

H 형태 공진기를 이용한 소형화된 HTS 안테나의 제작 및 특성 해석

論 文
52C-7-2

Fabrication and Characterization of Miniaturized HTS Microstrip Antennas Using "H"-type Resonator

鄭東哲* · 尹暢焘* · 黃宗善** · 崔昌柱***

(Dong-Chul Chung · Chang-Hun Yun · Jong-Sun Hwang · Chang-Ju Choi)

Abstract - "H" type resonator has the advantage for the miniaturization of high- T_c superconducting (HTS) microstrip antenna in comparison with the conventional microstrip antenna such as rectangular type or circular type. In this paper we designed miniaturized HTS antennas using this "H"-type resonator and reported the characteristics of our antennas including return loss, bandwidth, radiation patterns, efficiency and so on. To fabricate the "H" type antenna, HTS $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) thin films were deposited on MgO substrates using rf-magnetron sputtering. For comparison between normal conducting antennas and superconducting antennas, the gold antennas with the same dimension were also fabricated. An aperture coupling was used for impedance matching between 50 Ω feed line and HTS radiating patch. The "H" type superconducting antenna showed the performance of 1.38 in SWR, 26 % in efficiency, and 13.8 dB in the return loss superior to the normal conducting counterpart.

Key Words : HTS antennas, YBCO film, "H"-type resonator, radiation patterns.

1. 서 론

초전도 물질을 마이크로파 응용 소자에 이용함으로써 얻을 수 있는 잇점은 다음과 같다. 첫째, 낮은 표면저항으로 인해 안테나 패치면과 급전선로에서 저항손에 의한 손실을 대폭적으로 줄일 수 있다. 둘째, 일반전도체의 경우 안테나를 소형화 했을 때 소형화에 따른 저항손이 급격히 증가하지만 초전도 물질을 소형화된 안테나에 이용했을 경우 저항손에 의한 손실이 거의 전무하다. 셋째, 일반 전도체의 경우 주파수 증가에 따라 급격히 증가하는 표피효과(skin effect)가 존재한다. 초전도 물질은 자계 투과 깊이(penetration depth)가 존재하지만 일반 전도체에서 표피 효과와는 달리 투과 깊이가 수백 GHz 영역까지 거의 일정하며 오직 온도 변화에 따라 그 특성이 변화한다. 이러한 사실은 마이크로파 응용시 수백 GHz 영역까지 초전도 소자에 야기되는 신호의 산란(dispersion)을 무시할 수 있다는 점을 의미한다. 따라서 초전도 물질을 통신소자에 이용할 때 표피 효과에 의한 저항손 증가가 현격하게 감소할 것으로 예상되는 마이크로파 대역 및 밀리미터파 대역에서 특히 유리할 것으로 예상된다. 이 대역에서 통신 소자를 소형화할 경우 일반도체로서는 거의 구현이 불가능한, 양호한 특성을 얻을 수 있다.

초전도 안테나는 고온초전도 마이크로파 소자 응용에서

필터, 공진기, 지연선로 등과 더불어 가장 중요한 응용 중 하나이다. 본 논문에서는 초전도체 물질이 일반 전도체 물질에 비하여 표면 저항이 최고 수백배 정도 작다는 특성을 이용하여 설계되고 제작된 소형화된 초전도 안테나에 대해서 보고한다.

초기 초전도 안테나의 개발은 주로 마이크로스트립 타입의 안테나를 중심으로 이루어졌다 [1,2]. 그러나 마이크로스트립 안테나는 "H" 타입의 안테나에 비하여 소형화(miniaturization)하는데 불리하다는 점 때문에 최근 초전도 안테나의 소형화는 주로 "H" 타입 형태로 이루어지고 있다 [3]. 지금까지 제작된 "H" 안테나는 주로 동축 선로 급전을 사용하였기 때문에 기판과 패치면 사이에 구멍을 뚫어서 임피던스 결합을 시켜야하는 어려움을 가지고 있다. 주지하다시피 고온초전도 물질을 증착시킬 수 있는 유전체 기판은 대부분 단결정 구조를 가지고 있기 때문에 구멍을 뚫기가 매우 어렵고 설사 구멍을 뚫었다할 지라도 단결정 구조의 특성 상 약간의 충격에도 파손되버리는 결점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 두 개의 유전체 기판을 사용하여 접지면에 개구(aperture)를 만들고 이를 통하여 급전선과 초전도 패치 사이의 임피던스결합을 도모하였다.

특성 비교를 위해 동일한 크기를 갖는 금 안테나가 열 증착법을 이용하여 제조되었으며 두 종류의 안테나 제작을 위해 표준 식각법을 사용하였다. 또한 측정을 위해서 냉매로서 액체헬륨을 사용하는 냉각기를 자체 제작하여 사용하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 두 번째 소절에서 간략하게 초전도 박막의 증착에 대해서 논의한 다음 "H"-형태 공진기를 이용한 소형화된 초전도 안테나의 설계 방법과 측정시스템을 제시하였다. 세 번째 소절에서 공진주파수, 반사손실 등의 실험결과를 분석한 다음 최종적으로 요약과 결론을 제시하였다.

* 正 會 員 : 又石大學校 情報通信컴퓨터工學部 助教授

** 正 會 員 : 潭陽大學 컴퓨터電氣시스템 工學科 助教授

*** 正 會 員 : 朝鮮大學校 電氣工學科 教授

接受日字 : 2002年 10月 9日

最終完了 : 2003年 6月 23日

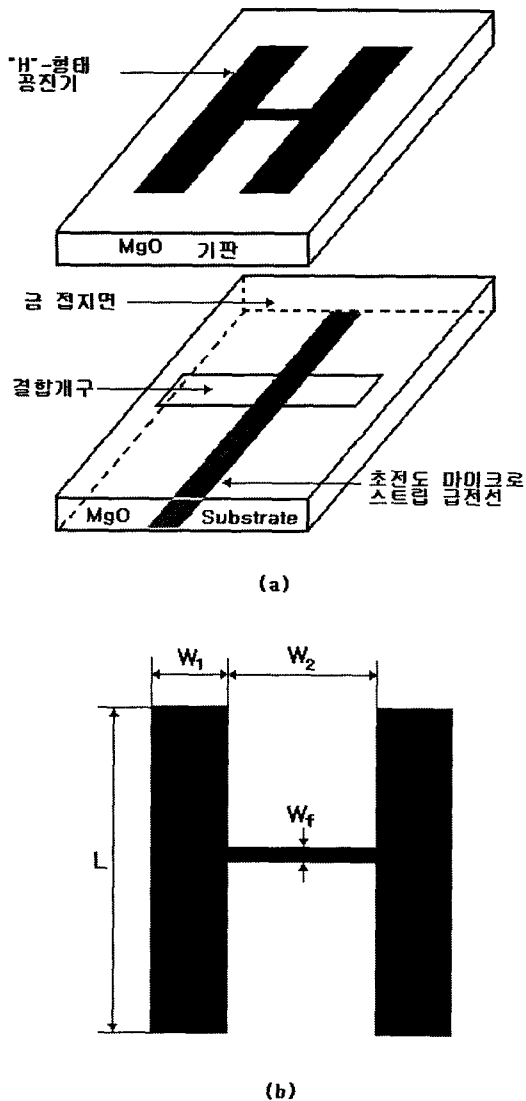


그림 1 개구결합을 이용한 "H" 타입 고온초전도 안테나의 (a) 설계 구조 및 (b) 패턴.

Fig. 1 (a) The geometry and (b) design pattern of the "H"-type HTS antenna using aperture coupling.

2. 초전도 안테나 및 비교용 금 안테나의 설계, 제작 및 측정장치의 구성

2.1 고온초전도 박막의 증착

초전도 안테나의 제작에 사용된 초전도 박막은 YBCO 초전도 박막이었으며 rf 마그네트론 스퍼터링을 이용하여 제조하였다. YBCO 박막의 증착을 위하여 사용한 스퍼터링 조건은 다음과 같다. RF-전력은 75 W, 기판의 온도는 550 °C, 기판과 타겟 사이의 거리는 45 mm, 증착실의 기본 압력은 1×10^{-5} Torr, 증착 중의 가스 압력은 2×10^{-3} Torr였으며 스퍼터링 가스로는 아르곤 80 %와 산소 20 % 비율의 혼합가스를 사용하였다.

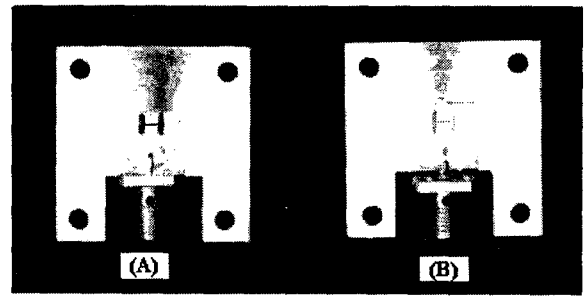


그림 2 제작된 (a)초전도 안테나와 (b)금 안테나의 사진
Fig. 2 The photograph of (a) HTS and (b) gold antenna

증착된 박막의 결정화를 위하여 전기로에서 후열처리하였다. 후열처리 전기로 내의 불순물들을 제거하기 위하여 대기압의 헬륨가스를 공급하면서 50 °C/분의 속도로 승온시켰다. 온도가 880 °C로 안정되면 분위기 가스를 헬륨가스에서 산소가스로 전환시키고 제조된 박막 시료를 20 °C/초를 유지하면서 30분 동안 열처리 한 후 2 °C/분의 속도로 냉각시키고 다시 600°C에서 1시간을 유지시킨 후 같은 속도로 200°C까지 냉각시킨 다음 전기로의 전원을 차단하여 상온까지 자연냉각시켰다.

초전도 박막의 결정구조 특징을 알아보기 위하여 X-선 회절 실험을 행하였으며 4단자법을 이용하여 임계온도를 측정하였다. 제조된 박막의 결정구조는 강한 c축 배향을 나타내었고 임계온도는 90 K였으며 이러한 결과들은 여타의 참고문헌 [4,5]과도 잘 일치하였다.

2.2 초전도 안테나의 제작

초전도 안테나의 형상화를 위해서 표준 식각법을 사용하였으며 식각 용액으로 EDTA(ethylene diamine tetraacetic acid) 수용액 (EDTA : 물 = 1 : 6)을 이용하였다. 열 증착법으로 제조된 금 박막의 안테나 형상화 위해 스퍼터링을 이용, 드라이 에칭을 실시하였다.

안테나의 설계 패턴이 그림 1에 제시하였다. 본 논문에서 임피던스 결합과 급전을 위해서 사용된 개구결합 급전 방식은 방사 패치와 급전선을 분리시킬 수 있기 때문에 다음과 같은 잇점이 있다. 첫째, 기존의 1/4 파장 변환기를 이용하거나 방사 패치의 방사면 또는 측면에 급전선을 직접 삽입하는 급전 방식과 비교해 임피던스 결합회로의 구성이 단순하다. 두번째 급전선으로부터 기생(spurious) 방사가 없다.

그림 1에 제시된 개구결합 "H" 타입 초전도 안테나는 두개의 유전체 기판 층으로 이루어져 있으며 첫번째 기판의 윗표면에 초전도 방사패치가 자리하고 아랫면에 개구가 형성된 접지면을 열 증착시켰다. 두번째 기판의 아랫면에는 50 Ω으로 설계된 급전선이 폭 0.497 mm 길이 10 mm인 초전도 박막을 이용하여 제작되었다.

설계된 초전도 안테나는 안테나의 공진 길이는 4 mm 였으며 공진기의 폭 W_1 은 0.92 mm, 두 개의 전송선로 간의 간격 W_2 는 2.16 mm, 급전점에서의 선로의 폭 W_f 는 0.36 mm 였다 [6]. 그림 2는 상기의 과정을 거쳐서 제작된 초전도 안테나와 금 안테나의 사진을 보여주고 있다.

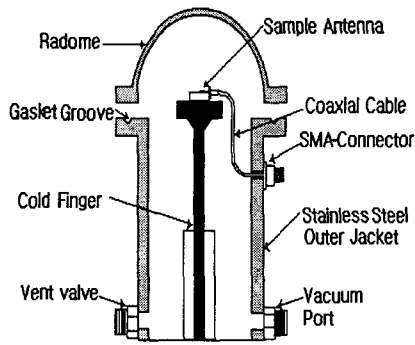


그림 3 냉각 시스템의 구조
Fig. 3 The geometry of a cryostat.

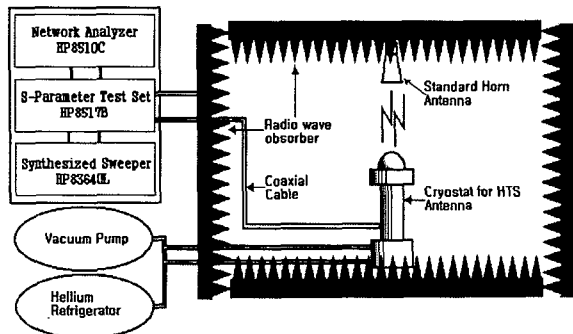


그림 4 전체 측정 시스템의 개괄적 구조.
Fig. 4 The block diagram of measurement systems.

2.3 측정 장치의 구성

그림 3은 본 실험을 위해서 자체 제작한 냉각 시스템의 구조를 나타내었다. 전체적인 구성은 세 부분으로 이루어져 있으며 상단의 레이돔을 제외한 전부분은 스테인레스 강을 이용하여 제작하였다. cryostat의 하단에 헬륨 개스가 순환되도록 설계하였고 중간단에서는 열전달을 차단하기 위해 진공을 유지하고 있으며 샘플 안테나가 탑재 되어있는 최종 상단에는 고밀도 폴리에틸렌을 이용한 레이돔을 장착하였다.

황동 치구에 부착된 각각의 고온초전도 안테나와 비교용 금 안테나는 도전성 은판을 이용하여 구리로 제작된 cold finger에 적재되었으며 SMA 커넥터와 동축 선로를 이용하여 cryostat의 RF 접속을 이루었다. 전체적인 측정은 그림 4와 같은 전자파 흡수체로 채워진 마이크로웨이브 암실에서 HP 8510 C Network analyzer를 이용하여 이루어졌다. 먼저 샘플 안테나가 탑재된 냉각 시스템을 마이크로파 암실 바닥에 고정시키고 표준 혼 안테나를 회전시키는 방법을 취하여 방사 패턴을 측정하였으며 이를 이용하여 효율을 계산하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 공진주파수

그림 5는 온도변화에 따른 금 안테나와 초전도 안테나의 공진주파수를 나타내고 있다. 도시의 간략화를 위하여 초전

도 안테나와 금 안테나가 특별한 변화를 보이지 않는 110 K에서 290 K까지를 축약했으며 공진주파수는 1 GHz에서 5 GHz까지를 축약했다. 금 안테나는 전 온도 대역에 걸쳐 6.3532 GHz에서 6.3550 GHz까지 거의 미세하게 선형적인 증가를 보인다. 반면에 초전도 안테나의 경우 최초 공진이 초전도 안테나의 임계 온도인 90 K에서 비로소 상승을 시작하며 이때의 공진 주파수는 6.2440 GHz를 보여준다. 금 안테나와 마찬가지로 초전도 안테나 역시 온도 하강에 따른 미세한 선형적 공진주파수 증가를 보이며 70 K에서 6.2517 GHz를 보였다. 온도 하강에 따른 공진주파수의 변화는 초전도 기관의 유전율이 온도에 따라 미세하게 감소하기 때문이며 유전율의 감소는 초전도 안테나와 금 안테나의 공진주파수 증가로 이어지는 것으로 보인다 [7]. 두 안테나 간의 공진주파수 차는 서로 다른 에칭 용액과 역시 서로 다른 재질을 사용했을 때 발생하는 식각오차를 포함하는 제작오차에 기인하는 것으로 판단된다.

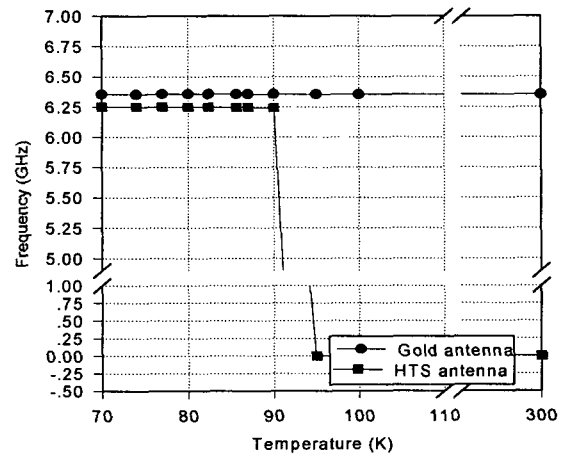


그림 5 온도에 따른 공진주파수의 변화.
Fig. 5 Variation of resonant frequency with temperature.

3.2. 정재파비

그림 6은 역시 온도 변화에 따른 금 안테나와 초전도 안테나의 정재파비를 나타내고 있다. 상온에서부터 70 K에 이르기까지 금 안테나의 정재파비는 1.4800부터 1.3840까지의 변화를 보여주었다. 전체적으로 온도가 하강할수록 정재파비의 개선이 관찰되는데 이는 다음과 같은 요인으로 생각될 수 있다. 첫째 온도 하강에 따라 금 안테나의 전도도가 증가하고 둘째, 표면 임피던스가 감소하며 셋째 급전점에서 임피던스값이 변화하기 때문이다[2]. 초전도 안테나의 경우는 금 안테나와는 달리 상온에서 90 K에 이르기까지 대략 5에서 6 정도의 정재파비를 보이다가 임계 온도인 90 K에 이르러 극적인 정재파비의 개선이 관찰되었다. 이때 정재파비는 1.2530이었으며 온도가 하강함에 따라 70 K에서 1.1255를 나타내었다. 특이한 사실인 임계온도 근방인 87 K에서 1.07을 나타낸다는 점이다. 이러한 특징은 임계온도 부근에서 초전도체의 내부 임피던스가 급격한 등락을 보이는 것과 관련있는 것으로 판단된다 [8].

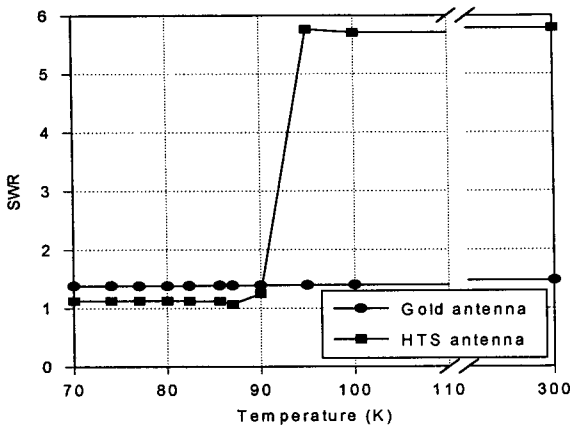


그림 6 온도에 따른 SWR의 변화.
Fig. 6 Variation of SWR with temperature.

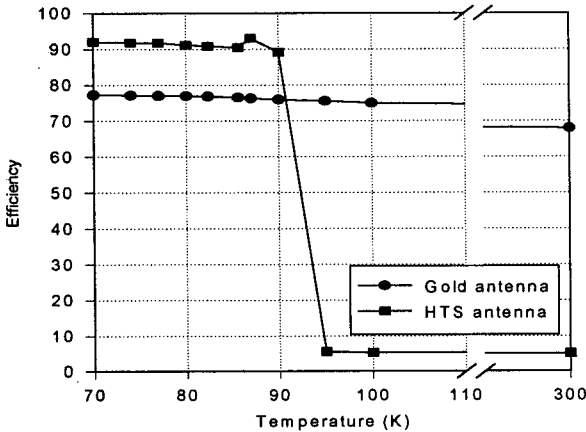


그림 7 온도에 따른 효율의 변화.
Fig. 7 Variation of efficiency with temperature.

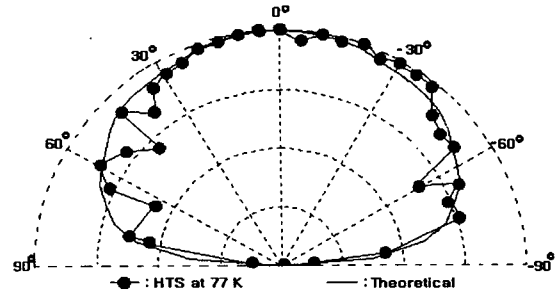
3.3 초전도 안테나와 금 안테나의 효율

본 논문에서는 Wheeler가 제안한 방법을 이용하여 고온 초전도 안테나의 효율을 계산하였다 [9]. 이를 위해 방사차폐(radiation shields)를 알루미늄으로 정교하게 제작하였으며 방사 차폐를 이용하여 cryostat 내의 고온초전도 안테나 및 비교용 금 안테나에 부착한 다음 방사 차폐가 부착되었을 때의 임피던스와 방사 차폐가 제거되었을 때의 임피던스를 측정하여 아래 식과 같이 효율을 계산하였으며 그 결과를 그림 7에 도시하였다.

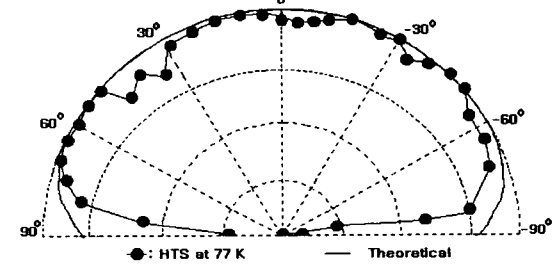
$$\eta = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \quad (1)$$

여기서 R_1 방사 차폐를 하였을 때의 임피던스를 R_2 는 방사 차폐를 하지 않았을 때의 임피던스를 나타낸다. 금 안테나의 효율은 전 온도 구간에 걸쳐 68%에서 77.32% 가

지 온도가 하강함에 따라 증가 양상을 보여주었다. 이러한 특징은 정재파비와 동일한 형태를 취하며 온도 하강에 따른 전도도의 증가와 표면임피던스의 감소가 주요한 원인으로 보인다. 이러한 양상은 임계 온도 하에서 표면임피던스의 감소가 두드러진 초전도 안테나에서 더욱 명확히 관찰되었다. 임계온도 하에서 초전도 안테나의 효율은 89.12%에서 92.06%까지 선형적인 증가를 하였으며 역시 특기할 만한 사실은 임계온도 부근인 80 K에서 효율이 93%로 최고 효율을 보였다는 점이다.



(a)



(b)

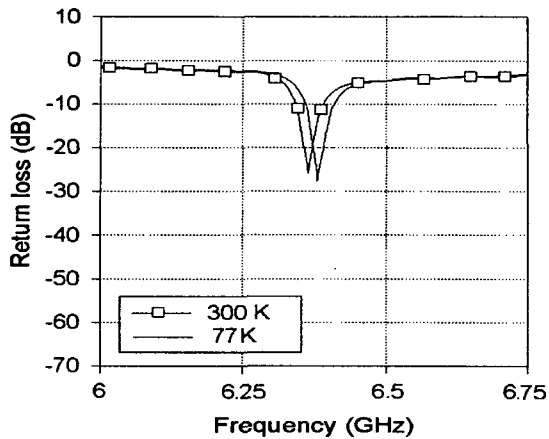
그림 8 초전도 안테나의 방사패턴.
(a) H-평면 패턴 (b) E-평면 패턴.

Fig. 8 Radiation patterns of HTS antenna.
(a) H-plane pattern (b) E-plane pattern.

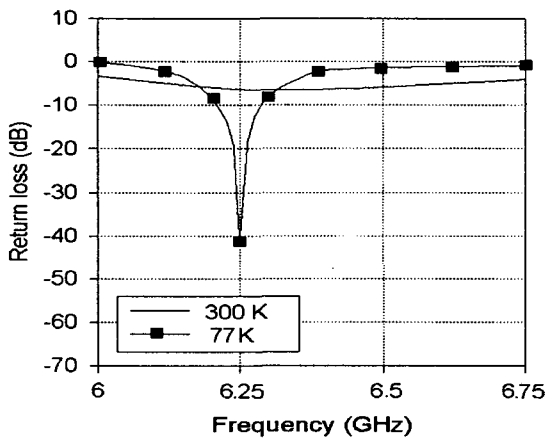
3.4 방사패턴

초전도 안테나와 금 안테나의 방사패턴은 형태 면에서 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 본 논문에서는 초전도 안테나의 E 평면 방사 패턴과 H 평면 방사 패턴만을 그림 6에 제시하였다. 그림에서 실선으로 표시된 부분이 이론적 계산값을 나타내며 점으로 찍어 표시한 부분이 측정값이다 [6].

표준 혼 안테나를 수신모드로 사용하였기에 일반적으로 사용하는 패턴 기록기를 사용할 수 없었으므로 E 평면 방사 패턴과 H 평면 방사 패턴은 매우 이산적인 모습을 보이는 하지만 H 평면 방사 패턴의 좌반면 ($0^\circ \sim 90^\circ$)을 제외하고는 전체적으로 이론값과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. H 평면에서 보여지는 좌반면의 부분적인 이탈은 액체 헬륨이 순환되는 냉각 시스템의 구조상 액체 헬륨이 cold finger에 주는 충격에 의해 샘플 안테나의 위치가 변형되는 것으로 보여진다.



(a)



(b)

그림 9 77 K와 300 K 반사손실.

(a) 금 안테나 (b) 초전도 안테나.

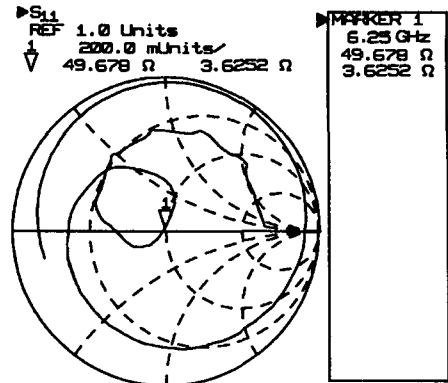
Fig. 9 Return loss at 77 K and 300 K.

(a) Gold antenna (b) HTS antenna.

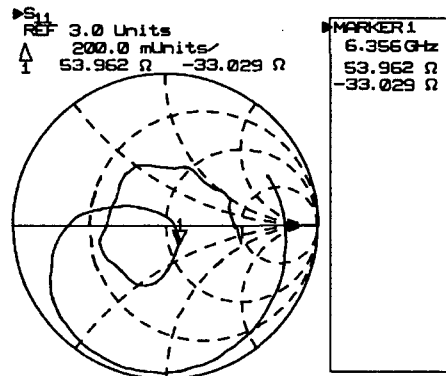
이러한 사실은 단일 패치 안테나에서 좌반면과 우반면이 일반적으로 대칭을 이룬다는 사실로부터도 실험 오차임을 짐작할 수 있는 부분이다.

3.5 상온과 77 K에서 주파수에 따른 반사손실

그림 9는 금 안테나와 초전도 안테나의 주파수에 따른 반사손실은 액체질소 비등점인 77 K와 상온인 300 K에서 관찰한 것이다. 먼저 상온에서 금 안테나의 경우를 살펴보면 6.3532 GHz의 공진 주파수에서 -25.5 dB의 반사손실을 갖는 반면 77 K에서는 6.356 GHz에서 -27.53 dB로 반사손실 특성이 약간 개선됨을 알 수 있다. 상온에서 초전도 안테나는 금 안테나와는 달리 공진을 보이지 않았으며 전 주파수 대역(6 ~ 6.75 GHz)에서 폭 넓은 통과특성(-3 ~ -6 dB)을 보여준다. 이러한 현상은 상온에서 초전도체가 대략 10 Ω 정도 저항을 가지는 반도체로서 동작하기 때문이다. 초전도 현상을 나타내는 77 K에서의 반사손실 특성은 공진 주파수 6.25 GHz에서 -40.17 dB의 특성을 보여준다. 이러한 사실은 본 논문에서 설계한 안테나의 급전이 비교적 정확하게 이루어지고 있음을 시사하는 것이다.



(a)



(b)

그림 10 77 K에서 특성임피던스.

(a) 초전도 안테나 (b) 금 안테나.

Fig. 10 Characteristics impedance at 77 K.

(a) HTS antenna (b) gold antenna

3.6 77 K에서 특성임피던스

그림 10은 77 K에서 초전도 안테나와 금 안테나의 특성임피던스를 스미스 도표에 근거하여 도시한 것이다. 먼저 그림의 (a)에 제시되어 있는 초전도 안테나의 특성임피던스는 허수부가 3.6252 Ω을, 실수부가 49.678 Ω임을 보여주고 있다. 이것은 특성임피던스의 허수부가 거의 '0' Ω에 접근하고 있으며 실수부가 50 Ω 값에 근접한 것으로 우리가 원하던 급전 선로의 특성 임피던스 50 Ω과 거의 정확하게 일치하고 있음을 알 수 있다. 이것은 최대 전력 전달 조건에 의거하여 급전선으로부터 전달되는 방사 전력 거의 전부가 고온초전도 안테나 패치로 공급되고 있음을 의미한다. 금 안테나의 특성임피던스를 도시하고 있는 그림 10의 (b)를 보면 마커(marker) 1에서 입력 임피던스의 허수부가 '0'에 접근하고 있지만 정확한 임피던스 결합이 일어나고 있지는 않다. 반사 손실 계적과 마찬가지로 공진 주파수 6.356 GHz에서 입력 임피던스의 허수부가 -33.029 Ω을 실수부가 53.962 Ω임을 보여주었다.

보편적으로 반사 손실이 -15 dB 이상이면 상업적으로 효율 가치가 있다고 판단되는 점으로 미루어보아 금 안테나와 초전도 안테나 모두 대체적으로 임피던스 결합이 원만히 일어나고 있음을 알 수 있으며 특히 초전도 안테나의 경우 급전선 임피던스인 50 Ω에 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론 및 요약

본 논문에서는 개구 결합을 이용한 H 형태의 공진기 타입 초전도 안테나를 설계 제작하고 이를 동일한 조건을 가진 금 안테나와 비교하여 그 특성을 보고하였다. 초전도 안테나는 일반 금속으로 이루어진 금 안테나에 비하여 정재파 비에서 0.36 효율에서 24 % 반사손실에서 14.6 dB 이상 우수한 특성 나타내었으며 방사패턴은 금 안테나와 큰 차이를 보이지 않았다. 향후 대면적 초전도 박막을 기초로 한 초고주파 회로를 구현할 경우 다양한 통신 소자 및 시스템 분야에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

"이 논문은 2001년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음"

참고 문헌

- [1] Dong-Chul Chung, Kyung-Kuk Park, Sung-Jin Park, Byoung-Sung Han and Jong-Sun Hwang, "Comparison Between High-Tc Superconducting Microstrip Filters and Normal Conducting Counterparts", *IEEE Trans on Applied Supercond.*, vol. 9 no. 2 pp.3882-3885, 1999.
- [2] M. A. Richard, K. B. Bashin, P. C. Claspy, "Superconducting microstrip antennas: an experimental comparison of two feeding methods," *IEEE Trans on Antenna and Propagation*, vol. 41, No. 7, pp. 967-974 1993.
- [3] J. D. Lacey, G. Drossos, L. E. Davis, T. W. Button and P. Smith, "Comparative study of miniaturized HTS microstrip H-shaped antennas with and without enhanced capacitance", *Physica. C*, vol. 282-287, pp.2511-2512 1997.
- [4] S. Y. Lee, K. Y. Kang, C. S. Yoon, E. H. Lee, "Processing of $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ superconducting thin films for microwave device applications", *proceeding of SPIE*, vol. 2156, pp. 216-220, 1994,
- [5] J. H Takemoto, F. K. Oshita, H. R. Fetterman P. Korbin, and E. Sovoro, "Microstrip ring resonator technique for measuring microwave attenuation in high-Tc superconducting thin films.", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol.37, pp.1650-1652 1989.
- [6] I. J. Bahl & Bhatia, *Microstrip antenna*, Artech House, 1992.
- [7] T. Konaka, M. Sato, H. Asano, and S. Kubo, "Relative permittivity and dielectric loss tangent of substrate materials for high-Tc superconducting film," *J. Superconductivity*, vol. 4, no. 4, pp 283-288, 1991.
- [8] Dong-Chul Chung, et al, "Anomalous microwave properties of high-Tc superconducting microstrip antennas around the critical temperature", *J. of Appl. Phys.* vol. 8 no. 12 Dec. 1999.
- [9] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna," *Proc. IRE.*, Vol. 47, pp. 1325-1331, Aug. 1959.

저자 소개



정동철 (鄭東哲)

1967년 8월 20일 생. 1994년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1999년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1999년 전북대학교 반도체 물성연구센터 연구원, 2001년 주식회사 모인테크 연구개발 이사, 2003년 현재 우석대학교 정보통신컴퓨터공학부 조교수.
e-mail: dchung@woosuk.ac.kr



윤창훈 (尹暢焄)

1962년 7월 8일 생. 1985년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1995년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2003년 현재 우석대학교 정보통신컴퓨터공학부 조교수.
e-mail: chyun@woosuk.ac.kr



황종선 (黃宗善)

1953년 12월 13일 생. 1977년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 ~1998년까지 원자력연구원 책임연구원, 1995년 전북대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2003년 현재 담양대학 컴퓨터응용 전기시스템 공학과 조교수.
e-mail : jshwang@damyang.ac.kr



최창주 (崔昌柱)

1940년 7월 26일 생. 1966년 조선대학교 전기공학과 졸업. 1981년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2000년 전남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학) 1993년 미국 미주리대학교 객원 교수. 2003년 현재 조선대학교 전기공학과 교수.
e-mail : cjchoi@chosun.ac.kr