

플라즈마 식각 특성과 이를 이용한 초전도 자속 흐름 트랜지스터

Characteristics of Plasma etching and Fabrication of Superconducting Flux

Flow Transistor

강형곤*, 박춘배**, 이경섭***, 김형곤&, 황중선&&, 한병성&&&

(H-G Kang, C-B Park, K-S Lee, H-G Kim, C-S Hwang, B-S Han)

Abstract

The channel of the superconducting Flux Flow Transistor has been fabricated with plasma etching method using ICP. The ICP conditions were 700 W of ICP power, 150 W of rf chuck power, 5 mTorr of the pressure in chamber and 1:1 of Ar : Cl₂, respectively. The channel etched by plasma gas showed superconducting characteristics of over 77 K and superior surface morphology. The critical current of SFCT was altered by varying the external applied current. As the external applied current increased from 0 to 12 mA, the critical current decreased from 28 to 22 mA. Then the obtained r_m values were smaller than 0.1Ω at a bias current of 40 mA. The current gain was about 0.5. Output resistance was below 0.2Ω .

Key Words : Superconducting Flux Flow Transistor, Inductively coupled process, channel, plasma

1. 서론

미래 첨단 산업은 몇 배 이상 배가된 성능과 초고속을 겸비한 기술을 요구하고 있다. 0 저항 특성을 가지는 초전도체는 이러한 기술적 요구에 부합하는 물질로서 실리콘으로 대표되는 반도체 산업

의 다음 주자로서 주목 받고 있다. 초전도체는 현재 전력의 한계로 더 이상의 발전에 제동이 걸린 반도체의 대체 기술로 초전도 전자소자라는 새로운 응용분야를 열어 주었다. 초전도체를 이용한 응용에는 선재를 이용한 분야와 박막을 이용한 분야로 나누어 볼 수 있다. 선재를 이용한 분야에는 초전도 케이블 및 모터, 변압기 등이 있으며 박막을 이용한 소자로는 안테나, 필터, SFCL^{[1-2]}} 등이 있다. 특히 박막을 이용한 소자 제작을 위해서는 재현성있는 식각기술이 필요하다. 기존의 습식식각은 많이 알려진 방법으로서 제작 공정이 간단한 장점

* 전북대학교 반도체물성연구소
E-mail : joshmoses@hanmail.net

** 원광대학교 교수

*** 동신대학교 교수

& 조선대학교 교수

&& 전남 담양공업대학교 교수

&&& 전북대 전기공학과 교수, 공업기술연구소 소속

이 있다. 그러나, undercut과 같은 문제로 인해 재현성 면에서는 정밀한 특성을 요구하는 소자제작에는 많은 한계점이 있다. 이를 극복하기 위해서 RIE, ECR 등 건식 식각방법 등이 최근에 많이 사용되고 있다. 본 논문에서는 반도체 식각 장비로 사용되는 ICP 장비를 사용하여 요즘 새롭게 주목받고 있는 초전도 자속흐름 트랜지스터를 제작하여^[3] 이의 특성을 시험하였다. 이를 위해 임계온도 측정, AFM, I-V 특성등을 측정하였다.

2. 실험과정

1 cm × 1 cm × 0.5 mm 크기의 LaAlO₃ 기판 위에 laser ablation 법으로 제작한 두께 약 500 nm 의 초전도 박막을 기존의 습식식각 방법과, ICP 장치라는 플라즈마 식각 장비를 이용하여 SFFT의 채널을 제작하였다. 이때 Control line의 폭은 20 μm, body line은 50 μm의 폭이며 body line 안에 align 공정을 통해 제작한 채널은 약 3 μm 폭으로 설계하였다. 사용된 장치의 ICP 공급 코일로는 13.56 MHz에서 작동하는 평판형 코일을 사용하였다. 그 구성은 반응기, 진공 배기 장치, 13.56 MHz ICP power 발생장치 및 평판형 유도코일, 하부전극, bias용 rf 발생장치, matching network, 기체 공급장치로 구성되어 있다^[4]. 또한 인산, 소수성 용매인 Br 수 등에서도 초전도 박막의 표면 식각을 실시하여 ICP 장치를 사용한 플라즈마 식각과 비교하여 보았다.

3. 실험 결과 및 논의

그림 1에서 4은 ICP 장비의 ICP power, rf power, 챔버 내 압력 그리고 식각 가스의 비율에 따른 초전도 박막의 성분분포를 나타낸 그림이다. 이를 통하여 적절한 식각 조건을 구하였다. ICP power는 700 W, rf power는 150 W, 챔버내 압력은 5 mTorr, 그리고, Ar : Cl₂ 혼합가스의 비율은 1:1에서 Y:Ba:Cu 가 고온초전도체의 성분 비율인 1:2:2 과 근접한 비율을 보여 주었고, 그 외의 경우에는 Y:Ba:Cu의 비율이 상당히 불규칙하게 조성되어 있음을 알 수 있었다. 이를 통해 ICP의 적정 조건을 구하였다. 그림 5는 ICP 식각 후의 임계온도를 측정 한 것이다. 77K 이상의 임계온도를 유지함을 알 수 있었다. 또한 그림 6의 X-ray분석 결과에서도 ICP 식각 후 초전도 결정성을 그대로 유지함을 확인할 수 있었다. 그림 7은 식각 후의 식각 단면을 보여 준다. under cut이 나타나 있지

않음을 알 수 있다. 이는 ICP 장비의 식각 이온들이 다른 건식 식각 장비에 비하여 상당히 좋은 직진성을 가지고 있음을 보여주는 증거이다. 그림 8은 일반적인 식각 방법인 인산, Br 수 또 플라즈마 식각 후 이들의 식각 표면의 거칠기를 AFM 사진으로 확인한 것이다. 원 샘플의 표면 거칠기는 rms 11.846 nm 이다. 소수성 에천트인 Br에서의 경우는 약 20.187 nm, 강산 용액인 인산에서는 약 48.791 nm, 그리고, ICP 장치를 사용한 플라즈마 식각인 경우에는 약 24.161 nm 였다. 특히 강산에 식각한 경우에는 매우 거친 표면을 보여준다. 비록 플라즈마 식각이 소수성 에천트인 Br 수에 비해서는 좀 거친 표면을 보여 주었지만 습식 식각인 경우 언더컷 현상이 있는 것을 감안할 때^[5] ICP 장비를 이용한 플라즈마 식각은 SFFT 제작시 재현성 있는 채널을 제작할 수 있음을 보여 준다. 이러한 결과들을 바탕으로 ICP 식각 장비는 초전도 트랜지스터의 채널 제작에 있어 좋은 가능성을 갖는 식각방법이 될 수 있음을 보여 주었다. 그림 9는 제작한 SFFT의 I-V 곡선을 보여주는 그림이다. 전형적인 트랜지스터의 I-V 특성을 보여준다. 바이어스 전류의 증가에 따라 유도전압이 증가하였으며, 외부 컨트롤 전류가 0, 4, 8, 12 mA로 증가함에 따라 채널의 임계전류 또한 28, 26, 24, 22 mA로 일정하게 감소함을 알 수 있다. 이는 컨트롤 전류로 인한 외부 인가자계에 의하여 초전도체의 임계전류가 변하고 있음을 의미한다. 이때 저항이득은 40 mA의 바이어스 전류에서 약 0.1 Ω 이었으며, 출력 저항은 0.2 Ω 이하 였다.

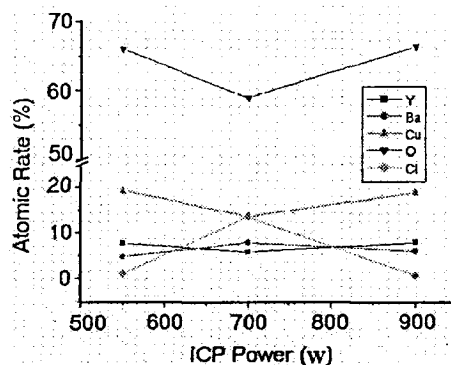


그림 1. ICP power에 따른 성분분포
Fig. 1. Composition rate along ICP power

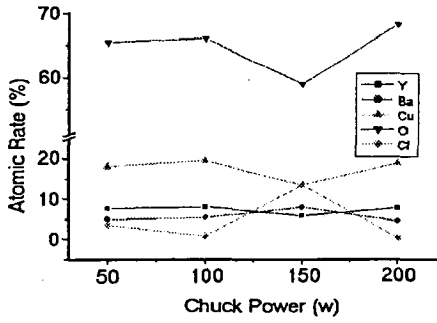


그림 2. Chuck power에 따른 성분분포
Fig. 2. Composition rate along Chuck power

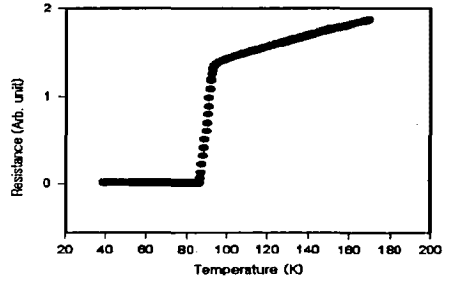


그림 5. 플라즈마 식각된 박막의 임계온도
5. Critical temperature of thin film after ICP etching

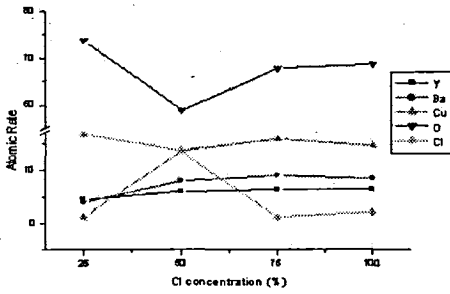


그림 3. Cl₂ 양에 따른 성분분포
Fig. 3. Composition rate along Cl₂

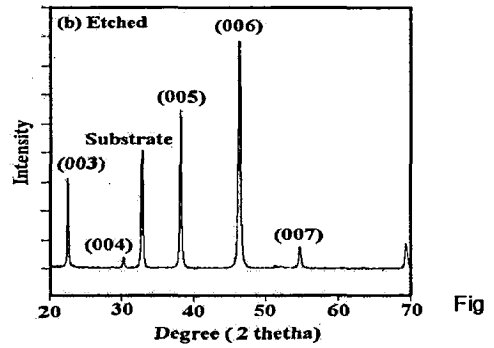


그림 6. 플라즈마 식각된 박막의 X-ray
Fig. 6. X-ray analysis of thin film after ICP etching

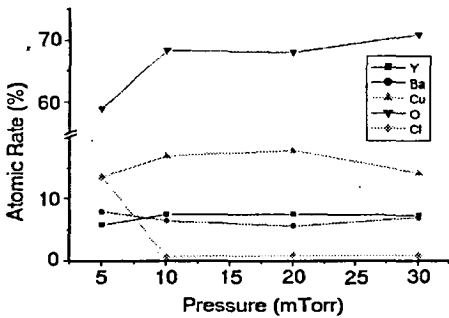


그림 4. 챔버 내 압력에 따른 성분분포
Fig. 4. Composition rate along pressure in the chamber

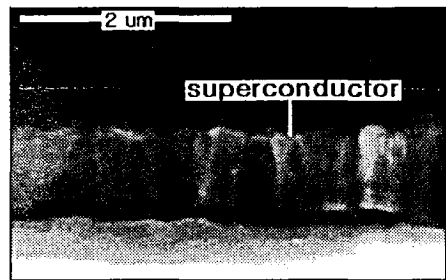


그림 7. 플라즈마 식각된 박막의 단면
Fig. 7. Cross-section of thin film after ICP etching

4. 결과

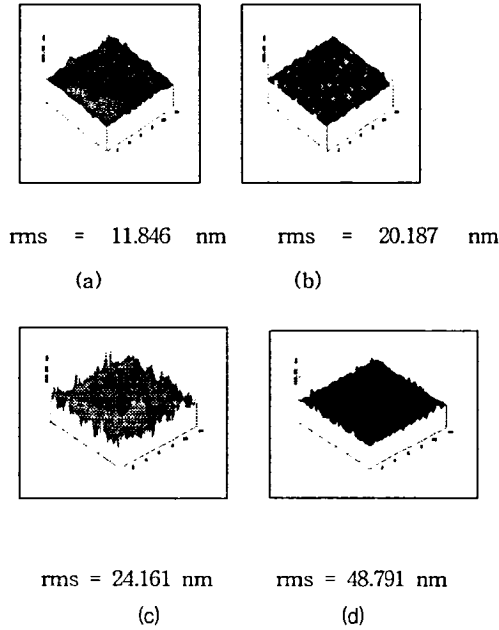


그림 8. 다양한 식각 방법에 따른 초전도 샘플의 AFM 사진

(a) 원 샘플 (b) Br 에 의한 식각

(c)인산에 의한 식각 (d) 플라즈마에 의한 식각

Fig. 8. AFM images of YBCO thin films with various etching methods

(a) Original (b) by Br

(c) H₃PO₄ (d) ICP

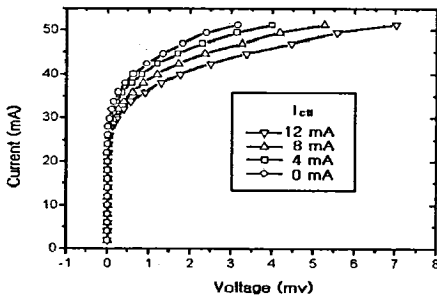


그림 9. 제작된 SFFT의 I-V 곡선

Fig. 9. I-V curves of the SFFT

ICP 장치를 이용한 식각기술은 초전도체 디바이스 제작에 있어 우수한 잠재력을 가진 식각 방법임을 확인하였다. 이때 ICP의 조건은 ICP power 700 W, rf chuck power 150 W, 챔버내 압력 5 mTorr, 그리고, Ar : Cl₂ 혼합가스의 비율 1:1이었다. 이때 77 K 이상의 임계온도와 우수한 표면균일도를 갖는 SFFT 채널을 제작할 수 있었다. 0, 4, 8, 12 mA의 외부 인가전류에 따른 SFFT 채널의 임계전류 변화는 28, 26, 24, 22 mA이었다. 일반적인 트랜지스터의 특성을 갖는 I-V 곡선을 구할 수 있었다. 그때 저항이득은 40 mA의 바이어스 전류에서 약 0.1 Ω 이었으며, 출력 저항은 0.2 Ω 이하 였다.

참 고 문 헌

- [1] Dong-Chul Chung, B S Han, Y H Lee, O B Hyun, H S Choi, "Anomalous microwave properties of high-T_c Superconducting microstrip antennas around the critical temperature" *J.App.Physics.*, Vol. 86, No. 12, pp 7192-7194, Dec. 1999.
- [2] J. S. Martens, J. B. Beyer, J. E. Nordman, G. K. Honenwarter, and D.S. Ginley, "A Superconducting single film device Oscillator made of high T_c and low T_c materials" in *proc. 1989 int. IEEE MTT-Symp.*, pp 443-446, 1989.
- [3] J. S. Martens et al., "S parameter measurements and microwave applications of superconducting flux flow transistors." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 39, pp 2018-2025, December, 1991.
- [4] 강형근, 임성훈 외 4 "새로운 ICP 장치를 이용한 고온 초전도체의 dry etching과 기존의 Wet etching 기술과의 비교" *KIEEME*, Vol. 14, No. 2, pp. 158-162, Feb. 2001.
- [5] Y. H. Im, H. G. kang, B. S. Han, and Y. B. Hahn "High Density Plasma Etching of YBaCuO Superconductors" *Electrochemical and Solid State Letters*, Vol. 4, pp C77-C79, Oct., 2001.