

# Detection Property of Red Blood Cell-Magnetic Beads Using Micro Coil-Channel and GMR-SV Device

Ji-Soo Park, Nu-Ri Kim, Hyun-Jun Jung, Purevdorj Khajidmaa, Munkhbat Bolormaa, and Sang-Suk Lee\*

Dept. of Oriental Biomedical Engineering Sangji University, Wonju, Korea

The micro device, coil, and channel for the biosensor integrated with the GMR-SV device based on the antiferromagnetic IrMn layer was fabricated by the light lithography process. When RBCs coupled with several magnetic beads with a diameter of 1  $\mu\text{m}$  passed on the micro channel, the movement of RBC +  $\mu\text{Beads}$  is controlled by the electrical AC input signal. The RBC +  $\mu\text{Beads}$  having a micro-magnetic field captured above the GMR-SV device is changed as the output signals for detection status. From these results, the GMR-SV device having the width magnitude of a few micron size can be applied as the biosensor for the analysis of a new magnetic property as the membrane's deformation of RBC coupled to magnetic beads.

Keywords : GMR(giant magnetoresistance)-SV(spin valve) device, micro coil, channel, biosensor, RBC (red blood cell), magnetic bead

## 1. 마이크로 코일-채널과 GMR-SV 소자 복합구조체 제작

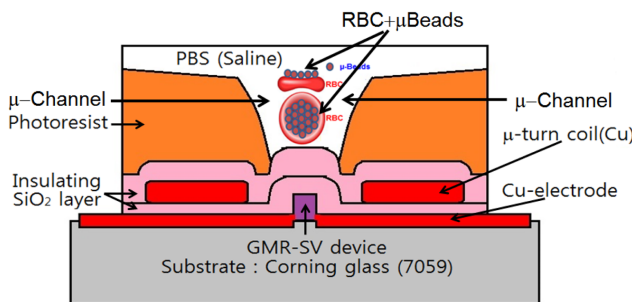


Fig. 1

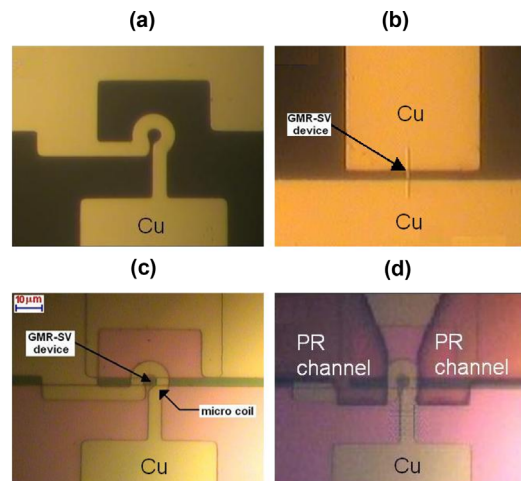


Fig. 2.

Fig. 1에서 보여주듯이 코일-채널-소자가 모듈화하기 위한 복합구조는 마이크론 크기의 생체분자인 적혈구가 통로로 따라 흐를 때 이를 제어하기 위한 형태로 구성되었다. 우선 기판인 Corning glass(#7059) 위에 GMR-SV 박막을 증착하였다. 1차 광리소그래피 공정과 ECR-ion milling 과정을 거쳐 폭과 길이가 각각 1  $\mu\text{m}$ 와 20  $\mu\text{m}$ 의 크기를 갖은 GMR-SV 소자를 제작하였다. 2차 광리소그래피 공정을 거쳐 Cu 전극을 패터닝하여 바이오센서용 GMR-SV 전극소자를 만들었다. 개발된 GMR-SV 바이오소자의 중앙 소자 부분을 제외한 가장자리 모든 전극 부분에만 PR을 남긴 채 SiO<sub>2</sub> 절연층 박막을 rf 스퍼터링 방법으로 코팅하였다. GMR-SV 전극통로와  $\mu$ -코일 전극통로가 서로 연결되지 않도록 절연층 SiO<sub>2</sub> 박막을 rf 스퍼터링 법으로 100 nm 두께로 증착하였다.

중앙부분에 Cu 층을 고르게 증착한 후 한번 감은  $\mu$ -코일은 3차 리소공정으로 패터닝한 후 ECR-ion 밀링인 건식식각을 거쳐 완성하였다. 여기서 코일에 인가하는 전극은 GMR-SV 전극과 별개의 위치에 배치되게 하였다. 앞 단계에서 언급한 바와 같이  $\mu$ -코일 Cu 통로와 중앙부분에 놓이게 될 생리식염수의 전도성에 의한 누설 효과가 발생하지 않도록 다시 100 nm 두께의 절연층 SiO<sub>2</sub> 박막을 rf 스퍼터링법으로 증착하였다. 4차 리소공정에서 PR을 도포한 후 패터닝하여 마지막 단계인  $\mu$ -채널을 제작하였다.

PR의 두께와 채널 폭은 각각 2  $\mu$ m와 10  $\mu$ m가 되므로 GMR-SV와  $\mu$ -코일이 일치하는 중앙부분에 채널형태의 골을 형성하게 되어 Fig. 1에서 보여주는 것과 같이 생리식염수 내에 적혈구 +  $\mu$ 자성비드가 자유롭게 액체의 압력에 의해 흐를 수 있도록 되어 있다. Fig. 1에서 설명한 복합구조체를 형성하기 위한 각 단계별 리소그래피 공정을 거친 후 실제 패터닝 모양의 사진을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)은 기판 위에 코팅한 Cu 박막을 리소하여 패터닝한 한번 감은  $\mu$ -코일의 실제 모양이다. Fig. 2(b)는  $\mu$ -코일의 중심부분이 일치하도록 Ta/NiFe/Cu/NiFe/IrMn/Ta 다층박막으로 이루어진 GMR-SV 소자의 실제 모양이다. Fig. 2(c)는 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)가 같은 위치에 소자와 코일의 중심부분을 일치하여 복합구조체를 만든 실제 사진이다. Fig. 2(d)는 PR로 도포한 후  $\mu$ -채널을 패터닝한 최종적인 마이크로 코일-채널과 GMR-SV 소자 복합구조를 제작한 실제 모양이다.

## 2. 적혈구 흐름 제어를 위한 전기적 신호 응답

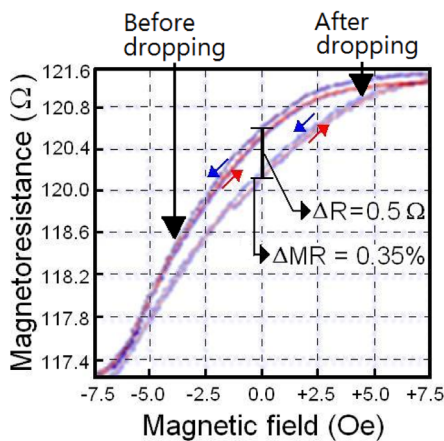
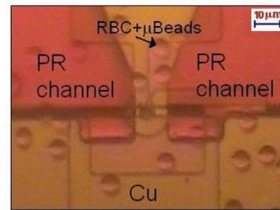


Fig. 3

(a) PR channel,  $\mu$ Coil, and RBC+ $\mu$ Beads



(b) Motion of RBC+ $\mu$ Beads

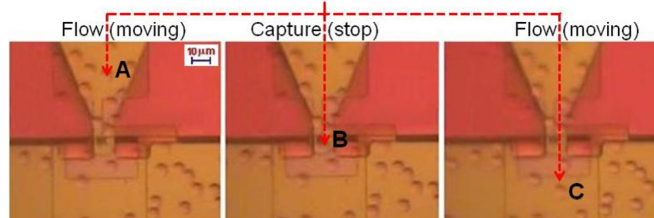


Fig. 4.

GMR-SV 소자와 적혈구가 놓인 곳을 광학현미경으로 확인 한 후, 탐침 봉을 두 전극 사이를 연결하여 자기 저항 특성을 조사하였다. 정확성을 위해 소자와 밀접한 거리에 가우스 미터(gauss meter) 프로브(probe)를 고정시켜 자성비드를 떨어뜨린 전과 후 측정된 minor MR loop를 Fig 3에서 보여 주었다. Fig. 3의 minor MR loop에서 알 수 있듯이 패터닝 후 GMR-SV 소자의 자기저항비는 3.5 %를 유지하고 있다. 외부자기장이 없는 0 Oe에서 완만한 자장감응도가 0.14 %/Oe인 자기저항곡선을 나타내었으며 교환결합력은 거의 0.15 Oe 근방의 값을 보여주었다. 일정한 값으로 유지하던 GMR-SV 소자의 자기저항 값은 Fig. 2(d)에서 보인바와 같이 자성비드가 결합된 RBC를 떨어뜨리기 전과 떨어뜨린 후 자성비드에 반응하여 증가하였다. 0 Oe 부근에서 약 0.5  $\Omega$ 과 약 0.35 % 차이를 갖는 자기저항비를 나타내었다. 여기서 Fig. 2와 같이 GMR-SV 소자에 정착된 자성비드는 인가된 자기장에 따라 자기저항비의 변화를 야기함을 알 수 있었다.

Fig. 2(d)에서 나타낸  $\mu$ -코일,  $\mu$ -채널,  $\mu$ -바이오소자 복합구조체 위에 생리식염수에 희석된 적혈구 +  $\mu$ 자성비드가 담긴 액체를 미세관 주사기에 넣어 압력차로 흐를 수 있도록 주사하였다. Fig. 1(a)처럼 PR의 2  $\mu$ m 두께와 10  $\mu$ m 폭인  $\mu$ -채널인 골을 따라 지나가는 적혈구 +  $\mu$ 자성비드가 존재하게 된다. Fig. 4(b)의 시간에 따라

적혈구 +  $\mu$ 자성비드 하나가 A→B→C의 경로로 이동하게 됨을 보여 주었다. A와 C 위치는 GMR-SV 소자 중심부를 가로지르는 채널을 통과하기 전과 후를 나타낸다. 특히 Fig. 4(b)의 B 위치에서 잠시 정지하는 이유는  $\mu$ -코일 AC 입력신호를 인가하여 적혈구 +  $\mu$  자성비드가 유도기전력에 의한 포획된 효과로 볼 수 있다. 이것은 적혈구 막변형에 의존하는 흐름과 유동 속도가 제어될 것으로 보인다. 즉, 균일한 팬케이크(Pan cake)의 모양인 적혈구가 변형되어 있는 막의 경우 유도기전력이 차이가 날뿐 아니라 생리식염수 내 흐르는 유동속도가 다를 것으로 사료된다. Fig. 4(b)에 나타난 것과 같이 관찰된 마이크로 코일-채널-소자 복합구조체 위에 있는 적혈구 +  $\mu$ 자성비드 GMR-SV 소자 중심부를 지나갈 때 코일에 인가한 AC 신호에 따라 정지하는 조건을 찾았다.

## 감사의 글

이 논문은 2015년도 상지대학교에서 지원하는 학술장려금의 연구결과이다.