

후막형 전류제한소자제작과 전류제한특성 연구

임성훈*, 강형곤, 최명호, 한병성
전북대학교 전기공학과

The study on characterization of current limit and fabrication of device for current limit formed by thick film

Sung-Hun Lim*, Hyeong-Gon Kang, Myung-Ho Choi, Byung-Sung Han
Chonbuk National University Dept. of Electrical Engineering

Abstract- $YBa_2Cu_3O_x$ superconducting thick film was fabricated by surface diffusion process of Y_2BaCuO_5 and the mixed compound of $(3BaCuO_2+2CuO)$ expected to be liquid phase above the peritectic temperature of $YBa_2Cu_3O_x$. For the surface diffusion, $3BaCuO_2+2CuO$ mixed with binder material was patterned on Y_2BaCuO_5 substrate by the screen printing method. The characteristic of current limit on thick film fabricated was measured. The thick film limited the current from 2.8213 mA_{rms} to 4.2034 mA_{rms} with 500Ω load resistance, and from 4.1831 mA_{rms} to 4.2150 mA_{rms} with 10Ω load resistance.

1. 서 론

고온초전도체가 발견된 이후 값싼 액체질소를 사용할 수 있음에 따라 여러분야에 적용하려는 노력에 힘입어 응용범위가 확대되었다.

그 중에서 박막으로 제작하여 초전도필터나 SQUID, 안테나등으로 많은 시도와 성과를 올리게 되었지만 제조시 증착을 위한 공정의 복잡성과 식각공정등의 까다로움이 어려움을 더해주고 있다.

실제로 미국 NASA를 포함한 국외의 경우, 박막제작과 더불어 제조공정이 간편한 후막의 공정확립과 이를 전력전자회로등으로 적용하는 연구가 진행되고 있고 더 나아가 박막으로 제작하여 응용되어 왔던 초고주파소자까지 후막으로 제작하여 그 특성에 있어서 큰 저하가 없음을 입증한 바 있다.

따라서 본 논문에서는 고온초전도후막을 응용하기 위한 기본특성인 퀘치특성을 이용한 전류제한특성에 대해 고찰한 다음 이를 적용할 수 있는 방법등에 대해 논하고자 한다.

먼저, 전류제한특성을 고찰하기 위해 부분용융물질을 포함한 혼합분말원료와 바인더를 혼합하여 페이스트를 제조하고 스크린 프린팅기술로 Y_2BaCuO_5 기판위에 일정한 패턴을 갖는 후막을 입힌 다음 적절한 열처리를 통해 YBCO후막형 전류제한소자를 제작하였다.

마지막으로 제작한 후막소자에 대한 전류제한특성을 실험 및 고찰하고 이를 전력전자회로에 적용시키기 위한 방법에 대해 논하고자 한다.

2. 실험 방법 및 측정

2.1 실크프린팅법을 이용한 후막제작

확산을 이용한 $YBa_2Cu_3O_x$ 후막을 제작하기 위해 Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO 분말의 몰비가 1:1:1이 되도록 혼합하여 하소를 거친 다음 지름15mm, 두께는 1.5mm 가량의 원형펠렛을 준비하였다. 이와 같이 준비된 원형기판위에 도포할 물질로 $3BaCuO_2+2CuO$ 를 준비하기 위해 $BaCO_3$ 와 CuO 의 몰비가 3:5가 되도록 혼합하여 산소분위기, 860℃와 900℃에서 각각24시간동안 하소한 후 이를 sieve shaker를 이용하여 미세하게 분쇄시켰다. 하소온도를 860℃와 900℃로 설정한 이유는 $3BaCuO_2+2CuO$ 의 혼합분말의 DTA분석결과 용점이

약 928℃부근이었기 때문에 이보다 조금 낮은 온도에서 하소하였다.

미세하게 분쇄된 Barium Cuprate혼합분말에 용질로 ethyle cellulose를 4wt%가량첨가하여 isopropyl alcohol를 매개로 2시간에 걸쳐 균일하게 혼합되도록 밀링하였다. 이와 같이 균일하게 혼합된 분말에 용매로 n-butyl carbitol acetate 40wt%가량을 첨가하여 기판위에 도포할 끈끈한 점도를 갖는 paste를 준비하였다.

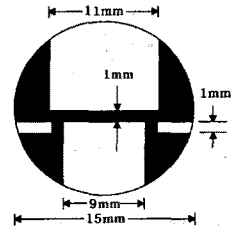


그림 1. 후막형 전류제한 측정모델
Fig. 1. Model for measurement of current limit formed by thick film

기판위에 입힌 그림 1과 같은 패턴을 200mesh 실크망에 형성시키기 위해 실크망에 감광액을 고루 입힌 후 감광기를 통해 일정시간 감광시켜 물로 세척한 후 건조기를 통해 건조시켰다. 마지막으로 실크망들과 squeezer를 이용하여 위에서 준비된 paste를 Y_2BaCuO_5 기판위에 프린팅을 실시하였다.

기판에 도포된 Barium Cuprate와 기판간에 확산을 통한 YBCO초전도상을 형성시키기 위해 다음과 같이 열처리를 실시하였다. 먼저 용매성분을 제거하기 위해 140℃에서 45분유지하고 용질을 연소시키기 위해 350℃에서 약 20분간 유지하였다. 그 후 포정반응을 이용하여 YBCO를 형성시킨 후 460℃에서 상전이를 위한 산소함량을 증가시키기 위해 약 6시간동안 산소분위기 하에서 열처리를 실시하였다.

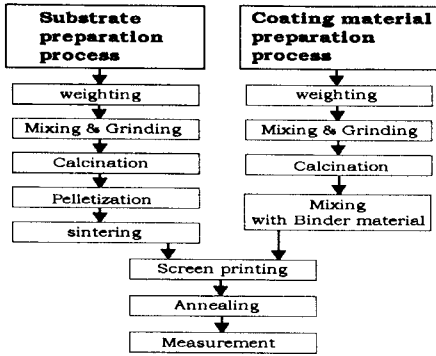


그림 2. 초전도후막제작공정도
Fig. 2. The diagram of preparation for superconducting thick film

2.2 후막특성측정

전류제한특성을 측정하기 위해 먼저 준비된 시편과 은 선과의 접촉저항을 최소화하기 위해 전압, 전류단자부분을 금(Au)코팅을 실시한 다음 은판을 이용하여 은선을 코팅된 전극과 접촉시켰다. 그리고 홀더에 부착시킨 다음 액체질소에 담가 교류전압이 최대가 되는 점에서 전류제한특성을 조사하였다.

전류제한특성측정을 위한 시험장치회로를 그림 3에 나타내었다.

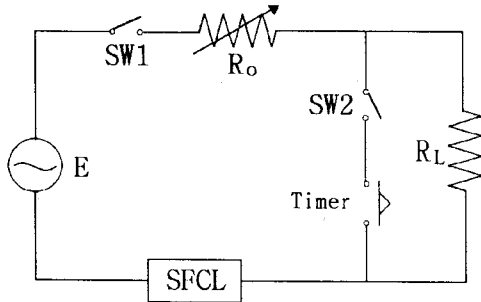


그림 3. 전류제한측정을 위한 실험장치회로
Fig. 3. The experimental device circuit for measurement of current limit

그림에는 나타내지 않았지만 SW2를 on 했을 때 릴레이가 동작되어 원하는 전원각에서 Timer스위치가 on이 되도록 제어하는 회로가 부가적으로 연결되어 있다.

직렬저항 Ro는 SW1이 on되었을 때 전원으로부터 공급되는 전류가 SFCL의 임계전류이상을 넘어서지 않도록 조절하기 위한 가변저항이다.

본 논문에서는 부하저항 RL값이 500Ω일때와 10Ω일 경우에 전류제한효과를 조사하였다.

SW1이 on, SW2가 off 상태일때의 SFCL양단의 전압은 식 (1)과 같다. 이상적인 경우라면 즉 양질의 후막이라면 $V_s=0$ 에 가까운 값을 보여야 하지만 실제실험에서는 완전하지 못한 접촉으로 인한 접촉저항과 매끄럽지 못한 패터닝태동으로 무시할수 없는 전압강하가 나타나므로 이때의 초전도후막양단의 저항을 고려하여 나타내었다.

SW1이 on, SW2가 on일 경우의 SFCL양단전압은 식 (2)와 같다.

$$V_s = \frac{R_s}{R_o + R_L + R_s} \cdot E \quad (1)$$

$$V_s = \frac{R_s}{R_o + R_s} \cdot E \quad (2)$$

2.3 결과 및 고찰

그림 4에 제작한 초전도후막의 패턴되지 않은 부분 (Y_2BaCuO_5)과 패턴된 부분(즉 확산에 의해 형성된 $YBa_2Cu_3O_x$)의 표면을 보여주고 있다.

확산에 의해 형성된 부분(그림 4.(b))을 보면 Y_2BaCuO_5 기판의 기공사이로 도핑한 물질이 확산되므로서 기판과 반응하여 $YBa_2Cu_3O_x$ 상을 형성한 것을 관찰할 수 있다. 또한 사진에서 부분적인 크랙을 관찰할 수 있다. 이는 본 SEM사진을 위한 시편은 전류제한특성을 실험한 뒤의 시편으로 액체질소에 담가 실험하면서 켈치현상이 일어나 형성된 것으로 사료되고 기판과의 열팽창계수의 차이로 발생한 것으로 사료된다.

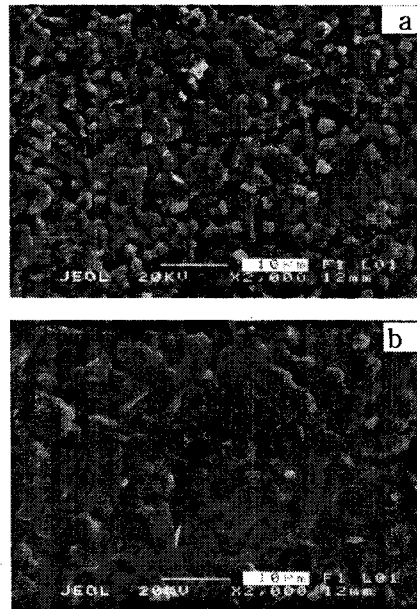


그림 4. 제작한 초전도후막표면의 전자현미경사진
(a) 패턴되지 않은 표면의 전자현미경사진
(b) 패턴된 표면의 전자현미경사진

Fig. 4. SEM micrograph of surface of superconducting thick film fabricated
(a) SEM micrograph of surface non-patterned
(b) SEM micrograph of surface patterned

그림 5는 패턴된 부분의 확산에 의해 Y_2BaCuO_5 기판 위에 형성된 $YBa_2Cu_3O_x$ 층의 단면을 보여주고 있고 대략 10μ 두께의 층이 형성된 것을 볼 수 있다.

부하저항(R_L)이 500Ω일때와 10Ω일 경우의 초전도양단의 전압강하특성을 그림 6, 7에 나타내었다.

이론적으로는 SW2를 on하기 전에는 초전도후막양단의 전압강하는 무시할만한 크기가 나타나야 되지만 그림에서는 각각 $16mV_{peak}$, $26mV_{peak}$ 가 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 무시할수 없는 접촉저항과 완전하지 못한 초전도상때문으로 여겨진다. 따라서 식 (1)에서 R_s 를 고려하여 계산한 결과 초전도후막양단저항과 접촉저항의 합이 각각 4.012Ω, 4.394Ω가량이었고 이때 전원으로 부터 공급되는 전류는 각각 2.8213mA_{rms}, 4.1831mA_{rms}로 계산되었다.

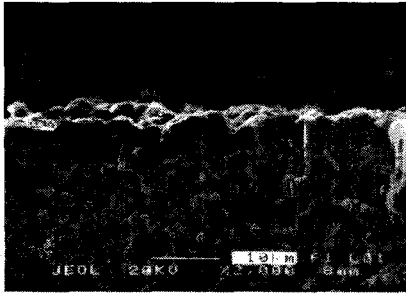


그림 5. 기판과 도핑물질의 확산에 의해 형성된 YBa₂Cu₃O_x층의 주사현미경사진
 Fig. 5. SEM micrograph of layer of YBa₂Cu₃O_x formed by diffusion of doping material and substrate

SW2가 on되는 순간 켄치가 극히 짧은 순간 발생하는 것을 관찰할 수 있으며 부하저항이 제거되는 순간 증가된 전류로 발생된 열이 다른 부분으로 분산되지 못하고 초전도체로 바로 유입된 결과로 여겨진다.
 이때 계산된 초전도후막양단저항값은 각각 9.421Ω, 6.710Ω으로 계산되었으며 여기에는 물론 접촉저항도 포함된 것으로 볼 수 있다. 공급되는 전류값은 각각 4.2034mA_{peak}, 4.2150mA_{peak} 정도로 계산되었다.
 부하저항 R_L이 클 경우(500Ω), 후막의 저항변화가 보다 크게 나타나는 것을 얻을 수 있다.
 이는 후막양단에 흐르는 전류값이 크게 변할 때 저항변화가 커지는 것을 의미한다.

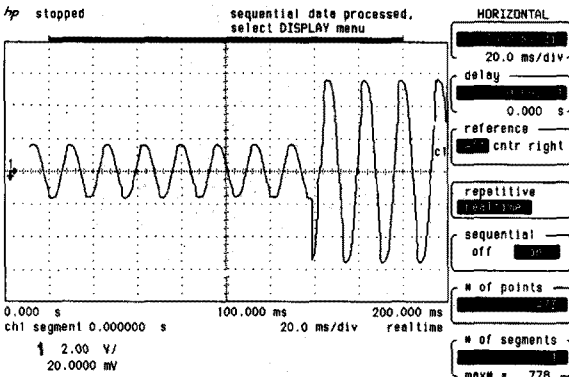


그림 6. 초전도후막의 양단전압파형(R_L = 500Ω)
 Fig. 6. Voltage waveform of superconducting thick film(R_L = 500Ω)

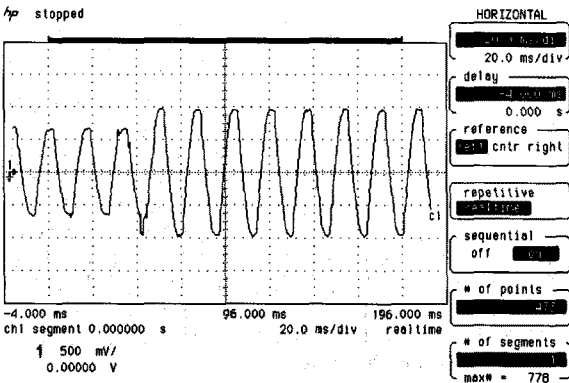


그림 7. 초전도후막의 양단전압파형(R_L = 10Ω)
 Fig. 7. Voltage waveform of superconducting thick film(R_L = 10Ω)

3. 결 론

본 논문에서는 고온초전도후막을 응용하기 위한 기본특성인 켄치특성을 이용한 전류제한특성에 대해 고찰하였다.

전류제한특성을 고찰하기 위해 부분용융물질을 포함한 혼합분말원료와 바인더를 혼합하여 페이스트를 제조하고 스크린 프린팅기술로 Y₂BaCuO₅기판위에 일정한 패턴을 갖는 후막을 입힌 다음 적절한 열처리를 통해 YBCO후막형 전류제한소자를 제작하였다.

본문에서 고찰한 초전도후막의 전류제한특성으로부터 접촉저항을 최대한 최소화하는 기술과 보다 높은 임계전류를 갖는 후막제작이 무엇보다도 선행되어야 할 것이며 켄치시 발생하는 기판과 생성된 후막간의 열적인 용력을 최소화하는 방법에 대한 연구도 이루어져야 할 것으로 생각된다.

마지막으로 위에서 언급한 문제점들에 대한 연구와 함께 후막의 켄치특성을 전류제한소자나 스위치소자등과 같은 전력전자회로에 적용시킬 수 있는 방법에 대한 모색도 병행될 필요가 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. Tabuchi and K. Utsumi, "Preparation of Superconducting Y-Ba-Cu-O Thick Film with Preferred C-axis Orientation by a Screen Printing Method", Appl. Phys. Lett., 53 (7) pp 606-608, 1988.
- [2] D. Bhattacharaya, C. K. Maiti, P. Pramanik, T. K. Dey, S. K. and K. L. Chopra, "Structural and Electrical Properties of Screen Printed Thick Films of YBa₂Cu₃O_{7-x} Superconductors", Thin Solid Films, 164, pp 115-118, 1988.
- [3] B. Gudmundsson, H. Wang, R. A. Neiser, B. Katz, and H. Herman, "The Effect of Heat Treatment Environment on the Superconducting Properties of Plasma Sprayed YBa₂Cu₃O_y Deposits", J. Appl. Phys., 67 (5) pp 2653-2655, 1990.
- [4] D. K. Aswai, S. K. Gupta, A. K. Debnath, G. P. Kothiyal, S. C. Sabharwai and M. K. Gupta, "Preparation of Adherent Y-Ba-Cu-O Thick Films and the Effect of Silver Doping", Supercon. Sci. Technol. 4 pp 188-191, 1991.
- [5] F. Wellhofer, J. S. Abell, D. Holland and E. A. Logan, "Interface Studies on Screen Printed YBCO Superconducting Ceramics", Physica C, 153-155, pp 399-400, 1988.
- [6] N. V. Vuong, E. V. Raspopina and B. T. Huy, "Thick films of YBa₂Cu₃O_{7-s} prepared on Y₂BaCuO₅ substrates", Supercon. Sci. Technol. 6 pp 453-459, 1993.