 장치 또는 시스템으로 정의된다. 의학이나 산업자동화에서 인간형 로봇의 손이나 손가락을 사용하기 위해 로봇 공학에 적용할 수 있는 마이크로머시닝 기술 중 하나이다. 또한, 농업, 식품 가공, 의학, 치과, 오락, 섬유산업 등 미래 국내산업과 서비스 산업에서 다양하게 적용될 수 있다[1].

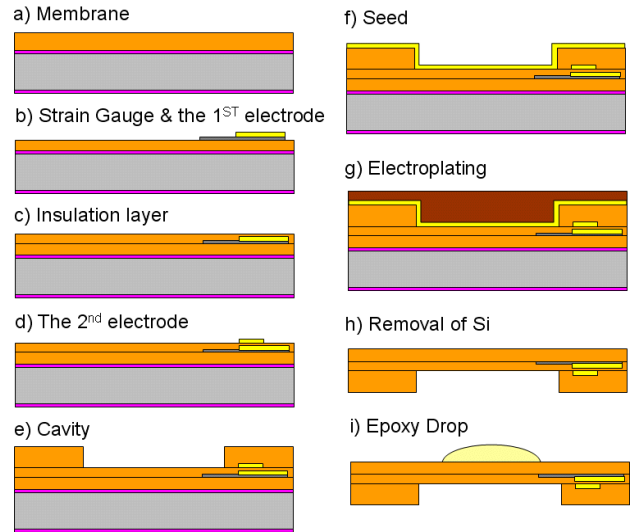
최근 인간형 로봇의 팔이나 손가락의 촉각 감지를 위한 응용 및 관심이 높아지면서[2], 압저항형 혹은 정전용량형의 실리콘 기반형 촉각센서 및 폴리머 필름위에 증착된 금속 스트레인 게이지를 이용하여 제조된 폴리머 기반 촉각센서에 대한 연구 개발이 보고되고 있다[3-5]. 실리콘 기반형 촉각센서는 수직력에 따른 감각 및 수평력에 의한 미끄러짐 감지가 용이하지만, 실리콘 자체에 유연성이 없고 취성 재료이므로 물체의 접촉에 의하여 다이아프램이 파괴되기 쉽다. 이와 반면, 폴리머 기반형 촉각 센서는 쉽게 깨지지 않고 매우 유연하지만, 수십 마이크론 두께의 필름을 이용하여 마이크로머시닝에 의해 촉각 센서를 제조하는 공정은 용이하지 않다는 단점이 있다. 이 센서는 우수한 분해능을 보유하고 있지만 멤브레인의 두께가 대략 10μm이기 때문에 힘이 인가되는 센싱 범위에서는 효율적이지 않다.

따라서 본 논문에서는 로봇 응용을 위해 마이크로머시닝 기술을 이용하여 신호 처리를 위한 삽입형 단자 커넥터와 촉각 센서 어레이가 직접화된 폴리이미드를 주요 매트릭스로 한 적절한 분해능과 감지범위를 갖도록 제작 개발하는데 그 목적이 있다.

**2. 센서 제작**

센서 어레이는 금속 박막으로 증착된 멤브레인과 물체 접촉을 위한 하중 블록 및 인가된 힘에 의한 멤브레인 변위를 위한 Cavity로 이루어져 있다. 또한 센싱 엘리먼트는 응력에 따른 변위가 가장 큰 멤브레인의 가장자리에 배치한다.

센서 모듈의 구조는 폴리머 마이크로머시닝 기술에 의해서



**Fig. 1 Fabrication procedure of polyimide flexible tactile sensor module integrated with sensing elements and pluggable terminals connector**

폴리이미드층은 폴리이미드에 증착하는 금속층의 접착력을 향상하기 위해 포토 리소그라피 공정후 메탈 증착을 하기 전에 O<sub>2</sub> 플라즈마 시스템을 이용하여 200W에서 45초간 활성화 시킨다. NiCr 스트레인 게이지는 포토리소그라피 공정 후 증착된 금속층에서 Au 식각으로 형성된다. 다음으로 HD 4000 폴리이미드를 이용하여 포토 리소그라피 공정으로 2.5μm 두께의 폴리이미드 절연층을 형성한다. 이 공정에서 두 번째 전극과 연결을 위한 패드

원도수가 열리게 된다. Cr/Au는 E-beam과 열증착 시스템을 사용하여 폴리이미드 절연층 위에 300Å과 3000Å의 두께로 증착된다. 포토리소그래피 공정후 두번째 전극은 금속 식각 공정으로 형성된다. 폴리이미드 멤브레인의 변위를 위한 캡을 만들기 위해서, 50 $\mu$ m 이상의 두께를 가진 폴리이미드 Cavity는 Durimide 7320를 이용하여 포토리소그래피 공정후 형성된다. PI 2611을 사용하여 얻을 수 있는 80 $\mu$ m 이상의 두께로 폴리이미드 멤브레인을 형성하는 것 만큼 스프인 코팅 공정에 의해 폴리이미드 Cavity층의 두께를 증가시키는 것도 매우 어렵다.

접지 전극 형성 및 삽입형 단자의 도금을 위해 100Å 두께의 Cr과 1000Å 두께의 Au를 폴리이미드 Cavity 층 위에 증착하고 포토리소그래피를 이용하여 PR 몰드를 형성한 후 삽입형 단자 커넥터는 전기 도금공정에 의해 제조 된다. 여기서 도금 재료로는 Cu, Ni, Au를 이용한다. 유연한 촉각 센서 모듈은 HNA(HF, HNO<sub>3</sub> 및 CH<sub>3</sub>COOH의 혼합물) 용액내에서 실리콘 기판을 제거하고 디스펜싱 머신을 이용하여 각 단위 셀의 멤브레인 중앙에 UV 에폭시 dot를 디스펜싱 함으로써 완성된다. 제어기의 커넥터 소켓에 삽입할 수 있도록 절단하여 완전한 유연성 촉각 센서 모듈을 얻을 수 있었다.

### 3. 결 과

본 연구에서는 폴리머 마이크로머시닝 기술에 의하여 NiCr 스트레인 게이지를 이용한 센싱 엘리먼트 어레이와 신호 처리를 위한 삽입형 단자 커넥터로 집적화된 유연한 촉각 센서 모듈을 성공적으로 제조하였다.

촉각 센서 어레이와 삽입형 단자 모두 제조공정에서 센싱 모듈에 놓여진다. 제조된 촉각 센서 모듈은 촉각 센서 자동화 평가 시스템을 이용하여 0~1N의 범위에서 수직력을 인가함으로써 연속적으로 측정된다.

지지대 역할의 실리콘 웨이퍼에서 분리된 폴리이미드 매트릭스에서 확대된 센서 어레이와 완료된 유연성 촉각 센서 모듈을 그림 2에서 보여 준다. 그림 2의 a)~c)는 각각 4x4, 8x8, 16x16 어레이 촉각 센서 모듈이며, 삽입형 단자 커넥터와 센싱 엘리먼트 어레이와 연결된 것을 확인할 수 있다.

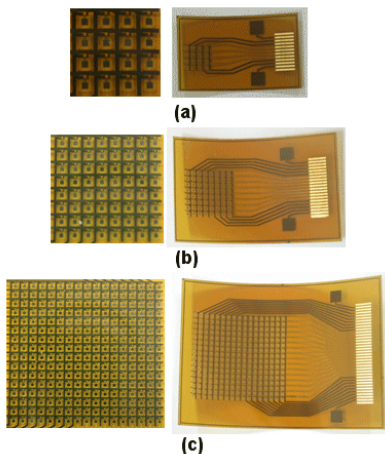


Fig. 2 Images of expanded sensor array and the flexible tactile sensor module

삽입형 단자 커넥터는 신호 처리를 위해 제어기의 커넥터 소켓에 쉽게 삽입할 수 있도록 제조된 것을 보여주고 있다. 각각의 4x4, 8x8, 16x16 어레이 촉각 센서 모듈에서 그라운드와 스페이스 단자를 포함하여 각각 12, 20, 36개의 전극라인으로 구성되어 있다.

그림 3은 0~1N의 범위에서의 인가된 수직력에 대한 저항 변화를 나타낸 것이다. 전체적인 범위에서 저항값은 인가된 수직력에 따라 비교적 선형적으로 증가한다. 저항의 변화율은 0~0.6N에서는 약 2.0%/N이며 0.6~1N에서는 약 1.5%/N로 산출된다.

또한, 센서 모듈의 유연성은 원기둥과 같은 곡면에 놓이기에 적당하다. 왜냐하면 그림 4와 같이 매트릭스가 폴리머와 금속 박막으로 구성되어 있기 때문이다. 결과적으로, 이 센서 모듈은 평평한 표면뿐만 아니라 로봇의 촉각 감지에 요구되는 곡면에도 충분히 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

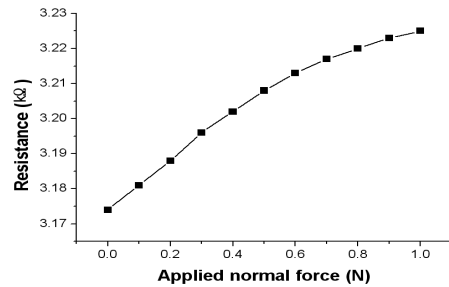


Fig. 3 The resistance value as a function of applied normal force in the range of 0~1N

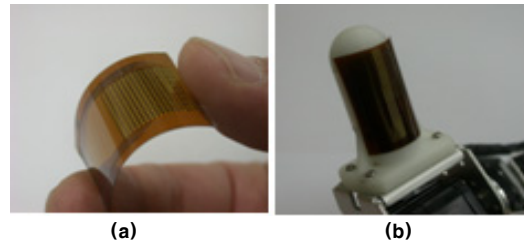


Fig. 4 Images of a)the flexibility of tactile sensor module and b)the sensor module on the finger of robot

### 4. 결 론

본 연구에서는 폴리머 마이크로머시닝 기술에 의하여 NiCr 스트레인 게이지를 이용한 센싱 엘리먼트 어레이와 신호 처리를 위한 삽입형 단자 커넥터가 집적화된 유연한 촉각 센서 모듈을 각각 4x4, 8x8, 16x16 어레이별로 제조하는데 성공하였다.

제조된 촉각 센서의 수직력에 따른 신호는 저항으로 측정되는데, 0~1N의 범위에서의 인가된 수직력에 대한 저항 변화는 인가된 수직력에 따라 비교적 선형성을 보인다. 저항의 변화율은 0~0.6N에서는 약 2.0%/N이며 0.6~1N에서는 약 1.5%/N로 산출되었다. 또한, 센서의 매트릭스가 폴리머와 금속 박막으로 구성되어 있기 때문에 촉각 센서 모듈의 유연성은 원기둥과 같은 곡면에 장착하기에 적당하다. 따라서 제조된 촉각 센서 모듈은 촉각 감지용으로서 평평한 표면뿐만 아니라 인간의 손가락 또는 팔과 같은 곡면에도 적용될 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 정보통신부 선도기반기술개발사업의 지능형 로봇 센서 기술 개발 (4차년도)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

[1] M. H. Lee and H. R. Nicholls, "Tactile sensing for mechatronics - a state of the art survey," *Mechatronics*, Vol. 9, pp. 1-31, 1999.

[2] B. J. Kane, M. R. Cutkosky and G. T. A. Kovacs, "A traction stress sensor array for use in high-resolution robotic tactile imaging", *J. Microelectromech. Syst.*, Vol. 9, pp. 425 - 434, 2000.

[3] T. Lomas, A. Tuantranont and A. Wisitsoraat, "Polysilicon piezoresistive tactile sensor array fabricated by polyMUMPs process", *IEEE Conference on sensors 2006*, pp. 1313-1316, Oct. 2006.

[4] F. Castelli, "An integrated tactile-thermal robot sensor with capacitive tactile array", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 38, pp. 85-90, 2002.

[5] J. Engel, J. Chen, Z. Fan and C. Liu, "Polymer micromachined multimodal tactile sensors," *Sens. Actuat. A*, Vol. 117, pp. 50-61, 2005.