

은 합금 시스 Bi-2223 고온초전도 테이프의 임계전류밀도 향상

장 현만\*, 오 상수, 하 동우, 류 강식, 김 상현\*  
 한국전기연구소, \* : 경상대학교 전기공학과

Improvement of  $J_c$  for Ag alloy Sheathed Bi-2223 HTSC Tape

H. M. Jang\*, S. S. Oh, D. W. Ha, K. S. Ryu, S. H. Kim\*  
 KERI, Applied Supercond. Lab  
 \* : Gyeongsang National Univ. Dep. of Electrical Engineering

Abstract

The effect of Ag alloy sheath have been investigated in terms of critical current density and mechanical property. Nevertheless the continuous improvement of critical current density( $J_c$ ) of Ag sheathed Bi2223 oxide superconducting wire processed with powder in tube(PIT) method, poor mechanical strength is still considered to be demerits for power application. In this study, we prepared two kinds of Ag- x wt% Cu alloy and pure Ag sheathed Bi2223 superconducting tapes. The hardness and tensile strength of prepared tapes has been measured. Their mechanical properties were improved by Ag alloying.

I. 서론

Maeda 등에 의해 Bi-Sr-Ca-Cu-O 산화물 초전도체가 합성된 이후<sup>1)</sup> BPSCCO를 사용해서 실제 응용할수 있는 초전도 선재를 제작하는데 많은 노력을 기울여 왔다. YBCO는 결정입자가 불규칙적으로 배열되어 사실상 Powder-in-tube(PIT) 법으로 선재가공은 거의 중단된 상태이지만 BPSCCO는 판상의 결정구조를 취해<sup>2)</sup> 압연 또는 용융법으로 선재화하여 초전도 케이블, 초전도 magnet, current lead, SMES등으로 응용하기위한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>3)-6)</sup>.

산화물 초전도체를 실제 시스템에 적용하기 위한 가장 중요한 파라미터는 임계전류밀도( $J_c$ )의 향상이지만 magnet 여자시의 자기력, 기계적인 스트레스에도 견딜 수 있는 기계적인 특성이 우수한 선재가 요구되어진다. Ag 시스 Bi-2223 초전도 테이프의  $J_c$ 를 향상시킬수 있는 요소로는 대표적으로 산화물층의 밀도와 가공상의 균일성 그리고

Bi-2223상의 volume fraction 등이 있다.<sup>7)-8)</sup>

본 연구에서는 PIT법을 사용하여 Bi-2223 초전도 테이프를 제작 하였다. 은 합금 시스를 사용함으로써 순수한 은시스 테이프보다 기계적인 특성이 향상됨을 볼수 있었을 뿐만 아니라 경도가 큰 시스를 사용함으로써 산화물층의 밀도를 높일수 있었다.

II. 실험방법

800℃에서 하소된  $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$  분말을 내경 6 mm, 외경 8 mm 은 튜브 및 Ag-2.5wt%Cu, Ag-5wt%Cu 튜브에 충전한 후 직경이 1.05 mm인 선재로 만들었다. 그럼 1은 Bi-2223 테이프의 제작 과정을 개략적으로 도식화 한 것이다. 산화물 분말을 충전한 튜브는 Groove Rolling에 의해 1.05 mm 까지 줄였으며, 이것을 압연하여 테이프의 형태로 만들었다. 이렇게 제작된 시편은 대기중에서 840℃, 합금 시스의 경우 835℃의 온도로 100 시간동안 열처리 하였다. 압연, 열처리 과정은 2회 반복 하였다.

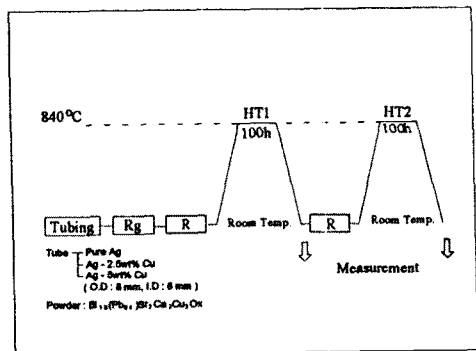


Fig. 1 Flow chart of tape fabrication

임계전류( $I_c$ )는 77K, 0T에서 4단자법에 의해 측정하였으며 임계전류는  $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ 때의 전류로 정의하였다. 임계전류밀도는 임계전류치를 시편의 실제 산화물 단면적으로 나누어 계산하였다. 시편의 미세조직을 관찰하기 위해 광학현미경, 전자현미경(SEM), 경도계 등을 사용하였으며 XRD로 Bi-2223의 volume fraction을 조사하였다.

### III. 결과 및 고찰

그림. 2는 상온에서 중간 열처리되지 않은 은 시스템 테이프와 은합금 시스템 테이프의 stress-strain곡선을 보여주고 있다. 명백히 Cu가 첨가 되었을 때 변형저항면에서 순수한 은 시스템 테이프보다 높다. 이것은 은 합금 시스템이 은 시스템 테이프보다 높은 산화물층의 밀도를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

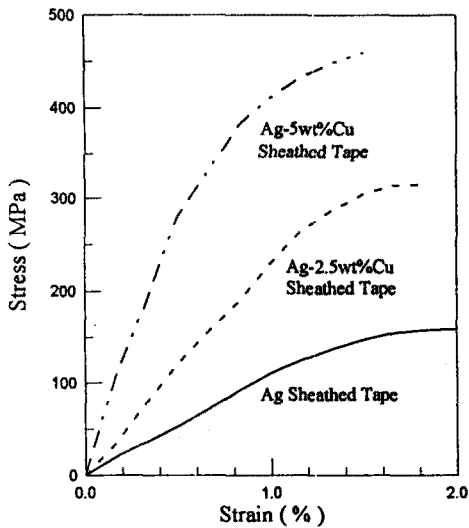


Fig. 2 Stress-strain curves at room temperature for Ag sheathed and Ag-Cu sheathed Bi-2223 tapes.

그림. 3은 산화물층의 Vickers hardness를 측정 한 결과이다. 두 경우 모두 두께가 감소할수록 어느정도 경도가 높아지며, 그림. 2에서 보인것과 같이 변형저항이 큰 합금 시스템을 사용함으로써 산화물층의 밀도를 더욱 높일 수 있었다. 이는 합금물질을 시스템질로 이용함으로써 기계적인 특성 향상시킬 뿐만 아니라 임계전류밀도 또한 향상시킬수 있는 여지가 다분히 있다고 보여진다. 그러나 임계전류밀도는 산화물층의 밀도 외에도 많은 미세한 요소들에 의해 영향을 받는다.

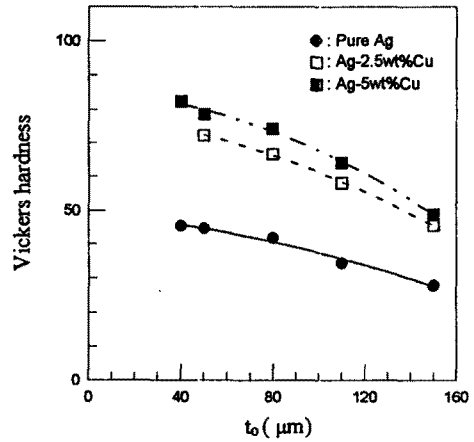


Fig. 3 The relations between oxide layer thickness and Vickers hardness of oxide layer

그림. 4는 열처리 조건에 따른 XRD분석 결과이다. 은 시스템 테이프는 840°C의 온도에서 열처리를 함으로써 다른 불순물이 포함되어 있지 않은

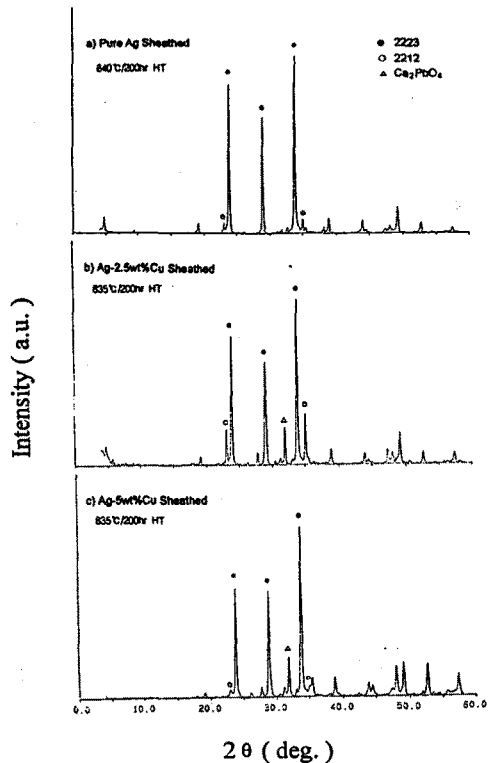


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of Bi-2223/Ag(AgCu) tapes obtained after sintering.

Bi-2223 단일상만 존재함을 알 수 있다. 그러나 시스물질에 Cu를 첨가 함으로써 Bi-2223상을 형성하는 온도가 낮아져 835°C에서 열처리를 하였다. 그러나 Cu를 첨가한 것은 순수한 은시스 테이프와 비교하여볼때 Bi-2223상 외에도 다른 상들이 함께 존재 함으로써 임계전류밀도에 좋지 않은 영향을 준다고 보여진다.

그림. 5는 77K, 0T에서 산화물층의 두께에 대한  $J_c$ 의 관계를 나타낸 것이다. 두께가 감소할수록  $J_c$ 가 15000A 까지 상승하나 두께가 60 $\mu$ m 미만인 경우는 오히려 줄어든다. 두께가 감소 하면서  $J_c$ 가 증가하는 것은 산화물의 밀도가 높아지고 Bi2223 초전도 결정이 치밀하고 배향성을 띄기 때문이다. 반면 얇은 두께에서  $J_c$ 가 감소하는 것은 산화물층의 불균일성 때문이다. 이것을 조사하기 위하여 테

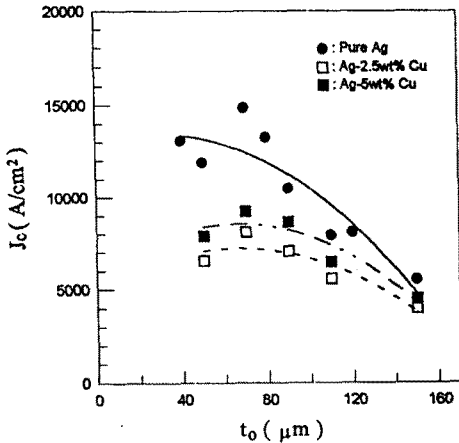


Fig. 5 Oxide layer thickness dependence of  $J_c$  for the specimens prepared with cold working.

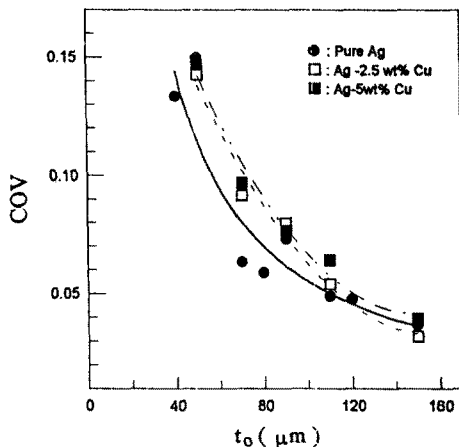


Fig. 6 The relation between the oxide layer of BPSCCO tape and the COV of oxide layer thickness.

이프를 전류가 흐르는 방향으로 단면을 관찰하여 산화물층의 두께에 대한 COV(coefficient of variation)를 계산하여 그 결과를 그림. 6에 나타내었다.

그림. 6에서 보이는 것처럼 은시스 테이프의 경우 70 이하에서 COV가 급격히 증가한다. 이로써 산화물층의 불균일성과  $J_c$ 와의 관계를 알 수 있다. 즉 가공상의 불균일성을 줄이는 것이  $J_c$ 를 높이에 중요한 요소이다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 PIT법으로 은 시스 및 은 합금 시스 Bi-2223 초전도 테이프를 제작 하였다.  $J_c$ 는 가공, 열처리 과정에서 산화물층의 밀도 및 열처리 조건에 매우 민감하다. 고강력 도체로 이용하기 위해 만들어지 Ag-Cu 시스 테이프는 산화물의 밀도를 높여줄 수 있는 높은 압연 압력을 가지기 때문에  $J_c$ 를 높일 수 있는 여지가 충분히 있다고 보여진다. 본 연구의 결과 은 시스 Bi-2223 초전도 테이프의 최대  $J_c$ 는 15000A/cm<sup>2</sup> 이었다.

#### V. 참고문헌

- 1) H.Maeda, Y.Tanaka, M.Fukutomi and T.Asano : Jpn. J. Appl. Phys., 27(1988)L209
- 2) H.Kumakura, H.Kitaguchi, K.Togano and H.Maeda : Science reports of the Research Institutes, Tohoku University, Nov. 1992 p.161
- 3) M.Hiraoka, K.Sawada, A.Okuhara and J.Kai : Proc. of US-JAPAN Workshop on High T<sub>c</sub> Superconduct, Nov., 1992 Japan p.17
- 4) D.W.Von Dollen and T.R. Schneider : Proc. of US-JAPAN Workshop on High T<sub>c</sub> Superconduct, Nov., 1992 Japan p.54
- 5) M.satou, Y.Yamada, S.Murase, T.Kitamura and Y.Kamisada : Appl.Phys.Lett. 10(1994)640
- 6) K.Sato, T.Hikata, H.Mukai, M.Ueyama, N.Shibuta, T.Kato, T.Matsude, M.Magata, K.Iwata and T.Mitsui : IEEE Trans Mag. MAG27(1991),1231
- 7) K.Osamura, S.S.Oh, and S.Ochiai : Supercond Sci Technol., 5(1992)1
- 8) S.X.Dou, K.H.Song, H.K.Liu, C.C. Sorell, M.H.Apperley and N.Savvides : Appl. Phys. Lett., 56(1990)493