

論文93-30A-10-2

밀리미터파 믹서용 초전도 터널 접합 설계와 제작에 관한 연구

(A Study on the Fabrication and Design of Superconducting Tunnel Junction for Millimeter Wave Mixers)

韓錫太*, 李昌勳*, 徐楨彬*, 朴東徹**

(Seog Tae Han, Chang Hoon Lee, Jeong Bin Seo and Dong Chul Park)

要約

초전도 터널 접합 믹서를 이용한 초전도 밀리미터파 수신기는 고감도 광대역 특성을 갖고 있으므로 밀리미터파 우주 전파 수신에 널리 이용되고 있다. 본 논문에서는 성능이 우수한 믹서를 만들기 위해서는 반드시 최적화 시켜야 할 초전도 터널 접합의 파라미터를 결정하는 방법을 제시하였다. 아울러 이 방법으로 결정된 최적화된 접합 파라미터를 이용하여 SNEP(Selective Niobium Etching Process)와 RIE(Reactive Ion Etching) 방법을 사용해 한개의 접합 면적이 $3.4\mu\text{m}^2$ 인 4개의 접합이 직렬로 배열된 초전도 터널 접합 Nb/Al-AlOx/Nb을 제작하고 그 성능을 측정하였다. 이 초전도 접합은 100GHz대 우주 전파 관측용 수신기의 믹서에 사용될 예정이다.

Abstract

Because of their high sensitivity and moderate bandwidth, superconducting receivers with SIS (Superconductor Insulator Superconductor) tunnel junction mixer are now widely used for millimeter wave radio astronomy. In this paper we have introduced how to determine the parameters of SIS tunnel junction which have to be optimized to achieve a good mixer performance. From these results of optimized junction parameters determined by this methods, SIS junctions which consist of a series array of four Nb/Al-AlOx/Nb junctions with each area $3.4\mu\text{m}^2$ have been fabricated by SNEP (Selective Niobium Etching Process) and RIE (Reactive Ion Etching). Also we have tested their DC current-voltage characteristics. These SIS junctions will be used as a mixer for 100GHz band cosmic waves receiver.

1. 서론

*正會員, 天文臺

(Korea Astronomy Observatory)

**正會員, 忠南大學校 電波工學科

(Dept. Radio Science and Eng., Chungnam Nat'l Univ.)

※ 본 연구는 '93 과기처 특정연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

接受日字 : 1993年 6月 1日

최근에 우주 전파 연구와 리모트 센싱등의 분야에서 초저잡음의 밀리미터파 수신기의 필요성이 절실히 요구되어 세계의 우주전파 관측소에서 초전도 터널링 접합의 준입자 전류의 비선형성을 이용한 SIS (Superconductor Insulator Superconductor) 믹서를 개발하여 밀리미터파 및 서브 밀리미터파 우주전파 수신기에 이용하고 있다.^{1) [9]}

우주 전파 수신기 믹서에 이용되는 초전도 접합인 Nb(Niobium)은 종래에 사용한 납 합금 접합에^[6]
^[7] 비해 동작 특성이 안정하며 반복적인 열변화에 강하고, 높은 동작온도와 비교적 큰 에너지 갭을 가지므로 접합의 전압-전류 특성이 우수하여 우주전파 수신기의 믹서에 널리 이용되고 있으며 초고속 디지털, 아날로그회로등에 이용하려고 연구가 계속되고 있다.

초창기에는 접합 전극인 counter electrode Nb가 산화 Nb와 쉽게 반응하기 때문에 subgap 누설전류가 많이 생겨 접합의 전압-전류 특성이 불량하여 실제적으로 접합을 이용하기가 불가능 하였다. 이 문제를 해결하기 위하여 Nb에 Al을 임혀 산화 Al 장벽을 이용한 Nb/Al-AlO_x/Nb 접합 제작 방법인 SNAP(Selective Niobium Anodization Process)^[8] 와 SNEP(Selective Niobium Etching Process)^[9] 등이 개발되어 우수한 전압-전류 특성을 갖는 초전도 접합 제작이 가능하게 되었다.

SNAP와 SNEP의 제작 공정은 동일한 진공 용기 속에서 3층 구조 접합, 즉 Nb counter electrode, barrier, Nb base electrode를 제작하는 공정은 같지만 접합을 패터닝 시킨 방법이 다르다. SNAP는 전해액 (Ammonium Pentaborate and Ethylene Glycol)과 전류를 이용한 화학적 에칭에 의하여 접합 면적을 패터닝 시키므로 양극 산화된 부분이 확산되어 접합 면적이 아주 작은 경우는 정확한 면적을 얻기가 곤란한 반면에 SNEP는 CF₄+ 5% O₂을 이용한 물리적인 Reactive Ion Etching에 의하여 접합 면적을 패터닝 하므로 SNAP에 비해 정확한 접합 면적을 얻을 수 있어서 수 μm^2 의 접합 면적이 요구되는 밀리미터파 영역의 우주 전파 수신기 믹서용 접합 제작에 널리 이용되고 있다.

3층 구조 (Nb/Al-AlO_x/Nb)를 제작하는 공정 방법은 직류-스퍼터링(Sputtering)과 RF스퍼터링 두 가지가 있다. RF-스퍼터링은 직류-스퍼터링에 비하여 Nb의 알갱이를 작게 형성 시키므로 Nb와 Al층 사이에서의 알갱이 경계의 확산(Grain Boundary Diffusion) 효과를 증대시켜 접합의 전압-전류의 특성을 열화시키는 경향이 있으며 스퍼터링 과정에서 전자 충격에 의하여 기판에 생긴 열이 직류 스퍼터링에 비하여 많이 발생하여 알갱이 경계의 확산 효과를 더욱 가속화 시켜 접합의 전류-전압 특성을 나쁘게 한다.^[10] 따라서 본 연구에서는 3층 구조의 접합 제작은 직류-스퍼터링을 이용하였고 접합 크기는 SNEP 제작 공정을 이용하여 패터닝하였다. 이러한 초전도 접합을 믹서에 이용하여 우수한 믹서 성능을

얻기 위해서 믹서의 동작 주파수에 상응하는 초전도 접합 파라미터를 결정하여야 한다.

초전도 접합의 RF 특성을 결정하는 접합 파라미터는 접합의 정상 상태 저항과 접합 용량이다. 그러나 접합의 물질과 제작 공정 과정이 결정되면 직접적으로 결정할 수 있는 파라미터는 접합의 면적과 최대 임계 전류 밀도이다. 따라서 본 논문에서는 밀리미터파 영역의 우주 전파 관측용 수신기 믹서용 초전도 접합 파라미터인 접합용량, 접합 면적과 임계 전류 밀도등을 결정하는 방법을 제시하였으며, 결정된 접합 파라미터에 의거하여 초전도 접합을 제작하고 그 성능을 측정하였다.

II. 밀리미터파용 믹서의 최적 초전도 소자 파라미터 결정

초전도 소자 믹서는 준입자 턴넬링 전류의 비선형성을 이용하여 국부 발진 주파수와 신호 주파수를 혼합하여 주파수를 변환시킨다. 소자의 접합 용량은 주파수가 높아지면 주파수 혼합에 이용하고자 하는 접합의 비선형성을 단락시켜 신호 전력이 접합에 결합되는 것을 방해하며, 접합의 정상 상태 저항은 믹서의 입출력 임피던스 정합을 고려하여 결정한다.

정상 상태 저항, 접합 용량과 동작 주파수의 곱으로 정의되는 믹서의 성능 평가 지수 $\omega R_n C_j$ 는 신호 전력의 결합에 대한 접합 용량의 효과를 측정하는데 널리 이용되고있다. 그러나 초전도체와 접합 제작 공정이 결정되면, 접합 공정 과정에서 직접적으로 조정할 수 있는 두가지 요소는 접합의 면적 A와 최대 직류 전류 밀도 뿐이다.

하나의 초전도 접합보다 여러개의 접합이 직렬로 N개 배열된 접합은 개개의 접합 크기가 N자승근에 비례하여 커져서 접합 제작이 용이하고, 동적범위(Dynamic Range)가 N²에 비례하여 증가한다.^[11] 또한 N개의 접합을 배열시켜도 각각의 접합 특성이 동일하다면 믹서의 성능 평가 지표인 $\omega R_n C_j$ 의 값은 한개의 접합의 성능 평가 지수와 동일하므로 성능은 변함이 없고 접합의 크기가 크면 접합의 제작이 용이하므로 일반적으로 여러개의 접합을 배열시켜 믹서용 접합을 제작한다. 따라서 최적 접합갯수, 접합의 크기, 믹서의 성능 평가 지표, 접합 전류밀도와 사용 주파수와의 관계를 고찰하는 방법을 제시하여 밀리미터파 믹서용 초전도 소자의 최적 접합 파라미터를 결정하고자 한다.

한개의 접합 정상 상태 저항, 접합 용량을 각각 R_n, C_j 라고 하면 N개 접합을 배열했을 때의 저항과

용량은 각각 $R_N = NR_n$, $C_J = C_J/N$ 이다. 성능 평가 지수 Q값을 각 파라미터 별로 믹서의 임피던스 정합과 접합의 규격용량을 고려하여 정규화 시키면

$$Q = 2\pi f \cdot R_N \cdot C_J = 2\pi \left(\frac{f}{100[\text{GHz}]} \right) \left(\frac{R_N}{100[\Omega]} \right) \left(\frac{C_J}{100[\text{fF}]} \right) \quad (1)$$

식 (1)로 부터 성능 평가 지수 Q와 접합 용량 C_J 와의 관계식은

$$\frac{C_J}{100[\text{fF}]} = \frac{Q}{2\pi (f/100[\text{GHz}]) \cdot (R_N/100[\Omega])} \quad (2)$$

접합의 길이가 a인 정방형 구조의 접합이라고 가정하면 접합 면적 $A = a^2$ 이므로, $C_J = C_s a^2/N$ 가 되며 여기서 C_s 는 접합의 규격 용량으로서 접합 장벽의 물질과 물질의 두께에 의하여 결정되며 초전도 접합 장벽의 두께와 화학적 특성을 정확히 계산하는 것은 매우 어려운 문제이므로 보통 실험을 통해서 값을 얻는다. ^[12] 따라서 식 (1)의 성능 평가 지수와 접합면적과의 관계는 다음 식으로 표현된다.

$$Q = 2\pi f \cdot R_N \cdot C_s \cdot a^2/N = \left(\frac{2\pi}{N} \right) \left(\frac{f}{100[\text{GHz}]} \right) \left(\frac{R_N}{100[\Omega]} \right) \left(\frac{C_J}{100[\text{fF}\mu\text{m}^2]} \right) \left(\frac{a}{\mu\text{m}} \right)^2 = \frac{NQ}{2\pi (f/100[\text{GHz}]) \cdot (R_N/100[\Omega]) \cdot (C_s/100[\text{fF}\mu\text{m}^2])} \quad (3)$$

그림 1은 이상적인 초전도 터널 접합의 전압-전류 특성을 보여주고 있다. 그림에서 V_g 는 초전도 접합의 갭 전압이며 N개 배열된 접합의 갭 전압 V_g 는 $N \cdot V_g$ 가 되며 N개 배열된 접합의 갭 전류는 $I_g = V_g/R_N$ 가 된다. 임계 전류는 $I_c = \alpha I_g$ 이므로 임계 전류 밀도는

$$J_c = I_c/a^2 = \alpha I_g/a^2 = \alpha V_g/a^2 R_N \quad (4)$$

여기서 α 는 상수이다. 따라서 식(1)과 식(4)에 의해 임계 전류 밀도와 성능 평가 지수와와의 관계는 식(5)와 같이 표현된다.

$$\frac{J_c}{[\text{KA}/\text{cm}^2]} = \left(\frac{2\pi\alpha}{Q} \right) \left(\frac{f}{100[\text{GHz}]} \right) \left(\frac{C_s}{100[\text{fF}/\mu\text{m}^2]} \right) \left(\frac{V_g}{[\text{mV}]} \right) \quad (5)$$

따라서 임계 전류 밀도 J_c 와 성능 평가 지수 Q와의 관계식을 얻을 수 있다. 실제적으로 본 연구에서는 Nb/Al-AlOx/Nb의 초전도 접합을 믹서에 이용

하고자 하므로 이 접합에 대한 파라미터에 대하여 고찰하고자 한다.

Nb 접합의 경우의 상수 α 는 0.62, 규격 용량 C_s 는 약 $60\text{fF}/\mu\text{m}^2$, 갭 전압은 2.7mV 이며, 정상 상태 저항은 믹서의 입출력 임피던스 정합을 고려하여 100Ω 으로 결정한다. ^[13] 이러한 값들을 식(2), 식(3), 식(5)에 대입하여 정리하면 각 파라미터는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{C_J}{100[\text{fF}]} = \left(\frac{Q}{2\pi} \right) \left(\frac{1}{f/100[\text{GHz}]} \right) \quad (6)$$

$$\frac{a}{[\mu\text{m}]} = \sqrt{\frac{N \cdot Q}{1.2\pi (f/100[\text{GHz}])}} \quad (7)$$

$$\frac{J_c}{[\text{KA}/\text{cm}^2]} = \frac{6.11}{Q} \left(\frac{f}{100[\text{GHz}]} \right) \quad (8)$$

위 식에서 성능 평가 지수 Q값은 일반적으로 1-10 사이의 값을 사용하고 있으나, 이러한 Q값의 선정 방법은 현재까지 구체적으로 발표되지 않고 실험적으로 최근 발표된 문헌에 의하면 약 3 정도에서 가장 좋은 믹서의 성능을 얻었다고 발표되었다. ^[14]

접합의 배열 개수가 증가하면 개수의 제곱에 비례하여 많은 믹서 구동용 국부 발진 출력이 요구되나 개수의 자승근에 비례하여 접합 크기가 커지므로 제작이 용이하게 된다. ^[15]

접합용량은 접합을 단락시키는 효과가 있어서 믹서의 성능을 저하시키는 원인이 되므로 접합 용량이 큰 경우에는 이를 제거하기 위해서 보다 정교한 믹서의 조정 회로가 요구되므로 밀리미터파 및 서브 밀리미터파 믹서용 접합의 접합 용량은 가능한한 적어야 한다.

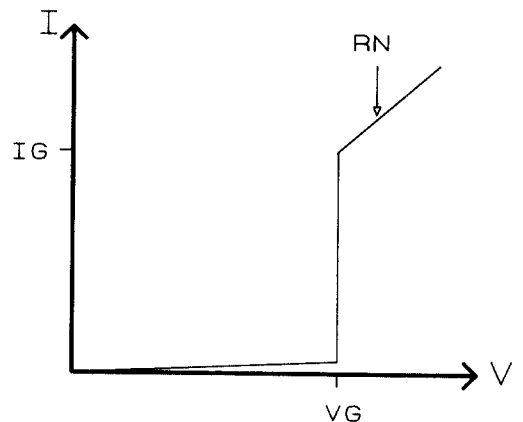


그림 1. 이상적인 초전도 터널 접합의 전압-전류 특성
Fig. 1. Ideal voltage-current characteristic of SIS tunnel junction.

이와같은 조건을 만족하는 밀리미터파 영역의 우주 전파 수신 대역별 믹서용 초전도 소자 파라미터를 표 1에 제시하였다. 이와같은 방법을 이용하면 밀리미터 파 및 서브 밀리미터파 범위의 수신기 믹서의 초전도 터널 최적 파라미터를 결정할 수 있다.

본 논문에서 제작하게될 100GHz대 믹서용 접합 파라미터인 믹서의 성능 평가 지수 Q는3, 수신기의 국부 발진부 시스템의 국부 발진 출력과 접합 크기를 고려하여 접합 갯수는 4개 일때 $C_j = 47.74fF$, 접합 면적 $1.78\mu m \times 1.78 \mu m^2$, 전류 밀도 $2.03KA/Cm^2$ 로 결정되었다.

표 1. N개 직렬 배열된 접합의 파라미터
Table 1. Superconducting tunnel junction parameters of N series array.

N		4			6		
F (GHz)	Q	C_j (fF)	a (μm)	J_c (KA/cm ²)	C_j (fF)	a (μm)	J_c (KA/cm ²)
50	1	31.83	1.45	3.05	31.83	1.78	3.05
100		15.91	1.03	6.11	15.91	1.26	6.11
150		10.61	0.84	9.16	10.61	1.03	9.16
200		7.95	0.72	12.22	7.95	0.89	12.22
250		6.36	0.65	15.27	6.36	0.79	15.27
300		5.30	0.59	18.33	5.30	0.72	18.33
50	2	63.66	2.06	1.52	63.66	2.52	1.52
100		31.83	1.45	3.05	31.83	1.78	3.05
150		21.22	1.18	4.58	21.22	1.45	4.58
200		15.91	1.03	6.11	15.91	1.26	6.11
250		12.73	0.92	7.63	12.73	1.12	7.63
300		10.61	0.84	9.16	10.61	1.03	9.16
50	3	95.49	2.54	1.01	95.49	3.09	1.01
100		47.74	1.78	2.03	47.74	2.18	2.03
150		31.83	1.45	3.05	31.83	1.78	3.05
200		23.87	1.26	4.07	23.87	1.54	4.07
250		19.09	1.12	5.09	19.09	1.38	5.09
300		15.91	1.03	6.11	15.91	1.26	6.11
50	4	127.32	2.91	0.76	127.32	3.56	0.76
100		63.66	2.06	1.52	63.66	2.52	1.52
150		42.44	1.68	2.29	42.44	2.06	2.29
200		31.83	1.45	3.05	31.83	1.78	3.05
250		25.46	1.30	3.81	25.46	1.59	3.81
300		21.22	1.18	4.58	21.22	1.45	4.58

III. SIS 접합 제작

3층 구조인 Nb base electrode, Al-AIOx층, counter electrode를 직경이 30mm, 두께가0.3mm 인 실리콘 웨이퍼에 제작하는 방법은 RF스퍼터링과 직류 스퍼터링이 있다. RF 스퍼터링은 직류 스퍼터링에 비하여 Nb 입자가 작고 스퍼터링하는 동안 전자 충격에 의하여 기판에서 열이 많이 발생하여 알갱

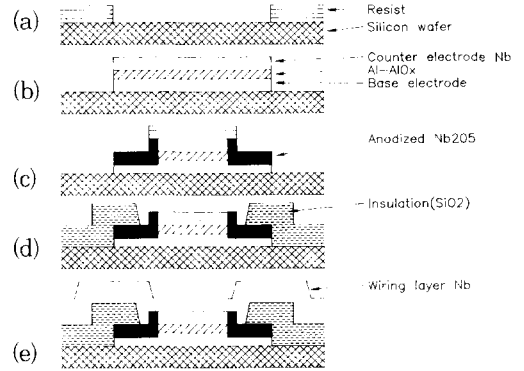


그림 2. Nb/Al-AIOx/Nb 접합 제작 공정도

- (a) Photolithograph 방법에 의한 접합의 패턴 제작
- (b) 3층 구조의 접합 제작
- (c) Reactive Ion Etching 과 양극 산화
- (d) 접합 격리를 위한 SiO2 증착
- (e) 접합간의 연결을 위한 wiring

Fig. 2. Fabrication process of the Nb/Al-AIOx/Nb.

- (a) Pattern fabrication by photolithograph,
- (b) Fabrication of trilayer Nb/Al-AIOx/Nb,
- (c) Reactive Ion Etching and Anodization,
- (d) Deposition of SiO₂ for isolation between junctions,
- (e) Deposition of Nb wiring for connection each junction,

이 경계의 확산 효과를 가속화시켜 접합의 특성이 나빠지게 된다. 그러므로 직류 스퍼터링으로 접합을 제작하고, SNAP에 비해 작은 접합 제작에 유리한 SNEP 방법으로 접합 크기를 패터닝하였다.

그림 2와 같은 초전도 접합 공정 순서는 다음과 같다.

- 1) Photo resist가 입혀진 실리콘 기판에 설계된 믹서용 RF choke filter와 ^[16] 접합이 포함된 Photo mask를 이용하여 Photolithography방법으로 패턴을 현상시킨다.
- 2) 표 2에 제시된 조건으로 기판위에 Nb base electrode를 증착시킨다. Nb base electrode 층을 증착시킨후 바로 Al층을 증착시키면 기판에 발생된 열에 의하여 앞서 언급한 알갱이 경계의 확산 효과가 가속화 되므로 Al층을 증착시키기 전에 약 1시간 동안 기판을 냉각시킨다.
- 3) 표 2에 제시된 조건으로 Al층을 증착시킨후 Ar(90%)+O₂(10%)의 조건으로 약 1시간 동안

Al면을 산화시킨다.

- 4) Base electrode와 같은 조건으로 counter electrode를 증착시킨다.
- 5) 실제적인 접합 면적을 제작하는 과정이다. 표 3에 제시된 조건으로 counter electrode Nb층을 RIE(Reactive Ion Etching)로 에칭한다. Al층은 RIE이 불가능하므로 자동적으로 Al층에서 에칭이 정지된다. Nb층과 Nb wire와의 절연을 위해서 SiO₂로 절연시키지만 Nb층의 모서리 부분에서 SiO₂층이 제대로 형성되지 않으면 접합이 단락될 우려가 있으므로 Nb와 Al-AlO_x층을 양극산화액을 이용하여 양극산화시킨다.
- 6) 각 접합과의 절연을 위해서 표 2의 조건에 의하여 SiO₂을 증착시킨다.
- 7) 표 3의 조건에 의하여 Nb층위에 증착된 SiO₂를 제거한후 2)과정과 동일한 방법으로 Nb wiring한다.

완성된 믹서의 RF choke filter를 포함한 패턴 구조의 모습을 그림 3에 제시하였고 3층 구조의 높이는 약 3700Å로 제작하였으나 실제 측정된 결과, 높이는 그림 4와 같이 47Å정도 오차가 있었다. 이러한 오차는 믹서의 성능에 영향을 미치지 않으므로 무시할 수 있다. 앞서 검토된 100GHz대 믹서의 성능 평가 지수가 3 이고 각각의 접합 면적이 1.78μm x 1.78μm 인 4개의 접합을 직렬로 배열시킨 믹서용 초전도 접합이 제작되었으며 Nb/Al-AlO_x/Nb 접합의 규격 용량이 약 60fF/μm²이므로 전체의 접합 용량은 약 47.74fF/μm²가 된다.

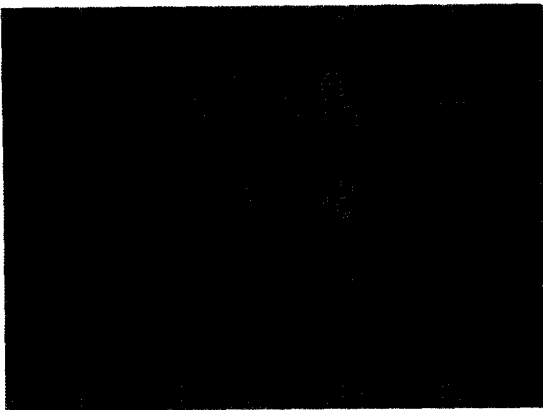


그림 3. 완성된 RF choke filter을 포함한 3층 구조의 접합

Fig. 3 Fabricated trilayer junction with RF choke filter.

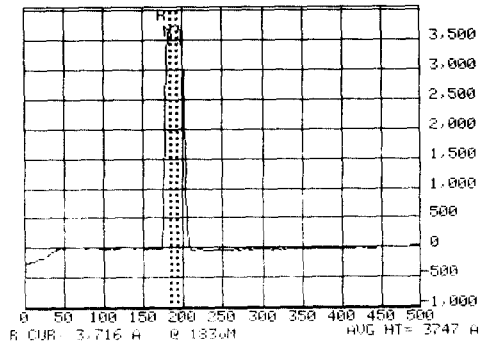


그림 4. 3층 구조 접합의 높이 측정

Fig. 4. The measured height of trilayer junction.

표 2. Sputtering 공정 조건

Table 2. The Fabrication conditions for sputtering.

	Sputtering	Ar pres.(mf)	Power	Time(sec)	Thickness(Å)
Base Nb	DC	3.5	1A/300VDC	200	2000
Aluminum	DC	7.0	0.2A/270VDC	45	80-100
Counter Nb	DC	3.5	1A/300VDC	160	1600
SiO ₂	RF	0.3	400W	390	2400
Nb wire	DC	3.5	1A/300VDC	240	2400

표 3. 에칭 공정 조건

Table 3. Etching conditions.

	Gas	Pres.(mTorr)	RF Power	Time(sec)
Niobium	CF ₄ +O ₂ (3%)	100	100W	240
SiO ₂	CF ₄ +O ₂ (3%)	100	100W	390

그림 5는 4개의 접합이 직렬 배열로 제작된 Nb/Al-AlO_x/Nb 접합을 액체헬륨(4.2K) 용기에 담고 일정 전압원을 이용하여 측정된 전류-전압 특성을 나타냈다. 배열된 접합의 전체 정상상태 저항은 약 120Ω로 측정되었으며 원래 설계치의 100Ω보다 20Ω정도 오차는 산화 알루미늄층의 제작 과정에서 두께오차에 의하여 기인된 것이다. Subgap 전압에서의 누설전류는 갭 전압에서의 전류의 약 8.5% 정도로 양호한 특성을 보였다.

RF의 광자 전압이 갭 전압에서 급격히 전류가 변

할 때의 전압폭보다 반드시 커서 RF 신호의 양자효과에 의해 준입자 터널 전류가 발생하는 초전도 터널 접합은 믹서에 이용될 수 있다.^[17] 본 연구에서 제작된 접합의 갭 전압에서 급격히 전류가 비선형적으로 변할때의 전압폭은 약 0.15mV로서 100GHz 광자 전압 (Photon voltage : $h\nu/e$)의 0.41mV 보다 작은 특성을 보였다. 따라서 이 실험 결과에 의하면 제작된 초전도 터널 접합은 100GHz대 믹서에 사용될 수 있다. 앞으로 이 접합을 우주전파 수신용 믹서에 사용하여 RF 성능측정을 수행할 예정이다.

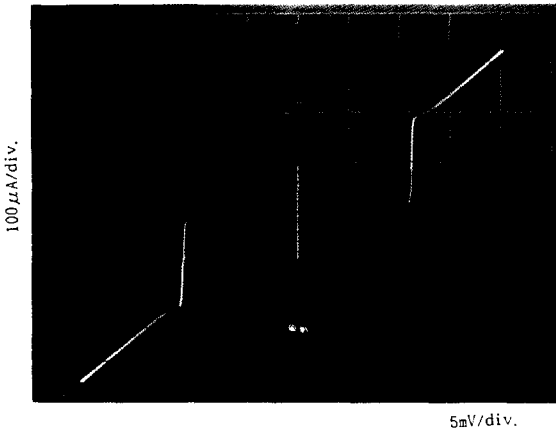


그림 5. 측정된 직렬 배열 접합의 전압-전류 특성
Fig. 5 The measured voltage-current characteristic of series array of junctions.

IV 결론

본 논문에서는 밀리미터파 및 서브 밀리미터파 영역에서 성능이 우수한 믹서가 될 수 있도록 반드시 최적화 시켜야 할 초전도 터널 접합의 최적 파라미터를 결정하는 방법을 제시하였고, 이와같이 최적화된 접합 파라미터를 사용하여 접합을 제작하고 그 성능을 측정하였다. 측정 결과 갭 전압에서 급격히 전류가 비선형적으로 변할 때의 전압폭이 약 0.15mV로서 100GHz 광자 전압 0.41mV 보다 작은 특성을 보여, 이 접합은 주파수 변환 믹서에 이용될 수 있음을 확인하였다. 또한 접합의 정상 상태 저항이 약 120Ω 으로 믹서의 임출력 임피던스 정합을 위한 조건에 알맞음을 보였다.

본 논문에서 제시한 초전도 터널 접합의 최적 접합 파라미터 결정 방법 중에서 최적 성능 평가지수의 결정에 대한 연구가 앞으로 계속 수행되어야 할 것이다.

앞으로 이 접합은 100GHz대 (85-115GHz) 믹서 제작에 활용하여 그 성능을 측정하고 이 믹서를 사용하여 우주전파 관측을 위한 수신기를 제작할 예정이다. 이러한 수신기가 완성되면 현재 사용하고 있는 고전적인 Schottky GaAs 다이오드 믹서를 이용한 우주전파 수신기의 성능보다 수신기 잡음온도로 비교할때 4배 정도의 우수한 성능을 갖게 될 것이다.

參考文獻

- [1] B.N. Ellison and R.E. Miller, " A Low Noise 230GHz SIS Receiver " , International Journal of Infrared and Millimeter Waves, vol.8, no.6, pp.609-625, 1989.
- [2] R. Blundell and K.H. Gundlach, " A Low Noise SIS Receiver Covering the Frequency Range 215-250GHz ", International Journal of Infrared and Millimeter Waves, vol.9, no.4, pp.361-369, 1988
- [3] T.H. Buttgenbach and R.E. Miller, " A Broad-Band Low-Noise SIS Receiver for Submillimeter Astronomy", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol.MTT-36, no.12, pp.1720-1725, December 1988
- [4] S.K. Pan and A.R. Kerr, " An 85-116GHz SIS Receiver Using Inductively Shunted Edge Junctions", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-37, no.3, pp.580-591, March 1989.
- [5] H. Ogawa and A. Mizuno, " A 100GHz SIS Receiver for Radio Astronomy " International Journal of Infrared and Millimeter Waves, vol.11, no.6 , pp. 717-726 1990
- [6] D.P. Woody and M.J Wengler, " 85-115GHz Receivers for Radio Astronomy" *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol.MTT-33 no.2 pp.90-95 February 1985
- [7] A. Raisanen and W.R. Mcgrath, " Broad-Band RF Match to a Millimeter-Wave SIS Quai-Particle Mixer", *IEEE*

Trans. Microwave Theory and Techniques vol. MTT-33, no.12, pp. 1495-1500 December 1985.

- [8] H. Kroger, L. N. Smith and D. W. Jillie, "Selective niobium anodization process for fabricating Josephson tunnel junctions", *Appl. Phys. Lett.*, no. 39, pp. 280-282, 1981
- [9] M. Gurvitch, M. A. Washington and H. A. Huggins, "High quality refractory Josephson junctions utilizing thin aluminum layers", *Appl. Phys. Lett.*, no. 42, pp. 472-474, 1983
- [10] S. Morohashi and S. Hasuo, "Experimental investigations and analysis for high-quality Nb/Al-AlO_x/Nb Josephson junctions", *J. Appl. Phys.*, vol. 61 no. 10, pp. 4835-4849, May 1987
- [11] K. J. Button, *Reviews of Infrared and Millimeter Waves*, Plenum Press Vol. 1 pp. 62, 1983
- [12] S. K. Pan and A. R. Kerr, "A Superconducting Tunnel Junction Receiver for Millimeter-Wave Astronomy", NASA Tech. Memo 87792 pp. 81., 1986
- [13] A. R. Kerr and M. J. Fedlman, "SIS Mixer Design by Frequency Scaling" NRAO Tech. Report, no. 267, 1987
- [14] E. C. Sutton and W. C. Danchi "A Superconducting Tunnel Junction Receiver for 345GHz", *International Journal of Infrared and Millimeter Waves* vol. 11, no. 2, pp. 133-150, 1990
- [15] J. R. Tucker, "Quantum Detection at Millimeter Wavelengths", *Reviews of Modern Physics*, vol. 57, no. 4, pp. 1055-1113, Oct. 1985
- [16] 한석태, 이창훈 "우주전파 관측용 100GHz대 SIS 수신기 제작 (I)", 과학 기술처 특정연구 보고서
- [17] K. J. Button, *Reviews of Infrared and Millimeter Waves*, Plenum Press vol. 1 pp. 6, 1983

著者紹介

韓錫大(正會員) 第28卷 A編 第6號 參照
 현재 충남대학교 대학원 전자공학과
 박사과정. 현재 한국표준과학연구원
 천문대 선임연구원

李昌勳(正會員) 第28卷 A編 第6號 參照
 현재 한국표준과학연구원 천문대
 선임연구원

徐楨彬(正會員) 第28卷 A編 第6號 參照
 현재 한국표준과학연구원 천문대
 연구원

朴東徹(正會員) 第30卷 A編 第4號 參照
 현재 충남대학교 전자공학과 교수