

Ni-Mn-Ga 합금의 자기적 특성과 자기열량효과

민성기^{1*}, 장영덕¹, 김경섭^{2,3}, 유성초¹, 김영석^{2,3}, 김유찬⁴

¹BK-21 Physics Program, 충북대학교 물리학과

²BK21 충북정보기술사업단

³충북대학교 전기전자 컴퓨터공학부

⁴한국과학기술연구원

1. 서론

현재 일반적인 냉동기는 증기 압축식 냉동으로 CFC, HCFC, HFC 등의 냉매를 사용함으로써 오존층 파괴나 지구 온난화 등의 문제를 발생시키는 원인이 되고 있다. 따라서 이러한 냉매를 사용하지 않는 냉동기를 사용한다면 대기오염을 크게 줄일 수 있을 것이다. 이러한 냉매로서 가장 먼저 사용된 재료는 Gd이다. 1976년에 Brown⁽¹⁾은 최초로 실온에서 작동하는 자기냉동기를 보고한 바 있다. 그는 가돌리늄(Gd)을 자기냉매로 사용하여 유체(물 80%와 에틸알코올 20%)를 재생시킴으로써 7 T의 큰 자기장에서 47 °C의 온도차(고온부 46 °C, 저온부 -1 °C)를 얻었다. 그러나 실제 상온에서의 냉동기의 실현은 1997년 미국 Astronautics사(Madison, Wisconsin)와 Ames 연구소(Ames, Iowa)의 공동연구팀에 의해서 이루어졌다⁽²⁾.

2. 실험방법

Ni, Mn, Ga 원소를 화학조성에 맞게 칭량하여 아크용해로에 아크용해법을 이용하여 합금을 제조한다. 제조한 합금을 다시 진공상태의 유리관 속에 넣어 밀봉, 1100 K에서 9일 동안 열처리를 하였다. 제조된 합금은 XRD를 이용하여 구조를 확인하였습니다. VSM을 이용하여 자기이력곡선과 자기화의 온도의존성, isothermal magnetization을 측정하였습니다.

3. 실험결과

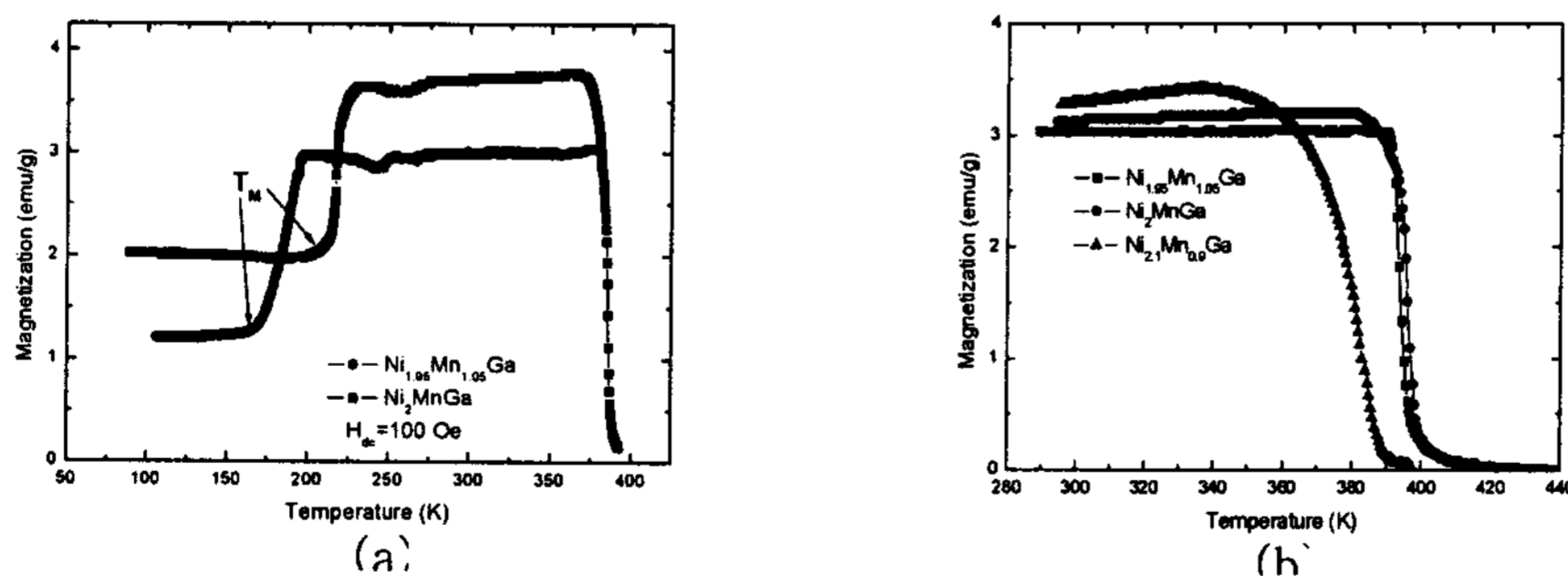


그림 1. Ni-Mn-Ga 합금 자기모멘트의 온도의존성.

그림 1은 VSM을 이용하여 측정한 자기화의 온도의존성 그래프이다. 그림(a)는 구조변화를 확인하기 위한 그래프로 저온영역을 중심으로 측정한 그래프이다. 그림(b)는 큐리온도를 확인하기 위한 고온영역을 측정한 그래프이다. 그림(a)에서 검은색 그래프는 Ni₂MnGa 합금을 나타내는데 그림에서 보듯이 온도가 증가함에 따라 자기화값이 증가하였다가 감소하게 된다. 이것이 바로 구조적인 변화 때문에

생기는 특징이다. 구조는 tetragonal martensite에서 cubic austenite 구조로 변화하는데 이 온도를 T_M 이라 하며 T_M 변화를 살펴보면 Mn의 함량이 1인 경우 170 K, Mn의 함량이 1.05로 증가한 경우 T_M 은 218 K로 약 48 K 정도 증가함을 보였다.

그림 (b)는 각 합금에 대한 큐리온도를 보여주고 있다. 본 실험에서 Ni_2MnGa 의 합금의 경우 큐리온도는 388 K였다. Mn의 함량이 1.05인 $Ni_{1.95}Mn_{1.05}Ga$ 합금의 경우 큐리온도는 이론상 약간 증가를 하여야 하나 실제 실험에서는 약간 감소한 386 K를 보이고 있다. 그러나 Mn의 함량이 0.9인 $Ni_{2.1}Mn_{0.9}Ga$ 합금의 경우를 보면 큐리온도가 385 K로 Mn 함량이 많은 합금들 보다 작은 값을 보임을 알 수 있다. 이 이유는 Ni의 함량이 많아지면 순자기모멘트를 갖는 Mn 이온간의 거리가 멀어져 상호작용이 작아짐으로 해서 큐리온도가 낮아지게 되는 것이다.

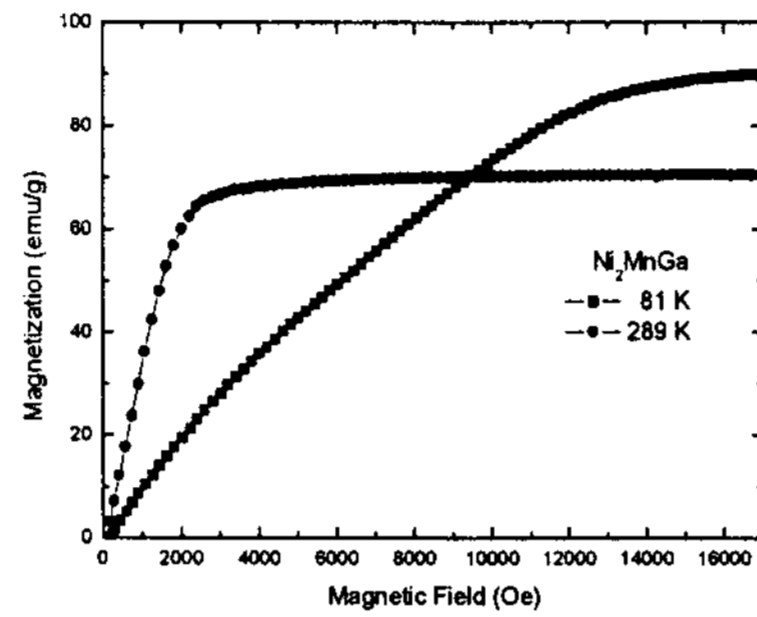


그림 2. Ni_2MnGa 합금에 대한 Isothermal magnetization.

그림 2는 Ni_2MnGa 합금에 대한 isothermal magnetization 그래프를 나타낸 것이다. 81 K와 289 K 두 개의 온도에 대하여 측정된 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 81 K에서 측정된 자기모멘트의 변화를 살펴보면 외부자기장이 9300 Oe가 될 때 까지의 자기모멘트는 289 K에서 측정된 자기모멘트보다 작음을 알 수 있다. 이 경우 3150 Oe에서 포화되었고 더 이상 자기모멘트의 증가는 보이지 않고 있다. 289 K에서 측정된 그래프를 살펴보면 외부자기장 9300 Oe보다 작은 자기장에서는 81 K에서 측정된 자기모멘트보다 작은 값을 보이고 있다. 그러나 외부자기장이 9300 Oe 보다 큰 곳에서는 자기모멘트가 더 큰 값을 보이고 있다. 또한 자기화는 16000 Oe에서 포화됨을 볼 수 있으며 포화자기모멘트는 289 K에서 측정된 포화자기모멘트보다 큼을 볼 수 있었다. 이것은 앞서 예측한 cubic austenite 구조와 tetragonal martensite 구조의 특징임을 알 수 있었다.

4. 결론

Ni-Mn-Ga 합금에 대한 자기적 특성과 자기열량효과에 대하여 측정하였다. 큐리온도 부근에서 측정된 자기엔트로피 변화는 Gd이나 Gd합금에 비해 작게 나타났다. 하지만 Ni과 Mn의 조성비를 변화시켜 T_M 과 T_c 를 온도로 조절한다면 아주 큰 자기열량효과를 나타낼 수 있으리라 예상된다.

5. 참고문헌

- [1] Brown, G. V., 1976, Magnetic heat pumping near room temperature, J. Appl. Phys., Vol. 47, pp. 3673-3680.
- [2] Gschneidner, K. A., Jr., Pecharsky, V. K., Pecharsky, A. O., and Zimm, C. B., 1999, Recent developments in magnetic refrigeration, Materials Science Forum, Vol. 315-317, pp. 69-76.