

자기소용돌이 배열을 이용한 XOR 논리연산의 실험적 구현

정현성^{1*}, 최윤석¹, 한동수¹, 유영상¹, 이기석¹, 임미영², Peter Fischer², 김상국¹

¹서울대학교 재료공학부 스핀과 동역학 소자 연구단, 서울특별시 관악구 관악로 1, 151-744

²로렌스 버클리 국립 연구소 X-선 광학 센터, 버클리 94720, 미국

1. 서론

최근 자기소용돌이 형상을 갖는 패터닝 된 자성체 사이에 자기소용돌이 핵의 회전 운동을 이용한 정보전달 방법이 실험적으로 관찰되었다[1-3]. 본 연구에서는 자기소용돌이의 움직임에 의한 표유자계(stray field)를 제어함으로써 전산 모사를 통해 OR 및 XOR 논리연산을 설계하고 XOR 연산 작동을 자기 X-선 투과현미경(magnetic transmission soft x-ray microscopy)을 이용해 관찰하였다.

2. 연구 방법

OOMMF 코드[4]를 이용한 미소자기동역학 전산모사와 초미세 시공간분해능(25 nm 공간분해능, 70 ps 시간분해능)을 갖는 자기 X-선 투과현미경을 이용한 시각화 방법[5]이 사용되었다. 논리연산의 구현을 위해 세 개의 자기소용돌이 형상의 퍼멀로이($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$)원판을 일렬로 배열하였다. 연산 단위는 논리신호 입력 역할을 하는 양 단의 원판(원판 1, 3)과 출력의 역할을 하는 중앙의 원판(원판 2)으로 구성되며 자기소용돌이의 회전운동의 유/무로 신호의 켜짐('1')/꺼짐('0')을 판단한다. 자기소용돌이 회전운동의 입력을 위해 원판 1 혹은 3에 공명 진동수를 갖는 교류 자기장을 인가하여 저전력으로 신호를 발생시켰다. 실험에서는 양 단의 원판 위에 원판 지름보다 좁은 너비를 갖는 도선을 구성함으로써 국부적인 자기장 발생을 가능케 하였다. 충분한 시간 분해능을 얻기 위해 펄프-프로브 법을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

두 입력 원판의 핵의 수직자화 방향이 동일할 때, 두 원판에 동시에 신호를 인가할 경우 ('11') 입력 원판 1과 3에서 자기소용돌이 핵의 운동이 크게 관찰 되는 반면 원판 2에서는 자기소용돌이 핵의 운동이 관찰되지 않는다 (출력 '0'). 반면 원판 1이나 3 중 어느 하나에만 신호를 인가한 경우 ('10' 혹은 '01') 원판 2에도 자기소용돌이 핵의 운동이 관찰된다 (출력 '1'). 이 때의 핵의 운동은 인접한 원판과의 상호 작용에 의해 발생한 것이다. 이러한 입출력 관계는 XOR 논리함수로 표현된다. 반면 두 입력 원판의 핵의 수직자화 방향이 상이할 때는 입력 신호가 하나 이상 존재하는 경우 출력 원판 2에 핵의 운동이 발생하고 이는 OR 논리함수로 표현된다. 두 경우의 차이를 분석하기 위해 입력 원판의 자기소용돌이 핵의 움직임에 의해 발생하는 표유자계의 벡터 합을 고려하였다. 원판 2의 핵의 운동이 일어나지 않는 경우 유효 표유자계의 크기는 거의 0 이며 방향 또한 정확히 대칭을 이룬다. 반면 대칭성이 깨지는 경우 유효 표유자계의 크기는 0이 아니며 시간에 따라 방향이 특정 진동수를 가지고 변화하는 형태로 나타나게 되어 원판 2에서 자기소용돌이 핵의 운동이 발생하게 된다.

4. 결론

본 연구에서는 자기소용돌이 핵 회전운동의 공명 현상과 자기소용돌이 형상을 지닌 디스크 간의 상호작용을 이용하여 프로그램이 가능한 OR/XOR 논리연산을 설계하였으며 전산모사 및 실험을 통해 관찰하였다. 본 연구 결과는 자기소용돌이 배열을 이용한 신개념 논리소자 개발의 토대를 제공한다.

5. 참고문헌

- [1] H. Jung et al., Appl. Phys. Lett. 97, 222502 (2010); H. Jung et al., Sci. Rep. 1, 59; DOI:10.1038/srep00059 (2011).
- [2] S. Barman et al., IEEE Trans. Magn. 46, 1342 (2010); A. Voget et al., Appl. Phys. Lett. 99, 042506(2011).
- [3] A. Vogel et al., Phys. Rev. Lett. 106, 137201 (2011); S. Sugimoto et al., Phys. Rev. Lett. 106, 197203 (2011).
- [4] M. Donahue and D. Porter, OOMMF User's Guide, Version 1.0., Interagency Report NISTIR 6376, National Institute of Standards and Technology (1999).
- [5] P. Fischer, AAPPS bulletin, 18(6), 12 (2008).

이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20120000236). X-선 현미경의 운영은 the Director, Office of Science, Office of Basic Energy Sciences, Materials Sciences and Engineering Division, U.S. Department of Energy, (contract no. DE-AC02-05-CH11231)에 의해 지원되었음.