

유한 효과에 의한 Gadolinium 박막의 Curie 온도 이동

이일수, 추교진, 이의원, 이상윤
 경북대학교 자연과학대학 물리학과, 대구 706-701

이종용
 한국전자통신연구소 기초기술부, 대전 305-606

김양수, 김동락, 이형철
 기초과학지원센터, 대전 305-333

1. 서론

자기계에서 강자성에서 상자성으로의 전이는 비열, 자발 자화 등에서 이차 상전이 현상의 특징을 나타낸다. 그리고 이 자기계가 박막의 경우(유한계)에는 위 특징들이 bulk계와 상당히 다르게 나타난다. 가장 쉽게 이 현상을 볼 수 있는 것이 박막의 두께에 따른 전이 온도의 이동 현상이나 이는 유한축척이론(1)에 의해

$$\frac{T_c(\infty) - T_c(d)}{T_c(\infty)} \sim d^{-\lambda} \quad (1)$$

와 같이 표현된다. 여기서 $T_c(\infty)$ 와 $T_c(d)$ 는 각각 bulk계와 유한계에서의 전이 온도를 나타내고 λ 는 상관 거리 $\xi(T) \sim (1 - \frac{T}{T_c(\infty)})^{-\nu}$ 에서의 임

계 지수를 표시한다. 액체 헬륨을 이용하여 이 유한축척이론을 검증하려는 노력이 있어왔다. 그러나 헬륨 박막의 비열과 초유체전이온도등을 측정(2),(3)하야 얻은 값은 λ 의 값이 실험에 따라 1.0에서 1.8사이에 있다는 것을 발견했다. 그러나 이는 이론적인 예측 값인 1.4와 크게 동떨어짐을 보여 주었다. 자기계에 대한 최초의 체계적인 실험은 Ni박막의 저항률을 측정하여 전이 온도를 결정한 실험(4)이다. 이차 상전이에서 비열은 anomaly를 갖는데 저항률의 온도에 따른 도함수가 비열에 비례한다

고 하는 가정에 근거하여 이 실험이 행해졌으며 유한축척이론에 따른 실험치의 분석에서 λ 의 값이 1.01 ± 0.1 임이 밝혀졌다. 이와 같이 유한축척이론에 대한 부정적인 여러 실험 결과가 나와있으나 자기 박막의 두께에 따른 다른 물리적 성질, 즉 비열, 자화도의 변화에 대한 체계적인 실험 결과가 없는 형편이다. 우리는 이에 gadolinium 박막의 두께에 따른 전이 온도 변화를 포화자기화를 측정함으로써 결정해 유한축척이론에 근거하여 이 결과를 분석하였다.

2. 실험 및 결과

순도 99.99%의 gadolinium을 E-beam 증착기(Leybold Univex 450)를 이용하여 Corning 7059 유리기판위에 증착하였다. 증착중의 분위기 압력은 10^{-7} Torr 정도였고 초당 10 Å의 속도로 증착하였다. 그리고 증착후 400°C 온도에서 4시간 정도 진공 열처리 하였다. 이렇게 만든 시료를 가지고 Quantum Design社의 SQUID magnetometer (Model MPMS 7)를 이용하여 온도에 따른 자기화의 변화를 측정하였다. 각 시료에 대해 100K 정도에서 magnetization을 측정하여 포화가 될 정도의 자장을 결정한 후 자장을 이 값에 고정시킨 후 온도를 변화시키면서 자기화를 측정하였다.

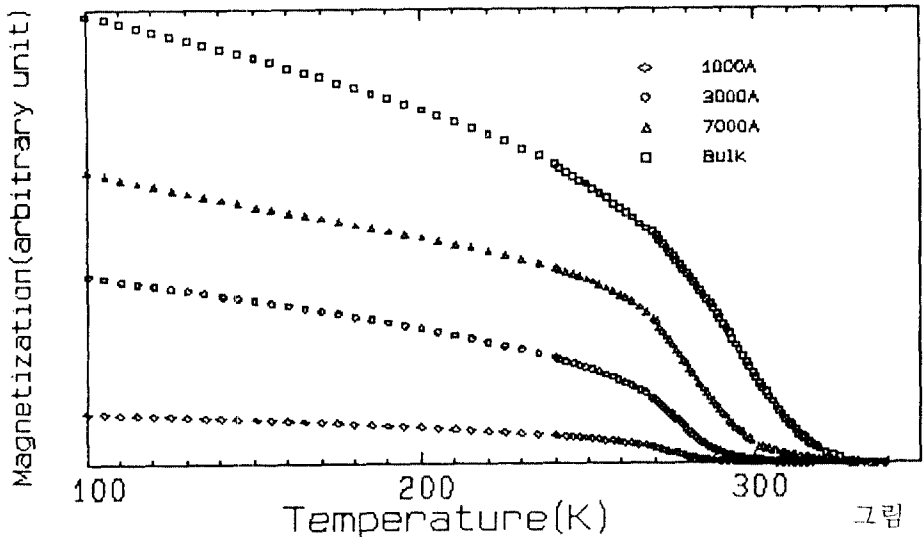


그림 1.

1000 Å, 3000 Å, 7000 Å의 박막과 기준값을 위한 bulk gadolinium(0.025"두께의 gadolinium판을 잘라 사용)에 대해 측정한 자기화-온도 실험치가 그림 1에 주어져있다. 이 그림에서 얇은 박막의 전이온도가 박막의 두께가 얇아짐에 따라 bulk계의 전이온도보다 점점 낮은 온도쪽으로 이동함을 볼 수 있다. 자기화가 전이온도에서 급격히 감소하여 零으로 떨어지지 않는 것은 표면 효과, 즉 유한 자기스핀상관효과 때문이다. 이런 경우 전이온도는 tail의 방향이 변하는 점, 즉 (자기화의 온도 도함수-온도) 그림에서 변곡점을 찾음으로써 결정할 수 있다. 이렇게 결정한 Curie온도의 값은 1000 Å, 3000 Å, 7000 Å, bulk에 대해 각각 $270 \pm 2K$, $280 \pm 3K$, $285 \pm 4K$ 와 $291 \pm 2K$ 였다.

유한축척이론을 검증하기 위해 식(1)의 양쪽을 ln을 취하여

$$\ln(T_c(\infty) - T_c(d)) \sim -\lambda \ln d + \text{const} \quad (2)$$

와 같이 놓는다. 그러면 y축을 $\ln(T_c(\infty) - T_c(d))$, x축을 $\ln d$ 로 취하여 그래프를 그리면 직선을 얻고 직선의 기울기가 $-\lambda$ 가 된다. 그림 2에 이에 대한 그래프가 주어져 있다. 여기서 얻은 직선의 기울기는 0.80 ± 0.15 이다. 이는 다른 여러 실험 결과와 같이 유한축척이론이 맞지 않음을 보여주고 있다. 유한축척이론을 정확히 다시 검증하기 위해서는 자기계의 온도에 따른 비열등 다른 물리량의 실험값이 더욱 필요하며 또한 지금의 이론과 실험의 차이를 설명할 수 있는 다른 이론이 필요하다

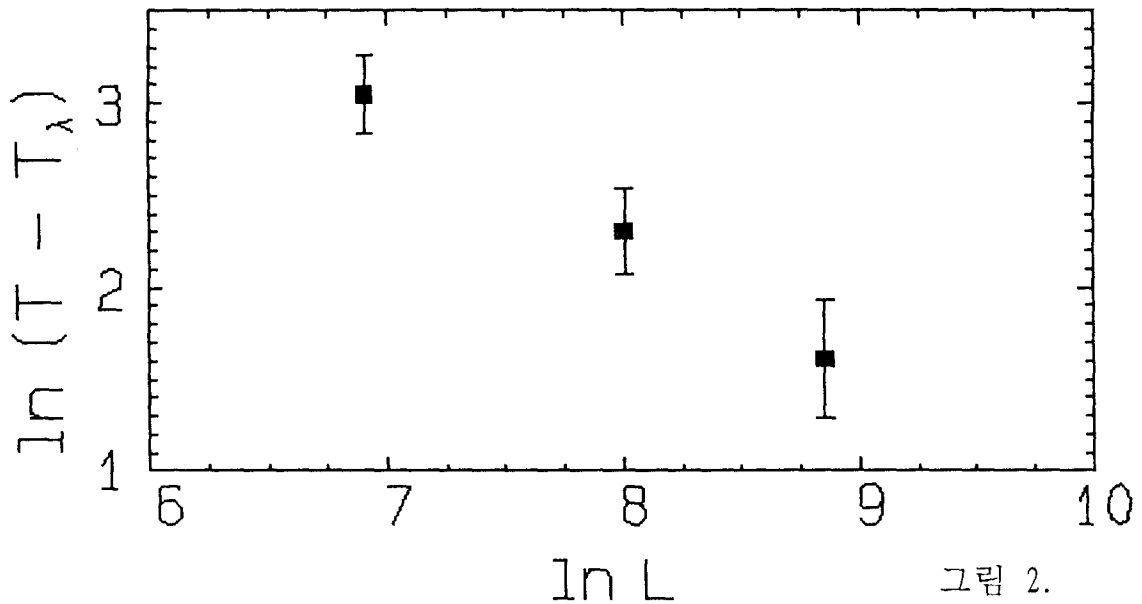


그림 2.

감사의 글

이 연구는 1993년 학술진흥재단 및 교육부의 기초과학연구소 연구비로 행해졌기에 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) M.E. Fisher, in Critical Phenomena Course 51 of Proceedings of the International School of Physics, "Enrico Fermi", edited by M.S. Green (Academic Press, New York 1971)
- (2) T.P. Chen and F.M. Gasparini, Phys. Rev. Lett. 40 331 (1978)
- (3) F.M. Gasparini and Ilsu Rhee, Progress in Low temperature Physics, Vol XIII, edited by D.F. Brewer (Elsevier Science Publishers, B.V., Amsterdam, P.1 ~ P.90, 1992)
- (4) H. Lutz, P. Scoboria, J.E. Crow and T. Mihalisin, Phys.Rev. B 18 3600(1978)