

## A study on the Joining Properties of Bi-2212 High-Tc Superconducting Tube and Indium Solder

S. Y. Oh<sup>\*,a</sup>, O. B. Hyun<sup>b</sup>, Chan-Joong Kim<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Nuclear Materials Development, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon, Korea

<sup>b</sup> Advanced Technology Center, Korea Electric Power Research Institute, Daejeon, Korea

Received 18 August 2005

## Bi-2212 고온초전도튜브와 인듐솔더의 접합특성연구

오성용<sup>\*,a</sup>, 현옥배<sup>b</sup>, 김찬중<sup>a</sup>

### Abstract

As a material for SFCL(Superconducting Fault Current Limiter), BSCCO tube with metal stabilizer is a promising candidate, assuring the stability and large power capacity. For the application, the proper soldering technique, which overcome the difficulties of the joining between BSCCO and metal stabilizer, is required.

In this study, after soldering In-Bi solder and In-Sn solder with BSCCO superconductor, welding properties between BSCCO and solders were investigated. Because ceramic materials is difficult to weld, Ag electro-plating on BSCCO 2212 is used for intermetallic layer. To find out the best welding condition for superconductor, soldering is tested in the maximum temperature from 155°C to 165°C in the reflow oven. By investigating the composition and thickness of IMC (Intermetallic Compound) created in the reaction of Ag with solder, we analyzed the welding properties of High-Tc superconductor from a micro point of view.

*Keywords* : Bi-2212, Solder, IMC(Intermetallic Compound)

### 1. 서론

고온초전도 재료가 발견된 이래 기존의 응용기기와는 전혀 다른 새로운 벌크형 소자가 개발되어 산업적 응용을 위한 연구 개발이 진행되고 있다. 다양한 고온 초전도 재료 가운데

BSCCO 벌크는 수동소자와 능동소자로서 응용기기가 개발되고 있다 [1]. 이러한 응용기가 가운데 특히 초전도 한류기는 전력계통에서 발생할 수 있는 사고전류를 방지할 목적으로 개발되고 있으며 전력기기 보호용 저온저항스위치 소재로 BSCCO 2212 초전도튜브가 사용된다. BSCCO 2212 튜브를 소재로 사용하기 위해서는 초전도체와 금속재질을 접합하여 켈치시의 과도전류를 금속부로 전류하는 고온초전

\*Corresponding author. Fax : +82 42 865 7522  
e-mail : nicejacki@lycos.co.kr

도체-금속 복합체(HTS-metal composite)를 만들어야 한다 [2,3].

금속과 초전도체의 접합에는 초전도체의 특성이 변하지 않는 낮은 온도 범위에서 접합할 수 있는 솔더링기술을 사용한다. 특히 저융점 솔더인 인듐 솔더를 사용 함으로써 초전도체의 특성변화를 방지하고 작업이 용이한 장점을 가지고 있다 [4,5].

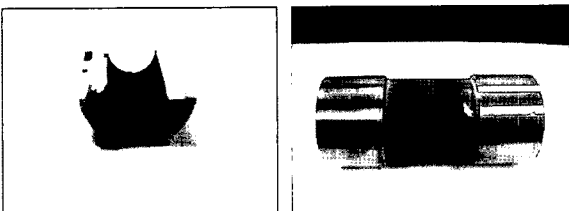
따라서 본 연구에서는 리플로우 솔더링을 통해서 초전도체와 금속부의 솔더링 공정조건과 접합부의 특성을 평가 하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 semi-tube 형태 (a)의 시료와 monofilar 형태의 소자(b)에 대해서 솔더링을 실시하였다

**Semi-tube 솔더링** : In-48wt%Sn 솔더와 Bi-33wt%In 두 종류의 솔더를 사용하여 Ag가 전기 도금 된 Bi-2212 초전도체에 Cu-Ni 합금을 table 1과 같은 리플로우 솔더링 공정 조건으로 소자에 이형재를 도포함으로써 솔더의 용융으로 인한 흘러 내림을 방지 하였으며 균질한 접합부를 위해 시료의 방향을 바꿔, 2회에 걸쳐 리플로우 솔더링을 오븐에서 실시하였다.

**Contact 솔더링** : Ag 단자가 접합된 Bi-2212 초전도 튜브에 두 종류의 솔더를 이용 Cu 단자를 table 2과 같은 조건으로 솔더링 하였으며, 2개의 단자를 동시에 실시하기 어려운 문제를 해결하기 위해 리플로우 솔더링과 침지 솔더링



(a)

(b)

Fig. 1. Reflow Soldering sample Semi-tube soldering (a), Cu contact soldering (b).

Table 1. Reflow and joining conditions : Semi-tube.

(단위:℃)

	Preheating	1st Reflow	2nd Reflow
In-48wt%Sn	110	180	165
Bi-33wt%In	110	165	150

Table 2. Reflow and joining conditions : Cu contact.

	Preheating temp(℃)	Reflow temp(℃)	Time (sec)
In-48wt%Sn	110	220	200
Bi-33wt%In	110	210	200

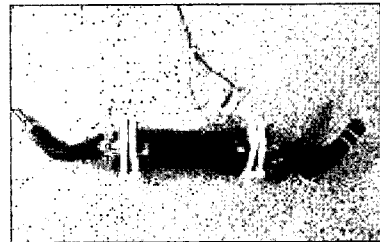


Fig. 2. Contact resistance test sample.

방식을 채택하여 실시하였으며, 리플로우 솔더링과 침지 솔더링 사이의 온도 구배로 인한 솔더링의 불균형을 방지하기 위해 침지 솔더링 시 초전도 튜브는 노내에서 70℃ 온도로 예비 가열 하였다.

솔더링 후 미세조직 리플로우 직후 계면 반응층 분석은 단면 OM, SEM 및 EDX 관찰을 통해 주로 이루어졌다. 시편은 수직 절단한 시료를 diamond powder로 0.25 μm까지 연마한 후 2%HCl + 98%Ethyl Alcohol 용액에서 2분간 에칭 하여 준비했다.

접촉저항 In-Sn와 Bi-In 두 종류의 솔더의 전기적 접합특성을 평가하기 위해서 Cu단자와 초전도체 사이의 접촉저항을 측정하였다. 측정 방법은 직류전류원 및 나노멀티미터를 이용 4 단자법으로 측정하였다. Fig. 2는 접촉저항을 측정하기 위한 시료이다

3. 결과 및 고찰

**Semi-tube 솔더링 후 미세조직 :** Fig. 3(a)와 (b)에서와 같이 In-Sn 솔더와 Bi-In 솔더 두 가지 솔더 모두 다 Ag 도금층의 초전도 튜브에 대한 불완전한 도금과 솔더링으로 인한 확산반응으로 인해 도금층이 초전도체와 분리 되었으나 Ag와 솔더 사이에 생성된 금속간화합물 (Intermetallic Compound, IMC)은 수 $\mu$ m 두께로 일정하게 형성되었다. 또한 In-Sn 솔더링의 경우 In-Bi 솔더링 조직과는 달리 솔더 내부조직이 일반적인 공정조직 형태를 이뤘다.

Fig. 4는 Bi-In 리플로우 솔더링 후 IMC층에 대한 EDX 분석 결과로써 Ag층 위에 수 $\mu$ m AgIn<sub>2</sub>계의 IMC 층이 주로 형성된다.

**Cu단자 솔더링 후 미세조직 :** Fig. 5는 Cu단자와 Ag단자가 접합된 초전도체를 솔더링 한

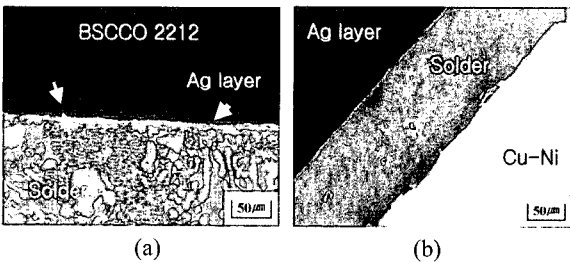


Fig. 3. OM micrographs of Semi-tube Soldering In-Sn soldering (a) Bi-In soldering (b).

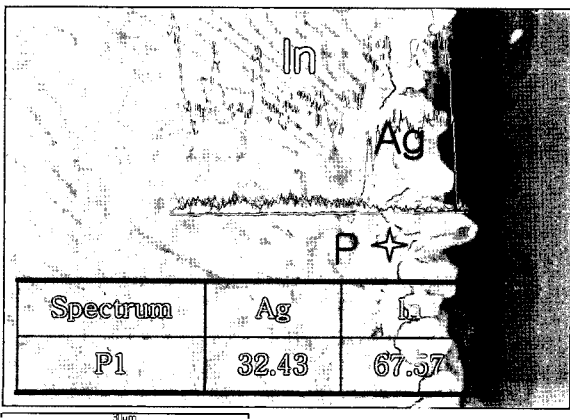


Fig. 4 SEM micrographs and EDX analysis for Bi-In Soldering.

후 SEM 이미지로 Fig. 5(a)의 In-Sn 솔더링과 Fig. 5(b)의 Bi-In 솔더링 모두 Ag contact부분에서 초전도체 내부로 확산 된 층을 형성하고 있으며, In-Sn 솔더로 솔더링 된 경우 IMC가 수직상 형태로 솔더 방향으로 성장한 반면 In-Bi 솔더의 솔더링 후 접합계면은 IMC층이 반응에 사용된 솔더량의 증가에 의해 전자의 경우와는 다르게 솔더 방향으로 뿐만 아니라 Ag 내부로 확산 반응이 일어났다.

Fig. 6은 In-Sn 솔더링 후에 접합계면에 대한 EDX분석 결과로써 Ag/솔더사이 계면반응이 솔더측에서는 In이 다량 분포한 IMC가 형성된 반면에 Ag와 접한 IMC층은 주로 In이 결핍된 다층구조의 IMC층을 형성함을 알 수 있다. 이것은 Cu 단자의 큰 부피면적으로 인한 솔더링 온도 상승과 열의 편차에 따른 이유로 사료된다.

Fig. 7은 Bi-In 솔더링 후 미세조직으로 In-Sn 솔더를 리플로우 솔더링 후 IMC층과 비슷한 다층구조로 발달 했지만, In-Sn솔더의 경우와는 다르게 AgIn<sub>2</sub>계의 IMC층이 Ag측과 솔더 내부

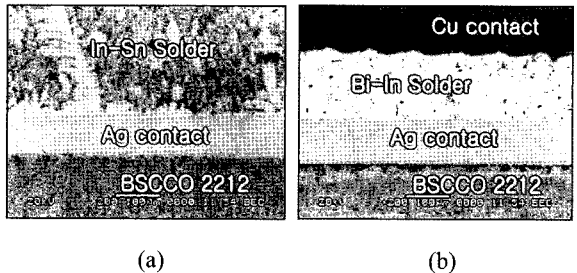


Fig. 5. SEM micrographs for In-Sn soldering (a) Bi-In soldering (b).

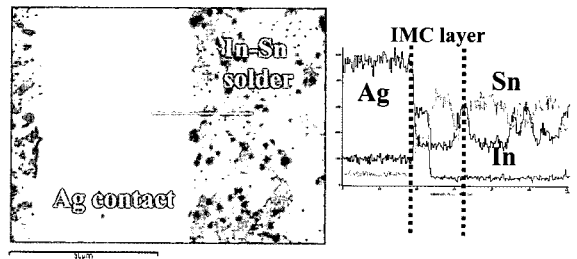


Fig. 6. SEM micrographs and EDX analysis for In-Sn Soldering.

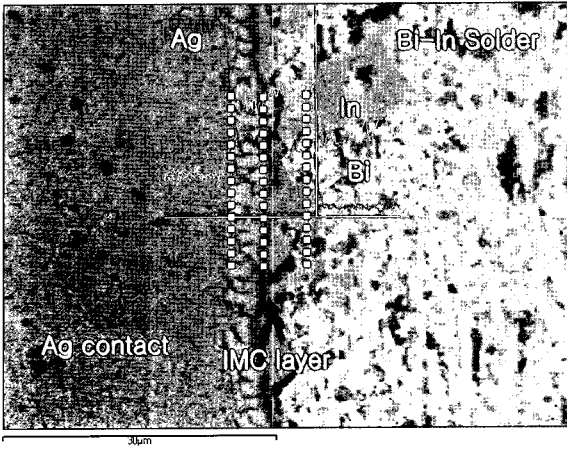


Fig. 7. SEM micrographs and EDX analysis for Bi-In Soldering.

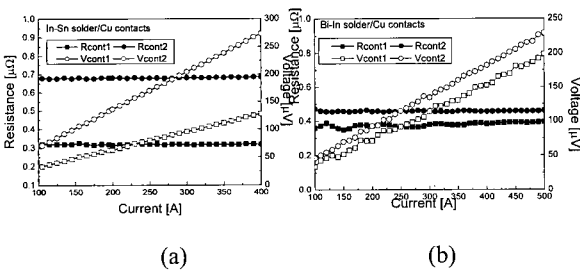


Fig. 8. Contact resistance curves of In-Sn soldering (a) and Bi-In soldering (b).

Table. 3 Contact resistance of the company A.

	R Cont.1[ $\mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ ]	R Cont.2[ $\mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ ]
Sample. 1	0.068	0.186
Sample. 2	0.061	0.077
Sample. 3	0.053	0.08

로 IMC층이 확산 발달 성장 하였다. 이로 인해 중간영역에 조성비가 다른 종류의 IMC층이 형성되었다.

접촉저항은 측정 결과 Fig. 8과 같이 In-Sn 솔더는 양 단자가 접촉저항이 단면적 대비  $0.039 \mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ ,  $0.082 \mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ 였으며, Bi-In솔더의 경우는 각각  $0.042 \mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ ,  $0.057 \mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ 로 측정 되

었다. In-Sn 솔더의 경우 Bi-In 솔더에 비해서 양 단자가 더 큰 차이를 보이는 이유는 리플로우 솔더링 온도가 후자에 비해 높은 관계로 2 차에 걸친 솔더링으로 인해서 솔더 접합부의 금속간 화합물이 더 성장한 이유로 사료된다. 그러나 두 종류 모두 Table 3과 같이 A사의 접촉저항과 비교해서 더 우수한 접촉저항을 나타냈다.

#### 4. 결론

초전도 한류기에 사용되는 BSCCO 2212 고온 초전도체를 In-Sn 솔더와 Bi-In 솔더를 이용하여 섀트 금속 또는 Cu 단자와 솔더링 하여 미세 분석 결과, 첫 번째 Semi-tube 형태의 초전도체에 섀트 금속을 리플로우 솔더링하여  $\text{AgIn}_2$ 계의 IMC층이 Ag층/solder 계면에서 확산반응으로 생성됐다.

두 번째 Cu 단자를 초전도체와 솔더링(리플로우 솔더링+침지솔더링) 한 경우 두 종류의 솔더 모두 접합계면에서  $\text{Ag}_x\text{In}_y$  IMC가 형성되었으며, In-Sn 솔더링은 금속간화합물이 솔더 내부로 확산 온도구배에 의한 다층구조로 발달하였다. Bi-In 경우  $\text{AgIn}_2$ 계의 IMC가 솔더측과 Ag측 방향으로 확산하며, 확산 된 방향 사이에 새로운 층의 IMC층을 형성하여 성장함으로 장시간 사용시 새로운 IMC층이 열에 의한 반복 하중에 의해 피로파괴 원인이 될 것으로 사료된다.

마지막으로 리플로우 솔더링 후의 접촉저항은 두 종류의 솔더 모두 타사에 비교하여 안정된 수치를 보였다. 그러나 양 단자 사이의 리플로우 솔더링 횟수로 인한 접촉저항의 변화는 차후 연구를 통해서 해결해야 할 것이다.

#### Acknowledgments

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 유상임, “고온초전도 벌크재료의 기술개발 현황 및 전망”, 초전도와 저온공학, 4권 2호(2002).
- [2] Steffen Elschner, Frank Breuer, Thomas Rettelbach, Heribert walter, and Joachim Bock, “Manufacturing and Testing of MCP 2212 Bifilar Coils for a 10 MVA Fault current Limiter”, IEEE Trans. Applied. 13, 1051-8223 (2003).
- [3] S. Elschner , F. Breuer , M. Noe, A. Wolf, J. Bock, “Qualification of MCP BSCCO 2212 bulk material for use in resistive current limiters”, Physica C, 372-376 (2002).
- [4] Dae-Gon Kim, Seung-Boo Jung, “Interfacial reactions and growth kinetics for intermetallic compound layer between In-48Sn solder and bare cu substrate”, Journal of Alloys and Compounds, 386, 151-156 (2005).
- [5] I. Shohji, S. Fujiwara, S. Kiyono and K. F. Kobayashi, “Intermetallic compound layer formation between Au and In-48Sn solder”, Scripta Materialia, 40, 7, 815-820 (1999).