

## 철에서 자기장의 함수로 측정된 Fe<sup>57</sup> 핵자기 공명

한국과학기술원    도중희\*, 김민철, 이순철

### Fe<sup>57</sup> NMR in a pure iron as a function of magnetic field

Korea Advanced Institute of Science and Technology    J.H.Dho\*, M.C.Kim, S.Lee

#### 1. 서론

핵자기 공명은 강자성이나 반강자성의 연구에 매우 유용한 도구인 것으로 알려져 있다. 다중자구를 갖는 철에서 외부 자기장이 없을 때의 핵자기 공명 신호는 주로 구역벽에서 나오는 것으로 알려졌다.[1,2,3,4,5] 따라서, 구역에서의 신호를 관측할 수 없다. 구역에서의 핵자기 공명 신호를 관측하는 한가지 방법은 외부 자기장을 강하게 걸어 구역벽을 모두 없앤 후의 신호를 관측하는 것인데 철의 경우 우리가 아는 한 이러한 상태에서 구역에서 나오는 신호를 관측한 예가 없다.[5] 이 연구에서는 철의 핵자기 공명 신호를 외부 정자기장의 함수로 측정하였다. 이 실험에서 구역과 구역벽에서 나오는 신호를 구분할 수 있었으므로 신호 최대를 만드는 회전 자기장의 크기를 측정하여 수소의 신호와 비교함으로써 구역과 구역벽의 증폭인자를 각각 결정할 수 있었다. 또한 신호의 크기와 공명주파수의 외부 자기장 의존성을 hysteresis curve와 비교함으로써 강자성체의 자화과정에서 구역벽 운동과 구역의 회전에 대한 정보를 얻을 수 있었다.[3] 그리고, 구역벽이 사라진 후의 공명주파수의 외부 자기장에 대한 변화에서는 초미세작용의 크기와 부호를 결정할 수 있었고, 자기소거장의 크기도 알 수 있었다.

#### 2. 실험 방법

핵자기 공명 실험은 펄스 방법을 이용하였으며, 병렬 공진회로의 코일에 철 시료를 넣고 상온에서 90-180 펄스를 이용하여 공명주파수와 신호의 크기를 외부 자기장 1Tesla까지 측정하였다. 시료의 자화곡선 측정에는 VSM을 이용하였고, 시료는 불림된 것과 불림되지 않은 것 두 가지를 사용하였다.

#### 3. 실험 결과 및 고찰

사용된 시료들은 보자력이 매우 작아 연자성이며 불림되지 않은 시료와 불림된 시료의 자화곡선에 큰 차이를 발견할 수 없었다. 그러나 자화곡선에서는 잘 관측되지 않는 불림의 효과를 핵자기 공명의 선폭에서 뚜렷이 정량적으로 관측할 수 있었다. 외부 정자기장 없이 측정된 핵자기 공명 신호의 선폭은 불림되지 않은 철 시료의 경우 약 160KHz에서 불림된 후에는 약 50KHz로 감소하였다. 줄어든 선폭 110KHz는 약 0.8kG의 불균일 자기장에 해당된다. 그림 1은 상온(294°K)에서 외부 정자기장을 10kG까지 변화시켜 가면서 측정된 불림된 철 시료의 공명주파수이다. 7.5kG 이상의 정자기장에서 공명주파수가 선형적으로 감소함은 이때부터 자화의 방향이 외부 자기장과 평행한 상태가 되었음을 의미하며 또한 음의 기울기는 초미세자기장이 전자 스핀이 만드는 자화에 대하여 반대 방향임을 의미한다. 공명주파수로 부터 결정한 구역벽에서의 초미세자기장은 -330.2KG이다. 자기소거장의 크기는 외부 정자기장 7.5kG 이상에서 공명주파수를 linear fitting하여 외부 정자기장 영으로 외삽하여 얻은 주파수와 실제 측정된 주파수 차이로부터 결정할 수 있고, 측정된 크기는  $7.3 \pm 0.7$  kG이었으며 이는 구형 시료의 자기소거인자  $4\pi/3$ 와 철의 포화자화 1710G[6]의 곱인 7.2kG와 거의 일치한다. 그림 2의 검은 사각형은 상온에서 회전 자기장을 고정시키고 외부 정자기장을 1kG씩 변화시켜 가면서 측정된 철 시료의 스핀메아리 신호이다. 그림 1에서 보듯이 외부 자기장이 7.5kG를 초과하면 단일자구가 되는데 스핀메아리의 크기도 이 이상이 되면 거의 사라지므로 외부 자기장이 영일때의 스핀메아리 신호는 주로 구역과 구역 사이에 존재하는 구역벽에 있는 핵스핀에 의한 것으로 생각할 수 있다. 신호는 3kG를 지나면서 급격히 감소하는데 이는 구역벽의 급격한 감소, 즉 구역의 회전과정이 일어남을 의미한다. 그런데, 그림 2의 외부 자기장에 따른 자화는 3kG에서 이미 포화에 가까워 있으므로 자화의 초기 과정인 구역벽의 이동 과정에서 자화는 거의 포화됨을 알 수 있다. 일반적으로 구역에서의 증폭효과가 구역벽에서보다 작기 때문에 구역에서 90-180 펄스 열에 의한 최대 스핀메아리 신호를 관측

하기 위해서는 구역벽의 신호를 관측할 때보다 회전 자기장을 증가시켜야 한다. 이전의 실험들에서는 구역에서의 신호를 관측할 수 없었으나, 이 실험에서는 실제로 회전 자기장을 증가시켜 증가된 구역에서의 스핀메아리를 관측할 수 있었다. 그림에서 하얀 원은 스핀메아리가 최대가 되도록 외부 자기장의 변화에 따라 회전 자기장 역시 변화시켜 가면서 측정된 스핀메아리의 크기이다. 증폭계수는 스핀메아리 신호가 최대가 되는 회전 자기장으로부터 구할 수 있다.  $\Delta r - t - 2\Delta r$  펄스 열을 사용한 경우 스핀메아리가 최대가 되는 때는 회전각이  $\pi/2$  일 때이므로 이 조건을 만족시키는 회전 자기장의 크기는 증폭계수에 역비례 한다. 그림3는 불림된 철에서 외부 스핀메아리 최대를 만드는 회전 자기장을 수소 핵자기 공명에 필요한 회전 자기장과 비교하여 얻어진 증폭계수이다. M.B.Stearns은 구역벽에서의 증폭계수가 구역벽 중심에서 거리 x만큼 떨어진 곳에서  $\epsilon_0 \operatorname{sech}x$ 와 같은 분포를 가지고 있다고 하였다.[5] 얻어진 구역벽 중심에서 증폭계수는 불림되지 않은 철에서  $1850 \pm 200$  이고, 불림된 철에서  $3200 \pm 300$ 이다.

[참고문헌]

[1] M.A.Butler, G.K. Wertheim, and D.N.E.Buchanan, Phys.Rev.B. 5, 990 (1972)  
 [2] M. Weger, E.L.Hahn and A.M.Portis, J.Appl.Phys. 32, 124S (1961)  
 [3] A.M.Portis and A.C.Gossard, J.Appl.Phys. 31, 205S (1960)  
 [4] M. Weger, Phys.Rev. 128, 1505 (1962)  
 [5] M.B.Stearns, Phys.Rev. 162, 496 (1967) Phys.Rev. 187, 648 (1969)  
 [6] D.Jiles *Introduction to magnetism and magnetic materials* (Campman and Hall 1991)

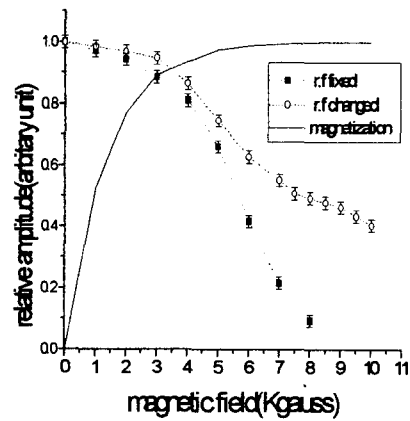
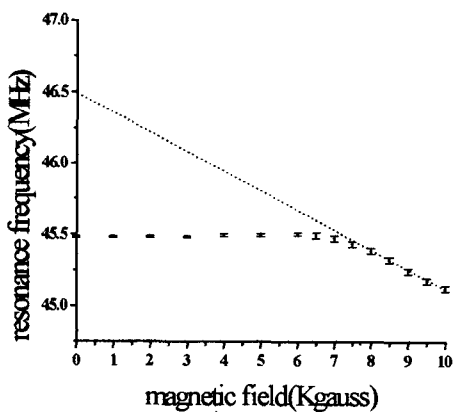


Fig.1. field dependence of the resonance frequency Fig.2. field dependence of the echo & magnetization

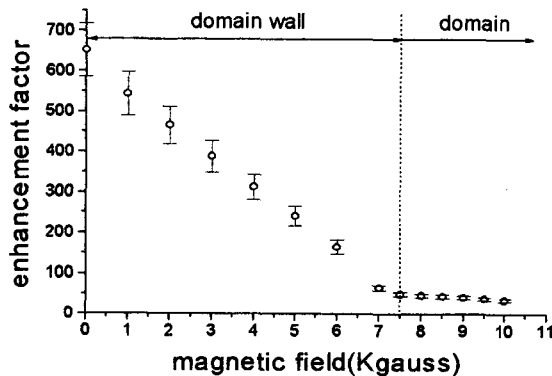


Fig.3. field dependence of the average enhancement factor