

고온초전도 박막선재용 Ni-W_{xat.%} 및 (Ni-W_{3at.%})-Cu_{xat.%} 이축배향 금속 기판들의 자기적 특성

송규정, 김태형, 김호섭, 고락길, 하홍수, 하동우, 오상수, 박찬¹, 유상임¹, 주진호², 김민우³, 김찬중³
한국전기연구원, 서울대학교¹, 성균관대학교², 한국원자력연구소³

Magnetic Properties of Both Ni-W and (Ni-3%W)-Cu Textured Substrates for ReBCO Coated Conductor

K. J. Song, T. H. Kim, H. S. Kim, R. K. Ko, H. S. Ha,

D. W. Ha, S. S. Oh, C. Park¹, S-I Yoo¹, J. H. Joo², M. W. Kim³ and C. J. Kim³

Korea Electrotechnology Research Institute, Seoul National Univ.¹, Sungkyunwan Univ.², Korea Atomic Energy Research Institute³

Abstract : The magnetic properties of a series of both annealed and as-rolled Ni-W_y alloy tapes with compositions y = 0, 1, 3, and 5 at.%, were studied. To compare with Ni-W alloys, the magnetic properties of a series of both annealed and as-rolled [Ni_{97at.%}W_{3at.%}]_{100-x}Cu_x alloy tapes with compositions x = 0, 1, 3, 5, and 7 at.%, were studied, as well. Both the isothermal mass magnetization M(H) of a series of samples, such as both Ni-W and [Ni-W]-Cu alloy tapes, at different fixed temperatures and M(T) in fixed field, were measured using a PPMS-9 (Quantum Design). The degree of ferromagnetism of Ni-W_y alloys have reduced as W-content y increases. Both the saturation magnetization M_{sat} and Curie temperature T_c decrease linearly with W-content y, and both M_{sat} and T_c go to zero at critical concentration of y_c ~ 9.50 at.% W. The effect of Cu addition on both the saturation magnetization M_{sat} and Curie temperature T_c decrease linearly with Cu-content x in [Ni_{97at.%}W_{3at.%}]_{100-x}Cu_x alloy tapes with compositions x = 0, 1, 3, 5, and 7 at.%. The results confirm that [Ni-W]-Cu alloy tapes can have much reduced ferromagnetism as Cu-content x increases.

Key Words : Magnetic properties, Ni-W alloy, [Ni-W]-Cu alloy, Magnetization, Ferromagnetism

1. 서 론

20년 전 고온초전도체가 발견되어⁽¹⁾, 현재 제2세대 고온초전도 선재인 ReBCO 박막선재(Coated Conductor)는 상용화를 목전에 두고 있다. 그러나 최종적인 고온초전도 박막선재의 상용화 걸림들은 경제적인 제조가격 달성여부로 귀결되고 있다. 따라서 값싼 공정기술 개발이 필수적인데, 이축배향 금속기판 제조방법으로 RABiTS(Rolling Asisted Biaxially Textured Substrate) 방법⁽²⁾이 하나의 대안으로 떠오르고 있다. 우리는 Ni 금속을 RABiTS 방법으로 쉽게 이축배향 시켜 고온초전도 박막선재의 금속모재로 사용하고 있으나, Ni 금속의 약한 기계적 특성 및 강자성(ferromagnetism) 성질은 초전도전력기기 응용 등을 어렵게 만든다. 따라서 기계적 강도를 증가 시키고, 강자성 성질을 완화시키기 위한 방안으로 Ni-합금을 이용하는데, 일반적으로 RABiTS 방법으로 Ni-W_{3at.%} 합금을 이축 배향시켜 고온초전도 박막선재의 금속모재로 많이 이용하고 있다.

본 연구에서는 고온초전도 박막선재의 금속모재로 사용하는 Ni-W_y 및 [Ni-W_{3at.%}]-Cu_x 합금들의 자기적 특성과 텅스텐(W) 및 구리(Cu) 첨가량에 따른 강자성 감소효과 연구를 하였다.

2. 실험

순수 Ni, Ni-W, [Ni-W]-Cu 합금 ingot 들을 99.99% 순도의 Ni, W, 및 Cu 칩을 플라즈마 아크로에서 녹여 만들

었다. 일반적인 RABiTS 방법을 이용하여 이축배향 금속 테이프를 제조하였는데, 먼저 상온에서 압연하여 두께 100μm 정도 테이프를 제조하고, Thermal-mechanical 공정을 통한 (100)[100] cube-집합구조의 Ni-W_y (y = 0, 1, 3, 및 5 at.%) 및 [Ni_{97at.%}W_{3at.%}]_(100-x)Cu_x (x = 0, 1, 3, 5, 및 7 at.%) 테이프들을 제조하였다. 최종적으로 혼합가스(96%Ar-4%H₂)를 이용하고, 1000°C 온도에서 30분간 열처리의 재결정화 과정을 실시하여, 고온초전도 박막선재용 이축 배향된 Ni_(100-y)-W_y (y = 0, 1, 3, 및 5 at.%) 및 [Ni_{97at.%}W_{3at.%}]_(100-x)Cu_x (x = 0, 1, 3, 5, 및 7 at.%) 테이프들을 제조하였다.

준비된 Ni-W_y 및 [Ni-W_{3at.%}]-Cu_x 합금들의 W 및 Cu 첨가량에 따른 자기적 특성들을 확인하기 위한 실험으로, 미국 Quantum Design 회사의 PPMS-9T 장비를 이용하여 각각의 Ni-W_y 및 [Ni-W_{3at.%}]-Cu_x 합금들에 대한 자화도 M (Magnetization) 특성을 조사하였는데, 자기장의 변화에 따른 자화도 실험을 77K와 295K에서 자기장을 5T까지 변화시키면서 실험을 하였으며, 측정된 자화도 값들 분석을 통하여 W 및 Cu 첨가량에 따라 강자성이 감소함을 조사하였다.

3. 결과 및 검토

그림1은 Ni-W_y 합금의 포화자화도(M_{sat}) 값들의 W 첨가량 y에 따른 변화 그리고 그림2는 [Ni-W_{3at.%}]-Cu_x 합금

들에 대하여 Cu 첨가량 x 에 따른 변화를 온도 $T = 77\text{K}$ 일 때와 $T = 295\text{K}$ 일 때 실험결과를 보여주고 있다. 그림1에서 알 수 있듯이, 본 실험 결과는 Marian 및 ORNL 결과⁽³⁻⁴⁾들과 일치하며, W 첨가량에 따라 M_{sat} 값이 선형적으로 감소하고, critical concentration이 77K 온도에서 $y_c = 9.25 \sim 9.30$ 임이 확인되었다. 한편, 그림2로부터 $[\text{Ni}-\text{W}_{3\text{at}\%}]-\text{Cu}_x$ 합금들의 Cu 첨가량에 따라 M_{sat} 값들이 최고 ~ 30% 정도 감소됨을 알 수 있다.

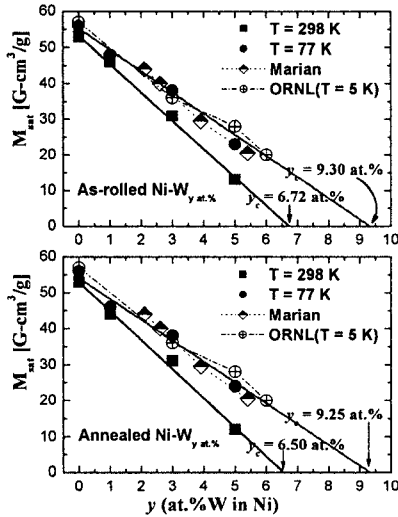


그림 1. Variation of saturation magnetization M_{sat} of Ni-W alloys with W-content y .

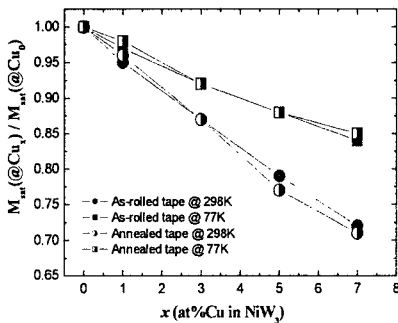


그림 2. Variation of saturation magnetization M_{sat} of $[\text{Ni}-\text{W}]-\text{Cu}$ alloys with Cu-content x .

그림3과 4는 일정한 자기장(1000G)하에서 온도변화에 따른 자화도 특성실험 $M(T)$ 결과로부터, 온도와 자발자화도(Spontaneous magnetization)와의 관계식⁽⁵⁾ $M \propto (T_c - T)^{1/3}$ 을 이용하여 Curie 온도(T_c)를 예측한 결과들을 보여주고 있다. 위에서 언급한 포화자화도 분석의 경우와 같이 $\text{Ni}-\text{W}_y$ 합금 Curie 온도(T_c) 값들은 W 첨가량 y 에 따라 선형적으로 감소하고, critical concentration이 $y_c = \sim 9.75$ 정도 됨을 알 수 있다. 또한 $[\text{Ni}-\text{W}_{3\text{at}\%}]-\text{Cu}_x$ 합금들에 대하여 Cu 첨가량 x 에 따라 Curie 온도(T_c)가 최고 ~ 25% 정도 감소함을 보여주고 있다.

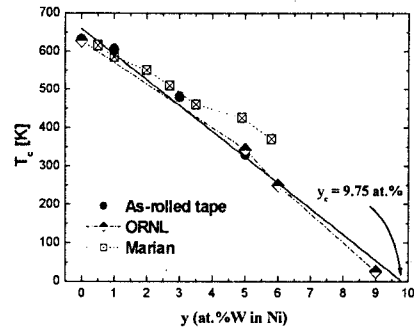


그림 3. Dependence of Curie temperature of $\text{Ni}-\text{W}_y$ alloys on W-content y .

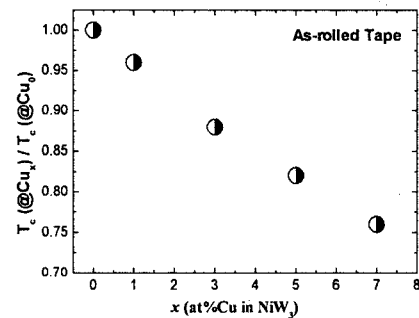


그림 4. Dependence of Curie temperature of $[\text{Ni}_{97}\text{W}_3]_{100-x}\text{Cu}_x$ alloys on Cu-content x .

4. 결론

본 연구에서는 고온초전도 박막소재용 이축 배향된 $\text{Ni}-\text{W}_y$ ($y = 0, 1, 3, \text{ 및 } 5 \text{ at.}\%$) 및 $[\text{Ni}_{97\text{at}\%}\text{W}_{3\text{at}\%}]_{(100-x)}\text{Cu}_x$ ($x = 0, 1, 3, 5, \text{ 및 } 7 \text{ at.}\%$) 테이프들의 W 및 Cu 첨가량에 따른 자기적 특성 효과를 연구하였는데, W 첨가량에 따라 M_{sat} 및 T_c 값이 선형적으로 감소하고, $\text{Ni}-\text{W}_{3\text{at}\%}$ 합금에 Cu 첨가량에 따라 25 ~ 30% 정도 M_{sat} 및 T_c 값이 감소됨을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 21세기프런티어 차세대초전도응용기술개발(CAST) 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] J. G. Bednorz, K. A. Muller, *Z. Phys. B* 64, 189, 1986.
- [2] A. Goyal, et. al., *Appl. Phys. Lett.*, 69, 1795, 1996.
- [3] V. Marian, *Ann. Phys. Ser.*, 11, 459, 1937.
- [4] A. O. Ijaduola, J. R. Thompson, A. Goyal, C. L. H. Thieme, and K. Marken, *Physica C* 403, 163, 2004.
- [5] N. W. Ashcroft, N. D. Mermin, *Solid State Physics*. Holt, Rinehart and Winston, New York, pp.699, 1976.