

온도수감MnZn웨리트의 큐리온도에 미치는 ZnO와 CuO의 영향

황벌, 리은성

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술을 확고히 앞세우고 과학기술과 생산을 밀착시키며 경제건설에서 제기되는 모든 문제들을 과학기술적으로 풀어나가는 기풍을 세워 나라의 경제발전을 과학기술적으로 확고히 담보하여야 합니다.》

세계적으로 널리 쓰이는 온도수감부들 가운데서 웨리트의 큐리온도를 리용한 수감부들이 적지 않은 비중을 차지하고있다. 그 가운데서 MnZn웨리트는 투자률이 큐리온도근방에서 급격하게 변하는 특성을 가지고있는것으로 하여 온도수감재료로 널리 리용되고있다.[1-3] 온도수감부의 성능에 영향을 주는 주요인자들로는 웨리트제작에 들어가는 ZnO와 CuO의 함량이다.

우리는 103℃근방의 온도를 수감하는 MnZn웨리트의 제조방법과 첨가물들이 큐리온도에 미치는 영향을 고찰하였다.

실험 방법

출발재료로 순도가 99.8%이상인 $MnCO_3$, ZnO, Fe_2O_3 분말을 리용하였다. 분말들은 모두 80℃의 건조로에서 24h동안 건조되였다. 분말들을 조성에 따라 전자천평으로 1mg의 정확도로 평량한 다음 행성식불분쇄기를 리용하여 불분쇄하였다.

얻어진 분말들을 80℃에서 24h동안 건조시킨 다음 120 μm 의 체로 쳐서 500kg/cm²의 압력으로 1차성형하였다. 분말상태로 반응시키면 혼합물질의 개별적알갱이들사이 부딪침이 나빠지며 1차소성과정에 반응이 잘 일어나지 않는다.

1차소성은 850℃에서 3h동안 진행하고 습식행성식불분쇄기를 리용하여 2차분쇄하였다. 이때 해당한 함량의 CuO를 첨가한다. 분쇄후 립도분석기(《SA-2》)를 리용하여 분말들의 평균립도를 측정하였다. 얻어진 분말들에 5% 폴리비닐알콜수용액 5질량%를 넣고 혼합한 다음 1t/cm²의 압력으로 2차성형하였다. 시편들을 1 350℃의 대기중에서 3h동안 2차소성한 다음 로안에서 급랭시켰다.

실험결과 및 해석

그림 1에 제조한 MnZn웨리트의 XRD도형을 보여주었다. 그림 1로부터 MnZn웨리트가 스피넬상이라는것을 확정하였다.

1) MnZn웨리트의 큐리온도에 미치는 ZnO의 영향

1kHz에서 온도에 따르는 시편의 유도도를 측정하고 다음의 식에 의하여 초기투자률을 계산하였다.

$$\bar{\mu} = \frac{Ll}{\mu_0 n^2 s}$$

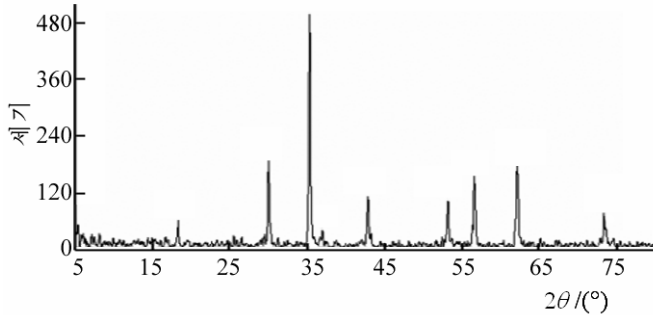


그림 1. 제조한 MnZn페리트의 XRD도형

1kHz에서 초기투자율과 온도와의 관계곡선을 그리고 그 아래부근에서 최대값의 80% 되는 점과 20% 되는 점을 맺는 연장선이 초기투자율이 1인 선과 사귀는 점에 해당하는 온도가 바로 큐리온도이다.

큐리온도와 ZnO함량사이의 관계를 그림 2에 보여주었다.

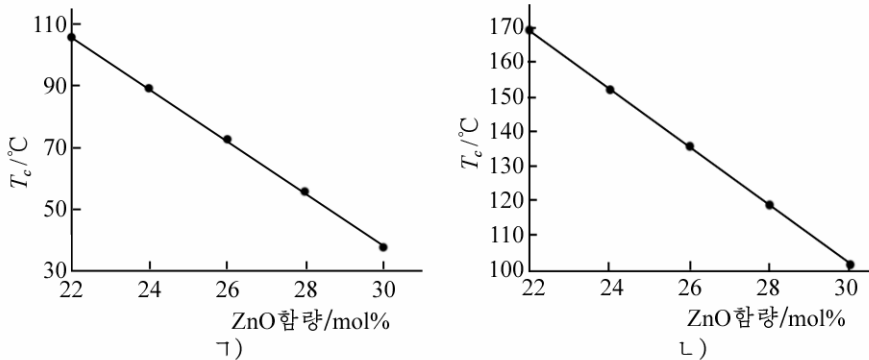


그림 2. 큐리온도와 ZnO함량사이의 관계

ㄱ), ㄴ)는 Fe₂O₃의 함량이 각각 50.5, 55.5mol%인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 Fe₂O₃의 해당 함량에서 MnZn페리트의 큐리온도는 ZnO의 함량에 따라 선형적으로 변한다.

Fe₂O₃의 함량이 50.5mol%인 경우 ZnO의 함량이 22~30mol%일 때 T_c는 105°C에서부터 37.4°C까지 그리고 Fe₂O₃의 함량이 55.5mol%일 때에는 169.4°C에서부터 101.4°C까지 선형적으로 감소한다.

이것은 초교환호상작용으로 설명할수 있다. MnZn페리트는 스피넬구조이며 그것의 분자식은 Me_xFe_{1-x}Fe_{1-x}[Me_{1-x}Fe_{1+x}]₂O₄이다.

Me_x²⁺Fe_{1-x}³⁺은 A빈틈을 차지하고 Me_{1-x}²⁺Fe_{1+x}³⁺은 B빈틈을 차지한다. 여기서 Me는 금속이온이고 x는 ZnO의 함량이다. MnZn페리트의 살창에서 린접한 금속이온들은 비금속이온 O²⁻에 의하여 큰 반경으로 분산되어있으며 전자구름이 드물게 겹친다. 그러므로 초교환호상작용이 가능하다.

웨리트가 자기적특성을 가지는것은 자성이온들사이에 O^{2-} 이 있기때문이다. 이것을 초교환호상작용이라고 한다.

온도수감웨리트의 큐리온도 T_c 와 초교환호상작용사이의 관계는 다음과 같다.

$$T_c \propto N_{AB} A_{AB}$$

여기서 N_{AB} 는 자성이온의 수이고 A_{AB} 는 교환적분이다.

이것은 초교환호상작용이 세면 셀수록 그리고 이온의 수가 많으면 많을수록 큐리온도 T_c 가 더 높다는것을 말해준다. 비자성이온 Zn^{2+} 이 자성이온으로 바뀌을 때 N_{AB} 는 감소하여 큐리온도 T_c 의 감소를 초래한다.

더우기 큐리온도 T_c 는 Zn^{2+} 의 함량이 증가함에 따라 선형적으로 감소한다.

이에 기초하여 큐리온도 T_c 를 결정하는 경험식을 이끌어낼수 있다.

$$T_c = [(12.8Y - 8.5Z - 354) \pm 5]^\circ C$$

여기서 Y 와 Z 는 Fe_2O_3 과 ZnO 의 mol%이다.

이 식은 온도수감MnZn웨리트의 큐리온도 T_c 를 계산하고 함량을 결정하는데 리용할 수 있다.

2) MnZn웨리트의 큐리온도에 미치는 CuO의 영향

그림 3에 큐리온도와 CuO함량사이의 관계를 보여주었다.

그림 3에서 보는바와 같이 CuO함량이 증가함에 따라 큐리온도는 감소한다.

이것은 B빈틈에서 Cu^{2+} 이 Mn^{2+} 과 치환되어 A빈틈과 B빈틈사이의 교환호상작용이 줄어들기때문이라고 볼수 있다. Cu^{2+} 이 Mn^{2+} 대신에 B 빈틈에 들어가면 B빈틈의 전체적인 자기모멘트는 감소되어 A빈틈과 B빈틈사이의 교환호상작용은 감소되고 큐리온도는 감소한다.

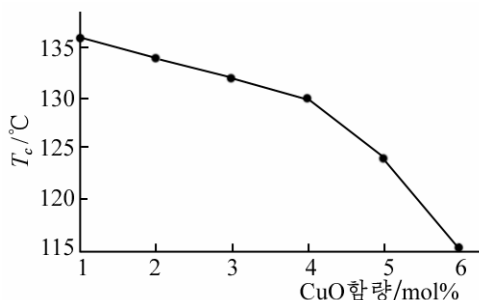


그림 3. 큐리온도와 CuO함량사이의 관계

맺 는 말

온도수감MnZn웨리트를 제조할 때 1 350°C에서 3h동안 마감소성한 다음 반드시 급랭시켜야 한다.

온도수감MnZn웨리트제조에서 ZnO와 CuO의 첨가량을 적당히 조절하면 초기투자율이 높으며 적합한 큐리온도를 가지고 온도안정성이 좋은 MnZn웨리트를 얻을수 있다.

참 고 문 헌

- [1] L. F. Wang et al.; Physics, B 552, 6, 2019.
- [2] L. Z. Li et al.; Rare Metals, 30, 3, 287, 2011.
- [3] M. K. Wang et al.; J. Mater. Sci. Technol., 16, 2, 209, 2000.

The Effect of ZnO and CuO on the Curie Temperature of Thermal Sensitive MnZn Ferrite

Hwang Pol, Ri Un Song

We explained the method of manufacturing the thermal sensitive MnZn ferrite and illuminated the effect of the content change of ZnO and doping effect of CuO on the Curie temperature.

Keywords: thermal sensitive ferrite, MnZn ferrite, Curie temperature