

# X-band용 유전체 공진 발진기의 설계

(A Design of Transistor Dielectric Resonator Oscillator at X-band)

김 완 식\* · 오 양 현\* · 이 종 악\*

(Wan Sik Kim\* · Yang Hyun Oh\* · Jong Arc Lee\*)

## 요 약

본 논문에서는 X-band용 유전체 공진 발진기(TDRO)를 설계 제작하고 실험하였다. 유전체 공진 발진기는 마이크로 스트립 라인과 유전체 공진기 사이의 결합 파라메타를 분석하여 설계된다. 이 결합 파라메타는 기판 특성, 집지면, 공진기 주변 경계면, 마이크로 스트립 라인과 공진기 사이의 거리에 의해서 결정된다.

외부 Q( $Q_{ext}$ )와 결합계수는 TDRO의 설계 사양을 결정하기 위해 선택된다.

본 논문에서 설계된 TDRO는 높은 안정성과 효율적인 발진 주파수를 요구하는 마이크로파 통신 시스템에 유용하다.

## Abstract

In this paper, an X-band TDRO(transistor dielectric resonator oscillator) is designed and experimented with the oscillator constructed.

Design of the TDRO is carried out by deriving analytically the coupling parameters between a microstrip line and a dielectric resonator. The coupling parameters take account of the relations among substrate material, ground plane, metallic boundaries surrounding the resonator, distance between a microstrip line and a resonator.

Two criteria, external quality factor and coupling coefficient, have been chosen in order to evaluate the performance of the TDRO designed.

TDRO studied in this paper may be useful for the application of a microwave system requiring a stable and effective oscillator frequency.

## I. 서 론

현재 위성통신에서 저 잡음 위성방송 수신기

(LNB)와 같은 마이크로파 통신 시스템이 필요하며 그중 국부 발진기는 주파수 안정도 및 위상 잡음 특성이 시스템 오류(bit error rate)에 중대한 영향을

\* 건국대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Eng., Kon-Kuk univ.)

끼친다.

수정 발진기를 여러번 채택한 국부 발진기는 주파수 안정도가 떨어지고 잡음이 생긴다.[1] 또 Gunn Diode, Impatt Diode 등의 마이크로파 발진소자를 공동 공진기로 사용하여 주파수를 안정화하였으나 구조가 복잡하고 비싼 것으로 알려졌다.[2] 따라서 높은 Q값의 유전체 공진기와 GaAs MESFET 또는 HEMT를 사용하여 훌륭한 주파수 안정도와 온도 안정성을 가지며, MIC 구현이 가능하고 비교적 양질의 특성을 얻을 수 있는 트랜지스터 유전체 공진 발진기(Transister Dielectric Resonator Oscillator, TDRO)가 마이크로파 신호원으로 사용하게 되었다.[3][4] 유전체 공진기를 사용하여 제작한 발진기(TDRO) 특성은 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 결합에 의해 좌우되므로 TDRO 설계 이론과 실험 결과와의 오차는 공진기 특성을 정확히 알아냄으로써 줄여질 수 있다. 즉 Q값이 크고 결합계수 값이 적으면 FM 잡음특성이 좋아지며 주파수 변동이 적은 반면 출력 전력이 적다.

따라서 공진특성을 고찰하기 위해서 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인과의 결합관계를 해석하고, 이 필드 분포를 이용해서 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 거리에 따른 외부 양호도  $Q_{ext}$ 와

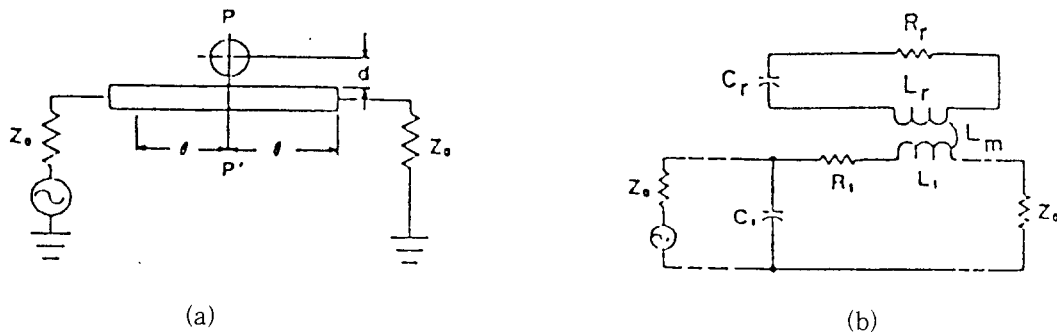
결합계수  $\beta$ 값을 구하고, 이 파라메타를 근거로 프로그램을 이용해서 DR의 중심기준면에서 병렬 R, L, C 공진 구조에 대하여 등가회로의 S-parameter를 구하고 직렬 궤환형 유전체 공진 발진기(TDRO)를 설계하였다.

본 논문에서는 공진 특성에 의해 구한 병렬 공진 파라메타를 이용하여, 발진효율이 좋고 저잡음 특성을 갖는 GaAs MESFET와 저잡음, 소형화, 온도 안정성을 갖는 유전체 공진기를 결합하여 바이어스 전압에 따른 발진 주파수, 출력 전력, 기계적인 튜닝에 따른 발진 주파수 변화를 측정해 보았다.

## II. 유전체 공진기와 마이크로 스트립 선로의 결합관계

이 장에서는 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 특성을 분석하기 위해서 외부 양호도  $Q_{ext}$ 와 결합계수  $\beta$ 를 해석하고 값을 계산한다. 유전체 공진기의 모드를  $TE_{01\delta}$  모드라고 가정할때 마이크로 스트립 라인과 수직으로 놓이게 되면 둘 사이에는 자기적 결합이 일어난다.[5][6]

[그림 1]은 마이크로 스트립 선로 옆에 유전체 공진기가 놓여 있을 때의 등가회로이다.



[그림 1] 마이크로 스트립 라인에서의 DR과 등가회로

(a) 마이크로 스트립 라인과 결합한 유전체 공진기 (b) 등가회로

[Fig. 1] Equivalent circuit of a dielectric resonator coupled with a microstrip line

(a) Dielectric resonator coupled with microstrip line (b) Equivalent circuit

이때  $R_r, L_r, C_r$ 은 유전체 공진기 등가 파라메타이고,  $R_l, L_l, C_l$ 은 스트립 라인 파라메타, 그리고  $L_m$ 은 결합 파라메타이다. 소스와 선로가 완전히 정합하면  $R_g = R_L = Z_c$ 인 관계가 되며 따라서 내부저항  $R_{ext} = 2Z_c = R_g + R_L$ 인 관계가 되며 공진주파수 ( $\omega_0$ )에서 결합계수  $\beta$ 는

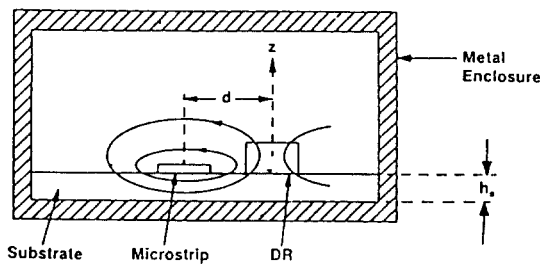
$$\beta = \frac{\omega_0 Q_U L_m^2}{2 Z_c L_r} \quad (1)$$

이다. 여기서  $Q_U$ 는 유전체 공진기 자체가 가지는 양호도(Quality factor)이고 External quality factor ( $Q_{ext}$ )는

$$Q_{ext} = \frac{2Z_c}{\omega_0} \left( \frac{L_m^2}{L_r} \right)^{-1} \quad (2)$$

이며,  $L_m^2/L_r$ 에 의해서  $Q_{ext}$  값은 마이크로 스트립 라인과 공진기 사이의 거리의 함수이므로 거리에 따른  $Q_{ext}$  값은 결합특성을 나타낸다.

유전체 공진기와 마이크로 스트립 선로사이의 결



(a)

합 특성을 수식으로 표현하면 다음과 같다.[7][8]

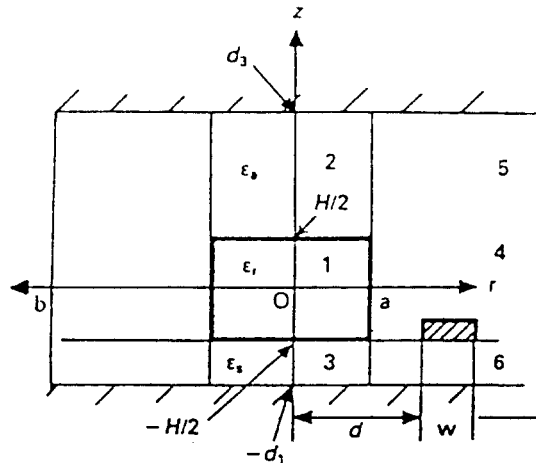
$$Q_{ext} = \frac{4Z}{\omega_0 \mu_0^2} \frac{W_m}{[\int \int_s H \cdot ds]^2} \quad (3)$$

여기서  $W_m$ 은 자계 축적 에너지이고,  $\int \int_s H \cdot ds$ 는 유전체 공진기 내·외부에서 자계의 총량이다. 따라서  $Q_{ext}$  값을 계산하기 위해서는 유전체 구조를 6개 영역으로 나누어 계산할 수 있는데 [그림 2]의 (a)는 공진기와 스트립 라인의 필드 분포를 나타내고 (b)는 6개 영역으로 나누어진 공진기 구조를 나타낸다.

위의 이론치를 Fortran Program을 이용하여 계산하고  $Q_{ext}$ 와  $\beta$  값을 얻었는데 <표 1>은 그 결과를 나타낸다.

<표 1>  $Q_{ext}$ 와  $\beta$ 의 거리에 따른 변화 값

거리(d)mm	$Q_{ext}$	$\beta$
0.5	249	1.814
1.0	503	1.302
1.5	1,012	1.016
2.0	2,037	1.016
2.5	4,100	0.577



(b)

[그림 2] DR-microstrip 공진기 구조

(a) 공진기 구조의 필드 분포 (b) 6개 영역으로 나누어진 공진기 구조

[Fig. 2] Resonator structure of a DR-microstrip

(a) Field distribution of a DR-microstrip (b) 6 Regions of a DR-microstrip structure

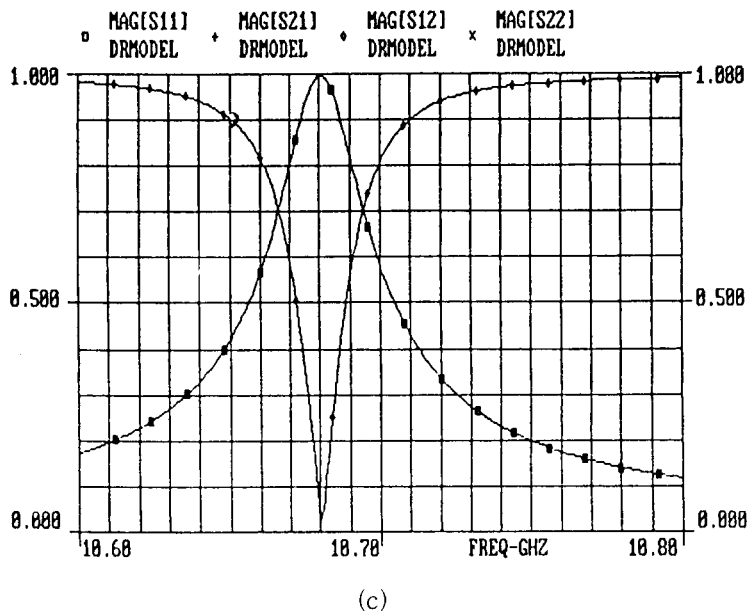
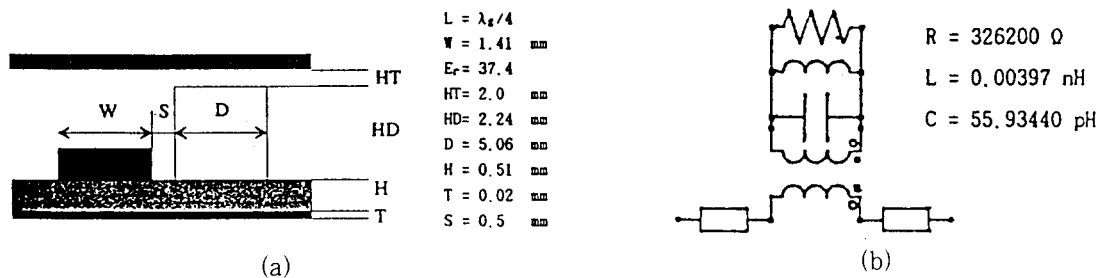
그리고 구한  $Q_{ext}$ 와  $\beta$ 를 참고로 하여 실제 TDRO를 설계한다.

### Ⅲ. 발진기 설계 및 제작

#### 1. MIC 환경에서 공진주파수 측정

Ⅱ절에서 구한  $Q_{ext}$  및  $\beta$ 값의 결과에 의해서 확인

한 바와 같이 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 거리에 따라서 간격이 멀어지면 Q값이 높아지고 결합 계수가 낮아짐을 알 수 있고 따라서 FM 잡음특성이 향상되고 온도에 의해서, 기계적 튜닝에 의해서 주파수 변동이 작으며, 간격이 가까우면 Q값은 낮아지고 결합계수 값이 커짐에 의해서 출력전력을 높일 수 있고, 기계적 튜닝에 의해 넓은 범위에서 주파수 튜닝이 가능하다. 따라서 본 논문에서는 출



[그림 3] MIC 환경에서 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 결합 모델

(a) MIC 환경에서 결합구조

(c) MIC 환경에서 결합구조에 대한 S-parameter 결과

(b) MIC 환경에서 결합구조의 등가회로

[Fig. 3] Coupling model of DR and microstrip line in MIC configuration

(a) Coupling structure in MIC configuration

(c) S-parameter results in MIC configuration

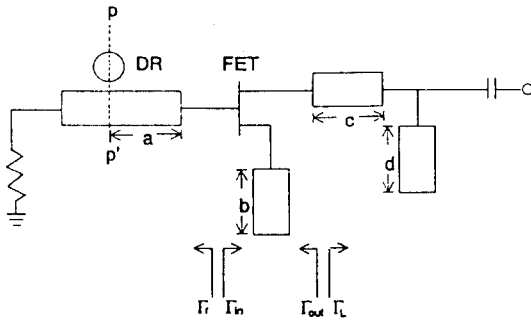
(b) Equivalent circuit of coupling structure in MIC configuration

력전력을 높이고 넓은 범위에서 기계적인 튜닝이 되도록 거리가 0.5mm일 때를 택하여 공진특성을 구하였다.

[그림 3]의 (a)는 Super compact 프로그램을 이용하여 MIC 환경에서 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 결합에 대한 전기적 특성의 S-parameter를 측정하기 위한 결합 구조이고 [그림 3]의 (b)는 등가회로이다.

## 2. 유전체 공진 발진기(TDRO)

[그림 4]는 직렬 제한형 유전체 공진 발진기의 형태를 보여주고 있으며 EESOF사의 Touch stone 프로그램을 이용하여 다음과 같은 과정에 의해 최적치를 구하였다.



[그림 4] 직렬 제한형 유전체 공진 발진기

[Fig. 4] Series feedback type TDRO

TDRO가 발진하기 위해서는 다음과 같은 초기조건을 만족하여야 한다.[9]

$$|\Gamma_r| > \frac{1}{|\Gamma_{in}|} \quad (4)$$

$$\text{ang}\Gamma_r = \text{ang}\left(\frac{1}{\Gamma_{in}}\right) \quad (5)$$

위 조건이 만족하도록 a, b의 길이를 결정하며, 최대 출력을 얻기 위해

$$R_L + jX_L = -\frac{R_{out}}{3} - jX_{out} \quad (6)$$

을 만족하는 c, d의 길이를 구하여 하는데, 최적조건이 갖추어지고 부성저항  $R_{out}$ 은  $R_{out} = R_L$ 이 되는 순간 발진은 정상 상태에 존재한다. bias회로 및 dc block을 포함하여 식 (4), (5), (6)을 만족하는 결과를 <표 2>, <표 3>에서 보여준다.[10]

<표 2> 초기 조건을 만족하는  $\Gamma_r$ ,  $\Gamma_{in}$

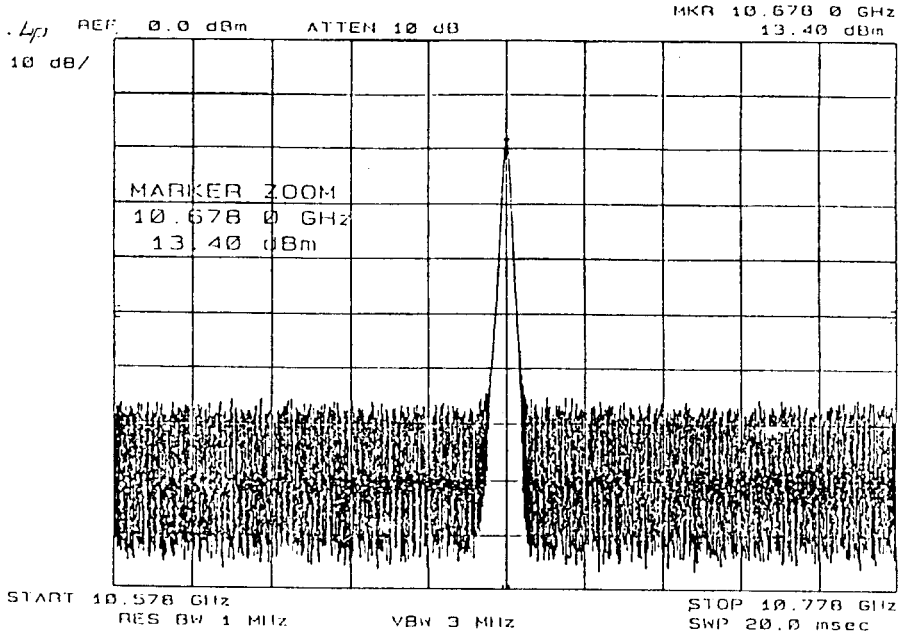
FREQ (GHz)	$\Gamma_r$		$\Gamma_{in}$	
	MAG	Avg	MAG	Avg
10.500	0.051	-90.009	1.811	-167.712
10.600	0.150	-100.039	1.708	-173.425
10.680	0.992	176.656	1.614	-177.776
10.700	0.595	121.497	1.584	-178.882
10.800	0.136	88.253	1.457	-176.303

<표 3> 최대 출력조건을 만족하는  $Z_{out}$ ,  $Z_L$

FREQ (GHz)	$Z_{out}$		$Z_L$	
	RE	IM	RE	IM
10.500	-35.261	-38.241	12.664	19.890
10.600	-31.793	-34.339	14.678	24.933
10.680	-47.731	-29.340	16.676	29.933
10.670	-29.905	-13.500	17.240	30.188
10.800	-22.100	-21.636	20.527	35.667

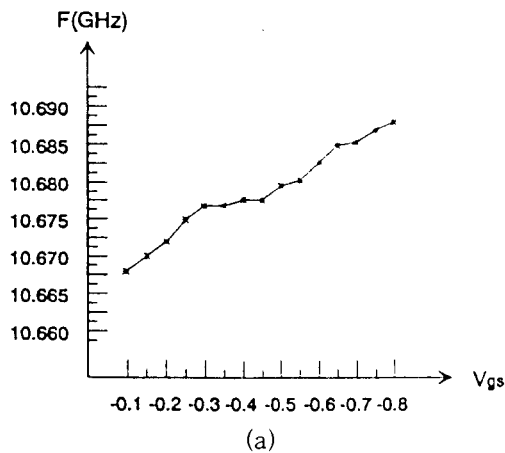
## IV. 측정 및 결과 고찰

본 논문에서 사용한 DR은 유전율 37.4, 직경 5.06mm, 높이 2.24mm인 Murata제품을 사용하였으며 기판은 유전율 2.52, 두께가 0.51mm, 동박두께가 0.02mm인 Teflon 재질인 chukoh사 제품을 사용하였고 트랜지스터는 MISHIBISH사의 MGF1404를 사용하였다. [그림 5]는 제작된 TDRO의 발진 주파수를 측정한 결과 10.250GHz에서 발진하였으며 튜닝 스크류와 스티브 길이를 조정해서 10.680GHz에서 발진하도록 하였다. 여기서 바이어스 전압  $V_{ds} = 3.0V$ ,  $V_{gs} = -0.5V$ 이다. 또 출력전력은 13.4dBm임을

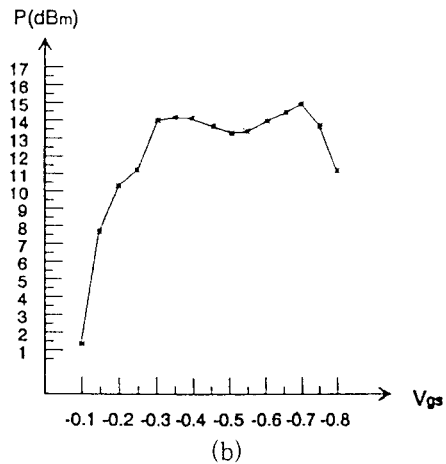


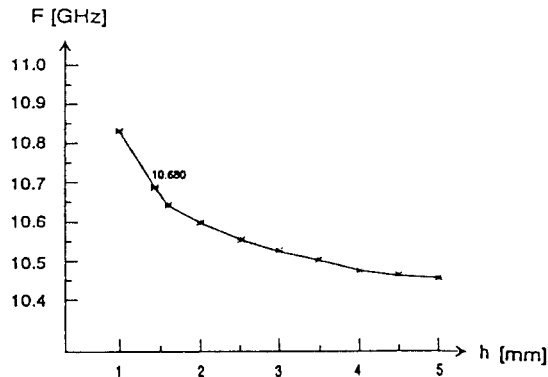
[그림 5] 중심주파수에서 발진 스펙트럼  
[Fig. 5] Oscillator spectrum at central frequency

보였다. [그림 6(a)]는 바이어스 전압  $V_{gs}$ 에 따른 발진 특성을 나타내고 있으며,  $-0.3V$ 부터  $-0.55V$ 까지에서 발진 주파수가 둔감한 변화를 보이고 있으며, 처음과 끝부분에서는 다소 변화된 주파수 특성을 나타내어 전체적으로 20MHz 정도의 변화를 보였다. 그러나 이상적인 via hole에 의한 접지와 납땀 그리고 제조시의 정밀성이 더 요구된다면 좀 더 안정한 발진 주파수 특성을 나타내리라고 여



겨진다. [그림 6(b)]는 출력 전력을 나타내고 있는데 발진 주파수가 안정한 바이어스 전압  $-0.5V$ 에서 13.4dBm을 얻었다. [그림 6(c)]는 튜닝 스크류의 높이에 따른 주파수 발진 특성을 나타내는데 airgap의 깊이  $h$ 가 감소함에 따라서 발진 주파수가 증가하고  $h$ 가 증가함에 따라 발진 주파수가 감소하였다. 설계치 2mm 보다 감소한 1.4mm에서 10.680GHz 발진을 하였다.





(c)

[그림 6] 발진 주파수와 출력 변화

- (a) 바이어스 전압에 따른 발진 주파수 F의 변화
- (b) 바이어스 전압에 따른 출력 전력 P의 변화
- (c) 튜닝 스크류 높이에 따른 발진 주파수 F의 변화

[Fig. 6] Oscillation frequency and out put power variation

- (a) Oscillation frequency variation versus bias voltage
- (b) Out power variation versus bias voltage
- (c) Oscillation frequency variation depending on the distance the tuning screw and oscillator

## V. 결 론

본 논문에서는 GaAs MESFET와 유전체 공진기를 이용하여 LNB 시스템의 국부 발진기를 설계하였다. TDRO의 설계시 공진 특성을 정확히 파악하는 것은 중요하며 따라서 공진특성을 고찰하기 위해서 유전체 공진기와 마이크로 스트립 라인의 결합관계를  $Q_{ext}$ 와  $\beta$ 를 매개체로 하여 분석적으로 유도하

고 결과치를 산출하였다.

그리고 Super Compact 프로그램을 이용하여 공진 주파수를 구하였으며 발진조건을 적용시키면서 Touchstone 프로그램을 이용하여 TDRO를 설계하고 바이어스 전압  $V_{ds} = 3V$ ,  $V_{gs} = -0.5V$ 의 조건하에서 발진 주파수는  $-0.3V$ 에서  $-0.55V$ 까지 안정한 발진 특성을 나타내었으며, 출력전력은 13.4dBm을 얻었고, 튜닝 스크류의 높이  $h$ 는 1.4m에서 10.680GHz 발진을 하였다.

측정결과 정교한 via hole과 접지는 실험의 특성에 많은 영향을 미쳤는데, 정밀한 제작과 세심한 실험을 한다면 출력 특성의 경우 20dBm 정도까지 높일 수 있을 것이고, 안정도 또한 DR과 stripline의 간격이 결합도를 증가시키는 만큼 중요한 영향을 미치므로 우수한 TDRO의 제작을 가능하게 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Robert Soares, *GaAs MESFET Circuit Design*. Norwood, Ma: Artech House, 1988.
- [2] Fng, T.T., et al., "Circuit characterization of V-band IMPATT oscillators and amplifiers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. Mtt-24, pp.752-758, Nov. 1976.
- [3] Martin R. stiglitz, "Dielectric Resonators: past, present, and future," *Microwave.*, Vol.24, pp.19-36, July. 1981.
- [4] J.K. plourde, and C.L. Ren, "Application of dielectric resonators in microwave Components," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. Mtt-29, pp.754-770, Aug. 1981.
- [5] D. Kajfez and P. Guillon, Eds., *Dielectric Resonators*. Norwood, MA: Artech House, 1986.
- [6] Robert Soares, *GaAs MESFET Circuit Design*. Norwood, Ma: Artech House, 1988.
- [7] P.Guillon, B.Byzer, and M.chaubet, "Coupling Parameters between a dielectric resonator and

- a microstripline," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. Mtt-33, pp.222-226, March. 1985.
- [8] "Better Coupling Model DR to Microstrip Ensures Repeatability" *Microwave & RF*, pp. 113-118, September, 1987.
- [9] Guillermo Gonzales, *Microwave transistor amplifier analysis and design*. Englewood Cl; ffs, NJ: Prantice-Hall, 1984. pp.196-200.
- [10] Philip G wilson, and Richard D carver, "An easy-to-use FET DRO design procedure suited to most CAD programs," in *IEEE MTT-S int. Microwave Symp. Dig.*, 1980, pp.407-409.