

새로운 ICP 장치를 이용한 고온 초전도체의 Dry Etching과 기존의 Wet Etching 기술과의 비교

Comparison of the Existing Wet Etching and the Dry Etching with the ICP Process Method

강형곤*, 임성훈*, 임연호**, 한윤봉**, 황종선***, 한병성*
(Hyeong-Gon Kang*, Sung-Hun Lim*, Yeon-Ho Im**, Yoon-Bong Hahn**,
Jong-Sun Hwang***, Byung-Sung Han*)

Abstract

In this report, a new process for patterning of YBaCuO thin films, ICP(inductively coupled plasma) method, is described by comparing with existing wet etching method. Two 100 μm wide and 2 mm long YBaCuO striplines on LaAlO_3 substrates have been fabricated using two patterning techniques. And the properties were compared with the critical temperature and the SEM photography. Then, the critical temperatures of two samples were about 88 K, but the cross section of sample using ICP method was shaper than that using the wet etching method. ICP method can be used as a good etching technique process for patterning of YBaCuO superconductor.

Key Words : YBaCuO superconductor, ICP, Critical Temperature, Wet Etching, Dry Etching

1. 서론

고온 초전도체가 발견된 이후로[1] 초전도체를 이용한 전자 디바이스의 응용에 대한 관심이 증가되게 되었다. 그러나, 산화물 고온초전도체는 금속속으로 만들어지는 기존의 저온 초전도체와는 달리 유연성이 없고 기계적 강도가 낮으며 기공이 많은 미세 구조 등으로 인하여 응용을 위한 선재화의 어려움이 따를 뿐 아니라, 다결정 구조인 관계로 임계 전류밀도(J_c)가 낮고 외부 자장에 민감한 영향을 받

는다[2]. 이를 극복하기 위하여 Ag 피복법이나 부분 용융법[3,4] 등과 같은 여러 가지 기술을 사용하고 있으나 고에너지 분야의 실용화에 요구되는 수준에까지는 이르지 못하고 있다. 반면에 박막을 이용한 micro-electronics 분야에서는 실용화에 요구되는 큰 임계전류와 높은 임계온도(T_c)를 가지며 표면 평활도가 우수하고 일정한 방향으로 배향된 에피택셜 박막이 여러 가지 방법에 의하여 제작되어 SQUID 나 마이크로파 소자 등과 같은 일부 소자 제작[5]에 사용되고 있다. 이러한 소자 개발에 있어서 필수적으로 요구되는 것이 박막의 전기적 특성 저하를 일으키지 않고 여러 가지 형태의 구조를 가지는 미세선 가공 기술의 확립이다. 고온 초전도체의 미세 회로 제작에는 크게 습식식각(wet etching)과 건식식각(dry etching)으로 나눌 수 있다. 화학용액을 이용하는 습식 식각은 반응속도가 용액 농도에 비례하고 크기가 큰 박막의 경우 기관 중심 부위의 용

* : 전북대학교 전기공학과
(전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14
Fax: 063-270-2394, E-mail : joshuah@shinbiro.com)
** : 전북대학교 화학공학과
*** : 전남도립 담양대학교 전기전자공학부
2000년 11월 30일 접수, 2001년 1월19일 심사완료

액 농도가 가장자리에 비해 적기 때문에 항상 중앙의 식각 속도가 가장자리보다 적게 된다. 깊이 방향뿐 아니라 측벽 방향으로도 식각이 진행되는 마스크 언더컷(mask undercut)현상이 발생하므로 이를 감안하여 식각 마스크의 초기 선폭을 미리 조정해야 하는 문제점이 있다. 또한 습식 식각은 공정 중에 초전도체와 수분과의 접촉이 불가피하므로 초전도 특성의 저하가 수반되기 때문에 마이크로이나 그 이하의 선폭을 가지는 회로의 제작에는 적합하지 않다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 활성 이온식각법(reactive ion etching RIE), 레이저 쓰기(laser writing), sputtering etching 등의 건식 식각 방법[6-8]이 많이 사용되고 있다. 최근에는 고밀도 플라즈마를 이용한 ICP(inductively coupled plasma),[9,10]가 반도체 재료의 건식식각에 성공하여 반도체 식각 및 MEMS(microelectro mechanical system) 가공공정에 점차 사용이 확대되고 있다. 본 연구에서는 기존의 습식 식각 공정과, 반도체 건식 식각 방법으로 최근에 새롭게 대두되고 있는 ICP 장비를 사용하여 YBCO 박막의 미세선을 제작하고 이의 임계온도 특성과, 전자현미경 사진을 이용한 단면을 서로 비교하여 반도체 공정에서 사용되는 ICP 건식 식각 방법이 초전도체의 식각공정으로도 사용 가능함을 보여주었다. 이 ICP장치를 이용한 식각 방법은 고밀도 플라즈마를 이용함으로써 인해서 기존의 건식 식각 방법들에 비해서 플라즈마 발생시 하부전극에 생기는 self-bias 전압이 낮기 때문에 시료표면에 손상을 거의 주지 않고서 식각을 진행할 수 있는 장점이 있다. 이 논문에는 단순히 습식 식각과의 비교를 통해 ICP 장비를 이용한 식각이 고온초전도체의 식각에 사용될 수 있음을 임계온도 측정 및 SEM을 통한 단순비교를 통해 보여주었다.

2. 실험 방법

2.1 습식 식각

LaAlO₃ 기판위에 laser ablation 방법으로 5000 Å 두께의 YBaCuO 박막을 제작하였다. 제작된 박막을 선폭 100 μm으로 마스크를 제작하였다. 다음으로 인산(H₃PO₄)과, 물의 비율을 1:5로 하여 etchant 용액을 만들었다. 제작된 박막 위에 spin coater를 이용하여 스피ن속도 3000 RPM으로 positive 포토레지터를 약 2 μm 두께로 얇게 도포하였다. 다음으로 90 °C의 hot plate 위에서 1분 동안 soft baking을 실시한 후 노광기에서 20 초동안 마스크를 대고 노출하였다. 이렇게 제작된 샘플을 다시 현상액에 담

그어 자외선에 노출된 포토레지스터를 제거하고, 다시 이를 이미 제작된 etchant 용액에 10 초 동안 담그어 원하는 패턴을 형성시켰다. 이의 조건을 표 1에 정리하여 나타내었다.

표 1. 습식식각을 위한 조건.

Table 1. Condition of wet etching.

공정	조건
RPM 속도	3000 rpm 30 초
Photoresist	AZ 1524
노출시간	20 초
etchant	H ₃ PO ₄ : H ₂ O = 1:5
현상액조건	AZ 300K 원액 1분
soft baking	90 °C, 1 분

2.2 ICP 장치 설명

그림 1은 본 논문에서 사용된 ICP장치의 개략도이다. ICP 공급 코일로는 13.56 MHz에서 작동하는 평판형 코일을 사용하였다. 그 구성은 반응기, 진공배기 장치, 13.56 MHz ICP 발생장치 및 평판형 유도코일, 하부전극, bias용 rf 발생장치, matching network, 기체 공급장치로 구성되어 있다.

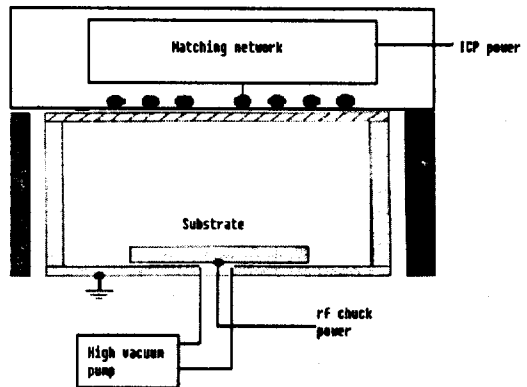


그림 1. ICP 장치의 개략도.

Fig. 1. Schematic illustration of ICP system.

2.3 건식 식각

ICP dry etching을 위해서는 두꺼운 포토레지스터층의 형성이 필요하다. 위에서와 같이 동일하게 제

작된 YBCO 박막을 두께 7 μm 까지 도포가 가능한 AZ 4620 포토레지스터를 스핀 속도 4000 rpm로 35 초 동안 회전하며, 도포한 후 90 $^{\circ}\text{C}$ 의 hot plate 위에서 1분 동안 soft baking을 실시하였다. 다음으로 이를 자외선 노광기에서 4분동안 충분히 노출을 실시하고, 현상액(AZ 400K 원액)에 담그어 빛에 노출된 부분의 포토레지스터를 제거하였다. 이렇게 제작된 샘플을 표 2와 같은 조건의 ICP 장비를 이용하여 dry etching을 실시하였다. 에칭 후에 패턴위에 남아 있는 경화된 포토레지스터 층은 O_2 분위기에서 스퍼터링을 이용하여 제거하였다. 다음 표 2는 ICP dry etching 조건이다. .

표 2. ICP 공정을 위한 에칭 조건.
Table 2. Condition for ICP processor.

공정 변수	조건
ICP power	700 W
RF chuck power	150 W
Ratio of gas	$\text{Cl}_2 : (\text{Cl}_2 + \text{Ar})$ = 1 : 1
Base pressure	10^{-6} Torr
Process pressure	100 mTorr

3. 결과 분석

먼저 전자 현미경 사진과, x-ray 분석을 통해 레이저빔으로 만들어진 박막의 초전도 상을 확인하였다. 그림 2 에서 보여주는 것과 같이 고온 초전도 상인 막대형태의 상들이 조밀하게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 3에서 보는 바와 같이 x-ray 분석에서도 Y123 고온 초전도 상들이 일방

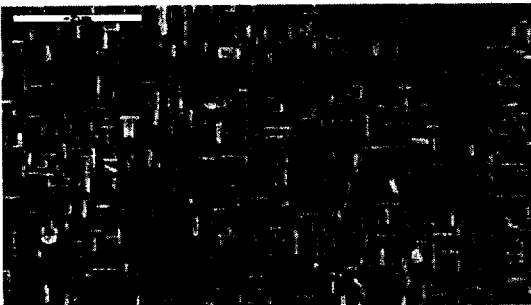


그림 2. 샘플의 전자 현미경 사진.
Fig. 2. SEM photographic of sample.

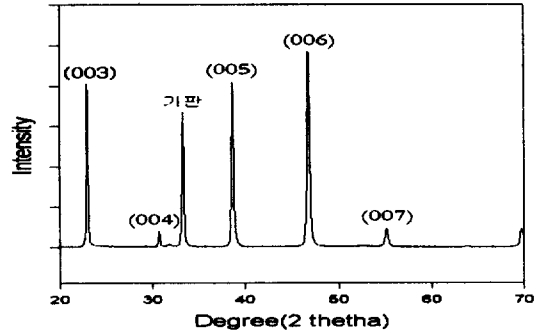


그림 3. 초전도 박막의 X-ray 패턴.
Fig. 3. X-ray pattern of superconducting thin film.

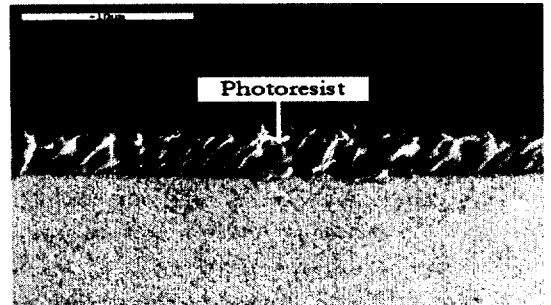


그림 4. 포토레지스터가 입혀진 샘플.
Fig. 4. Photoresist layer on YBaCuO thin film.

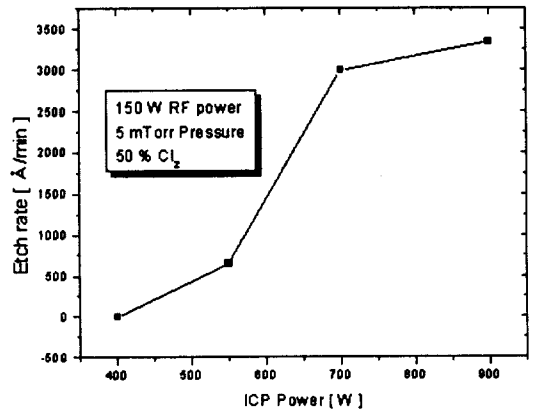


그림 5. ICP 파워에 따른 etch rate.
Fig. 5. Etch rate with ICP power.

향성으로 잘 형성되어 있음을 알 수 있다.

그림 4는 제작된 초전도 박막 층 위에 두께 $7\mu\text{m}$ 로 올라간 포토레지스터 층을 보여 주고 있다.

ICP 장치를 이용한 패턴의 식각을 위해서는 고밀도 플라즈마 상태에서도 패턴을 보호할 수 있는 두꺼운 보호층이 필요하다. 본 실험에서는 Az 4620 포토를 사용하여 이 조건을 충족하였다. 다음 그림 5는 ICP 파워에 따른 etch rate를 나타낸 그림이다.

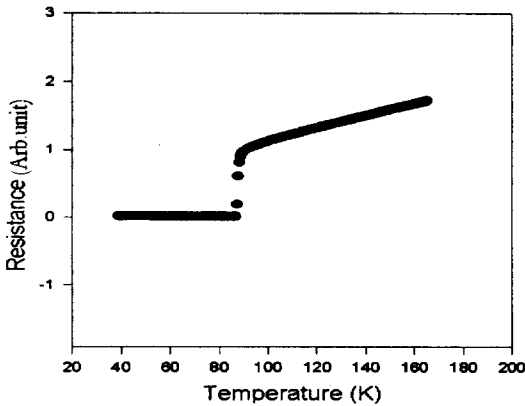


그림 6. 습식 에칭된 샘플의 임계온도.
Fig. 6. Critical temperature of wet etched sample.

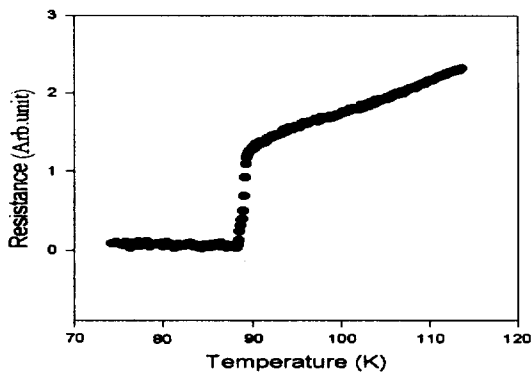


그림 7. 건식 에칭된 샘플의 임계온도.
Fig. 7. Critical temperature of dry etched sample by ICP process.

여기에서 ICP 파워를 증가시킬수록 etch rate가 급격하게 증가되다가 700 W 부터는 완만하게 증가하는 것을 볼 때 적절한 파워는 700 W 정도임을 알 수 있다. 그림 6과 7은 각각 wet etching 방법으로 제작된 박막과, dry etching 방법으로 제작된 미세선의 임계온도 비교이다. 여기에서 보여주는 것과

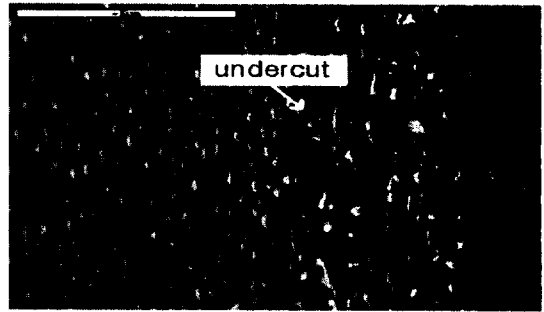
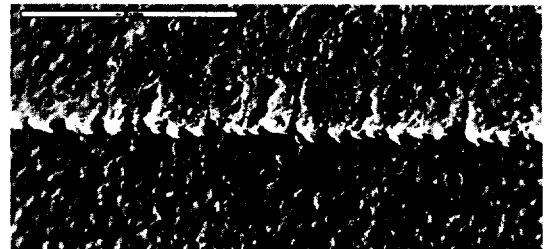


그림 8. 습식 에칭된 샘플의 측 단면 사진.
Fig. 8. Cross section of wet etched sample.



(a)



(b)

그림 9. 건식 에칭 전 후의 샘플 단면사진.
(a) 에칭 전의 샘플 (b) 건식 에칭한 샘플
Fig. 9. Cross section of dry etched sample.
(a) sample before dry etching
(b) dry etched sample

같이 임계온도 면에서는 두 샘플 모두 77 K 이상의 임계온도를 보여주고 있다. 이는 기존의 wet etching 과 dry etching 방법과 같이 ICP 장치로도 액체질소 온도에서 초전도 특성을 나타내는 디바이스를 제작 할 수 있음을 보여준다. 그러나, 그림 8의 wet etching과, 그림 9의 ICP 장비로 dry

etching된 미세선의 전자현미경 사진을 보면 wet etching된 미세선은 단면이 에천트 용액에 의해 밑으로 파고 들어가는 undercut 현상을 보이고 있다. 특히 초전도체를 전력 소자로서 응용하고자 하는 경우 높은 임계전류를 위해 두꺼운 박막을 이용하는데 이 undercut 현상은 더 크게 나타나리라 본다. 그러나, dry etching된 미세선은 단면이 undercut 현상은 보이지 않았지만 활성화된 이온들에 의해 단면 부분이 크랙을 일으킨 것을 볼 수 있다. 그러나, 이는 앞으로 적절한 포토레지스터 공정을 통하여 충분히 개선할 수 있을 것으로 본다. 초전도체의 고주파 응용 소자 제작에 있어 패턴의 형성은 RF 영역에서는 박막의 edge effect가 크게 작용한다[11].

이런 점에서 볼 때 ICP를 이용한 건식식각 방법이 기존에 많이 사용하는 wet etching법 보다는 균일한 두께의 패턴 층을 얻을 수 있어 좋은 전기적 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

4. 결 론

에천트 용액을 이용한 wet etching과, ICP 장치를 이용한 dry etching을 실시하여 미세선을 제작하고 이의 특성을 임계온도, 전자 현미경 사진을 통하여 비교하여 보았다. ICP를 이용하여 건식식각 에칭을 했을 경우 ICP 파워가 증가할 수록 etch rate가 증가함을 알 수 있었다.

Wet etching이나, ICP를 이용한 dry etching한 샘플의 경우 임계 온도 면에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 본 실험에서 두 샘플 모두 임계온도 88 K 가량을 얻었다. 그러나, 전자 현미경을 사용하여 에칭된 단면의 비교에서 wet etching 된 샘플은 under cut 현상을 보였는데 ICP 장비를 이용한 에칭에서는 undercut 현상은 보이지 않았지만 모서리 부분에 많은 크랙이 생기었다. 그러나, 이는 포토레지스터 공정을 통하여 충분히 개선할 수 있음을 감안하여 볼 때 반도체 에칭 기술 중에 하나인 ICP 방법 또한 산화물 고온 초전도체의 패턴 구현에 충분히 이용 가능한 에칭기술이라 볼 수 있다.

참고 문헌

[1] M.K. Wu, J.R.A shbum, C. J. Tomg, P.H.Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z.J.Huang, Y.Q.Wang and C. W. Chu, "Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure" *Phy. Rev. Lett.*,

No. 58, pp. 908, 1987.
 [2] 강형근, 임성훈, 박성진, 한병성, "MPMG법을 이용한 YBaCuO 초전도체의 임계특성에 영향을 미치는 파라미터" *KIEE*, Vol.48c, No.4, pp.221-225, April, 1999.
 [3] 김민기, 허원일, 최명호, 한병성, "로울링법을 이용한 고온 초전도 다심선재 제조" *KIEEME*, Vol.9, No.6, pp.600-604, July, 1996
 [4] 임성훈, 최명호, 강형근 외 "용융성장시 서냉 시간과 후열처리 시간에 따른 임계특성" *KIEEME*, Vol.11, No.4, April, 1998.
 [5] A.Davidson and N.F.Pedersen, "A new Three Terminal Vortex Flow Device" *IEEE tran. on App. super.*, Vol.7, No.2, pp.2403-2406, June, 1997.
 [6] S.Matsui, N. Takado, H. Tsuge, and K. Asakawa "Reactive ion beam etching of Y-Ba-Cu-O superconductor" *Appl. phys. lett.* Vol. 52, No. 1, pp. 69-71, 4 Jan. 1988.
 [7] Masanobu Kusunoki, Hiroyuki Akaike, Akira Fujimaki and Hisao Hayakawa, "Submicron Patterning Technique for YBaCuO films" *Jpn.J.Appl.Phys.*, Vol. 33, No. 8A, pp. L1124-L1127, part 2, 1 August 1994.
 [8] M.R.Poor and C.B. Fleddermann "Chemical plasma etching of Y-Ba-Cu-Oxide thin film" *J.Appl.Phys.* Vol. 70, No. 12, pp. 7640-7642, 15 December 1991.
 [9] R.J.Shul, G.B.Mccllellan, S.A.Casainuovo, and D.J.Rieger, "inductively coupled plasma etching of GaN" *Appl.Phys.Lett* Vol.69, No.8, pp. 1119-1121, 19 August 1996.
 [10] 김창일, 권광호 "Icp에 의한 BC13/Cl2 플라즈마 내에서 Pt 박막의 식각 특성" *KIEEME*, Vol. 11, No.10, pp. 804 - 808, October, 1998.
 [11] A.C. Rose-Innes, E.H.Rhoderick, 초전도 입문, 기전연구사, pp. 109, 1992.