

# 강자성체/부도체/반도체 터널 접합 구조를 통한 실리콘으로의 스핀 주입에서 어닐링에 의한 스핀 주입 신호의 변화

박준영<sup>1\*</sup>, 백승현<sup>1,2</sup>, 이경동<sup>1</sup>, 박병국<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, KAIST, Daejeon 305-701

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701

스핀트로닉스 소자 중 하나인 스핀 트랜지스터의 구동을 위해서는 스핀 주입, 스핀 탐지 및 스핀 제어의 세 가지가 원활하게 이루어져야 한다. 스핀 주입의 방법에 대해서는 여러 가지 연구가 이루어져 왔으나, 전기적인 스핀 주입이 집적 회로를 구성하는 데 적절하기 때문에 전기적 스핀 주입에 대한 연구가 이루어져 왔고, 아직까지는 효율을 높이는 방법에 대한 완벽한 이해가 이루어지지 않고 있다. 전기적인 스핀 주입에서 강자성체/부도체/반도체 터널 접합에 전류를 통과시키면 강자성체에서 스핀 분극된 전류가 반도체로 주입될 수 있기 때문에 이와 같은 구조가 널리 사용되고 있다. 이렇게 주입된 스핀에 대한 탐지는 그림 1과 같은 3전극 구조에서 터널 접합에 일정한 전류를 흘리며 외부에서 자기장을 가했을 때 변하는 전압을 측정하는 소위 Hanle 측정 [1]이라고 불리는 방법을 통해 이루어지게 된다. 여러 연구 결과에 따르면 스핀 주입 신호는 터널 접합의 계면 상태에 영향을 받아[2],[3] 스핀 주입된 양, 주입된 스핀의 수명이 바뀌어 신호의 크기 및 폭이 바뀔 수 있다. 이에 따라 보다 나은 계면 상태를 만들어 그 효율을 높이기 위해 계면 상태에 변화를 가할 수 있는 어닐링에 대한 연구가 필요하여 본 연구에서는 어닐링에 의한 Hanle 신호의 크기의 변화에 대해 알아보았다.

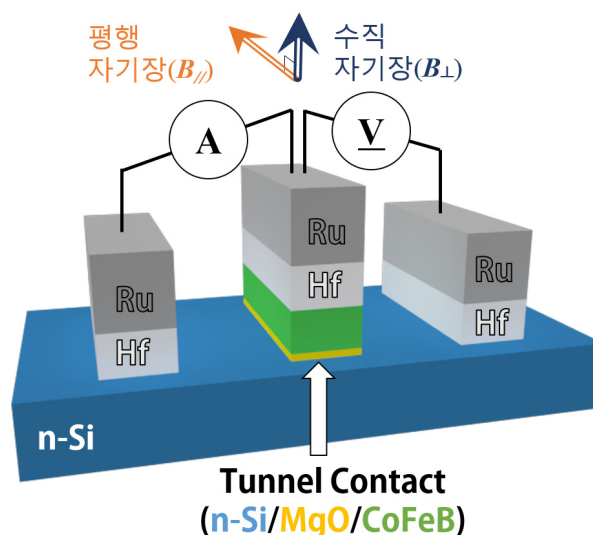


그림 1. 측정에 사용된 1개의 터널 접합을 가진 3전극 구조.

스핀 주입은 n-type 실리콘 기판 위에 증착된 MgO(1nm)/CoFeB(10nm) 터널 접합을 이용하여 이루어졌다. 수직 자기장 하에서의 스핀 신호는 그림 2(a)에서 보이듯이 바이어스의 크기에 따라 부호가 반전되는 현상이 관측되었으며, 200°C 어닐링 후(그림 2(b))에는 어닐링 전의 샘플에서 높은 바이어스에서 관측되던 Hanle 신호만이 측정되었다. 또한 어닐링 후에는 동일 바이어스에서의 Hanle 신호의 크기도 증가하는 것을 보여주었다. 이로부터 관측된 스핀 신호는 서로 반대 부호를 가진 두 가지의 스핀 신호가 섞여 있는 것을 알 수 있었다. 다시 말하면, 어닐링에 의해 Hanle 신호는 증가한다고 볼 수 있으며, 그 반대 부호를 가진 신호는 제거되는

것이라고 볼 수 있다. 한편, 강자성체의 자화 방향에 평행한 방향의 자기장 하에서는 어닐링을 함에 따라 신호의 크기가 급격하게 줄어들음을 보였다. 수직과 평행 자기장 하에서의 어닐링 전후의 스핀 신호의 변화는 어닐링에 의해 터널 접합의 경계면 상태가 바뀌어 경계면의 결합이 줄어들어, 계면에서의 국부적인 에너지 상태를 통한 터널링 확률이 감소하기 때문으로 여겨진다. 따라서 수직 자기장 하에서는 이 영향이 감소하여 신호의 부호가 바뀌는 현상이 사라질 뿐만 아니라 크기도 증가하였으며, 평행 자기장 하에서는 이 영향의 감소로 인해 신호의 크기가 감소한 것이다. 더 높은 온도에서 어닐링 된 경우에는, Hanle 신호의 크기가 감소하여 측정되지 않는 현상을 보여주었다. 너무 높은 온도에서의 어닐링은 계면 결합의 감소뿐만 아니라 계면의 혼잡으로 인해 원활한 스핀 주입이 이뤄지지 않은 것으로 볼 수 있다. 이를 통해 스핀 신호 중 하나는 적당한 온도에서의 어닐링에 의해 제거될 수 있다는 것을 알았으며, 시편에 어닐링을 하여 측정하는 것은 복잡한 스핀 신호에서 한 가지의 제거가 가능하기 때문에 보다 정확한 분석에 도움이 될 수 있다.

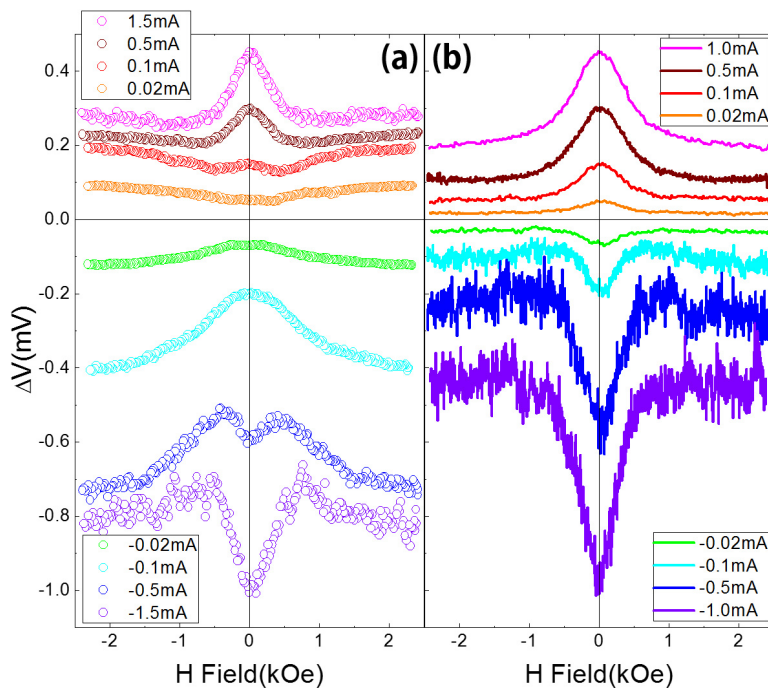


그림 2. (a) 어닐링 전과 (b) 어닐링 후의 수직 자기장 하에서의 바이어스에 따른 스핀 신호의 변화.

## References

- [1] S. P. Dash, S. Sharma, R. S. Patel, M. P. de Jong and R. Jansen, Nature 462, 491 (2009).
- [2] M. Tran, H. Jaffrès, C. Deranlot, J.-M. George, A. Fert, A. Miard, and A. Lemaître, Phys Rev. Lett. 102, 036601 (2009).
- [3] C. H. Li, O. M. J. van't Erve and B. T. Jonker, Nat. Commun. 2, 245 (2011).