

불연속을 보상한 Q밴드 모드 변환기의 설계 및 도파관 혼합기 모듈 제작에의 응용

Design of Q-band Mode Converter with the Discontinuity Compensation and Its Application to Waveguide Mixer Module

한 상 은 · 이 종 환 · 염 경 환

Sang-Eun Han · Jong-Hwan Lee · Kyung-Whan Yeom

요 약

본 논문에서는 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환기를 설계하고 이를 바탕으로 도파관 혼합기 모듈을 제작 측정하였다. 설계된 모드 변환기는 반사손실을 최소화하기 위하여 50 Ω 마이크로스트립 라인의 패턴을 변화시킴으로서 도파관 내 릿지와 마이크로스트립 사이의 불연속부분의 영향을 보상하였다. 이렇게 제작된 모드 변환기를 사용함으로써 밀리미터파 대역에서 개발된 MMIC 칩을 저 손실 guiding이 가능하도록 도파관 내에 장착시켜 시스템으로의 적용이 가능하도록 하였다. 제작된 도파관 혼합기 모듈의 측정 결과, 제공된 MMIC에서 얻어진 혼합기의 사양의 성능저하가 거의 없음을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, a MMIC waveguide mixer module based upon the novel suggested mode converter for waveguide-to-microstrip transition was fabricated and measured. The insertion and return losses of the mode converter was optimized by compensating the discontinuity effect between ridge and microstrip with the modification of 50 Ω microstrip line pattern. Due to the low loss nature of the mode converter, a millimeter wave MMIC mixer chip can be successfully applied as a waveguide module for mmW waveguide communication system. The measured results of the module showed the successful MMIC chip application in waveguide and the negligible degradation of the supplied chip specification.

Key words : Waveguide-to-Microstrip Transition, Waveguide Mixer Module, Discontinuity between Ridge and Microstrip

I. 서 론

기존의 마이크로파 대역의 주파수 자원의 고갈로 인하여 밀리미터파 대역에 대한 관심과 연구가 높아지고 있다. 이에 따라 밀리미터파 대역의 통신시스템 구축을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 밀리미터파 대역의 통신시스템에 사용되는 핵심 부품에

는 저잡음 증폭기, 주파수 상/하향 변환기, 전력 증폭기 등을 들 수 있는데 대부분은 MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuit)라는 반도체 웨이퍼 위에 평면 형태로 제작되고 있다. 반면에 이를 구성하는 시스템의 다수 소자들은 도파관 형태를 주로 이용하고 있다. 따라서, 개발된 MMIC 칩을 시스템에 적용하기 위해서는 도파관 내에 장착시켜야 한다.

「본 연구는 동국대학교 ERC센터인 밀리미터파 신기술 연구센터의 지원에 의하여 수행되었음.
충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)
· 논문 번호 : 20030812-115
· 수정완료일자 : 2003년 10월 15일

도파관 내에 MMIC 칩을 장착시키기 위해서는 도파관 모드를 마이크로스트립이나 CPW(Coplanar Waveguide) 구조의 평면 형태로 변환시켜야 하는데 이 역할을 하는 것이 모드 변환기이다.

도파관 모드를 마이크로스트립의 평면형태의 모드로 변환시키는 모드 변환기의 종류에는 릿지(ridge) 도파관을 이용한 모드 변환기, probe를 이용한 모드 변환기, fin-line/antipodal fin-line을 이용한 모드 변환기^{[1]~[5]}가 있다.

이러한 모드 변환기의 연구결과를 보면 Shih^[2] 등은 probe coupling으로 제안되는 모드 변환기의 좁은 대역폭을 변형된 마이크로스트립 probe를 이용하여 도파관과 직각으로 결합시키고 Ka대역(26.5~40 GHz), Q대역(33~50.5 GHz), V대역(50~75 GHz), W대역(75~110 GHz)에서 동작하는 back-to-back 모드 변환기를 제작한 바 있다. 전체적으로 Q대역에서 약 10 dB에 해당하는 변환손실을 얻었다. Villegas^[3] 역시 Shih와 비슷한 방법으로 새로운 probe를 이용한 Q 및 W대역 모드 변환기를 제작하여 보인 바 있으나 Q대역의 경우 대역이 좁고 손실의 fluctuation이 큰 바 있다. 본 논문에서는 광대역 모드 변환기에 사용되는 릿지 도파관을 이용한 모드 변환기를 선정하였다. 이는 도파관 밑면이 ground이기 때문에 안정된 ground를 확보할 수 있으며, 다른 구조에 비해 효율적으로 방열 처리할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또, 입출력에 대하여 수평구조가 되며, MMIC 칩을 기존의 housing기법으로 처리할 수 있고 이로 인하여 다수의 소자를 이용하는 멀티 칩의 경우 최소의 조립으로 쉽게 조립할 수 있다는 특징을 가지고 있다.

모드 변환을 위해서는 전자계 형상 정합뿐만 아니라 임피던스 정합도 이루어져야 하는데, 이를 위해서 테이퍼^{[6],[7]}를 이용하여 릿지의 임피던스를 변화시켰다. 테이퍼에는 계단형태의 불연속 구조의 테이퍼와 지수형, 코사인 및 기타 형태의 연속적인 구조의 테이퍼가 있다. 계단형태의 테이퍼 구조는 각 단 사이의 불연속부분에 존재하는 캐패시턴스 성분들을 보상해 줘야 하기 때문에 설계상의 어려움을 가지고 있기 때문에 연속적인 구조의 테이퍼를 사용하였다. 그 중에서 그 형상으로 인하여 부드러운 모드 변환을 할 수 있는 코사인 테이퍼를 이용하였다.

코사인 테이퍼 구조는 기존에 Singh 등이 제안^[4]하였다. 이전에 제안된 구조는 특정 임피던스가 코사인 형상을 갖게 하여 부드러운 천이를 시켰으나, 형상 결정방법이 비선형 방정식을 풀어야 하고, 대략적인 형상은 코사인이어서, 본 논문에서는 간략하게 형상을 코사인으로 하여 체계적인 설계방법에 중점을 두어 제안하였다.

연구 결과 모드 변환기의 성능은 형상에 대한 의존도보다, 도파관 릿지와 마이크로스트립 사이의 불연속 부분에 존재하는 기생성분에 대한 의존도가 가장 지배적이었고, 이로 인한 손실을 최소화시키는 연구도 진행하였다. 이를 바탕으로 설계된 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환기를 이용하여 Q대역에서 MMIC 혼합기 칩을 장착시킨 도파관 혼합기 모듈을 제작 측정하였다.

II. 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환기 설계

2-1 모드 변환기 형상 선정과 릿지 형상 선정 및 검증

도파관 대 마이크로스트립 모드 변환기의 구조를 그림 1(a)에 나타내었다. Q대역의 모드 변환기 설계를 위해 사용된 도파관의 규격은 WR-22($a=0.224"$, $b=0.112"$)이다. 여기에 모드 변환을 위해 릿지를 사용하는데 그림 1(b)와 같이 임의의 단면에서 폭이 s 이고 높이가 도파관 하단에서 d 만큼 떨어진 도체를 삽입한 형태이다.

마이크로스트립 유전체의 두께(h)는 밀리미터파 대역임을 감안하여 10 mil인 세라믹을 선택하였고 릿지 도파관과 마이크로스트립의 임피던스를 맞추기 위하여 결정된 마이크로스트립 라인의 폭^[8](w)은 10 mil이었다.

도파관 대 마이크로스트립 모드 변환을 위해서는 결정된 50 Ω 마이크로스트립 라인과의 임피던스 정합을 위해서 릿지 도파관의 임피던스도 고려해야 한다. 도파관 릿지의 임피던스는 경계에서 d 는 고정되어서($d=h$) 릿지의 폭(s)에 의해 결정된다. 도파관 임피던스 정의 중에서 power-current 임피던스 정의(Z_{PI})^{[9],[10]}를 이용하였는데 $Z_{PI}=50$ 을 위한 릿지의 폭은 36 mil이다.

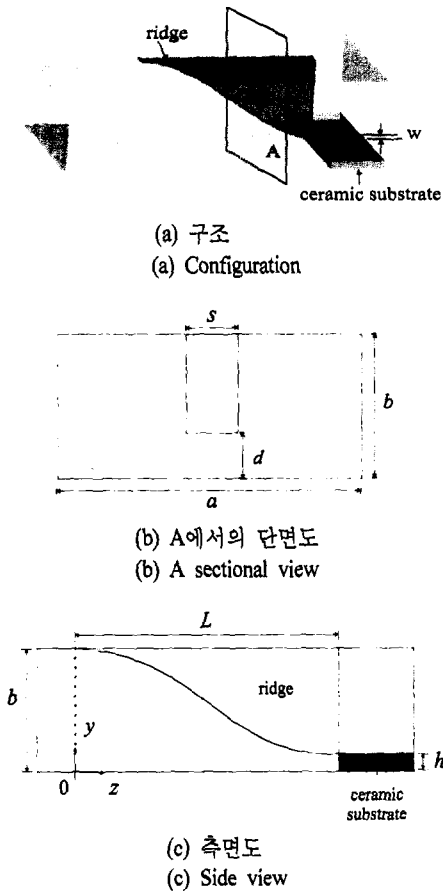


그림 1. 모드 변환기
Fig. 1. Mode converter.

릿지 테이퍼는 단위 길이에 따른 임피던스 변화량이 작고 그 형상으로 인하여 부드럽게 변환이 가능한 코사인 테이퍼를 선택하였다. Singh은 임피던스를 코사인 형태로 하여 테이퍼의 형상 결정방법을 제안하였으나 본 논문에서는 식 (1)과 같이 코사인 형상의 테이퍼를 제안하고 이를 바탕으로 모드 변환기를 설계하였다. 이의 측면도를 그림 1(c)에 나타내었다. 여기서, b 는 도파관 높이이고 h 는 마이크로 스트립의 높이를 나타낸다.

$$y = \frac{b-h}{2} \cos\left(\pi \frac{z}{L}\right) + \left(\frac{b-h}{2} + h\right) \quad (1)$$

또한 테이퍼의 길이(L)는 반사계수를 고려하여 결정하였다. Small reflection approximation을 이용하여 테이퍼의 시작점($z=0$)에서의 반사계수(Γ_i)를 식 (2), (3)^{[8],[9]}과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Gamma_i = 20 \log \left[\frac{1}{2} \int_0^L e^{-j2\beta(z)} \frac{d}{dz} (\ln Z(z)) dz \right] \quad (2)$$

여기서, $\beta(z)$ 는 다음과 같다.

$$\beta(z) = \int_0^z \frac{2\pi}{\lambda_g} dz \quad (3)$$

이 때 β 와 임피던스 Z 는 주파수에 관한 함수이고 주파수에 따라 dispersion이 있기 때문에 Mathcad를 이용하여 테이퍼의 길이(L)에 따른 반사계수 특성을 살펴보았다.

그림 2에서 알 수 있듯이, 상용시스템에서의 적용을 위해서는 10 dB 이하의 반사손실을 필요로 하는데, 테이퍼를 이용한 변환기의 반사손실은 이보다 작을 필요가 있다. 테이퍼의 영향은 중심 주파수에서 $2\lambda_{g0}$ 의 테이퍼 길이를 가질 때 Q밴드 전대역에 걸쳐 20 dB 이하의 반사계수를 얻을 수 있으므로, $2\lambda_{g0}$ 의 길이를 선정하였다.

앞서 언급한 바와 같이, β 와 Z 는 주파수에 관한 함수이기 때문에 수식을 이용한 설계가 현재까지는 알려진 바가 없다. 따라서, Ansoft HFSS를 이용하는 방법을 채택하여 설계하였다. 설계된 릿지 도파관을 HFSS를 이용하여 비교하였다. 결정된 36 mil의 릿지 폭(s)과 $2\lambda_{g0}$ 테이퍼 길이를 가지는 식 (1)의 코사인 테이퍼 구조를 이용하였으며, 그림 3에 식 (2), (3)을 이용하여 Mathcad로 나타낸 결과와 HFSS로 이의 구조를 시뮬레이션 한 결과를 나타내었다. 30 dB 근처의 반사손실을 보이고 있는데 HFSS의 error function

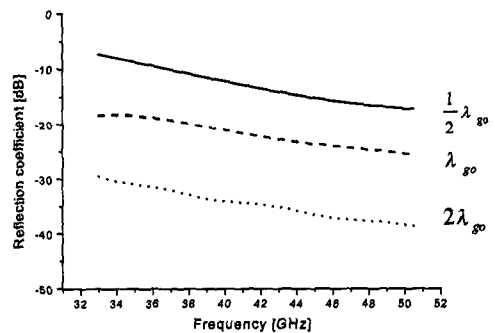


그림 2. 테이퍼 길이에 따른 반사계수 특성 (λ_{g0} 는 중심주파수에서 파장을 나타낸다.)
Fig. 2. Reflection coefficient characteristic for taper length (λ_{g0} represents the wavelength at center frequency).

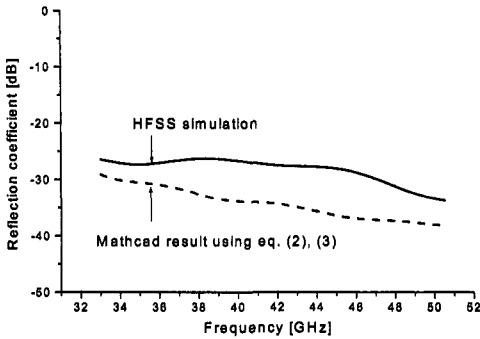


그림 3. 주파수에 따른 코사인 테이퍼($L = 2 \lambda_{go}$)의 반사계수 특성 시뮬레이션 결과 비교
Fig. 3. Comparison of the return loss simulation results of the cosine taper($L = 2 \lambda_{go}$).

을 고려할 때 이론값의 경향을 따르고 있음을 알 수 있다.

2-2 모드 변환기 성능 조사

그림 1(a)의 구조에서 s 는 36 mil, L 은 $2 \lambda_{go}$, w 는 10 mil인 도파관 대 마이크로스트립 변환 구조를 시뮬레이션 하였다. 그 결과, 반사손실이 10 dB 근처였으며 주파수가 높아질수록 손실이 증가하였다.

그림 1(a)의 구조를 back-to-back으로 연결하여 도파관에서 마이크로스트립으로 변환을 시킨 후 이를 다시 도파관으로 변환시키는 구조를 시뮬레이션 하였다. 그림 5와 같이 특정 주파수에서 null이 생겼으며 10 dB 이상의 반사손실을 보이는 대역도 있었다.

그림 5에서 S_{11} 에 나타나는 null은 부정합에 의한 정재파로 인한 것이고 S_{21} 에 나타나는 null은 도파관

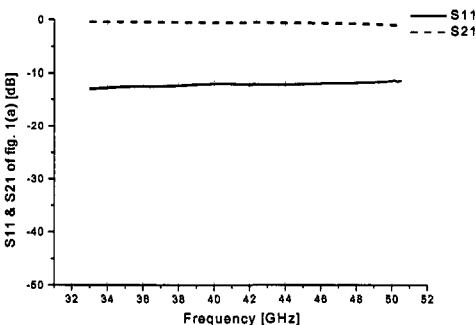


그림 4. 그림 1(a) 구조의 HFSS 시뮬레이션 결과
Fig. 4. HFSS simulation result of the structure in Fig. 1(a).

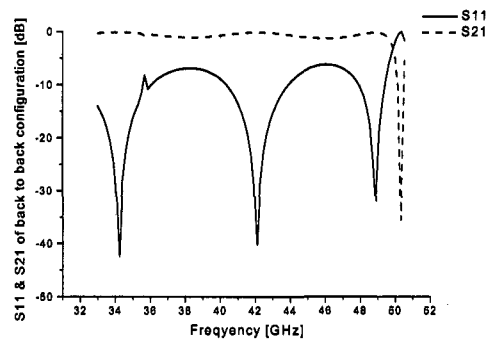


그림 5. 그림 1(a)를 back-to-back으로 연결한 구조의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation result of the back-to-back configuration.

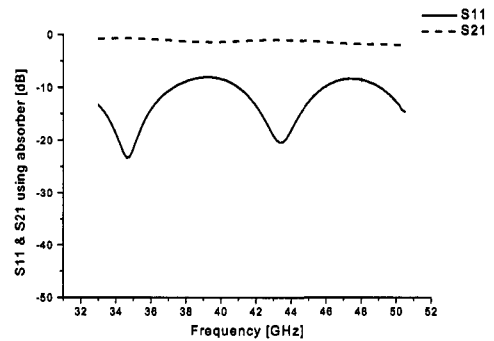
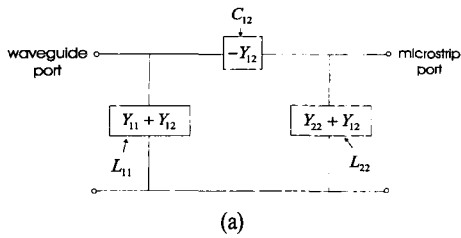


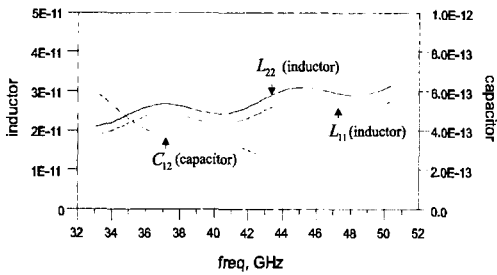
그림 6. Absorber를 이용한 모드 변환기 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result of the back-to-back mode converter with absorber.

내부의 공진에 의해 발생한 것이다. 도파관 내부 공진에 의한 null을 제거하기 위하여 도파관 내부에 absorber를 사용하여 그림 6과 같이 S_{21} 에 나타나는 null을 제거하였다. 하지만, 그림 6에서 알 수 있듯이 여전히 10 dB 이상의 반사손실을 보이는 주파수 대역이 존재하고 있다. 테이퍼의 형상이나 파라미터를 변화시켜도 결과를 개선할 수 없었다.

결과 개선을 위하여 모드 변환기 각 부분의 특성을 살펴보았다. 릿지 도파관 부분이나 마이크로스트립 부분은 파장에 의한 영향으로 길이에 따라 null이 생겼으나 20 dB 이하의 반사손실을 보였다. 그러나, 릿지에서 마이크로스트립으로 변환되는 불연속부분은 그림 4의 결과와 마찬가지로 10 dB 근처의 반사손실을 보이며 주파수가 높아질수록 손실도 증가하



(a)



(b)

그림 7. (a) 불연속 부분의 2-port 등가회로
(b) 등가회로 값
Fig. 7. (a) Two port representation of discontinuity
(b) Their values.

는 경향을 보였다. 이 부분이 모드 변환기 성능을 좌우하고 있음을 알 수 있었다.

2-3 마이크로스트립 패턴을 이용한 모드 변환기 성능 개선

시뮬레이션 결과 릿지와 마이크로스트립 사이의 불연속 부분이 모드 변환기 결과에 현저하게 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 릿지와 마이크로스트립사이의 불연속부분의 영향을 알아보기 위하여 우선 이것의 2-port 등가회로를 구하였다.

불연속 부분에 존재하는 기생성분을 추출하기 위하여 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환 결과를 도파관과 마이크로스트립 각 포트에서부터 불연속 부분까지 de-embedding시켰다. 그림 7은 이의 등가회로와 추출한 기생성분이다. 그림 7(b)에 캐패시터 성분 (C_{12})과 도파관 포트 쪽에 존재하는 인덕터 (L_{11}), 마이크로스트립 포트 쪽에 존재하는 인덕터 (L_{22}) 성분을 나타내었다. 추출된 기생성분이 주파수에 따라 민감하게 변화하고 있음을 알 수 있다.

이 불연속 부분의 기여를 고려한 최대전력 전달 임피던스를 알기 위하여, 증폭기 설계에 이용하는 gain circle을 이용하였다. 그림 8(a)는 available gain

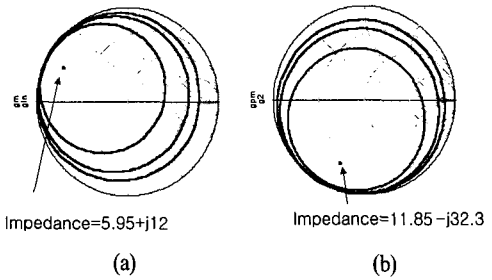


그림 8. (a) 불연속부의 available gain circles(start=-3 dB, stop=0 dB, step=1 dB), (b) Power gain circles(start=-3 dB, stop=0 dB, step=1 dB)
Fig. 8. (a) Available gain circles of discontinuity, (b) The power gain circles.

circle을 이용하여 입력측인 도파관의 부정합을 나타낸 것이고 (b)는 power gain circle을 이용하여 출력측인 마이크로스트립의 부정합을 나타낸 것이다. 릿지와 마이크로스트립의 임피던스를 50Ω 로 맞추어 설계하였으나 불연속부분에 존재하는 기생성분의 영향으로 인하여 임피던스의 최적점은 50Ω 이 아닌 것을 알 수 있다.

도파관 릿지와 마이크로스트립 사이의 불연속부분의 영향을 최소화시키기 위해서는 릿지와 마이크로스트립 라인을 정합하여야 한다. 그러나 폭과 길이가 결정된 도파관 릿지는 가공이 현실상 어려우므로 고정시키고, 기존의 50Ω 라인의 마이크로스트립 패턴을 불연속부분의 영향을 고려하여 Agilent ADS를 이용하여 최적화(optimization)방법으로 보상하였다.

최적화된 결과를 줄 때 수정된 마이크로스트립 패턴을 그림 9에 나타내었으며 이를 이용하여 ADS로 시뮬레이션 한 모드 변환기의 결과를 그림 10에 나타내었다. 모든 대역에 걸쳐 1 dB의 삽입손실과 15 dB 이하의 반사손실을 보이고 있다.

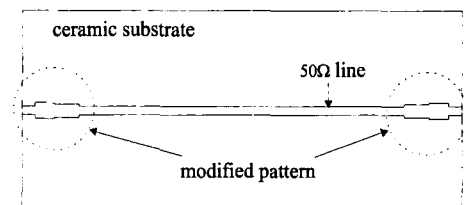


그림 9. 수정된 마이크로스트립 라인 패턴
Fig. 9. Modified microstrip line pattern.

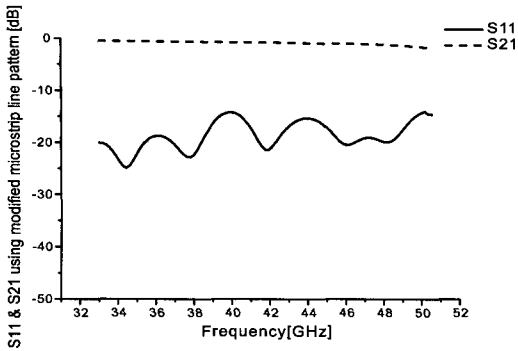


그림 10. 수정된 마이크로스트립 라인 패턴을 이용한 모드 변환기 ADS시뮬레이션 결과
 Fig. 10. ADS simulation result of mode converter using modified microstrip line pattern.

III. 도파관 혼합기 모듈 제작 및 측정

3-1 모드 변환기 측정

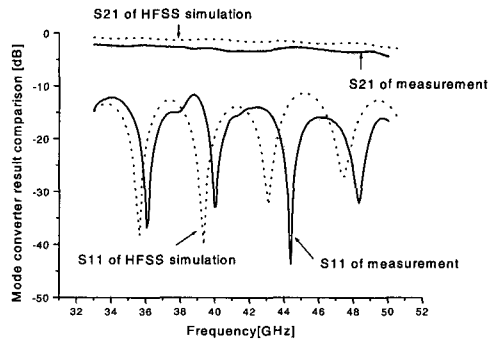
그림 11(a)에 불연속부분을 보상하여 수정된 마이크로스트립 패턴을 갖는 back-to-back 모드 변환기에 대한 HFSS 시뮬레이션 결과와 HP8510C network analyzer를 이용하여 제작된 모드 변환기를 측정한 결과를 보였다. 그림에서 알 수 있듯이 제작된 모드 변환기는 10 dB 이하의 반사손실과 3~4 dB의 삽입손실을 가지고 있다. 조립상의 공차로 인하여 그림 11(a)의 HFSS 시뮬레이션 결과와 차이가 생겼으며 제작된 모듈의 마이크로스트립의 길이가 설계상의 길이보다 약간 길어짐으로 인하여 그림 10과 그림 11(a)의 결과가 차이를 보이고 있다.

또, 그림 11(b)에서 알 수 있듯이 수정된 마이크로스트립 패턴을 이용한 모드 변환기의 반사손실이 기존의 50 Ω 라인의 패턴을 이용한 결과보다 줄어들음을 확인하였다.

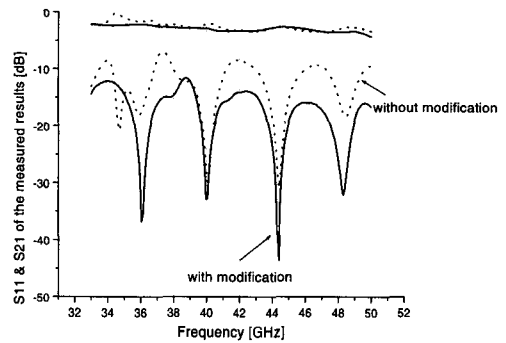
3-2 도파관 혼합기 모듈 제작

설계된 도파관 혼합기 모듈의 구조는 그림 12와 같다. 도파관 양끝에 인가된 LO, RF 신호가 텃지에 의하여 세라믹 기판의 마이크로스트립 라인으로 전해져서 이의 신호가 MMIC 혼합기를 통하여 도파관에 연결된 SMA 커넥터를 통과하여 IF 신호를 내보내는 구조이다.

3차원 가공을 통하여 제작된 코사인 테이퍼를 포



(a)



(b)

그림 11. (a) 수정된 마이크로스트립 라인을 이용한 back-to-back 모드 변환기 시뮬레이션 결과와 측정 결과 비교, (b) 마이크로스트립 라인의 수정 여부에 따른 측정 결과

Fig. 11. Comparison of (a) The measured result and the simulated result for back-to-back mode converter with the modified microstrip, (b) The measured results with and without the microstrip modification.

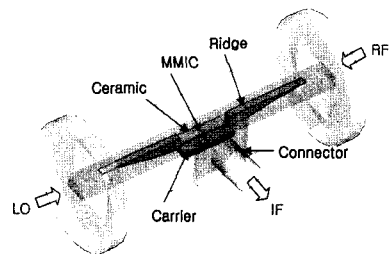


그림 12. 도파관 혼합기 모듈의 구조도

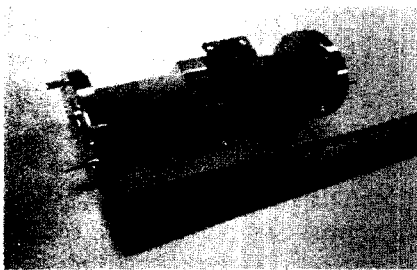
Fig. 12. The structure of waveguide mixer module.

함하여 설계된 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환기와 도파관 flange, IF 단자의 SMA 커넥터를 조립하였다. 이렇게 조립된 도파관 모듈에 세라믹 기판

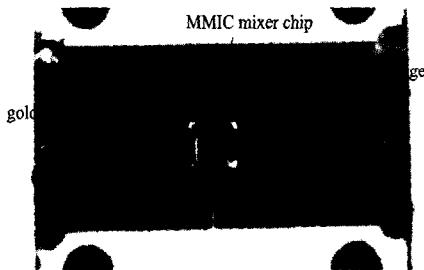
을 장착시키기 위하여 Kovar 캐리어를 제작하였다. 캐리어 위에 silver epoxy를 이용하여 세라믹 기판을 올리고 릿지와 세라믹 기판을 연결하기 위하여 gold ribbon을 세라믹 기판 위에 welding하였다. 그리고 나머지 gold ribbon은 릿지에 solder cream으로 부착하였다. 도파관 모듈은 brass로 제작되었으며 그림 13(a)에 제작된 도파관 혼합기 모듈을 나타내었다. MMIC 칩은 그림 13(b)과 같이 RF, LO, IF 단자에 연결하기 위하여 silver epoxy를 이용하여 die를 붙인 후 wire 본딩하였다. 본딩의 횟수가 많아질수록 손실이 줄어들을을 고려하여 2~3번의 본딩을 하여 MMIC 칩을 세라믹 기판에 연결하였다.

3-3 도파관 혼합기 모듈 측정

그림 13의 제작된 도파관 혼합기 모듈에서 사용된 혼합기는 35~45 GHz의 동작 주파수를 가지는 TRW사의 MDB162C⁽¹⁾이다. 도파관 혼합기 모듈에서 측정된 conversion loss를 그림 14에 나타내었으며, 사용된 TRW MDB162C 혼합기 사양과 측정된



(a)



(b)

그림 13. (a) 제작된 도파관 혼합기 모듈 사진, (b) MMIC 조립사진

Fig. 13. (a) The photo of the fabricated waveguide mixer module, (b) The photo of assembly of MMIC mixer.

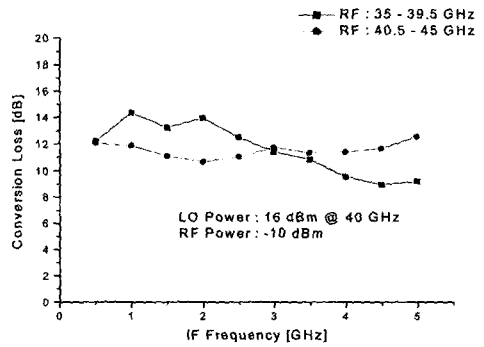


그림 14. 측정된 도파관 혼합기 모듈의 conversion loss
Fig. 14. The measured conversion loss of the waveguide mixer module.

표 1. 도파관 혼합기 모듈 측정 결과

Table 1. Measured results of the waveguide mixer module.

| Specification | TRW 혼합기 칩 | | |
|---------------------|-----------|-----|-----------|
| | Min | Typ | Max |
| RF Frequency [GHz] | 35 | | 45 |
| LO Frequency [GHz] | 35 | 40* | 45 |
| IF Frequency [GHz] | DC | | 5 |
| LO Power [dBm] | | 16 | |
| Conversion Loss | | | |
| Down converter [dB] | (8.96) | 8.5 | 11(14.35) |
| Isolation | | | |
| LO-RF [dB] | 30(-) | 33 | |
| LO-IF [dB] | 13(16.64) | 17 | |
| RF-IF [dB] | 22(25.68) | 26 | |

- *LO power는 40 GHz로 고정시키고 측정하였다.
- ()는 도파관 혼합기 모듈 제작 후 측정된 결과이고 ()밖은 제공된 혼합기의 사양을 나타낸 것이다.
- (-)는 측정하지 못한 데이터를 나타낸다.

도파관 혼합기 모듈의 결과를 비교하여 표 1에 나타내었다. 측정 환경을 고려하였을 때, 제공된 TRW 혼합기의 사양에 영향을 주지 않고 도파관 내에 칩이 장착되었음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파의 연구가 활발히 진행되고 있는 시점에서 이 대역의 통신 시스템 구축을 위하여 도파관을 이용하여 MMIC 칩을 도파관 모듈로 제작하였다.

모드 변환기에는 도파관과 마이크로스트립의 임피던스 변환을 위하여 코사인 형상의 테이퍼와 이의 설계방법을 제안하고 이용하였다. 또, 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환을 back-to-back으로 연결하여 설계하였으며 이 때 발생하는 공진을 제거하였다. 또한 모드 변환기에 주된 영향을 미치는 릿지와 마이크로스트립 사이의 불연속 부분의 영향을 고려하였다. 이를 보상하기 위하여 기존의 50 Ω 마이크로스트립 라인의 패턴을 최적화방법을 이용하여 수정하였으며, 설계된 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환기를 밀리미터파 대역의 시스템에 연계시킬 수 있도록 MMIC 혼합기 칩을 장착시킨 도파관 혼합기 모듈을 제작하였다.

설계된 릿지 도파관을 이용한 도파관 대 마이크로스트립 모드 변환은 MMIC 칩을 housing기법으로 처리할 수 있고 이로 인하여 여러 개의 MMIC 칩을 최소의 조립으로 연결할 수 있다. 또, 안정된 ground 확보 및 다른 구조에 비해 효율적으로 방열 처리할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

제작된 도파관 모듈의 측정 결과 back-to-back으로 연결된 모드 변환은 마이크로스트립의 패턴을 수정한 경우 기존의 50 Ω 라인을 이용한 경우보다 개선된 10 dB 이하의 반사손실과 3~4 dB의 삽입손실 특성을 보였다. 도파관 혼합기 모듈은 제공된 MMIC에서 얻어진 혼합기의 사양의 성능저하가 거의 없음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Izadian, S. M. Izadian, *Microwave Transition Design*, Artech House, 1988.
- [2] Y. C. Shih, T. N. Ton and L. Q. Bui, "Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave application", *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Symposium Digest*, pp. 473-475, 1988.
- [3] F. J. Villegas, D. I. Stones and H. A. Hung, "A Novel Waveguide-to-Microstrip Transition for Millimeter-Wave Module Applications", *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 48-54, Jan. 1999.
- [4] D. R. Singh, C. R. Seashore, "Straightforward approach produces broadband transitions", *Microwave & RF*, Sep. 1984.
- [5] H. W. Yao, A. Abdelmonem, J. F. Liang and K. A. Zaki, "Analysis and design of microstrip-to-waveguide transitions", *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-42, pp. 2371-2379, Dec. 1994.
- [6] K. C. Gupta, *Microstrip Lines and Slotlines*, Artech House, 1988.
- [7] A. H. Hall, "Impedance matching by tapered or stepped transmission lines", *Microwave Journal*, Mar. 1966.
- [8] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Wiley, 1998.
- [9] J. Helszajn, *Ridge Waveguides and Passive Microwave Components*, IEEE Press, 1988.
- [10] W. J. R. Hoefler, M. N. Burton, "Closed form expressions for parameters of finned and ridge waveguide", *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-30, pp. 2190-2194, Dec. 1982.
- [11] TRW, *HBT Schottky Diode Star Mixer*, MDB-162C datasheet.

한 상 은



2002년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2002년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 및 시스템

이 중 환



1998년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
2000년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 능동회로 및 시스템, MMIC 설계

염 경 환



1976년~1980년: 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1980년~1982년: 한국과학기술원 전기 및 전자과 (공학석사)
1982년~1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자과 (공학박사)
1988년 3월: 금성전기(주) 소재부품연구소 선임연구원 (MIC 팀 팀장)

1990년 3월: 금성전기(주) 소재부품연구소 책임연구원
1991년 5월: 금성정밀(주) 기술연구소 연구1실 책임연구원
1991년 8월: (주) LTI
1995년 10월: 충남대학교 전파공학과 조교수
1999년 10월~현재: 충남대학교 전파공학과 부교수
[주 관심분야] 마이크로파 회로 및 시스템