

W-대역 도파관 전압조정발진기를 위한 건 다이오드 마운트의 실험적 설계

Experimental Design of the Gunn Diode Mount for W-Band Waveguide Voltage Controlled Oscillator

민재용 · 리준문 · 안병철 · 노진입* · 김동환**

Jae-Yong Min · Lijunwen · Bierng-Chearl Ahn · Jin-Eep Roh* · Dong-Hwan Kim**

요 약

본 논문에서는 W-대역 도파관 전압조정발진기에 적용할 수 있는 건 다이오드 마운트를 실험적으로 설계하였다. 건 다이오드 마운트에 의해서 건 다이오드의 낮은 임피던스는 도파관의 높은 임피던스에 정합된다. 건 다이오드 마운트에서 디스크 직경, 디스크 높이, 금속봉 직경에 따른 전압조정 발진기의 중심 주파수, 주파수 조정 범위, 출력전력 등 특성 변화 경향을 시뮬레이션에 의해 확인한 후 실험적인 방법으로 최적의 건 다이오드 마운트를 설계하였다. 설계된 전압조정 발진기는 중심 주파수 93.9 GHz, 2 % 주파수 선형성 범위 600 MHz, 출력 전력 16 dBm 등의 우수한 특성을 보였다.

Abstract

In this paper, the Gunn diode mount is experimentally designed for use in a W-band waveguide voltage controlled oscillator(VCO). The role of the Gunn diode mount is to match the low impedance of the Gunn diode to the high impedance of waveguide. Computer simulations of VCO characteristics such as center frequency, frequency tuning range, and output power are carried out for various values of disc diameter, disc height, post diameter, and utilized in the experimental optimization of the Gunn diode mount. The designed VCO shows excellent characteristics; 93.9 GHz center frequency, 600 MHz frequency tuning range with 2 % linearity, 16 dBm output power.

Key words : Gunn Diode Mount, W-Band Waveguide VCO, Experimental Design

I. 서 론

최근 기상, 대기오염, 해양관측 등의 원격탐사, 환경 모니터링 분야에서부터 지능형 교통시스템, 보안 검색, 의료영상 등의 다양한 분야에서 밀리미터파 시스템의 활용도가 증대되고 있다. 이에 따라 밀리미터파 시스템의 핵심부품 중의 하나인 발진기의 중요성과 관심도 한층 증가되고 있다.

밀리미터파 발진기용 부성저항 소자로 건(Gunn)

다이오드가 널리 사용된다. 건 다이오드는 FM 잡음이 적다는 점과 넓은 주파수 대역에 걸쳐 동작할 수 있다는 장점으로 밀리미터파 대역 국부 발진기용 발진소자로 널리 사용되고 있다. 1-포트 발진소자인 건 다이오드는 GaAs 또는 InP 반도체를 이용하여 제작된다.

밀리미터파 대역 건 다이오드 발진기는 보통 도파관 형태로 구현된다. 이 경우 발진기에서 요구되는 공진기는 공동(cavity), 단락회로-도파관-금속봉

충북대학교 전파공학과(Department of Radio Engineering, Chungbuk University)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

** (주)한화 구미공장(Kumi Plant, Hanwha Corp.)

· 논문 번호 : 20041123-147

· 수정완료일자 : 2004년 12월 28일

(다이오드 마운트), 금속봉-도파관-금속봉 등의 형태로 구현된다. 도파관 공진기는 비교적 높은 Q 값을 제공하므로 이를 이용하여 국부 발진기에서 요구되는 안정된 발진 특성을 얻을 수 있다.

건 다이오드의 동작 주파수는 활성영역층의 두께에 의해 결정된다. GaAs 건 다이오드의 경우 활성영역층의 두께가 1.3~2.5 μm 일 경우 기본모드 발진 주파수가 33~65 GHz가 된다^[1]. 활성영역층의 두께를 작게 하여 65 GHz 이상의 주파수에서 기본모드 발진이 가능한 GaAs 건 다이오드를 구현할 수 있으나 현재의 반도체 제조기술에 비추어 볼 때 기본모드 발진보다는 1/2 또는 1/3의 주파수에서 발진시킨 후 2배 또는 3배 주파수의 전력을 뽑아내는 하모닉 발진방법을 이용하는 것이 건 다이오드의 제작 난이도와 소자 동작의 안정성 측면에서 유리하다고 알려져 있다^[2].

1975년 Ruttan^[3]에 의해 94 GHz 대역 하모닉 발진기가 발표된 이후에 여러 연구자들에 의해 하모닉 발진기가 연구되어왔다^{[4]~[11]}. Barth^[4]는 backshort를 사용하여 중심 주파수가 87.5 GHz인 하모닉 발진기에서 발진 주파수를 15~20 GHz 정도 튜닝할 수 있었다. Haydl^{[5],[6]}은 하모닉 발진기의 동작개념과 설계 방법에 대해 검토하였다. Barth와 Menzel^[7]은 45 GHz 기본 주파수 발진기로부터 3 mW의 135 GHz를 발생시켰다. Rydberg^[8]는 InP 건 다이오드를 이용하여 180 GHz와 272 GHz에서 동작하는 2차 및 3차 고조파 발진기를 연구하였다. Rydberg는 다이오드 마운트 부분의 도파관 높이를 조절하여(이를 Carstrom cavity^[12]라 함) 주파수를 튜닝하고 출력 포트 반대편에 설치된 도파관 backshort를 이용하여 출력전력을 조정하는 구조를 제시하였다. Currow^[9]는 건 다이오드의 특성해석에 유체역학 모델을 적용하고 이를 Monte Carlo 기법(확률기반의 수치해석법)을 이용하여 계산하였다. 또한 실제 공진기 구조의 임피던스 특성을 건 다이오드의 특성과 결합하여 W-대역에서 동작하는 건 다이오드 발진기에 기본 발진과 하모닉 발진을 해석하였다. Eisele^[10]은 InP 건 다이오드를 사용한 하모닉 발진기로부터 260~320 GHz 대역에서 약 1 mW의 전력을 얻었다.

Jones와 그의 동료 연구원들은^[11] 63~170 GHz에서 2차 하모닉 모드로 동작하는 InP 건 다이오드 발

진기를 구현하였다. Carlstrom과 동료 연구원들은^[12] 65~115 GHz에서 기계적인 방법으로 주파수를 연속적으로 조정할 수 있는 2차 하모닉 위상고정 GaAs 건 다이오드 발진기를 구현하였다.

바랙터(varactor) 다이오드를 이용하여 발진 주파수를 전자적으로 조정할 수 있는 전압조정 발진기(VCO)는 보통 건 다이오드 마운트와 바랙터 다이오드 마운트 사이의 도파관 영역을 공진기로 이용할 수 있다. 바랙터 다이오드에 인가되는 역-방향 전압을 조정함에 따라 바랙터 다이오드의 커패시턴스가 변하고 이에 따라 공진기의 등가길이가 변함으로써 발진 주파수가 조정되게 된다.

도파관형 전압조정 발진기에 관한 많은 연구가 발표되었다^{[13]~[17]}. 이 중에서 전압조정 범위를 넓히기 위한 연구^{[13],[16],[17]}와 더불어 전압조정 발진기의 해석모델^{[14],[15]}을 다룬 연구가 대표적이라 볼 수 있다.

건 다이오드를 이용한 도파관 발진기 설계에서 가장 핵심적인 부분은 건 다이오드 마운트이다. 건 다이오드 마운트는 건 다이오드에 바이어스 전압을 공급하기 위한 동축선 구조의 저역통과 필터와 건 다이오드의 임피던스 변환을 위한 포스트-디스크 구조로 구성된다.

건 다이오드 마운트에 관한 연구 또한 많이 발표되었다^{[18]~[25]}. 건 다이오드 마운트 설계의 핵심은 500 ohm 부근의 도파관 임피던스를 10 ohm 이하의 건 다이오드 부성저항으로 변환하며 동시에 원하는 주파수에서 발진조건을 만족하는 구조를 도출하는 것이다.

밀리미터파 대역 하모닉 발진기에서는 포스트-디스크 구조의 마운트가 가장 널리 사용된다^{[4],[6],[26]}. 밀리미터파 대역 건 다이오드의 제조자가 정확한 임피던스 데이터를 제공하지 않는 점을 감안하여 건 다이오드 마운트는 흔히 실험적인 방법으로 설계된다^{[6],[24]}.

건 다이오드 발진기를 해석 또는 설계하기 위한 가장 정확한 방법은 건 다이오드의 비선형 특성을 건 효과 물리학에 기초하여 수치해석적으로 해석하고 건 다이오드 외부의 공진회로를 전자장 해석 소프트웨어로 해석한 후 두 결과를 결합하는 것이다^{[25],[26]}. 그러나 이러한 전면적인 수치해석적인 접근

방법은 소자모델링 측면에서 상당히 복잡한 작업이 요구되므로 공진기를 최적화하기 위한 준경험적인 시행착오법이 흔히 사용되고 있다.

본 논문에서는 94 GHz 대역의 출력 전력을 제공하는 도파관형 2차 하모닉 건 다이오드 전압조정 발진기를 위한 건 다이오드 마운트에 실험적 설계방법을 제시하였다. 건 다이오드 마운트의 구조에 따른 발진 주파수, 출력 전력, 주파수 조정 대역폭, 주파수 조정 선형성 등의 변화를 실험적으로 검토하였다.

II. 도파관 전압조정 발진기 설계 개념

2-1 도파관 전압조정 발진기 구조

그림 1은 본 논문에서 적용한 전압조정 발진기의 구조를 보인 것으로서 공진기, back-short 및 출력 도파관으로 구성된다. 공진기는 기본 발진 주파수가 차단되지 않는 직사각형 도파관 내에 1/2 파장 간격으로 설치된 바랙터 다이오드(및 마운트)와 건 다이오드(및 마운트)로 구성된다. 바이어스 전압조정기에 의해 바랙터 다이오드의 커패시턴스가 변화할 경우 두 다이오드 사이의 간격이 변하는 것과 동일한 효과를 초래함으로써 발진 주파수가 변하게 된다.

건과 바랙터 다이오드에 바이어스 전압을 공급하기 위해 마운트와 일체형이면서 절연된 동축선 형태의 저역통과 필터가 사용된다. 바랙터와 건 다이오드 패키지는 도파관에 편리하게 설치할 수 있도록 금속 screw와 방열을 위한 금속 디스크를 포함한다.

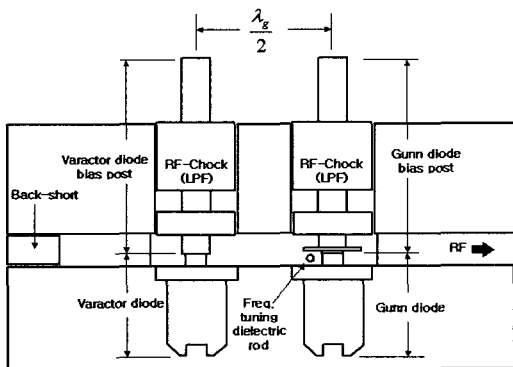


그림 1. 도파관 전압조정 발진기의 구조
Fig. 1. Structure of the waveguide voltage controlled oscillator.

건 다이오드 마운트의 디스크 아래에 저손실 유전체 (예: quartz) 봉을 삽입하여 발진 주파수를 기계적으로 조정할 수 있게 하였다.

Back-short는 출력 도파관과 동일한 크기의 직사각형 도파관 상에 설치된 도파관 단락회로로서 공진기 외부 임피던스를 조정하여 출력 전력이 최대가 되게 할 목적으로 사용된다. 발진된 RF 신호는 표준 직사각형 도파관을 통해 외부로 나오게 된다.

전압조정 발진기의 설계는 1) 출력 및 back-short 도파관 크기, 2) 공진기 도파관 크기, 3) 바이어스용 저역통과 필터, 4) 바랙터 다이오드 마운트 구조, 5) 두 다이오드 사이의 간격, 6) 건 다이오드 마운트 구조 등의 순서로 진행된다.

우선 출력 및 back-short용 도파관은 94 GHz 대역 표준 도파관 WR-10(폭 2.54 mm, 높이 1.27 mm)으로 하였다. 공진기 도파관의 크기는 47 GHz 신호가 차단되지 않도록 폭을 4.10 mm로 확장하고 높이는 WR-10과 동일하게 하였다. 공진기 도파관 길이는 두 다이오드가 1/2 파장 간격으로 설치될 수 있는 충분한 값으로 하였다. 바이어스용 저역통과 필터는 건과 바랙터 다이오드 마운트와 일체형으로 설계하였으며 동축선 3-단 임피던스 계단형 저역통과 필터를 적용하였다. 바랙터 다이오드 마운트는 바랙터 다이오드 패키지와 동일한 직경의 금속봉(포스트)을 사용하였다. 바랙터 다이오드와 건 다이오드 사이의 간격은 기본 발진 주파수인 47 GHz에서 약 1/2 파장으로 하였다. 마운트의 직경이 '0'이 아니므로 간격이 정확히 1/2 파장이 되지 않는다. 전압조정 발진기 설계의 마지막 단계이며 가장 중요한 단계인 건 다이오드 마운트 설계는 실험적으로 접근하였다.

2-2 건 다이오드 마운트 설계

건 다이오드 마운트는 다이오드의 낮은 부성저항을 도파관의 높은 특성 임피던스에 정합시키는 역할을 한다. 가장 널리 사용되는 건 다이오드 마운트 구조는 그림 2에서 보인 것과 같은 단순한 포스트(금속봉) 구조와 포스트 상에 디스크가 포함된 구조이다.

밀리미터파 발진기에서 그림 2(a)와 같은 구조는 광대역의 주파수 범위를 갖게 되지만 Q 값이 낮아 출력전력이 낮게 나타난다는 특징이 있다. 그림 2(b)

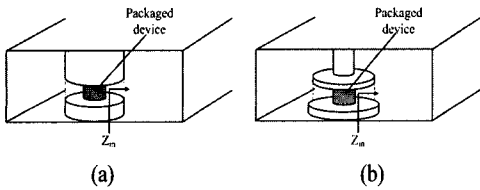


그림 2. 건 다이오드 마운트의 종류
Fig. 2. Types of the Gunn diode mount.

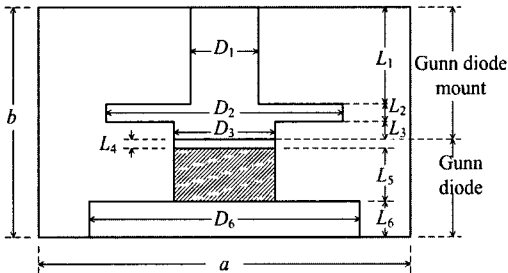


그림 3. 건 다이오드 마운트의 설계 변수
Fig. 3. Design parameters of the Gunn diode mount.

와 같은 경우에는 그림 2(a)에 비해 협대역의 주파수 조정 범위를 갖게 되지만 Q 값이 높아 출력전력이 높다는 이점을 얻을 수 있다^{[4],[29]}.

본 논문에서는 94 GHz에서 높은 출력전력을 확보하기 위해 포스트-디스크 구조의 건 다이오드 마운트를 적용하였다. 그림 3은 건 다이오드 마운트의 주요 설계변수를 나타낸 것이다.

그림 3에서 a 는 공진기 도파관 폭, b 는 공진기 도파관 높이이다. 건 다이오드의 형상은 D_3, L_4, L_5, L_6, D_6 등에 의해 결정되며 빗금 친 부분은 패키징에 사용된 세라믹 케이스이다. D_6 는 건 다이오드 패키지의 방열용 금속 디스크 직경이며 L_6 는 방열 디스크의 도파관 내부로 튀어나온 부분의 높이이다.

건 다이오드 마운트의 형상은 $D_1, L_1, D_2, L_2, D_3, L_3$ 등에 의해 결정되며 금속봉 부분(D_1, L_1), 디스크 부분(D_2, L_2) 및 다이오드와의 접촉부(D_3, L_3)로 구성된다.

건 다이오드 마운트의 여러 가지 설계변수 중에서 디스크 직경 D_2 는 발진 주파수를 결정짓는 주요 변수가 되며 디스크 두께 L_2 는 일정 범위 내에서 그 영향이 크지 않기 때문에 하나의 값으로 미리 결정되었다.

금속봉(포스트) 직경 D_1 은 출력전력에 상당히 민

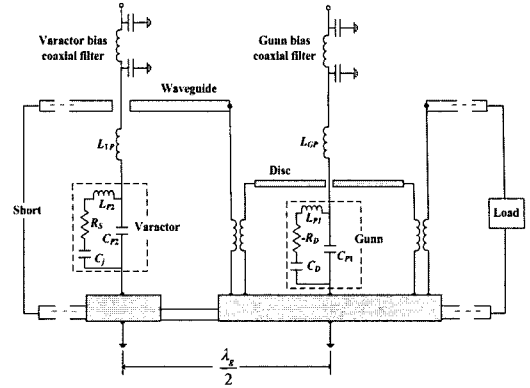


그림 4. 전압조정 발진기의 등가 회로
Fig. 4. Equivalent circuit of the voltage controlled oscillator.

감한 영향을 주며, 금속봉의 길이 L_1 은 L_3 와 함께 디스크의 위치를 결정하며 발진 주파수에 민감한 영향을 준다. 방열 디스크 높이 L_1 은 출력전력에 민감한 영향을 주며 최대 출력전력을 제공하는 값으로 미리 확인한 후 변경하지 않았다.

이제 건 다이오드 마운트에서 결정해야 할 나머지 변수는 디스크의 위치(L_1, L_3)와 디스크 직경(D_2)이다. 디스크의 직경과 위치에 따라 건 다이오드 단자에서 외부회로를 바라 본 임피던스 값이 민감하게 변하게 된다. 그림 4는 그림 1의 전압조정 발진기의 구조를 등가회로로 나타낸 것이다. 그림 4의 R_D 와 C_D 는 건 다이오드 반도체 칩의 부생저항과 단자간의 커패시턴스이며 L_{P1}, C_{P1} 은 건 다이오드 패키지의 기생 인덕턴스와 기생 커패시턴스이다. L_{GP} 는 건 다이오드 마운트의 포스트 부분에 의해 발생하는 인덕턴스이다. 디스크는 방사성 전송선(radial line)으로 모델링할 수 있으며 이의 특성 임피던스는 공진기 직사각형 도파관의 특성 임피던스와 다르므로 종단에 임피던스 변환부(transformer)가 연결되게 된다. 바랙터 다이오드의 경우에도 건 다이오드와 유사하게 다이오드 칩의 접합저항 R_S 와 바이어스에 따라 변하는 접합 캐패시턴스 C_j , 패키지에 의한 기생소자 L_{P2} 와 C_{P2} 로 나타낼 수 있다. 바랙터 다이오드 마운트는 단순한 원통형 금속봉이므로 인덕턴스 L_{VP} 로 나타낼 수 있다. 출력 부분과 back-short 부분은 각각 정합 부하와 단락부하가 연결된 일정 길이의 직사각형 도파관 전송선으로 나타낼 수 있다.

그림 4의 등가회로에서 발진을 하기 위해서는 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

$$R_{IN}(A, \omega) + R_L(\omega) = 0 \quad (1)$$

$$X_{IN}(A, \omega) + X_L(\omega) = 0 \quad (2)$$

여기서 Z_{IN} 은 건 다이오드 단자 임피던스, Z_L 은 건 다이오드 단자에서 바라 본 외부회로의 부하 임피던스, A 는 건 다이오드 전류의 크기, ω 는 각주파수이다. 건 다이오드 마운트의 디스크에 위치와 직경을 실험적으로 조정하여 식 (1)과 (2)의 발진조건을 만족시키는 동시에 출력전력, 바랙터 다이오드에 의한 주파수 조정 범위 및 주파수 조정의 선형성 등에 특성이 가장 양호하도록 설계하였다. 건 다이오드 마운트의 디스크 직경 D_2 의 변화에 따른 부하 임피던스 Z_L 은 Ansoft HFSS™로 40~50 GHz 범위에서 해석하여 그림 5에 도시하였다. 여기서 디스크의 직경은 $D_2, D_2+2\alpha, D_2+4\alpha$ 로 고정하였다. 이때 α 는 0.01 mm이며 D_2 는 초기 값이다.

그림 5에서 디스크 직경이 변함에 따라 부하 임피던스의 허수부가 실수부보다 민감하게 변함을 알 수 있다. 발진 초기에는 $R_{IN} + R_L < 0$ 의 조건이 만족되지만 발진기 출력전력이 안정된 값으로 수렴하면서 건 다이오드의 부성저항이 일정범위(약 2~10 ohm) 사이에서 자연적으로 조정되어 $R_{IN} + R_L = 0$ 의 조건을 만족시키게 된다²⁹⁾.

식 (2)에서 건 다이오드의 리액턴스가 '0'이 아니므로 발진은 $X_L=0$ 인 주파수에서 발생하지 않게 되며 정확한 발진 주파수는 건 다이오드의 리액턴스 값을 알아야만 결정할 수 있다. 따라서 건 다이오드의 임피던스 값을 모르는 상태에서는 발진 주파수를 실험적으로 결정하게 된다.

그림 6은 그림 5의 부하 임피던스를 46~48 GHz 범위에서 확대하여 도시한 것이다. 47 GHz에서 디스크 직경이 0.04 mm 증가함에 따라 외부회로의 저항은 0.75 ohm에서 1.25 ohm으로 증가함을 알 수 있다. 공진시 건 다이오드의 리액턴스는 약 5 ohm으로 예측되었다. 또한 바랙터의 가변 커패시턴스에 의해 건 다이오드에서 바라 본 외부회로의 리액턴스가 약 2.5 ohm 증가하는 것이 예측되었다.

그림 6(b)는 바랙터의 커패시턴스가 변할 경우

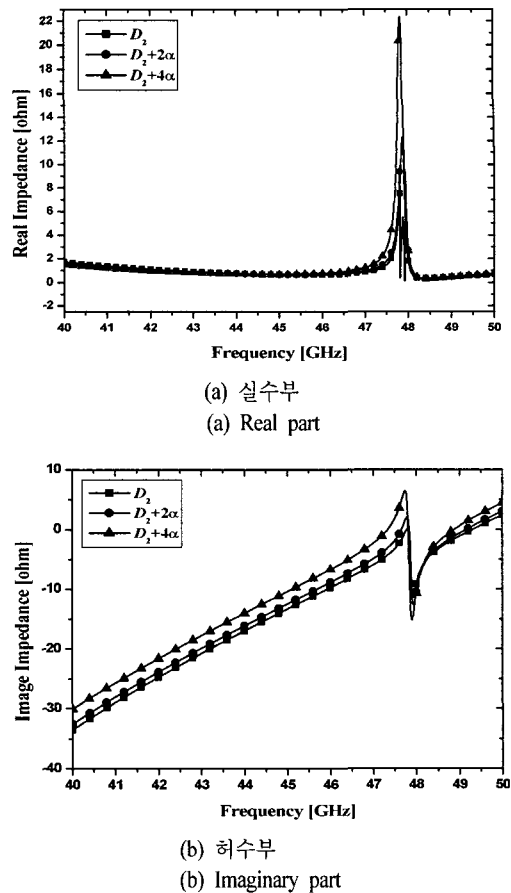


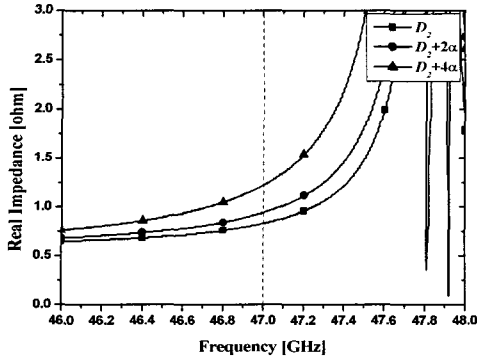
그림 5. 건 다이오드 마운트 직경에 따른 외부회로의 임피던스(40~50 GHz 범위)

Fig. 5. Impedance of the external circuit versus the disc diameter of the Gunn diode mount(40~50 GHz range).

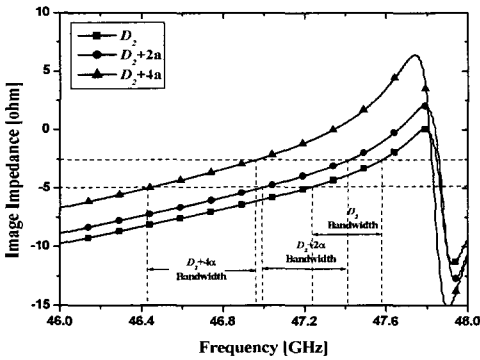
발진 주파수 변화를 도시한 것이다. 디스크의 직경이 초기 값보다 0.04 mm 증가한 경우에 주파수 조정 범위가 가장 큼을 알 수 있다. 결론적으로 디스크의 직경은 발진 주파수와 바랙터 다이오드에 의한 주파수 조정범위에 영향을 줌을 알 수 있다.

다음에는 건 다이오드 마운트의 금속봉 직경에 따른 건 다이오드 단자에서 바라본 외부회로의 저항을 계산하여 그림 7에 나타내었다.

금속봉의 직경은 초기 값 D_1 및 $D_1+2\beta, D_1+4\beta$ 로 하였으며 β 는 0.1 mm로 하였다. 그림 7로부터 금속봉 직경이 초기 값에서 0.4 mm 증가함에 따라 외부회로의 저항이 1.25 ohm에서 3.5 ohm로 증가함을 알 수 있다. 건 다이오드 발진기에서 출력전력은 동작



(a) 실수부
(a) Real part



(b) 허수부
(b) Imaginary part

그림 6. 건 다이오드 마운트 직경에 따른 외부회로의 임피던스(46~48 GHz 범위)

Fig. 6. Impedance of the external circuit versus the disk diameter of the Gunn diode mount(46~48 GHz range).

점에서의 건 다이오드 부성저항 값에 따라 변하게 된다. 그림 7의 결과로부터 건 다이오드 마운트의 직경에 따라 발진기의 출력전력이 민감하게 변하리라 예상할 수 있다.

III. 건 다이오드 마운트의 실험적 설계

2장에서 수립된 설계개념을 토대로 전압조정 발진기를 설계하였다. 몇 가지 건 다이오드 마운트를 동시에 제작하여 건 다이오드 마운트 설계변수에 따른 전압조정 발진기의 특성 변화를 측정하였다.

그림 8은 제작된 전압조정 발진기와 건 다이오드 마운트의 모습이다. 그림 8(b)의 건 다이오드 마운트 구조에서 저역통과 필터와 바이어스 전압단자 연결

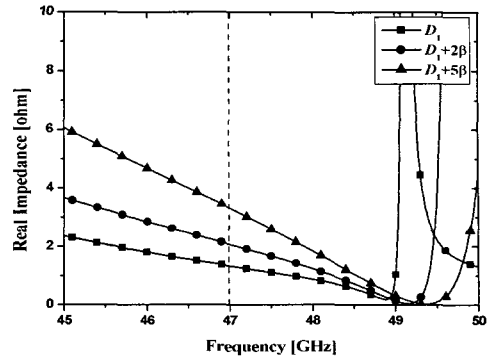
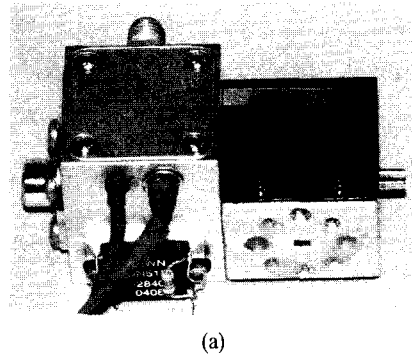


그림 7. 건 다이오드 마운트 금속봉 직경에 부하저항
Fig. 7. Load resistance versus the post diameter of the Gunn diode mount.

용 금속봉 부분보다 건 다이오드 마운트의 디스크에 크기가 훨씬 작아서 자세히 관찰해야 보일 정도이다. 정밀 머시닝 센터와 특수하게 제작된 바이트를 사용하여 발진기 도파관 블록과 다이오드 마운트를 제작하였다. 전압조정 발진기의 제작 가공오차는 ± 0.01 mm였다.

전압조정 발진기의 발진 주파수 측정에는 EIP 578B 주파수 카운터를 사용하고 출력 전력 측정에는 Agilent E4417A 전력계와 Agilent W8486 전력센



(a)



(b)

그림 8. 제작된 전압조정 발진기(a)와 건 다이오드 마운트(b)

Fig. 8. Fabricated VCO(a) and Gunn diode mount(b).

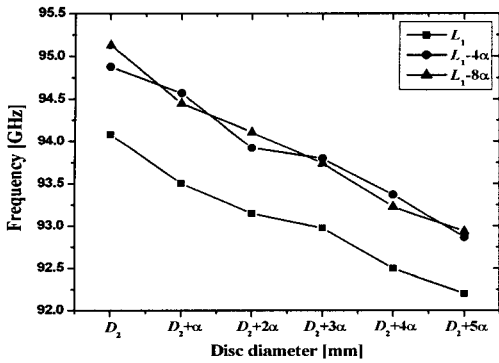


그림 9. 건 다이오드 마운트 디스크 직경에 따른 발진 주파수 측정 결과
 Fig. 9. Measured resonant frequency versus the disc diameter of the Gunn diode mount.

서를 이용하였다. 3 dB 도파관 방향성 결합기를 사용하여 주파수와 출력전력을 동시에 측정하였다.

그림 9는 건 다이오드 마운트 디스크의 위치 L_1 과 직경 D_2 변화에 따른 발진 주파수의 측정 결과를 나타낸 것이다. 그림 9에서 보는 바와 같이 디스크의 직경이 증가할수록 발진 주파수는 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 그림 6에서의 이론적 예측과 일치하는 경향이다. 또한 그림 9에서 디스크의 위치가 건 다이오드로부터 높아질수록 발진 주파수가 증가함을 알 수 있다.

그림 10은 건 다이오드 마운트의 금속봉 직경 D_1 에 따른 출력전력의 변화를 측정 한 것이다. 이로부터 금속봉의 직경은 출력전력에 매우 민감한 영향을 줄 수 있다(10 dB 이상의 변화). 금속봉의 직경

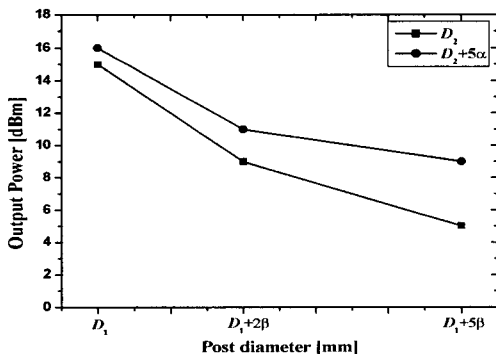


그림 10. 건 다이오드 마운트 금속봉 직경에 따른 출력 전력 측정 결과
 Fig. 10. Measured output power versus the post diameter of the Gunn diode mount.

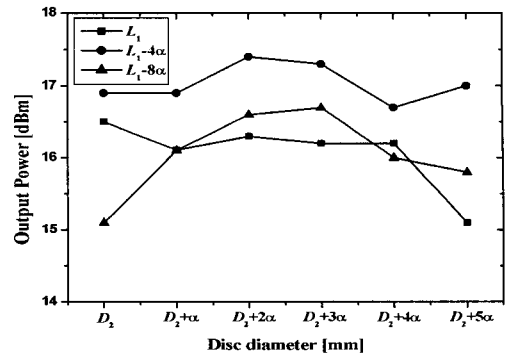


그림 11. 디스크 직경 B 의 변화에 따른 출력전력 측정 결과
 Fig. 11. Measured output power versus disc diameter.

이 초기 값보다 증가할 경우 출력전력이 감소함을 알 수 있다. 또한 디스크 직경이 초기 값보다 0.05 mm 증가할 경우 출력전력이 더 큼을 알 수 있다(1~2 dB 변화).

그림 11은 금속봉 직경을 최적일 경우 디스크 직경과 위치에 따른 출력전력을 측정 한 것이다. 출력전력은 디스크 직경뿐만 아니라 디스크의 위치에 따라서도 변함을 알 수 있다(1~2 dB 변화). 그림 10과 그림 11의 결과로부터 출력전력을 최적화하기 위해 우선 건 다이오드 마운트의 금속봉 직경을 최적의 값으로 한 후 디스크의 직경과 위치를 조정하여 출력전력을 1~2 dB 더 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 12는 건 다이오드 마운트 디스크 직경과 위치에 따른 바랙터에 의한 주파수 조정 범위를 측정

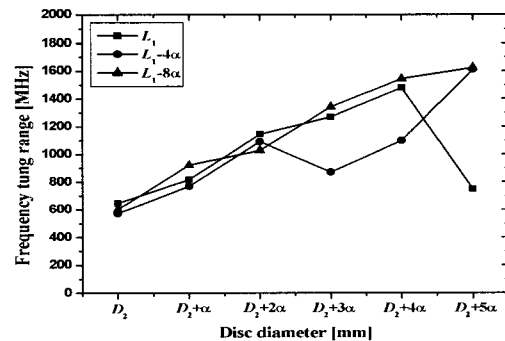


그림 12. 건 다이오드 마운트 디스크 직경에 따른 주파수 조정범위 측정 값
 Fig. 12. Measured frequency tuning range versus the disc diameter of the Gunn diode mount.

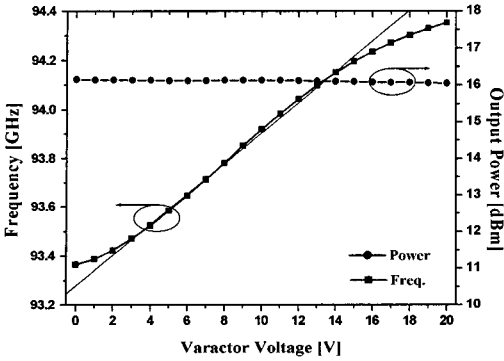


그림 13. 바랙터 전압에 따른 전압조정 발진기의 출력전력과 발진 주파수 측정 값
 Fig. 13. Measured output power and oscillation frequency of the VCO versus the varactor voltage.

한 것이다. 이로부터 주파수 조정 범위는 주로 디스크 직경에 의해 결정됨을 알 수 있다. 그림 12의 주파수 조정범위는 최소 380 MHz이며 최대 1,900 MHz가 된다. 전압조정 발진기에서 바랙터 다이오드의 바이어스 전압에 따른 주파수 조정 선형성은 FM-CW 레이더와 같은 주파수의 전기적 변조 목적에 있어서 중요한 설계변수가 된다. 디스크의 직경과 위치에 따른 주파수 조정 선형성을 측정된 결과 주로 디스크의 직경에 의해 선형성이 결정되며 디스크의 직경이 초기 값보다 0.03~0.04 mm 클 때 가장 우수한 특성을 보였다.

그림 13은 최종적으로 설계된 최적의 건 다이오드 마운트를 적용한 전압조정 발진기의 바랙터 다이오드 전압 변화에 따른 출력전력과 발진 주파수를 측정된 것이다. 제작된 전압조정 발진기의 중심 주파수는 93.9 GHz였으며, 주파수 조정 대역폭은 990 MHz였다. 2% 이내의 선형성을 유지하는 주파수 조정 대역폭은 600 MHz이며 출력전력은 주파수 튜닝에 관계없이 16 dBm 이상의 특성을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 94 GHz 대역 하모닉 도파관 전압조정 발진기의 건 다이오드 마운트를 실험적인 설계 방법으로 연구하였다. 건 다이오드 마운트 구조로서 밀리미터파 대역에서 널리 사용되는 포스트-디스크 구조를 적용하였으며, 전압조정 발진기의 발진 주파

수, 출력 전력, 주파수 조정 대역폭 및 주파수 조정 선형성에 영향을 줄 수 있는 건 다이오드 마운트의 변수를 확인하였다. 건 다이오드 마운트 설계변수를 여러 가지로 변화해 가면서 전압조정 발진기의 특성을 측정하였다. 측정결과로부터 전압조정 발진기의 출력전력에는 건 다이오드 마운트의 금속봉 직경이 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한 디스크의 직경과 위치를 변경함으로써 출력전력을 1~2 dB 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 전압조정 발진기의 주파수 조정 대역폭과 주파수 조정 선형성에 가장 영향을 미치는 설계변수 또한 디스크의 직경이며 디스크의 위치에 의해서도 소폭의 영향을 받는다는 것을 확인하였다.

최적 설계된 건 다이오드 마운트를 적용하여 전압조정 발진기를 구현할 결과 중심 주파수 93.9 GHz, 2% 선형성 대역폭 600 MHz, 16 dBm 이상의 출력전력을 얻을 수 있었다. 본 논문의 결과는 도파관형 전압조정 발진기의 설계에 유용한 지침이 될 수 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] S. J. Jerome Teng, R. E. Goldwasser, "High-performance second-harmonic operation W-band GaAs Gunn diodes", *IEEE Electron Dev. Lett.*, vol. 10, no. 9, pp. 412-414, Sep. 1989.
- [2] M. Curow, "Comparison between fundamental and harmonic power generation of GaAs Gunn devices at 94 GHz", *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 8, pp. 656-657, Apr. 1995.
- [3] T. G. Ruttan, "Gunn-diode oscillator at 95 GHz", *Electron. Lett.*, vol. 10, pp. 293-294, 1975.
- [4] H. Barth, "A wideband, backshort tunable second harmonic W-band Gunn oscillator", *IEEE MIT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 334-337, Jun. 1981.
- [5] W. H. Haydl, "On the harmonic operation of millimeterwave Gunn diodes", *IEEE MIT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 506-509, Jun. 1982.
- [6] W. H. Haydl, "Fundamental and harmonic operation of millimeter-wave Gunn diodes", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 31, no. 11, pp. 879-889, Nov. 1983.

- [7] H. Barth, W. Menzel, "GaAs Gunn oscillators reach the 140 GHz range", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 367-369, Jun. 1985.
- [8] A. Rydberg, "High efficiency and output power from second and third-harmonic millimeter-wave InP-TED oscillators at frequencies above 170 GHz", *IEEE Trans. Electron Dev. Lett.*, vol. 11, no. 10, pp. 439-441, Oct. 1990.
- [9] M. Curow, "New insight in operating modes and optimum design of harmonic TED oscillators for W-band applications", *IEEE Trans. Electron Dev.*, vol. 43, no. 6, pp. 861-870, Jun. 1996.
- [10] H. Eisele, "Second-harmonic power extraction from InP Gunn devices with more than 1mW in 260~320 GHz frequency range", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 25, pp. 2412-2413, Dec. 1998.
- [11] S. H. Jones, M. F. Zybur, J. E. Carlstrom, and T. M. O'Brien, "A 63~170 GHz second-harmonic operation of an InP transferred electron device", *IEEE Trans. Electron Dev.*, vol. 46, no. 1, pp. 17-23, Jan. 1999.
- [12] J. E. Carlstrom, R. L. Plambeck, and D. D. Thornton, "A continuously tunable 65~115 GHz Gunn oscillator", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 33, no. 7, pp. 610-619, Jul. 1985.
- [13] J. S. Joshi, "Wide-band varactor-tuned X-band Gunn oscillators in full-height waveguide cavity", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 21, no. 3, pp. 137-139, Mar. 1973.
- [14] J. S. Joshi, J. A. F. Cornick, "Some general observations on the tuning characteristics of electro-mechanically tuned Gunn oscillators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 21, no. 9, pp. 582-586, Sep. 1973.
- [15] A. S. Templin, R. L. Gunshor, "Analytic model for varactor-tuned waveguide Gunn oscillators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 22, no. 5, pp. 554-556, May 1974.
- [16] D. H. Claxton, P. T. Greiling, "Broad-band varactor-tuned IMPATT-diode oscillator", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 23, no. 6, pp. 501-504, Jun. 1975.
- [17] J. Ondria, "Wideband electronically tunable GaAs Gunn VCO's at W-band(75~110 GHz)", *IEEE MTT-S Int. Symp. Dig.*, pp. 375-378, Jun. 1985.
- [18] J. F. White, "Simplified theory for post coupling Gunn diodes to waveguide", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 20, no. 6, pp. 372-378, Jun. 1972.
- [19] J. S. Joshi, J. A. F. Cornick, "Analysis of a waveguide mounting configuration for electronically tuned transferred-electron-device oscillators and its circuit application", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 24, no. 9, pp. 573-584, Sep. 1976.
- [20] R. L. Eisenhart, P. T. Greiling, L. K. Roberts, and R. S. Robertson, "A useful equivalence for a coaxial-waveguide junction", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 26, no. 3, pp. 172-174, Mar. 1978.
- [21] C. E. Hagstrom, E. L. Kollberg, "Measurements of embedding impedance of millimeter-wave diode mounts", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 28, no. 8, pp. 899-904, Aug. 1980.
- [22] J. R. G. Twisleton, "Resonance frequencies and behaviour of the impatt cap oscillator", *IEE Proc. Pt. H.*, vol. 135, no. 3, pp. 196-204, Jun. 1988.
- [23] B. D. Bates, A. Ko, "Modal analysis of radial-resonator waveguide diode mounts", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 38, no. 8, pp. 1037-1045, Aug. 1990.
- [24] W. H. Haydl, R. Bosch, and J. Rudiger, "Waveguide/ resonant disc circuits for millimeter-wave devices", *Electron. Lett.*, vol. 18, pp. 307-309, Apr. 1982.
- [25] K-H. Doring, E. Seebald, "High transformation ratio for impedance matching with a radial line", *Electron. Lett.*, vol. 16, no. 2, pp. 50-51, Jan. 1980.
- [26] 김현주, "61~115 GHz 의 광대역 특성을 갖는 도파관형 건 발전기의 개발", 충북대학교 대학원 천문우주학과 천문우주학전공 석사학위논문, 2001년 8월.

- [27] R. Kamoua, "Monte Carlo-based harmonic-balance technique for the simulation of high-frequency TED oscillators", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 46, no. 10, pp. 1376-1381, Oct. 1998.
- [28] G. B. Tait, S. H. Jones, "Transient simulation of millimeter-wave circuits incorporating numerical

device modeling", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 6, pp. 877-881, Jun. 1999.

- [29] N. Deo, *Gunn Diode Oscillators - Sources for Microwave / Millimeter Wave Systems - Design, Performance and Applications*, MDT Corp. Application Note, Jan. 2002.

민 재 용



2002년 8월: 충주대학교 전자통신 공학과 (공학사)
 2002년 1월~9월: (주)S.Y.Telecom 개발부 사원
 2003년 3월~현재: 충북대학교 전파공학과 석사과정

[주 관심분야] MMW & M/W 부품 설계, RF 시스템

노 진 입



1984년 8월: 울산대학교 전기전자 공학과 (공학사)
 1993년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: 충북대학교 전파공학과 박사과정
 1984년 3월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

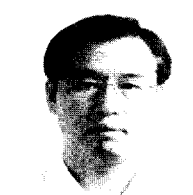
[주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나

리 준 문



1996년 7월: 하얼빈 공업대학교 통신공학과 (공학사)
 2003년 3월~현재: 충북대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나, RF 시스템, 초고주파 부품 설계

김 동 환



1985년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 5월~2001년 12월: (주)대우전자 개발부 연구원
 2002년 1월~현재: (주)한화 구미공장 개발팀장
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나

테나

안 병 철



1981년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1983년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
 1992년 12월: University of Mississippi, 전기전자공학과 (공학박사)
 1983년~1986년: (주)금성정밀 주임

연구원

1992년~1994년: 국방과학연구소 선임연구원

1995년~현재: 충북대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] 전자파 응용, 안테나